

5-6
2025

JMO

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

FINE MECHANICS AND OPTICS

ISSN 0447-6441
Index 46 723

70 LET
YEARS

**Ústavu fotoniky a elektroniky
Akademie věd ČR**

*of the Institute of Photonics and Electronics
of the Czech Academy of Sciences*

UFE 



ČESKÝ
OPTICKÝ
KLASTR

*Tvoříme optiku pro budoucnost.
Společně.*

Spolu tvoříme budoucnost optiky v Česku

INDUSTRIÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ OPTIKA
LASEROVÉ TECHNOLOGIE A APLIKACE
OPTICKÉ KVANTOVÉ TECHNOLOGIE

VOJENSKÁ OPTIKA
SVĚTELNÁ TECHNIKA
MIKROSKOPIE

Český optický klastr vytváří silnou platformu pro spolupráci mezi vědeckou a průmyslovou sférou v oblasti optiky. Spojuje odborníky, firmy i instituce s cílem posílit inovace, konkurenceschopnost a celkový rozvoj oboru.

Podporujeme

Obchodní příležitosti

Lidské zdroje

VaV spolupráce

Propagaci optiky

Internacionalizaci

Poradenství a služby

Více o nás:



**Petr
Přikryl**

Výkonný manažer
+420 739 244 544
petr.prikryl@optickyklastr.cz

Adresa sídla:
Šlechtitelů 813/21
Olomouc, 779 00

www.optickyklastr.cz

REDAKČNÍ RADA

Předseda: Ing. Jaromír KŘEPELKA, CSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc
Členové: Ing. Totka BAKALOVA, Ph.D., TU, Liberec, Ing. Ondřej ČÍP, Ph.D., UPT AV ČR, v. v. i., Brno, Ing. Alexandr DEJNEKA, Ph.D., FZÚ AV ČR, v. v. i., Praha, prof. Ing. Stanislav ĎURIŠ, Ph.D., SJF STU, Bratislava, RNDr. Ivana GREBEŇOVÁ, Meopta - optika, s.r.o., Přerov; prof. RNDr. Ondřej HADERKA, Ph.D., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, Ing. Jaroslav HOPP, Ph.D., Meopta - optika, s.r.o., Přerov, prof. Ing. Pavol HORŇÁK, DrSc., PROMETEUS, Bratislava, prof. Ing. Jan HOŠEK, Ph.D., ČVUT Praha, prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc., SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, RNDr. Vladimír CHLUP, Olomouc, RNDr. Lubomír JASTRABÍK, CSc., FZÚ AV ČR, v. v. i., Praha, RNDr. Pavel KLENOVSKÝ, Český metrologický institut, Brno, Ing. Romana KOČOVÁ, FZÚ AV ČR, v. v. i., Praha, doc. RNDr. Vojtěch KŘESÁLEK, CSc., UTB, Zlín, doc. RNDr. Lubomír KUBÍK, Ph.D., SPU Nitra, doc. Ing. Marián KUČERA, Ph.D., TU Zvolen, Ing. Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno, prof. Ing. Martin LIBRA, CSc., ČZU, Praha, prof. RNDr. Miroslav LIŠKA, DrSc., VUT, Brno, doc. RNDr. Miroslav MILER, DrSc., ÚFE AV ČR, v. v. i., Praha, prof. Ing. Jiří NOVÁK, Ph.D., ČVUT, Praha, prof. RNDr. Jan PEŘINA, DrSc., UP, Olomouc, doc. Ing. Pavel PETERKA, Ph.D., ÚFE AV ČR, v. v. i., Praha, Mgr. Sylvie PETROVÁ, LF MU, Brno, RNDr. Petr SCHOVÁNEK, SLO UP a FZÚ AV ČR, Olomouc, prof. RNDr. Anton ŠTRBA, CSc., UK, Bratislava, doc. Ing. Olga TŮMOVÁ, CSc., Západočeská univerzita, Plzeň, Zuzana VESELÁ, Meopta - optika, s.r.o., Přerov, čestný člen Ing. Zdeněk MARTÍNEK, Nové město nad Metují

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen – Nürnberg, Erlangen (Germany); M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

Vydává Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i. za spoluúčasti SPIE, The International Society for Optics and Photonics, v Nakladatelství Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, v. v. i.

Ředitel FZÚ AV ČR, v. v. i.: RNDr. Michael PROUZA, Ph.D.

Odpovědný zástupce vydavatele: prof. RNDr. Miroslav HRABOVSKÝ, DrSc.
Šéfredaktor: Ing. Jaromír KŘEPELKA, CSc., e-mail: jaromir.krepelka@upol.cz, tel.: 585 631 518

Tajemnice redakce: Marcela BAĐUROVÁ

Adresa redakce (předplatné, nakladatelské služby): SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 581, e-mail: marcela.badurova@upol.cz

Otisk povolen se svolením redakce a se zachováním autorských práv. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Vychází: 10× ročně (z toho 2 čísla jako dvojčísla)

Předplatné: Celoroční 420 Kč/rok. Ceny jsou jednotné pro Českou i Slovenskou republiku. Do všech ostatních zemí je časopis JMO distribuován za jednotnou cenu 10 EUR/ks. Pro členy SPIE/CS činí předplatné 120 Kč/rok. Předplatné pro studenty Bc., Mgr., Ph.D. a studenty středních škol při osobním odběru činí 120 Kč/rok; v případě zasílání poštou 300 Kč/rok.

Ve Slovenské republice rozšiřuje a objednávky přijímá: prof. Ing. Ivo Čáp, CSc., Žilinská univerzita EF, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, e-mail: ivo.cap@fel.uniza.sk

Tiskne TYPOservis Holešov, Masarykova 650, 769 01 Holešov, tel.: 602 767 424, e-mail: tiskarna@typoservis.cz

Inzerce: tel.: 585 631 581, e-mail: marcela.badurova@upol.cz

Odborné články jsou lektorovány.

<https://jmo.fzu.cz>

© JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA 2025

ISSN 0447-6441

INDEX 46 723

JEMNÁ MECHANIKA A OPTIKA

VĚDECKO-TECHNICKÝ ČASOPIS
ROČNÍK 70 5 - 6/2025

OBSAH

Přispíváme k technologickému rozvoji průmyslu a poznání v oborech fotoniky a elektroniky (P. Peterka)	107
Optické biosenzory v biologickém výzkumu a medicíně (J. Homola)	109
Mikroskopie, kde byste ji nečekali: Od titěných molekul až k záhadám vesmíru (M. Piliarik)	111
Nové směrnice k mezinárodní normě o ochraně očí a tváře před laserovým zářením (M. Miler)	114
Pozoruhodná elektřina a světlo organismů (M. Cifra)	115
Jasnější nad tisíc sluncí (P. Honzátko, I. Kašík)	120
Polovodičové nanostruktury pro zelené technologie (J. Grym)	123
Thulium vláknový laserový systém láme výkonostní rekord (M. Miler)	127
Kde se bere přesný čas? (A. Kuna)	128
Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. devadesátiletý (P. Peterka)	131
Workshop o speciálních optických vláknech WSOF 2025 pořádán spolu se sympoziem SPIE Optics + Optoelectronics v Praze měl rekordní účast (P. Palečková)	133
Měření velmi výkonných laserů: výzvy a řešení (M. Miler)	135
70 let světla v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky (P. Peterka, J. Zavadil)	136
Akustooptický deflektor: Vzpomínka na první úkol nového pracovníka (J. Čtyrky)	144
Dokumentární film o příběhu první laserové operace oka v Československu (P. Peterka)	146
ÚFE na Veletrhu vědy, největším vědeckém veletrhu v ČR (P. Palečková)	149

Bližší informace o poslání časopisu, pokyny pro autory, obsah časopisu apod. je uveden na internetu: <http://jmo.fzu.cz/>

Informace o předplatném podá, objednávky přijímá, objednávky do zahraničí vyřizuje: SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, e-mail: marcela.badurova@upol.cz.

Cena čísla 40 Kč včetně DPH

ADVISORY BOARD

Chairman: Jaromír Křepelka – Joint Lab. of Optics of Palacký Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Olomouc (Czech Rep.)

Members: Totka BAKALOVÁ – Tech. Univ., Liberec (Czech Rep.), Ondřej ČÍP – Inst. of Scientific Instruments of Czech Academy of Sciences, Brno (Czech Rep.), Alexandr DEJNEKA – Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Praha (Czech Rep.), doc. Ing. Stanislav ĎURIŠ, Ph.D., Inst. of Measurement Science Slovak Academy of Sciences, Bratislava (Slovak Rep.), Ivana GREBĚNOVÁ, Meopta - optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.); Ondřej HADERKA – Joint Lab. of Optics of Palacký Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Olomouc (Czech Rep.), Jaroslav HOPP, Meopta - optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Pavel HORŇÁK, Bratislava (Slovak Rep.), Jan HOŠEK – Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Miroslav HRABOVSKÝ – Joint Lab. of Optics of Palacký Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Olomouc (Czech Rep.), Vladimír CHLUP – Olomouc (Czech Rep.), Lubomír JASTRABÍK – Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Praha (Czech Rep.), Pavel KLENOVSKÝ – Czech Metrology Inst., Brno (Czech Rep.), Ing. Romana KOČOVÁ, Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Praha (Czech Rep.), Vojtěch KŘESÁLEK – Tomas Bata Univ. in Zlín (Czech Rep.), Lubomír KUBÍK, SPU Nitra (Slovak Rep.), Marián KUČERA, TU Zvolen (Slovak Rep.), Jan KŮR, Mesing, spol. s r.o., Brno (Czech Rep.), Martin LIBRA – Czech Univ. of Life Sciences, Praha (Czech Rep.), Miroslav LIŠKA – Tech. Univ., Brno (Czech Rep.), Zdeněk LOŠTÁK – Meopta-optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), Miroslav MILER – Inst. of Photonics and Electronics of Czech Academy of Sciences, Praha (Czech Rep.), Jiří NOVÁK – Czech Tech. Univ., Praha (Czech Rep.), Jan PEŘINA – Palacký Univ., Olomouc (Czech Rep.), Ing. Pavel PETERKA, Ph.D., Inst. of Photonics and Electronics of Czech Academy of Sciences (Czech Rep.), Sylvie PETROVÁ, Fac. of Medicine, Masaryk Univ. (Czech Rep.), Petr SCHOVÁNEK – Joint Lab. of Optics of Palacký Univ. and Inst. of Physics of Czech Academy of Sciences, Olomouc (Czech Rep.), Anton ŠTRBA – Comenius Univ., Bratislava (Slovak Rep.), Olga TŮMOVÁ, University of West Bohemia, Plzeň (Czech Rep.), Zuzana VESELÁ – Meopta - optika, s.r.o., Přerov (Czech Rep.), honorary member Ing. Zdeněk MARTÍNEK, Nové město nad Metují (Czech Rep.)

Gerd HÄUSLER, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen – Nürnberg, Erlangen (Germany); M. C. TEICH, Boston University, U. S. A.

FINE MECHANICS AND OPTICS

Published by Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences under participation of SPIE, The International Society for Optics and Photonics in the Publishing House of the Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences.

Director of Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences:

Michael PROUZA

Editor: Miroslav HRABOVSKÝ

Managing Editor: Jaromír KŘEPELKA, e-mail: jaromir.krepelka@upol.cz, tel.: 585 631 518

Office secretary: Marcela BAĎUROVÁ

Address of the Editor's office in Olomouc (subscription, publisher services): SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, Czech Republic, tel.: ++420 585 631 576, fax: ++420 585 631 531, e-mail: marcela.badurova@upol.cz
Reproduction only with permission of the Editor and under observing the copyright. The authors are responsible for originality and correctness of their contributions.

Subscription fee: Annual fee is 420 CZK. This price of subscription is the same for both Czech and Slovak Republics. Fine Mechanics and Optics journal is distributed into other countries for uniform price 10 EUR/Pcs. For members of SPIE/CS the annual subscription fee is 120 CZK. For Bc., Mgr., Ph.D. and secondary school students the subscription fee is 120 CZK per year, annual subscription including postage is 300 CZK.

Printing: TYPoServis Holešov, Masarykova 650, CZ-769 01 Holešov, tel.: ++420 602 767 424, e-mail: tiskarna@typoservis.cz

Advertising: e-mail: marcela.badurova@upol.cz
Papers are reviewed. <https://jmo.fzu.cz>

© FINE MECHANICS AND OPTICS 2025
ISSN 0447-6441
INDEX 46 723

FINE MECHANICS AND OPTICS

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL
VOLUME 70 5 - 6/2025

CONTENTS

We contribute to the technological progress of industry and knowledge in the fields of photonics and electronics (P. Peterka).....	107
Optical biosensors in biological research and medicine (J. Homola).....	109
Microscopy where you wouldn't expect it: From tiny molecules to the mysteries of the universe (M. Piliarik).....	111
New guidance on the international standards of eye and face protection against laser radiation (M. Miler).....	114
The remarkable electricity and light of organisms (M. Cifra).....	115
Brighter than a thousand Suns (P. Honzátko, I. Kašík).....	120
Semiconductor nanostructures for green technologies (J. Grym).....	123
Thulium fiber laser system shatters performance record (M. Miler).....	127
Where does one get the exact time? (A. Kuna).....	128
Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. ninety years old (P. Peterka).....	131
The Workshop on Specialty Optical Fibers 2025, held together with the symposium SPIE Optics + Optoelectronics in Prague, attracted record attendance (P. Palečková).....	133
High power laser measurement: Challenges and solutions (M. Miler).....	135
70 years of light at the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences (P. Peterka, J. Zavadil).....	136
Acousto-optic deflector: A memory of a new employee's first task (J. Čtyrky).....	144
Documentary film about the story of the first laser eye surgery in Czechoslovakia (P. Peterka).....	146
ÚFE at the Science Fair, the largest scientific fair in the Czech Republic (P. Palečková).....	149

For further information about the journal intention, instructions for authors, contents etc. please refer to <http://jmo.fzu.cz/>

Information on subscription rate and on ordering gives the SLO UP a FZÚ AV ČR, 17. listopadu 50, 772 07 Olomouc, tel.: 585 631 576, e-mail: marcela.badurova@upol.cz.

Price for single copy: 40 Kč incl. VAT

Prispíváme k technologickému rozvoji průmyslu a poznání v oborech fotoniky a elektroniky

We contribute to the technological progress of industry and knowledge in the fields of photonics and electronics

Hlavní poslání Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, který si v roce 2025 připomíná 70 let od svého založení, je aplikovaný a základní výzkum v oborech fotonika a elektronika. Čtenářům časopisu Jemná mechanika a optika nabízíme malou ochutnávku toho, na čem v současnosti šest výzkumných týmů ústavu pracuje.

The main mission of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences (ÚFE CAS), which celebrates in 2025 its 70th anniversary since its foundation, is applied and basic research in the fields of photonics and electronics. We offer readers of the journal Fine Mechanics and Optics a small taste of what the six research teams of the institute are currently working on.

Nejprve chci poděkovat redakci časopisu JMO, že nám umožnila věnovat toto dvojčíslo výzkumu ÚFE a že můžeme publikovat články ve dvoujazyčné verzi, protože pro velkou skupinu zájemců o výsledky naší práce, návštěvníků ÚFE a dokonce i našich pracovníků je přístupnější anglická verze. Připojíme i několik dalších aktualit ze života ÚFE a stručný přehled bohaté historie ústavu, už zde si připomeňme aspoň první laserovou operaci oční sítnice nebo celosvětově rozšířenou metodu distribuce přesného času pomocí televizního signálu. Přispěli jsme k pochopení, rozvoji a využití analytické metody SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy), vybudování technologické základny průmyslu pro optické vláknové komunikace a k mnohemu dalšímu.

Hlavní část čísla tvoří současný stav výzkumu ústavu. Práci týmu *Optických biosenzorů* představuje v rozhovoru **Jiří Homola**, držitel ocenění Česká hlava a dalších ocenění. Tým je součástí distribuovaného *Národního ústavu pro výzkum rakoviny* (NÚVR) a jsme rádi, že takto můžeme přispívat k rozvoji našeho zdravotnictví. **Michal Cifra** v odlehčené formě sci-fi příběhu představuje výzkum týmu *Bioelektrodynamiky*, který provádí v rámci projektu EXPRO Grantové agentury ČR. Trojici biofotonických týmů uzavírá **Marek Piliarik**, který s týmem *Nanooptiky* posouvá hranici poznání v optické mikroskopii a jejího prostorového rozlišení. Tým úspěšně patentoval technologie pro modulaci optické vlnoplochy, které nacházejí praktické využití nejen ve studiu mikrosvěta, ale jsou slibné i pro vesmírné teleskopy.

Pavel Honzátko a **Ivan Kašík** v článku „Jasnější nad tisíc Slunci“ společně představují dva příklady výzkumu týmu *Vláknových laserů a nelineární optiky*: aktivní vlákna pro vláknové lasery a optická vlákna se vzduchovým jádrem. Více než tři desetiletí

First of all, I would like to thank the editors of the journal for allowing us to dedicate this issue to the research of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences (ÚFE CAS) and for allowing us to publish the articles in a bilingual version, because for a large group of people interested in the results of our research, to many ÚFE visitors and even to many of our co-workers, the English version is more accessible. We will also add a few news from ÚFE and a brief overview of the rich history of the Institute, here I would like to mention at least the first laser surgery of the retina or the worldwide-used method of distribution of precise time by means of a television signal; also, we have contributed to the understanding, development and use of the analytical method SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy), to building the technology foundry for the fiber optic communications industry and much more.

The main part of this JMO issue is devoted to our present research: The work of the *Optical biosensors* team will be presented in an interview with **Jiří Homola**, the recipient of the Czech Head award and other prestigious awards. The team is part of the distributed *National Institute for Cancer Research* (NICR) and we are happy to be able to contribute to the development of Czech healthcare in this way. **Michal Cifra**, in a light-hearted form of a sci-fi story, will present the research of the *Bioelectrodynamics* team, which is carried out within the EXPRO project of the Czech Science Foundation. The trio of biophotonics teams is completed by **Marek Piliarik**, who is pushing the frontier of knowledge in optical microscopy and its spatial resolution with the *Nano-optics* team. The team has successfully patented technologies for modulation of optical wavefronts that find practical applications not only in



Doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D. (*1970) studoval na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské (Ing., 1993) a Fakultě elektrotechnické (Ph.D., 2000) ČVUT v Praze. Na postdoktorálním pobytu na Univerzitě v Nice ve Francii začal s vývojem optických vláken s příměsí thulia určených pro lasery a zesilovače, v ÚFE pracuje od r. 1993, jejím ředitelem je od roku 2021. Vyučuje vláknové lasery na JFPI ČVUT, kde v roce 2020 obhájil habilitační práci. Kontakt: peterka@ufe.cz

Doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D. (*1970) graduated at the Faculty of Nuclear and Physical Engineering (Ing., 1993) and Faculty of Electrical Engineering (Ph.D., 2000) of the Czech Technical University in Prague. During his postdoctoral fellowship at the University of Nice, France, he started research of thulium-doped fibers for fiber lasers and amplifiers. He has been working at the ÚFE since 1993 and has been the director since 2021. He teaches fiber lasers at the Czech Technical University, where he defended his habilitation thesis in 2020. Contact: peterka@ufe.cz

rozvíjíme velkou infrastrukturu pro výzkum vláknových laserů a technologie optických vláken. Špičkovou úroveň našeho výzkumu potvrzuje i naše práce v evropských projektech zaměřených na vývoj laserů s vysokým výkonem pro zbraně se směřovanou energií. Tým také vede konsorcium velkého projektu LasApp spolufinancovaného EU, jehož cílem je rozvoj centra vědecké excelence a kompetence v laserové technice se zaměřením na vláknové a tenkodiskové lasery a jejich potenciální aplikace. **Jan Grym** z týmu *Přípravy a charakterizace nanomateriálů* vysvětluje projekt vývoje senzorů pro detekci vodíku a oxidu uhelnatého v energetice a automobilovém průmyslu, který financuje Technologická agentura ČR. **Alexander Kuna** je autorem příspěvku o práci specializované laboratoře, která spravuje infrastrukturu Státního etalonu času a frekvence, a je přidruženou laboratoří Českého metrologického institutu. V komiksovém příběhu představí začátek celosvětového úspěchu přijímače přesného času GTR a jeho roli při objasnění záhady neutrin „rychlejších než světlo“ při experimentu v CERN.

Věřím, že každý z vás si vybere z naší nabídky něco zajímavého a těšíme se, že využijete příležitosti poznat náš výzkum a setkat se s vědci z ÚFE osobně, třeba na každoročních akcích Dnů otevřených dveří v rámci Týdne Akademie věd začátkem listopadu nebo na Veletrhu vědy začátkem června.

the study of the microworld but are also promising for telescopes for space observations.

Pavel Honzátko and **Ivan Kašík** jointly present two examples of the research of the team of *Fiber lasers and nonlinear optics* in the article “Brighter than a thousand suns”: they present two examples of their research: active fibers for fiber lasers and hollow-core optical fibers. For more than three decades, we have been developing a large infrastructure for research of fiber lasers and optical fiber technology. The excellence of our research is confirmed by our work in European projects aimed at the development of high-power lasers for directed energy weapons. The team also leads the consortium of the large EU co-funded LasApp project, which aims to foster a center of scientific excellence and competence in laser technology with a focus on fiber lasers and thin-disc lasers and their potential applications. **Jan Grym**, from the team of *Synthesis and characterization of nanomaterials*, explains the project to develop sensors for the detection of hydrogen and carbon monoxide in the energy and automotive industries; the project is funded by the Technology Agency of the Czech Republic. **Alexander Kuna** is the author of a paper about the scope of a specialized laboratory that operates the infrastructure of the Laboratory of the National Time and Frequency Standard, an affiliated laboratory of the Czech Metrology Institute. In a comics, he presents the story of the worldwide success of the GTR precision time receiver and its role in solving the mystery of “faster-than-light” neutrinos in an experiment at CERN.

I hope that you will find something interesting from our offer in this JMO issue, and we look forward to the opportunity to show you our research in person, for example you can meet ÚFE scientists at the annual Open-Door Days during the Week of the Academy of Sciences in early November or at the Science Fair in early June.



Fotografie areálu Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR, v.v.i. Foto: Ing. Jan Pokorný.

Photo of the campus of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences. Photo: Ing. Jan Pokorný.

Optické biosenzory v biologickém výzkumu i medicíně

Optical biosensors in biological research and medicine

Vývoj optických biosenzorů není možný bez spolupráce vědeckých oborů od fotoniky po biologii. Podrobněji o nich mluví Jiří Homola, který tento program vede.

The development of optical biosensors is not possible without collaboration across scientific disciplines, from physics through chemistry to biology. Jiří Homola, who leads the research team, talks about optical biosensors in detail.

„Optické biosenzory s povrchovými plazmony“ – to zní pro laika téměř magicky. Jak si je máme představit? – Tyto senzory, detekující biomolekuly (ale třeba i větší objekty, jako jsou buňky), fungují na principu měření změn indexu lomu vyvolaných zachytem biomolekul na povrchu senzoru. Povrchové plazmony jsou, zjednodušeně řečeno, speciální elektromagnetické vlny šířící se na rozhraní kovu a dielektrika, které umožňují soustředit elektromagnetické pole do extrémně malých oblastí srovnatelných s velikostí biomolekul. Zachycení „správné“ biomolekuly zajišťují tzv. funkční vrstvy obsahující speciální molekuly (receptory), které jsou schopné detekovanou látku (analyt) rozpoznat a zachytit. A to i v prostředích, která obsahují velké množství dalších molekul v koncentracích výrazně převyšujících koncentraci analytu. Výhodou těchto biosenzorů je, že nepotřebují, aby detekované molekuly vykazovaly nějaké speciální vlastnosti, např. fluorescence, specifické absorpční či rozptylové vlastnosti.

Jak jste se k tématu optických biosenzorů dostali?

– Počátkem devadesátých let 20. století, kdy optické biosenzory získávaly ve světě na popularitě, jsme využili našich zkušeností z optických měřicích metod a vlnovodné optiky a začali jsme se této problematice věnovat. Do týmu se postupně zapojili odborníci z různých oborů od chemie přes biologii po medicínu, abychom pokryli všechny důležité aspekty výzkumu včetně potenciálních aplikací. Tento multidisciplinární přístup, kterého se držíme dodnes, byl svou šíří neobvyklý nejen v České republice, ale i v zahraničí. Významnými partnery v této spolupráci jsou Ústav makromolekulární chemie AV ČR a Ústav hematologie a krevní transfuze.

Jaké výzkumné otázky řešíte? –

Zabýváme se výzkumem optických struktur a nanostruktur, vývojem optických měřicích systémů, mikrofluidních zařízení a funkčních vrstev. Věnujeme se i vývoji konkrétních postupů pro biosenzorickou detekci biologických a chemických látek v extrémně nízkých koncentracích a komplexních biologických vzorcích. Důležitým cílem je optimální rozložení elektromagnetického pole povrchového plazmonu s ohledem na charakteristické rozměry detekovaných biomolekul. Biosenzory lze díky tomu upravit pro detekci různých biologických látek a dosáhnout vysoké citli-

“Optical biosensors with surface plasmons” – that sounds almost magical to the layman. How should we imagine them?

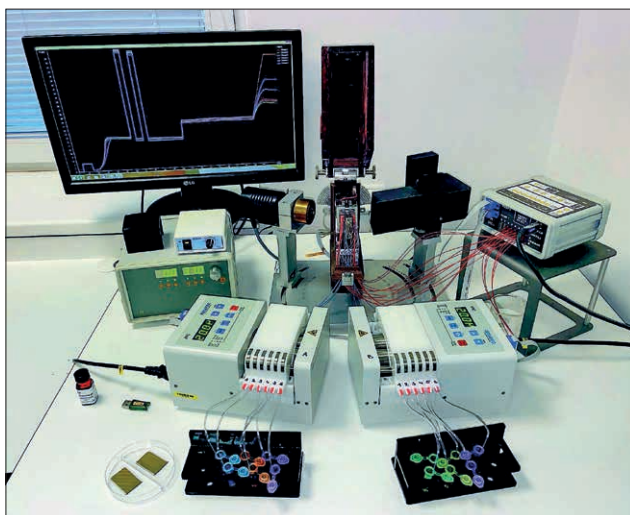
– These sensors, which can detect biomolecules (but also larger objects such as cells), work on the principle of measuring changes in refractive index caused by the capture of biomolecules on the sensor surface. Surface plasmons are, in simple terms, special electromagnetic waves propagating at the interface between a metal and a dielectric that allow the electromagnetic field to be concentrated in extremely small areas comparable to the size of biomolecules. The capture of the “right” biomolecule is ensured by the so-called functional coatings containing special molecules (receptors) that are able to recognize and capture the detected molecules (analyte), which are typically present at low concentrations in biological samples that are complex and contain a broad variety of other molecules. The key advantage of such biosensors is that they do not require the detected molecules to exhibit any special properties (e.g. fluorescence, absorption or scattering properties).

How did you get into the topic of optical biosensors?

– At the beginning of the 1990s, when optical biosensors were gaining popularity in the world, we used our experience in optical measurement methods and waveguide optics and initiated research in this area. Experts from various disciplines, from physics and chemistry to biology, have joined forces to address all important aspects of biosensor research and applications. Our multidisciplinary approach was unusual in its breadth not only in the Czech Republic but also internationally. For many years, important partners in this research venture have been the Institute of Macromolecular Chemistry of the CAS and the Institute of Hematology and Blood Transfusion.

What research questions

are you dealing with? – We are pursuing research on optical structures and nanostructures, the development of optical measurement systems, microfluidic devices, and functional coatings. We are also developing specific methodologies for the biosensor-based detection of biological and chemical substances present at extremely low concentrations in complex biological samples. In plasmonic biosensors, the distribution of the electromagnetic field of the surface plasmon can be tailored to match



Obr. 1 Laboratorní optický biosenzor vyvinutý v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky.

Fig. 1 A laboratory prototype of the optical biosensor developed at the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences.

vosti. Pro detekci velkých objektů, jako jsou třeba bakterie, jsou to tzv. povrchové plazmony s dalekým dosahem buzené na velmi tenkých kovových vrstvách; naopak pro detekci malých molekul jsou vhodnější lokalizované povrchové plazmony buzené na speciálních kovových nanostrukturách.

Kde se takové biosenzory v praxi uplatňují? – Námi vyvinuté laboratorní systémy využívá řada výzkumných pracovišť v ČR i v zahraničí ve výzkumu biomolekul a jejich interakcí. Uplatnit se mohou i ve výzkumu a diagnostice nemocí, při monitorování životního prostředí nebo kontrole bezpečnosti potravin. Věnovali jsme se i miniaturizaci pro potenciální využití v terénu. Zúročili jsme zkušenosti z výzkumu plazmonických biosenzorů založených na difrakčních strukturách, které vedly ke vzniku nových kompaktních biosenzorů pro detekci patogenů v mléce (projekt EU Pathomilk) či biomarkerů rakoviny tlustého střeva (projekt EU Ultraplacad).

Zmínili jste výzkum a diagnostiku nemocí. Kterých, kromě už zmíněných karcinomů tlustého střeva? – Například myelodysplastického syndromu (MDS), který často přechází do akutní myeloidní leukémie. Vyvinuli jsme extrémně citlivou analytickou metodu, kterou jsme ve spolupráci s ÚHKÚ úspěšně použili pro detekci potenciálních biomarkerů MDS. Na rozdíl od standardní metody založené na PCR odhalí přítomnost charakteristických mikroRNA přímo ve vzorku krevní plazmy bez složitých přípravných kroků. Místo standardního přístupu, kdy se zachycená mikroRNA dále zviditelňuje pomocí zlatých nanočástic, jsme použili obrácený postup – tyto nanočástice jsme kontrolovaně uvolňovali. Potlačili jsme tak efekt vnitřních nespecifických interakcí s biomolekulami obsaženými v krevní plazmě a dosáhli jsme stonásobně vyšší citlivosti.

Dále jsme se ve spolupráci s Národním ústavem duševního zdraví věnovali výzkumu Alzheimerovy choroby. Studovali jsme mechanismus jejího vzniku, jako první jsme prokázali interakci dvou specifických proteinů a vyvinuli jsme citlivou metodu pro detekci komplexu tau-amyloid b v mozkomíšním moku, což by mohl být nový biomarker pro včasnou diagnostiku této nemoci.

Na co se chcete zaměřit do budoucna? – Rádi bychom dále rozvíjeli výzkum plazmonických biosenzorů pro studium buněk a buněčných procesů. Velkou perspektivu vidíme také v analýze exozomů a molekul v nich obsažených, které mohou sloužit jako biomarkery neurodegenerativních a nádorových onemocnění.

the characteristic dimensions of the detected objects, making plasmonic biosensors a powerful platform for the detection of a variety of biological substances. For the detection of large objects, such as bacteria, these are so-called long-range surface plasmons excited on very thin metal layers; in contrast, for the detection of small molecules, localized surface plasmons excited on special metal nanostructures are more suitable.

Where are such biosensors applied in practice? – The laboratory systems developed by us are used by many research institutes in the Czech Republic and abroad in the research of biomolecules and their interactions. They can also be used in molecular medicine, environmental monitoring, and food safety. We have also focused on the miniaturization of plasmonic biosensors for their potential use in the field. We have developed novel types of plasmonic biosensors based on diffractive structures, leading to new compact biosensors for the detection of pathogens in milk (EU Pathomilk project) or biomarkers of colon cancer (EU Ultraplacad project).

You mentioned research and disease diagnosis. Which ones – apart from the colon cancer already mentioned? – For example, myelodysplastic syndromes (MDS), a heterogeneous group of disorders, that often progress to acute myeloid leukemia. We have developed an extremely sensitive biosensor-based analytical method, and, in collaboration with the Institute of Hematology and Blood Transfusion, applied it for the detection of potential biomarkers of MDS. Unlike the conventional PCR-based method, our method detects the presence of characteristic microRNAs directly in blood plasma without the need for complex sample preparation steps. While previous biosensor-based approaches used functional gold nanoparticles to enhance the sensor response to the previously captured microRNAs, we took a reverse approach – detected the gold nanoparticles released in a controlled manner. Through this approach, we substantially reduced the effect of non-specific interactions between the biomolecules present in blood plasma and the sensor surface and thus achieved a 100-fold improvement in the sensor sensitivity.

Furthermore, in collaboration with the National Institute of Mental Health, we have been researching Alzheimer's disease. We studied the molecular mechanism of the disease and developed a sensitive method for the detection of the complex of tau protein and amyloid beta in cerebrospinal fluid, which has the potential to serve as a biomarker for early diagnosis of this disease.

What do you want to focus on in the future? – We would like to further advance research on plasmonic biosensors and expand it for the study of cells and cellular processes. Moreover, we are excited about the potential of plasmonic biosensor systems for the analysis of exosomes and the biomolecules they contain, which can serve as biomarkers for neurodegenerative diseases and cancer.



Prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc., (*1965) vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze. Aspiranturu absolvoval na Akademii věd České republiky, kde následně získal i titul DSc. Je profesorem fyziky na Univerzitě Karlově. Na Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky vede výzkumný tým optické biosenzory. Obdržel mimo jiné ocenění Česká hlava, je členem Učené společnosti České republiky a Fellow of SPIE. Kontakt: homola@ufe.cz

Prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc., (*1965) graduated from the Faculty of Nuclear and Physical Engineering of the Czech Technical University in Prague. He completed his postgraduate studies at the Czech Academy of Sciences, where he subsequently received the DSc degree. He is a professor of physics at Charles University. At the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences he leads the optical biosensors research team. He has received, among other awards, the Czech Head award, is a member of the Learned Society of the Czech Republic and a Fellow of SPIE. Contact: homola@ufe.cz

Mikroskopie, kde byste ji nečekali: Od titěrných molekul až k záhadám vesmíru

Microscopy where you wouldn't expect it: From tiny molecules to the mysteries of the universe

Vidět na vlastní oči je od nepaměti jedním z klíčů k pochopení záhad přírody a světa kolem nás. Uvěřit, že lidské tělo se skládá z jednotlivých buněk ne nepodobných těm, které tvoří třeba žížalu, vyžaduje obrovskou míru představivosti a důvěry. Až do té doby, než je poprvé uvidíte, třeba v mikroskopu. Představa, že každá taková buňka žije vlastní život, pracuje, dělí se a všechno to řídí kaskáda zdánlivě náhodných pohybů jakýchsi molekul, zní naprosto bláznivě až do okamžiku, kdy tyto pohyby můžeme pozorovat. Otázka, jestli i kolem ostatních hvězd obíhají planety, trápila lidstvo od doby, kdy pochopilo, že na jedné takové planetě sedí, až do chvíle, kdy tyto planety dokázalo vidět. Protože vidět znamená uvěřit.

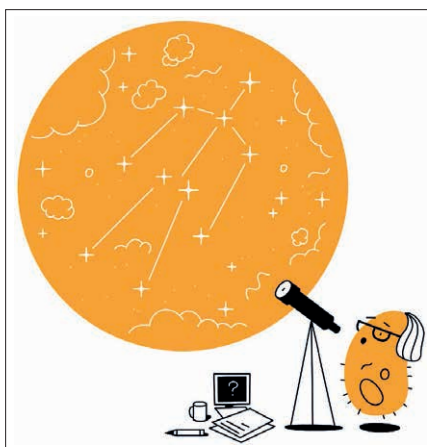
Seeing with our own eyes has always been one of the keys to understanding the mysteries of nature and the world around us. To believe that the human body is made up of individual cells not dissimilar to those that make up, say, an earthworm, requires a tremendous amount of imagination and trust. Until you see them for the first time, perhaps in a microscope. The idea that each such cell has a life of its own, working, dividing, and all governed by a cascade of seemingly random movements of molecules sounds absolutely crazy, until we can observe these movements. The question of whether there are planets orbiting other stars has plagued mankind from the time it realised it was sitting on one until it could see them. Because seeing is believing.

Mikroskopii lze označit za matku přírodních věd, která od sklonku 16. století, kdy otec a syn Janssenovi sestavili první mikroskop, pomáhá rozkrývat nevidané kolem nás. Je až neuvěřitelné, čím si tento výzkumný obor prošel a s jakou vervou drží dynamiku průlomových objevů už přes čtyři sta let. Již v 17. století Anton van Leeuwenhoek pomocí svých mikroskopů pochopil složení krve a jako první pozoroval nejmenší živé organismy, kterým dnes říkáme bakterie, jako rozmazané pohyblivé tečky. Na konci století 19. bylo jasno. Ernst Abbe ukázal, že optická mikroskopie neumožňuje zobrazit menší detaily, než je přibližně polovina vlnové délky světla. V zásadě tím potvrdil, že o moc lepší než v té době 200 let staré pozorování van Leeuwenhoeka to nikdy nebude. Hotovo, jedna uzavřená vědní disciplína, ve které lidstvo poznalo už vše, co poznat šlo. Jenomže vědci milují, když se řekne, že něco nejde. Následovala smršť objevů a Nobelových cen. Namátkou uvedme zobrazování průhledných vzorků, elektronovou mikroskopii, konfokální mikroskopii, tunelovací mikroskop, laserový rastrovací mikroskop, fluorescenční mikroskop, superrozlišovací mikroskopii, fluorescenční proteiny nebo kryogenní elektronovou mikroskopii. Některé z těchto metod nám umožnily pozorovat strukturu hmoty až na úroveň rozložení jednotlivých atomů. Dlužno podotknout, strukturu obvykle zcela mrtvé hmoty, často zmražené a usazené ve vakuu. Pokud chceme vidět, jak děje fungují a jak do sebe zapadají ozubená kolečka jednotlivých přírodních procesů, obzvláště v živých organismech, omezujeme se obvykle na nedestruktivní pozorování, které zachovává přirozené vlastnosti pozorovaného vzorku. A přesně tuto oblast pozorování v mikroskopii zaujímá mikroskopie optická, tedy využívající běžné,

Microscopy can be described as the mother of the natural sciences, helping to reveal the unseen around us since the late 16th century, when Janssen and his son built the first microscope. It is incredible what this field of research has been through and the vigour with which it has kept up the momentum of breakthrough discoveries for over four hundred years. As early as the 17th century, Anton van Leeuwenhoek used his microscope to understand the composition of blood and was the first to observe the smallest living organisms, which we now call bacteria, as

fuzzy moving dots. By the end of the 19th century, it became clear. Ernst Abbe showed that optical microscopy made it impossible to see details smaller than about half the wavelength of light. He basically confirmed that it could never be much better than van Leeuwenhoek's then 200-year-old. From this point, with finite limits, mankind has seen all there is to see. But scientists love to be told that something can't be done and then figure out how. A flurry of discoveries and Nobel Prizes followed. From imaging of transparent samples to electron microscopy, confocal microscopy, tunnelling microscopy, laser scanning microscopy, fluorescence microscopy, super-resolution microscopy, fluorescent proteins and cryogenic electron microscopy. Some of these methods have allowed us to observe the structure of matter down to the level of the distribution of individual atoms. It should be noted, they are restricted to usually completely dead matter,

often frozen and deposited in a vacuum. If we want to see how processes work and how the cogs of individual natural processes fit together, especially in living organisms, we usually must limit ourselves to non-destructive observations that preserve the natural



Obr. 1 Dalekohled je v podstatě jen mikroskop pro galaxie.

Fig. 1 A telescope is basically just a microscope for galaxies.

obvykle viditelné světlo, a v té pořad Abbeho limit omezuje obraz malých bakterií na rozmazané pohyblivé tečky.

Podívejme se podrobněji, co to znamená, když něco vidíme, ať už s mikroskopem nebo bez něj. Když světlo dopadne na pozorovaný vzorek, mohou nastat tři události: světlo se může odrazit jiným směrem (říkáme tomu rozptýl), může být pohlceno (neboli absorbováno) a může se vyžářit. A to je vše. Po stovky let badatelé spoléhali na dva z těchto procesů – absorpci a rozptýl. Tedy buďto pozorovali potměný stín v proslém světle, nebo jakési kontrastnější prozáření z důvodu rozptýleného světla. Až na konci 20. století se ke slovu dostala fluorescenční mikroskopie, tedy mikroskopie pozorující světlo ze vzorku vyžárené. To není samo sebou. Málokteré vzorky samy od sebe svítí. Svítí některé medúzy, ale většina našich čtenářů zcela jistě nesvítí, nebo svítí jen velmi málo (viz článek Michala Cifry „Pozoruhodná elektřina a světlo organismů“ v tomto čísle JMO). Proto se ke vzorku zpravidla musí přidat malé množství fluoroforů, svítících látek, které vzorek označí, a někdy se dají takové svítící molekuly dokonce vypěstovat přímo ve vzorku. Fluorescenční mikroskopie přinesla zásadní zjednodušení v tom, že se přestáváte dívat na vzorek v jeho nepřehledné složitosti, ale svítící značkou označíte pouze tu část, kterou chcete pozorovat a pochopit. Avšak ani tento svítící fluorescenční obraz v jakkoli dobrém mikroskopu neukázal svět v ostřejším detailu. Rozklíčování složité mašinerie molekulárních procesů, která žene naše životy kupředu, tak zůstávalo v nedohlednu.

Erwin Schrödinger, jeden z velikanů kvantové fyziky, byl ještě v roce 1952 skálopevně přesvědčen, že nikdy nebudeme experimentovat s objekty velikosti jedné molekuly či dokonce atomu, že tento koncept je čistě doménou myšlenkových pokusů. Už jsem zmínil, že vědci milují, když se řekne, že něco nejde. A tak v roce 1989 americký vědec W. E. Moerner, pozdější nositel Nobelovy ceny, publikoval stať o optickém zobrazení jednotlivých fluorescenčních molekul. Když se následně podařilo tyto fluorescenční molekuly rozblíkat a navíc zobrazit v živých buňkách, nemluvilo se dalších dvacet let v optické mikroskopii skoro o ničem jiném než o superrozlišovací mikroskopii. Problém optického rozlišení omezeného Abbeho difrakčním limitem tkví v tom, že když vidíte v mikroskopu rozmazaný flek velikosti poloviny vlnové délky, nevíte, na jak velký objekt se díváte ani jaký má tvar. Ale pokud víte, že se díváte na jednu jedinou malou molekulu a můžete ji považovat za jednu jedinou svítící tečku někde uprostřed toho rozmazaného fleku, pak z těchto postupně zobrazených teček můžete sestavit celý obraz vzorku v mnohem vyšším detailu, než přímo v mikroskopu vidíte. Superrozlišovací mikroskopie je jednoduše fenomenální počín, jednoduchý, snadno pochopitelný, zdánlivě popírající základní principy fyziky a ukazující uchvatné detaily života kolem nás. Prostě sexy. Pro lidstvo to bylo, jako když dítě poprvé vezme do ruky lupu a zjistí, že mravenec má kusadla.

A tak si vědci postupně zvykli na to, že musejí pečlivě volit, co si ve svém vzorku označují a co budou ve vysokém detailu studovat. Dávají si tím sice na oči klapky, přes které nevidí celou složitost pozorovaných dějů, a to, co neoznačí, v obrázku prostě není, ale bez fluorescenčních značek se superrozlišovací mikroskopie přece dělat nedá, že?

Takže se zdálo, že opět „něco nejde“. Že ne? Když jsem před více než deseti lety poprvé na konferenci ukazoval data zobrazující jednotlivé molekuly proteinů bez použití fluorescenčních nebo jakýchkoli jiných značek, vzbudilo to poprask. V podstatě mi nikdo nevěřil, alespoň z těch, co se odvážili ozvat. Byl to zvláštní pocit zadostiučinění, být jediným člověkem na světě, který věděl, že to jde, a uměl to postavit. Dnes už tomu věří, dokonce si takový přístroj může kdokoli koupit a spočítat si molekuly ve svém vzorku jednu po druhé. Experiment, který mně trval tři roky, může udělat za deset minut.

Zobrazení jediné molekuly biologické hmoty byl nepochybně průlom. Ale na příkladu prvního zobrazení fluorescenční molekuly jsem zmínil, že pro revoluci v optické mikroskopii byly potřeba

properties of the observed sample. And it is precisely this area of observation that microscopy is in, usually using ordinary visible light, where Abbe's limit still reduces the image of small bacteria to blurred moving dots, that optical microscopy shines.

Let's take a closer look at what it means when we see something, with and without a microscope. When light hits a specimen, the thing we want to look at, three things can happen: the light can be reflected in a different direction (we call this scattering), it can be absorbed, or it can pass through. And that's it. For hundreds of years, researchers have relied on two of these processes - absorption and scattering. Thus, they have either observed a darkened shadow in transmitted light, or a kind of contrasting brightening due to scattered light. It wasn't until the late 20th century that fluorescence microscopy, which is microscopy that looks at light emitted from a sample, came into its own. This is not self-evident. Few samples glow by themselves. Some jellyfish glow, but most of our readers certainly do not glow, or glow very little. Therefore, small amounts of glowing substances, fluorophores, must usually be added to the sample to label it, and sometimes such glowing molecules can even be grown directly in the sample. Fluorescence microscopy has brought about a major simplification in that you stop looking at the sample in its myriad complexity, but mark with a glowing point only the part you want to observe and understand. However, even this glowing, fluorescent image in any good microscope could not show the world in sharp detail. Thus, unravelling the full complex machinery of molecular processes that drives our lives forward remained elusive.

One of the world's great physicists, Erwin Schrödinger, was still firmly convinced in 1952 that we would never experiment with objects such as a single molecule or atom, that the concept was purely the domain of thought experiments. I have already mentioned that scientists love to be told that something can't be done. Thus, in 1989, the American scientist W. E. Moerner, later a Nobel Prize winner, published a paper on the optical imaging of single fluorescent molecules. When these fluorescent molecules could subsequently be made to shimmer and, moreover, imaged in living cells, for the next twenty years optical microscopy was almost nothing but super-resolution microscopy. The problem with optical resolution limited by Abbe's diffraction limit is that when you see a blurry spot half the size of a wavelength in a microscope, you don't know how big an object you are looking at or what shape it is. But if you know that you are looking at a single small molecule and you can think of it as a single luminous dot somewhere in the middle of that blurry spot, then you can construct a whole picture of the sample from those successive dots in much higher detail than you can see directly in the microscope. Super-resolution microscopy is quite simply a phenomenal feat, simple, easy to understand, seemingly defying the basic principles of physics and showing the amazing details of life around us. Simply sexy. For humanity, it was like a child picking up a magnifying glass for the first time and discovering that an ant has tentacles.

Scientists have gradually become accustomed to having to choose carefully what to mark in their sample and what to study in high detail. They put selective blinders on their eyes, through which they cannot see the complexity of the observed processes, and what they do not label is simply not in the picture, but you can't do super-resolution microscopy without fluorescent labels, can you?

So, it seemed that once again "something was wrong". Wasn't it? When I first showed data at a conference over a decade ago showing individual protein molecules without using fluorescent or any other markers, it caused a stir. Virtually no one believed me, at least of those who dared to speak up. It was a strange sense of satisfaction to be the only person in the world who knew it could be done and how to do it. Nowadays they believe it, anyone can buy such a machine and count the molecules in their sample one by one. An experiment that took me three years, can now be done by anyone in ten minutes.

ještě minimálně další dvě věci – ty molekuly rozbíkat a zobrazit v živé buňce. To první se nám podařilo až po mém návratu do Čech v našem malém výzkumném týmu v Ústavu fotoniky a elektroniky. Všimli jsme si, že je užitečné dívat se na změny pozorovaných molekul, když dělají něco zajímavého, třeba když se na chvíli zastaví, aby provedly svou oblíbenou chemickou reakci. Díváte-li se na tisíce volně proplovajících molekul, tak tím, jak jsou všechny trochu pohybem rozmazané, splynou v dokonale hladký a neměnný obraz. Jakmile se ale jedna z těch molekul zastaví, obraz se malinko změní. Ne moc, ale porovnáte-li obraz před zastavením a po zastavení, můžete si na okamžik všimnout změny. Říkejme tomu bliknutí. To bliknutí vychází z jednoho bodu a je přesně tam, kde se něco děje. A protože chemické reakce neprobíhají všechny najednou, ale v náhodném sledu jedna po druhé, můžeme s dostatečnou rychlostí snímání zachytit skoro všechny tyto změny. Tohle už ale není žádné šolichání, tady jsme se od populárně-historického úvodu dostali k tvrdé vědě na hranici dnešního poznání, vědě plné nezdaru a občasných zázračných pozorování, prozření a dlouhých odboček.

Pozorovat mašinerii všech jednotlivých molekul v tak komplikované soustavě, jakou je živá buňka, nám pravděpodobně ještě chvíli potrvá. Jednak proto, že těch molekul může být opravdu hodně, a pak všechny ty jednotlivé chemické reakce probíhají až tisíckrát rychleji, než jsme zatím schopni zaznamenat. Ale dobrá zpráva je, že jsme dosud nenarazili na žádné principiální omezení, kde by nám příroda zakazovala náš vysněný experiment udělat. Omezení jsou technická, elektronika je pomalá, vzorek se přehřívá a tak podobně. Ve vědě jsou ovšem technická omezení výzvou k řešení a obvykle se prací a zkušeností dají překonat.

Zajímavým příkladem je naše hledání třetího rozměru. Zatímco náš svět je třírozměrný, obrázek z mikroskopu je zpravidla placatý. Mikroskopie dnes už zná postupy, jak zaznamenat celou hloubku

mikroskopické scény, jenom v našich mikroskopech bylo využití těchto obvyklých postupů komplikovanější. Zatímco obrazovou informaci v mikroskopu lze zachytit jako rozložení intenzity světla kamerou, ten třetí rozměr pozorovaného vzorku je promítnut do tvaru vlnoplochy (obvykle mluvíme o fázi světelné vlny). Tu sice není jednoduché změřit, ale lze ji měnit, ovlivňovat fázovými modulátory. Prostorové fázové modulátory se používají například v astronomii. Světlo ze vzdálené hvězdy k Zemi doputuje zpravidla jako dokonalá rovinná vlna, jejíž vlnoplocha nevykazuje prakticky žádné zakřivení. To se ale změní průchodem atmosférou a fázové modulátory umožňují tyto změny opravit. Problém byl v tom, že dostupné fázové modulátory pro náš mikroskop nebyly ani zdaleka dostatečně rychlé, ani stabilní, a museli jsme pro svá měření vyvinout modulátory zcela nové. Ukazuje se, že tyto nové modulátory fáze by mohly s výhodou najít uplatnění nejenom v našich extrémně citlivých mikroskopech, ale mohly by se vydat i zpátky ke kořenům a vylepšit astronomické dalekohledy budoucnosti. Protože fyzika je jenom jedna a dalekohled je v podstatě jenom takový mikroskop na galaxie.

The imaging of a single molecule of biological matter was undoubtedly a breakthrough. But, using the example of the first imaging of a fluorescent molecule, I mentioned that at least two more things were needed to revolutionize optical microscopy - to make those molecules flash and to image them in a living cell. The first one we managed to do only after my return to the Czech Republic, here in our small research team at the Institute of Photonics and Electronics. We noticed that it was useful to look at the changes in the molecules we observed when they were doing something interesting, like stopping for a moment to do their favourite chemical reaction. If you're looking at thousands of molecules floating around freely, the way they're all blurred by a little bit of motion blends into a perfectly smooth and unchanging picture. But as soon as one of those molecules stops, the picture changes a little. Not much, but if you compare the image before and after the stop, you may notice a change for a moment. Call it a flicker. The flicker is coming from one point and it's exactly where something is happening. And because the chemical reactions don't happen all at once, but randomly one after the other, we can pick up almost all these changes with a fast enough frame rate. But this is no longer sci-fi, we have gone from a popular-historical introduction to hard science at the frontier of modern knowledge, a science full of setbacks and the occasional miraculous observation, revolutionary epiphanies and long detours.

Observing the machinery of all the individual molecules in such a complicated system as a living cell will probably take us some time. Firstly, because there may be so many molecules, and then all the individual chemical reactions are happening thousands of times faster than we can currently record. But the good news is that we haven't yet encountered any principled constraints where nature forbids us from doing our dream experiment. The limitations are technical, the electronics are slow, samples overheat, and so on.

In science, however, technical limitations are a challenge to solve and can usually be overcome with work, experience and time.

An interesting example is our search for the third dimension. While our world is three-dimensional, a microscope image is usually flat. Microscopy today has techniques to record the full depth of a microscopic scene, only in our microscopes the use of these conventional techniques is more complicated. While the image information in the microscope can be captured as a distribution of light intensity by the camera,

the third dimension of the observed specimen is hidden within a waveform (we usually talk about the phase of the light wave). This is not easy to measure, but it can be changed, influenced by phase modulators. Spatial phase modulators are used, for example, in astronomy. Light from a distant star reaches the Earth as a perfect plane wave with virtually no curvature in its wavefront. But this is changed by passing through the atmosphere, and phase modulators allow these changes to be corrected. The problem was that the available phase modulators for our microscope were neither fast enough, nor stable enough, and we had to develop entirely



Obr. 2 Studentka Kateřina Jiříková v laboratoři nanooptiky v Ústavu fotoniky a elektroniky. Optický stůl nese experimentální systém ultracitlivého mikroskopu.

Fig. 2 Student Kateřina Jiříková in the nano-optics laboratory at the Institute of Photonics and Electronics. The optical table carries the experimental system of the ultrasensitive microscope.

Výzkumný tým nanooptiky rozvíjí v Ústavu fotoniky a elektroniky moderní zobrazovací metody od roku 2016. Vyvíjíme nové experimentální metody a snažíme se odpovídat na základní otázky fungování přírody kolem nás. Pochopení molekulárních mechanismů živých soustav je jednak fascinující dobrodružství, jednak nabízí odpovědi v případě, že některé tyto mechanismy přestanou fungovat. Naše práce stojí na úsilí studentů, doktorandů a postdoktorandů odhodlaných zkusit to, o čem všichni předpokládají, že nejde. Je to příležitost srovnatelná s pruvýstupem na dosud nezdolanou horu, pro který nemá odvahu každý, ale ti, kteří se na tuto cestu vydají, získávají smysl života překračující hranice v nás i mezi státy. Díky nim i po 430 letech ve službě dobrodružství optické mikroskopie pokračuje.



Výzkumný tým *Nanooptika*.

Nano-optics research team.

new modulators for our measurements. It turns out that these new phase modulators could advantageously find applications not only in our extremely sensitive microscopes but could also go back to their roots and improve the astronomical telescopes of the future. Because there is only one physics, and a telescope is basically just a microscope for galaxies.

The nano-optics research team has been developing advanced imaging methods at the Institute of Photonics and Electronics since 2016. We are developing new experimental methods and trying to answer fundamental questions about how nature

works around us. Understanding the molecular mechanisms of living systems is both a fascinating adventure and offers answers when some of these mechanisms stop working. Our work is based on the efforts of students, graduate students and postdocs determined to try and do what everyone assumes cannot be done. It is an opportunity comparable to a first ascent of a mountain that has not yet been conquered, for which not everyone has the courage, but those who make the journey gain a sense of life that crosses borders within and between countries. Thanks to them, even after 430 years in service, the adventures of optical microscopy continue.



Marek Piliarik, Ph.D., (*1977) vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy v Praze, pracoval na Washingtonské univerzitě v Seattlu, ETH v Curychu a v Ústavu Maxe Plancka v Erlangenu. V současnosti působí v Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR v Praze, kde vede výzkumný tým nanooptiky, zabývající se ultracitlivou a superrozlišovací mikroskopií. Kontakt: piliarik@ufe.cz

Marek Piliarik, Ph.D., (*1977) graduated from the Faculty of Mathematics and Physics of Charles University in Prague, and worked at the University of Washington in Seattle, ETH in Zurich, and the Max Planck Institute in Erlangen. He is currently working at the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences in Prague, where he leads a nano-optics research team dealing with ultrasensitive and super-resolution microscopy. Contact: piliarik@ufe.cz

Nové směrnice k mezinárodní normě o ochraně očí a tváře před laserovým zářením

Nedávno jsem obdržel od České Agentury pro Standardizaci návrh mezinárodní normy **ISO TS 19818-2 ED1 Eye and face protection – Protection against laser radiation – Part 2: Guidance on the selection and use of laser eye and face protection related to ISO 19818-1** (Ochrana oka a tváře – Ochrana proti laserovému záření – Část 2: Směrnice k výběru a užití ochrany oka a tváře proti laseru vztahované k ISO 19818-1). Jde o zpracované a podrobné směrnice s řadou konkrétních propočtů a postupů. Překvapilo mě ovšem, jak nízkou úroveň měla tisková úprava textu, která zcela ignoruje normy pro tisk matematických a fyzikálních záležitostí. Naproti tomu realizuje beze zbytku mou připomínku k téměř každému textu, že „zavedení zkratky se musí provést na samém začátku textu a potom už důsledně používat jen zkratku“. Tak byla v tomto případě zavedena zkratka **LEFP** pro **Laser Eye and Face Protection**. Pro případný český překlad by se zkratka neměla měnit, ale mělo by se přitom uvést její anglické znění. Ale vraťme se k originální normě a k mým výhradám k formálnímu tisku. Editor

převzal materiály od jednotlivých zpracovatelů a vůbec se nesnažil je nějak sjednotit. Např. je použito obojího tvaru symbolu násobení: jak tečky, tak položeného křížku uprostřed řádku, ba dokonce i písmene x, což je nepřijatelné. Zcela voluntaristicky se používá u symbolů svislého a kurzívního tvaru, ačkoliv je jasně stanoveno, že fyzikální veličiny je nutno tisknout kurzívou, zatímco funkce se tisknou svislým fontem. A také zkratky pro jednotky se musejí tisknout stojatými typy, jakož i číslice a závorky, a také symbol diferenciálu. V každém odborném časopisu jsou občas vytištěna tato pravidla a je opravdu zarážející, že tvůrci norem je nerespektují, ba dokonce ani neznají. A ještě dodatek: Při rozpracování norem pro ochranu před laserovým zářením se bere malý ohled, nebo se často vůbec nerespektuje, že lasery mohou pracovat i v neviditelných částech optického spektra.

doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc.

Pozoruhodná elektřina a světlo organismů

The remarkable electricity and light of organisms

Na odlehlé planetě, vzdálené miliony světelných let od Země, leží mezi troskami a popelem postava, jejíž život visí na vlásku. Dr. Mara Ryan, brilantní vědkyně a neohrožená průzkumnice, je po tragickém incidentu jediným přeživším expedice. Její tělo je poseto popáleninami a krvavými ranami po nečekaném souboji s nepřátelskými tvory. Z posledních sil se doplází k lékařské stanici, kde leží její jediná naděje na přežití – pokročilý medicínský přístroj, Tricorder. Ruce se jí třesou, když ho aktivuje, a obrazovka se rozsvítí sérií složitých grafů a dat. Tricorder pomocí sofistikovaných bioelektromagnetických senzorů rychle analyzuje její vitální funkce a zahajuje samoošetření. Přístroj vysílá pulsy elektromagnetických vln do Marina těla, které okamžitě začínají regenerovat poškozené tkáně a stabilizovat její oběhový systém. Mara cítí, jak se bolest zmírňuje a její tělo začíná nabývat na síle. Když Mara opět nabere dostatek síly, aby se postavila, ví, že tento technologický zázrak jí právě zachránil život.

On a remote planet millions of light-years from Earth, a lone figure lies among rubble and ash, her life hanging by a thread. Dr. Mara Ryan, a brilliant scientist and fearless explorer, is the sole survivor of the expedition after a tragic incident. Her body is covered in burns and bleeding wounds from a sudden battle with hostile creatures. Summoning the last of her strength, she crawls toward the medical station – her only hope for survival. There, an advanced medical device awaits: the Tricorder. Her hands trembling, Mara activates the device. The screen flickers to life, displaying a series of complex graphs and data. Using sophisticated bioelectromagnetic sensors, the Tricorder swiftly analyzes her vital signs and initiates self-treatment. Pulses of electromagnetic waves penetrate Mara's body, triggering the regeneration of damaged tissues and stabilizing her circulatory system. She feels the pain subside as strength slowly returns to her limbs. When Mara finally stands, she knows this technological marvel has just saved her life.

Aby se tento typ technologie ze sci-fi příběhu stal skutečností, je potřeba získat množství poznatků ze základního výzkumu a dosáhnout významného technologického rozvoje. Historie systematického výzkumu bioelektrických jevů sahá hluboko do 18. století, kdy vědci jako Luigi Galvani poprvé zkoumali roli elektrického náboje v živých organismech. Právě jeho experimenty se žabími stehýnkami, při kterých pozoroval svalové kontrakce způsobené elektrickými impulsy, daly vzniknout oboru, který dnes známe jako bioelektřina. I přes významné pokroky, které byly v té době učiněny, trvalo mnoho let, než byla bioelektrická povaha nervového systému plně uznána.

V průběhu 19. století vědci, jako byli Emil du Bois-Reymond a Hermann von Helmholtz, dále prohlubovali znalosti o bioelektrických signálech v nervovém systému. Helmholtz měřil rychlost přenosu nervových impulsů, čímž potvrdil, že tyto impulsy nejsou okamžité, ale mají měřitelnou rychlost, což byl přelomový objev v neurovědě. Tento základní výzkum umožnil rozvoj moderní neurovědy a pochopení toho, jak elektrické signály ovlivňují každý aspekt života od pohybu svalů po složité procesy v mozku.

Během 20. století se bioelektřina začala zkoumat i mimo nervový systém. Iontové kanály a elektrické potenciály byly objeveny nejen v nervech a svalectech, ale i v jiných tkáních těla, což naznačilo, že bioelektrické jevy jsou univerzálním mechanismem pro regulaci biologických procesů. Tyto objevy vedly k rozvoji nových lékařských technologií, včetně srdečních kardiostimulátorů a elektrické stimulace mozku, které dnes umožňují léčit poruchy jako Parkinsonova choroba či epilepsie. Elektrické signály však nejsou omezeny pouze na lidské tělo – podobné mechanismy byly nalezeny v rostlinách, v houbách, a dokonce i v bakteriích, což naznačuje, že bioelektřina může být univerzálním jazykem života.

Přes všechny pokroky v oblasti bioelektřiny stále neznáme celý obraz. V posledních letech výzkum ukázal, že bioelektrické signály mají mnohem rozmanitější škálu funkcí, než jsme si dříve mysleli. Vědci dnes hovoří o „elektromu“ – souhrnu všech elektrických procesů v těle od orgánů až po molekuly. Tento nový

Making this type of science fiction story technology a reality requires both fundamental scientific understanding and major technological progress. The study of bioelectrical phenomena has a long history, dating back to the 18th century when scientists like Luigi Galvani explored the role of electrical charge in living organisms [1]. His famous experiments with frog legs—where electrical impulses caused muscle contractions—laid the foundation for the field of bioelectricity [2]. Yet, despite early breakthroughs, it took many years before the electrical nature of the nervous system was fully understood.

In the 19th century, researchers such as Emil du Bois-Reymond and Hermann von Helmholtz expanded this work. Helmholtz, for example, measured the speed at which nerve impulses travel, proving they are not instantaneous [3]. This was a milestone in neuroscience and deepened our understanding of how electrical signals govern everything from muscle movements to thought processes.

By the 20th century, scientists began finding electrical activity beyond the nervous system. They discovered ion channels and electrical potentials in many tissues, suggesting that bioelectric phenomena help regulate a wide range of biological functions [4], [5]. This research led to medical advances such as cardiac pacemakers and deep brain stimulation, treatments now used for conditions like Parkinson's disease and epilepsy. Similar electrical processes have even been observed in plants, fungi, and bacteria, hinting at bioelectricity as a common feature of life.

Despite progress, much remains unknown. Recent studies suggest that bioelectric signals serve many more roles than previously believed. Researchers now refer to “bioelectromics” [6], a term describing all electrical activity in the body, from whole organs down to molecules. A better understanding of this so-called bioelectric code [7] could reveal how electrical signals shape gene expression, cell behavior, and tissue repair.

If we can decipher this code, it may one day be possible to control cell regeneration, treat cancer more effectively, or even regrow lost limbs [8]. Mastering these processes could lead to

koncept bioelektrického kódu má potenciál odemknout tajemství toho, jak elektrické signály ovlivňují expresi genů, vývoj buněk, a dokonce i regeneraci tkání.

Pokud dokážeme dešifrovat tento bioelektrický kód, mohli bychom jednou ovládat regeneraci buněk, léčit rakovinu nebo dokonce znovu nechat narůst ztracené končetiny. Výzkum v oblasti bioelektriky naznačuje, že porozumění a ovládnutí těchto mechanismů by mohlo znamenat revoluci v medicíně, kde bychom nejen opravovali poškozené tkáně, ale také je redesignovali a přepisovali bioelektrické signály v reálném čase.

Abychom plně porozuměli bioelektrickým jevům a mohli je efektivně využít, musíme se zaměřit nejen na buněčnou a tkáňovou úroveň, ale také na biomolekulární úroveň, kde se otevírají nové možnosti pro medicínu a technologii. Biomolekuly vykazují díky své malé velikosti pohyby a tvarové změny na mnohem kratších časových škálách než buňky. Tato rychlá dynamika je klíčová pro fungování velkých biomolekul, jako jsou například bílkoviny. Ty působí jako „stroje“ v biologických systémech a vykonávají většinu životně důležitých funkcí – od stavby buněk po přenos signálů, řízení chemických reakcí a ochranu proti nemocem. Abychom dokázali efektivně ovlivnit tuto dynamiku, musí elektrická pole působit na porovnatelných časových škálách. To znamená, že je potřeba využívat elektrických polí s vyššími frekvencemi. Při nich dochází k výraznějšímu propojení elektrických a magnetických polí, což nás vede k tomu, abychom mluvili spíše o elektromagnetických než čistě elektrických polích.

Ve výzkumném týmu *Bioelektrodynamiky* v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR se soustředíme na odhalení a pochopení elektrických a elektromagnetických procesů v biologických systémech na molekulární úrovni. Naše práce se rozděluje do dvou hlavních směrů: na studium pasivních a aktivních elektromagnetických vlastností biosystémů. Zabýváme se širokou škálou biosystémů – od roztoků biomolekul přes bílkovinné struktury až po buňky a tkáně.

V rámci pasivních elektromagnetických vlastností zkoumáme, jak biosystémy reagují na vnější elektromagnetická pole. Sem patří výzkum dielektrických vlastností bílkovin a buněk, ale také jejich reakce na intenzivní elektrické impulsy. Aktivní elektromagnetické vlastnosti se zaměřují na elektromagnetické pole generované samotnými biologickými procesy v živých organismech. Náš výzkum je postaven na třech vzájemně propojených pilířích:

- **teorie a výpočtové modelování,**
- **vývoj nových technologických platform** včetně mikrofluidních elektromagnetických čipů a
- **experimentální ověřování** našich teorií.

V poslední době se soustředíme na několik klíčových oblastí. První z nich je výzkum interakce proteinových struktur s elektromagnetickým polem, zejména s pulsním elektrickým

medical treatments that not only repair damaged tissues but reshape them, adjusting electrical patterns as needed.

To achieve this, research must extend beyond cells and tissues down to the level of molecules. Biomolecules move and change shape much faster than cells, and these rapid dynamics are vital for their roles as the “machines” of life—building cells, carrying signals, driving chemical reactions, and defending against disease. To influence these fast processes, electric fields must operate on similar timescales, which requires using higher frequencies. At these frequencies, the interaction between electric and magnetic fields becomes significant, so researchers often speak of electromagnetic rather than purely electric fields.

At the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences, the *Bioelectrodynamics* research team studies electrical and electromagnetic processes in biological systems at the molecular level. Our work focuses on two main areas:

1. How biological systems respond to external electromagnetic fields (passive properties) [9]
2. How living systems generate their own electromagnetic fields (active properties) [10].

We study a wide range of systems, from simple solutions of biomolecules to protein structures, cells, and tissues.

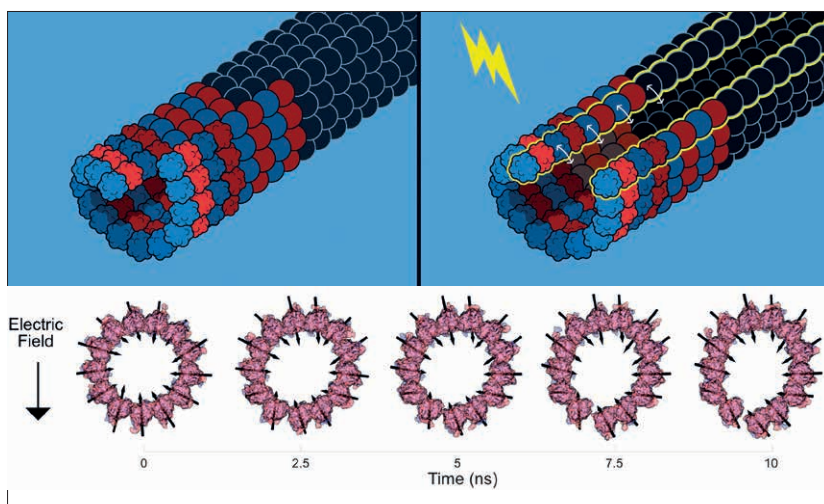
For passive properties, we explore how biological materials react to electric fields, including how proteins and cells respond to strong electrical pulses [11], [12], [13], [14]. In active properties, we investigate the electromagnetic signals produced by biological processes themselves.

Our research combines three key approaches:

- **Theoretical and computational modeling**
- **Development of new technology platforms**, including microfluidic electromagnetic chips
- **Experimental testing to validate our theories.**

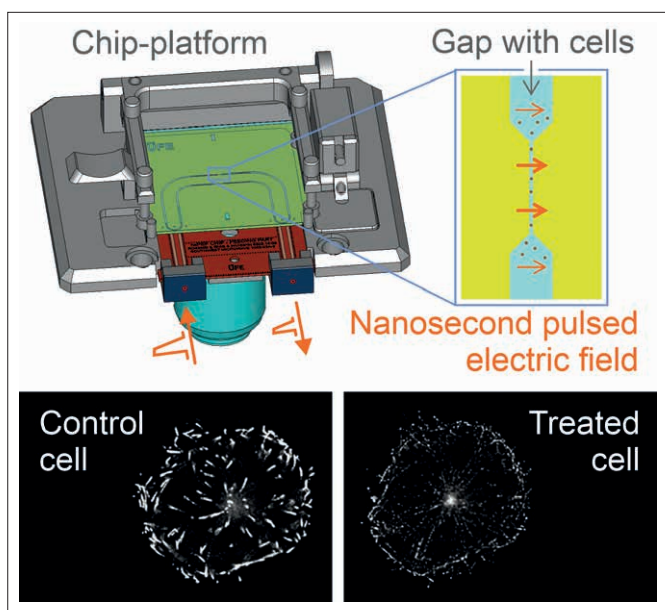
One major focus is how protein structures interact with electromagnetic fields, especially pulsed electric fields and microwave radiation. We are particularly interested in microtubules—protein fibers crucial for transporting materials inside cells and guiding cell division. Strong electric fields can alter microtubule structures, and short pulses can do this without heating the sample, preserving biological function. Our simulations suggest that intense electric pulses may cause microtubule walls to open [14], which could affect their role in cells (see Figure 1).

We have also developed advanced technologies, such as electromagnetic biochips, to precisely apply electromagnetic fields to biological samples and monitor their responses in real time using super-resolution microscopy. Recently, we introduced a system capable of delivering pulses of 6 megavolts per meter lasting just 11 nanoseconds. In laboratory tests, these pulses altered the microtubule networks in leu-



Obr. 1 A. Schematické zobrazení otevírání mikrotubulu elektrickým polem. B. Časový vývoj molekulární simulace, zobrazení průřezu mikrotubulem. Velká černá šipka vlevo zobrazuje směr vektoru elektrického pole, malé černé šipky v struktuře mikrotubulu zobrazují dipolový moment u každého heterodimeru tubulinu (celkem zobrazeno 13). Povoleno z [14].

Fig. 1 A. Schematic illustration of microtubule opening induced by an electric field. B. Time-lapse of the molecular simulation showing the microtubule cross-section. The large black arrow on the left indicates the direction of the electric field vector, while the small black arrows within the microtubule structure represent the dipole moments of each tubulin heterodimer (13 in total). With permission from [14].



Obr. 2 Čipová platforma na superrozlišovacím mikroskopu typu strukturovaného osvětlení. Buňky jsou umístěné do zúžené mezery mezi vodiči koplanárního vedení, kterým se šíří nanosekundové pulsy. Tyto pulsy pak mají v buňce dvojitý efekt – jednak ovlivňují délku špičky mikrotubulů, značené fluorescenčním proteinem eB1, a také remodelují mikrotubulární skelet buňky.

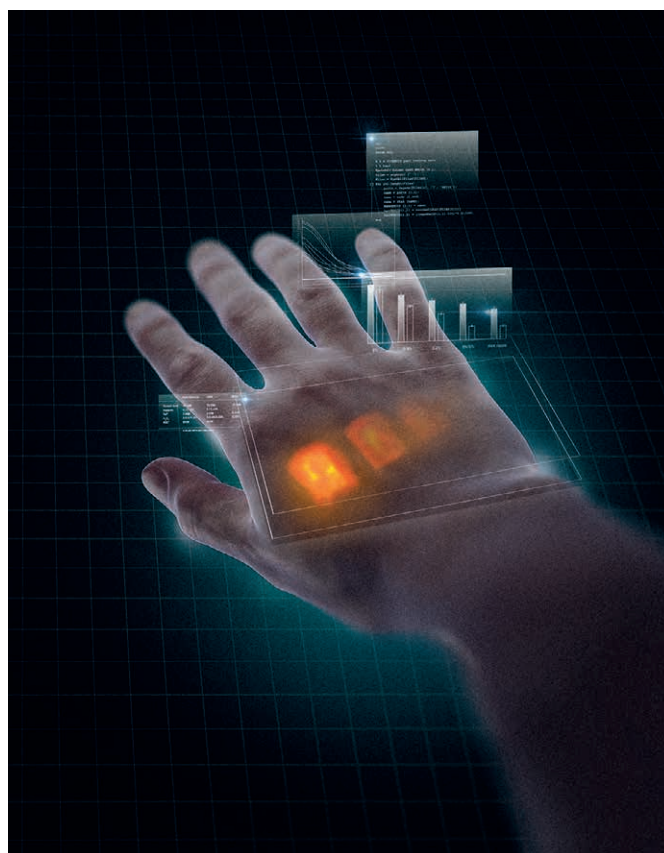
Fig. 2 Chip platform integrated with a super-resolution structured illumination microscope. Cells are positioned in a narrowed gap between coplanar conductors that deliver nanosecond pulses. These pulses have a dual effect: they influence the length of the microtubule tips, which are tagged with the fluorescent protein EB1, and remodel the cell's microtubule network. With permission from [15].

polem a mikrovlnným zářením. Naším hlavním zájmem jsou mikrotubuly – bílkovinová nanovlákna, která hrají klíčovou roli ve vnitrobuněčném transportu a dělení buněk. Mikrotubuly jsou zajímavé pro výzkum z několika důvodů. Intenzivní elektrické pole může ovlivnit jejich strukturu, přičemž krátké pulsy nevedou k zahřívání, což je výhodné pro zachování biologické integrity. Na základě našich simulací molekulární dynamiky jsme předpověděli, že pulsy intenzivního elektrického pole mohou způsobit otevření stěny mikrotubulů, a tím ovlivnit jejich funkci (viz obr. 1).

Vývoj pokročilých technologií, jako jsou elektromagnetické biočipy, nám umožňuje cíleně aplikovat přesné dávky elektromagnetického pole do biologických vzorků a sledovat jejich reakci v reálném čase pomocí superrozlišovací mikroskopie. Nedávno jsme představili novou technologii, která dokáže do biologických vzorků dodávat pulsy o intenzitě 6 MV/m a délce 11 ns. V experimentech jsme demonstrovali, že tyto pulsy mohou remodelovat mikrotubulární síť v leukemických krysích buňkách (viz obr. 2), což představuje slibný směr pro budoucí terapeutické aplikace.

Dalším významným směrem našeho výzkumu je analýza biologické autoluminiscence – fenoménu slabé světelné emise, který je vlastní všem živým organismům. Tento jev souvisí s oxidačními procesy probíhajícími v tkáních a jeho sledování nám poskytuje neinvazivní způsob, jak v reálném čase monitorovat biologické procesy spojené s různými onemocněními nebo metabolickými změnami. Naš výzkum ukázal, že autoluminiscence může sloužit jako spolehlivá metoda pro sledování oxidačního stresu a dalších patologických stavů.

Význam elektromagnetických polí ve výzkumu biologických systémů je stále uznávanější. Elektromagnetické technologie nám



Obr. 3 Umělecké ztvárnění metody zobrazování vlastní chemiluminiscence kůže. Na obrázku je demonstrována schopnost metody rozlišit různé úrovně oxidačního stresu pomocí různé intenzity přirozené chemiluminiscence lidské kůže.

Fig. 3. An artistic representation of the method for imaging the skin's natural chemiluminescence. The figure illustrates how the technique can differentiate varying levels of oxidative stress based on the intensity of the skin's intrinsic chemiluminescence. With permission from [18].

kemia cells from rats (see Figure 2), [15], a promising result for future therapeutic research.

Another important area of our work is studying biological autoluminescence—the faint light naturally emitted by all living organisms [16]. This light is linked to oxidative processes in tissues. Measuring it provides a non-invasive way to monitor biological changes, including disease progression and metabolic shifts [17]. Our studies show that autoluminescence can be a reliable tool for tracking oxidative stress [18] and other health-related conditions.

The scientific community increasingly recognizes the importance of electromagnetic fields in biological research. These fields not only allow us to influence cell and protein behavior but also provide new methods to observe biological processes as they unfold. Our results suggest that electromagnetic fields, when applied at the molecular level, may lead to novel diagnostic tools and therapies. Beyond medicine, this research could have applications in agriculture and nanotechnology.

In the global bioelectronics and bioelectromagnetism research community, we believe that by advancing electromagnetic technologies and deepening our understanding of their effects on biological systems, we can contribute to breakthroughs across science and industry. Electromagnetic fields are not just tools for manipulating biological systems – they may hold the key to

nejen umožňují ovlivňovat chování buněk a molekul bílkovin, ale také nabízejí nové způsoby, jak monitorovat dynamické biologické procesy. Naše výsledky naznačují, že elektromagnetické pole, které působí na molekulární úrovni, má potenciál otevřít dveře k novým diagnostickým a terapeutickým metodám. Kromě medicíny vidíme potenciální využití v oblastech jako zemědělství a nanotechnologie, kde elektromagnetické technologie mohou přinést revoluční změny.

V celosvětové komunitě výzkumu bioelektroniky a bioelektromagnetismu věříme, že naše práce na rozvoji elektromagnetických technologií a pochopení jejich vlivu na biologické systémy bude mít dalekosáhlé důsledky nejen pro medicínu, ale i pro další oblasti vědy a průmyslu. Elektromagnetická pole nejsou jen nástrojem pro manipulaci s biosystémy, ale také klíčem k odhalení hlubších biologických principů, které mohou vést k novým způsobům léčby a prevence nemocí.

Mara Ryan již stála na můstku průzkumné lodi Endeavour na orbitě neznámé planety, kde téměř přišla o život, a vzpomínala, jak jí ho Tricorder zachránil. Předtím si plně neuvědomovala, jak velký vliv mohou mít bioelektromagnetické technologie na lidské zdraví. Bioelektromagnetické technologie nebyly v její době jen nástrojem první pomoci, jejich schopnost léčit pomocí elektromagnetických vln poskytovala naději na léčbu akutních zranění, ale i léčbu a prevenci mnoha civilizačních chorob. Budoucnost plná zdraví a vitality není jen sci-fi snem, ale dosažitelnou realitou. S touto myšlenkou se Mara rozhodla zasvětit svůj život tomu, aby pomohla přinést tyto technologie do každodenního života lidí...

Autor děkuje kolegům z týmu bioelektrodynamiky za připomínky k textu a zvláště Neuron Collective a Danielu Havelkovi za obrázky. Při psaní textu byl použit ChatGPT4 jako asistent, autor nese plnou odpovědnost za celý text článku.

uncovering fundamental principles that could transform how we treat and prevent disease.

Mara Ryan stood once again on the bridge of the exploration ship Endeavour, now orbiting the unknown planet where she had nearly lost her life. As she gazed down, she reflected on how the Tricorder had saved her. Until that moment, she had never fully grasped the profound impact bioelectromagnetic technology could have on human health. In her time, it was no longer just a tool for emergency care—its ability to heal through electromagnetic waves offered hope not only for treating acute injuries but also for curing and preventing many chronic diseases. A future marked by health and vitality was no longer a distant science fiction dream, but an attainable reality. Inspired by this vision, Mara resolved to dedicate her life to making these technologies part of everyday life.

The author acknowledges his colleagues in the Bioelectrodynamics team for their comments on the text and especially the Neuron Collective and Daniel Havelka for the images. He used ChatGPT4 as his writing assistant and takes full responsibility for the entire text of the article.

References

- [1] L. Galvani, *De Viribus Electricitatis In Motu Musculari Commentarius*. Typographia Instituti Scientiarum, 1792.
- [2] L. A. Geddes and H. E. Hoff, "The discovery of bioelectricity and current electricity The Galvani-Volta controversy," *IEEE spectrum*, vol. 8, no. 12, pp. 38–46, 1971.
- [3] H. Helmholtz, "Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung," *Annalen der Physik*, vol. 155, no. 2, pp. 329–330, Jan. 1850, doi: 10.1002/andp.18501550216.
- [4] R. H. W. Funk and F. Scholkmann, "The significance of bioelectricity on all levels of organization of an organism. Part 1: From the subcellular level to cells," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 177, pp. 185–201, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2022.12.002.
- [5] S. Balasubramanian, D. A. Weston, M. Levin, and D. C. C. Davidian, "Electroceuticals: emerging applications beyond the nervous system and excitable tissues," *Trends in Pharmacological Sciences*, vol. 45, no. 5, pp. 391–394, May 2024, doi: 10.1016/j.tips.2024.03.001.
- [6] A. Prominski, P. Li, B. A. Miao, and B. Tian, "Nanoeenabled Bioelectrical Modulation," *Acc Mater Res*, vol. 2, no. 10, pp. 895–906, Oct. 2021, doi: 10.1021/accountsmr.1c00132.
- [7] M. Levin and C. J. Martyniuk, "The bioelectric code: An ancient computational medium for dynamic control of growth and form," *Biosystems*, vol. 164, pp. 76–93, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.biosystems.2017.08.009.
- [8] M. Levin, "Bioelectric signaling: Reprogrammable circuits underlying embryogenesis, regeneration, and cancer," *Cell*, vol. 184, no. 8, pp. 1971–1989, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.cell.2021.02.034.
- [9] M. Cifra, J. Z. Fields, and A. Farhadi, "Electromagnetic cellular interactions," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 105, no. 3, pp. 223–246, May 2011, doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2010.07.003.
- [10] O. Kučera, K. Červinková, M. Nerudova, and M. Cifra, "Spectral perspective on the electromagnetic activity of cells," *Current topics in medicinal chemistry*, vol. 15, no. 6, pp. 513–522, 2015, doi: 10.2174/1568026615666150225103105.
- [11] D. E. Chafai, V. Sulimenko, D. Havelka, L. Kubínová, P. Dráber, and M. Cifra, "Reversible and irreversible modulation of tubulin self-assembly by intense nanosecond pulsed electric fields," *Adv. Mater.*, vol. 31, no. 39, p. 1903636, Aug. 2019, doi: 10.1002/adma.201903636.
- [12] D. E. Chafai et al., "Microtubule Cytoskeleton Remodeling by Nanosecond Pulsed Electric Fields," *Adv. Biosys.*, vol. 4, no. 7, p. 2000070, May 2020, doi: 10.1002/adbi.202000070.
- [13] P. Vahalová, D. Havelka, E. Vaněčková, T. Zakar, V. Kolivoška, and M. Cifra, "Biochemiluminescence Sensing of Protein Oxidation by Reactive Oxygen Species Generated by Pulsed Electric Field," *Sens Actuators B Chem*, vol. 385, p. 133676, 2023, doi: 10.1016/j.snb.2023.133676.
- [14] J. Průša, A. T. Ayoub, D. E. Chafai, D. Havelka, and M. Cifra, "Electro-opening of a microtubule lattice in silico," *Comput Struct Biotechnol J*, vol. 19, pp. 1488–1496, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.csbj.2021.02.007.
- [15] D. Havelka et al., "Nanosecond Pulsed Electric Field Lab-on-Chip Integrated in Super-Resolution Microscope for Cytoskeleton Imaging," *Advanced Materials Technologies*, vol. 5, no. 3, p. 1900669, 2020, doi: 10.1002/admt.201900669.
- [16] P. Vahalová and M. Cifra, "Biological autoluminescence as a perturbation-free method for monitoring oxidation in biosystems," *Progress in Biophysics and Molecular Bio-*

logy, vol. 177, pp. 80–108, 2023, doi: 10.1016/j.pbiomol-bio.2022.10.009.

- [17] R. C. R. Burgos et al., “Ultra-weak photon emission as a dynamic tool for monitoring oxidative stress metabolism,” *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, p. 1229, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-01229-x.

- [18] M. Poplová, A. Prasad, E. Van Wijk, P. Pospíšil, and M. Cifra, “Biological Auto(chemi)luminescence Imaging of Oxidative Processes in Human Skin,” *Analytical Chemistry*, vol. 95, no. 40, pp. 14853–14860, 2023, doi: 10.1021/acs.analchem.3c01566.



Ing. Michal Cifra, Ph.D., (*1983) je vzděláním biomedicínský inženýr, doktorát získal z radioelektroniky na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze a působil jako hostující profesor na Chicagské univerzitě. Zabývá se vývojem technologií pro výzkum interakce elektromagnetického pole s biologickou hmotou na molekulární úrovni. Vede výzkumný tým bioelektrodynamiky na Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky. V roce 2020 získal EXPRO projekt na téma modulace funkce proteinových nanostruktur pomocí vysokofrekvenčních elektromagnetických polí. Více na <https://bioed.ufe.cz>. Kontakt: cifra@ufe.cz

Ing. Michal Cifra, Ph.D., (*1983) holds a master degree in biomedical engineering and received his doctorate in radioelectronics from the Faculty of Electrical Engineering of the Czech Technical University in Prague. He has also served as a visiting professor at the University of Chicago. He leads the development of technologies for studying how electromagnetic fields interact with biological matter at the molecular level and heads the Bioelectrodynamics research team at the Institute of Electrical Engineering of the Czech Academy of Sciences. In 2020, he was awarded an EXPRO grant for his project on modulating the function of protein nanostructures using high-frequency electromagnetic fields. More on <https://www.ufe.cz/en/research/bioelectrodynamics>. Contact: cifra@ufe.cz



Obr. 1 Výzkumník z týmu Bioelektrodynamiky kontroluje mikrovlnný čip pomocí flexibilního optického mikroskopu, přičemž na velkém monitoru sleduje zvětšený obraz mikrostruktur čipu. Mikrovlnné čipy, které tým vyvíjí, bývají často kombinovány s mikrofluidními prvky a plní jednu ze dvou funkcí: slouží buď jako senzory složení a dynamiky biologických vzorků, nebo k cílené aplikaci elektromagnetických polí do biomolekulárních struktur a buněk.

Fig. 1 Bioelectrodynamics team researcher inspects in-house designed microwave chip, under a flexible optical microscope system, with a large monitor displaying a magnified image of the chip's microstructures. These microwave chips, often combined with microfluidic elements, serve either for real-time biosensing or for targeted delivery of electromagnetic fields to biomolecular structures and cells.

Jasnější nad tisíc sluncí

Brighter than a thousand Suns

Ne, nejde o inspiraci snímkem Christophera Nolana „Oppenheimer“ a výbuchem pumy Trinity v Nevadské poušti v závěru filmu. Řeč sice bude o jasů až o mnoho řádů vyšším, než je jas na povrchu Slunce, jenže jen na malinkaté plošce několika desítek mikrometrů čtverečních uvnitř jádra optického vlákna pro optické komunikace, senzory, medicínu i pro hrubou sílu pro řezání a sváření v průmyslu... a nakonec i v obraně, ve vláknových laserech pro zbraně se směrovanou energií. Již více než třicet let rozvíjíme velkou výzkumnou infrastrukturu vláknových laserů a technologie optických vláken a jsme hrdí na to, že v těchto oborech jsme na světové špičce. Nabízíme vám nahlédnutí do dvou našich výzkumných oblastí: našeho tradičního tématu aktivních vláken a nedávno zahájeného výzkumu hypocykloidních vláken se vzduchovým jádrem.

No, it's not inspired by Christopher Nolan's movie "Oppenheimer" and the Trinity bomb explosion in the Nevada desert at the end of the film. We are talking about brightness many orders of magnitude higher than the brightness at the surface of the Sun, but only in a tiny area of a few dozen square micrometers inside the core of an optical fiber for optical communications, sensors, medicine, as well as for brute force cutting and welding application in industry... and eventually in defense, in fiber lasers for directed energy weapons. We have been developing a large research infrastructure of fiber lasers and optical fiber technology for more than thirty years and we are proud to be world leaders in these fields. We offer you a glimpse into two of our research areas: our traditional active fiber topic and our recently launched research into hollow-core hypocycloidal fibers.

Aktivní vlákna pro lasery a zesilovače

Výzkumný tým *Vláknových laserů a nelineární optiky* z ÚFE systematicky rozvíjí technologii dopování preforem nanočásticemi. Základní principy této technologie publikoval tento tým jako první na světě už v r. 2007 a postupně zdokonaloval a aplikoval na různé typy dopantů – ytterbium, erbium, thulium a holmium. Yterbiová optická vlákna se používají v průmyslových laserech s výkonem typicky do 10 kW na vlnové délce $\sim 1,07 \mu\text{m}$. Erbiová optická vlákna našla uplatnění v telekomunikacích pro zesilování optických signálů. Thuliová optická vlákna mají šanci na využití v kilowatových laserech. Pracují na vlnové délce kolem $2 \mu\text{m}$, která je téměř dvojnásobkem vlnové délky yterbiových laserů. Dají se proto využít pro řezání a sváření některých materiálů, které jsou pro yterbiové lasery transparentní. Jejich svazky se méně rozptylují v atmosféře, což je činí zajímavým pro vojenské využití. Dnes tým z ÚFE dokáže připravit thuliová optická vlákna s účinností 64 %, která je vyšší než účinnost komerčně dostupných thuliových vláken.

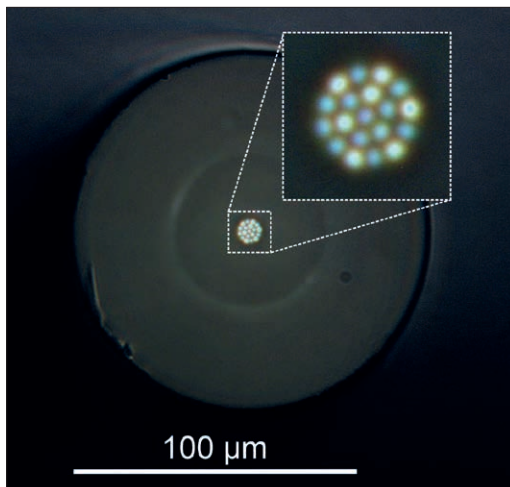
V posledních letech tým vyvinul dvě technologie přípravy preforem: s kompozitním pláštěm a s kompozitním jádrem (obr. 1). Tyto technologie umožňují připravovat optická vlákna s komplexní vnitřní strukturou, např. optická vlákna s trojitým pláštěm a velkou plochou jádra pro výkonové lasery nebo vlákna s extrémně velkou plochou jádra pro zesilovače pulzů s vysokou energií.

Na výzkumu optických vláken s kompozitním jádrem tým spolupracuje s týmem prof. Ryszarda Buczynského z Varšavské univerzity. Výsledkem této spolupráce byla mj. bezpiedestalová thuliová vlákna, která zachovávají kvalitu svazku a současně usnadňují sváření s ostatními vláknovými součástkami.

Active fibers for lasers and amplifiers

The research team of *Fiber lasers and non-linear optics* of the Institute of Photonics and Electronics (UFE) systematically deals with research and development of technology of nanoparticle doping of silica preforms and with drawing of specialty optical fibers from these preforms. The principles of this originally developed technology were published by this team firstly in 2007, and it was gradually improved and applied to fabrication of different types of specialty optical fibers doped with ytterbium, erbium, thulium and holmium. Ytterbium-doped optical fibers are nowadays widely used in industrial lasers with high output power typically up to 10 kW at a wavelength of $\sim 1.07 \mu\text{m}$. Erbium-doped optical fibers have been applied in telecommunications for amplification of optical signals. Thulium-doped optical fibers have a chance of being used in kilowatt-class fiber lasers. They are operated at a wavelength of around $2 \mu\text{m}$, i.e., which is almost twice the wavelength of ytterbium lasers. So, they can be used for cutting and welding of some materials that are transparent for ytterbium lasers wavelengths. Laser beams of thulium-doped lasers are less scattered in the atmosphere, making them interesting for military applications. Nowadays, the research team of UFE is able to prepare thulium-doped optical fibers exhibiting a slope efficiency of 64 %, which is higher than that of commercially available thulium-doped fibers.

In recent years, the team has developed two other technologies of fabrication of preforms for specialty optical fiber drawing: with a structured cladding and with a structured core (fig. 1). These technologies allow preparation of optical fibers with complex internal structures, e.g. optical fibers with triple cladding and large core area for high-



Obr. 1 Optické vlákno s kompozitním jádrem.

Fig. 1 Optical fiber with a structured core.

Z výzkumu thuliových vláken se skládaným pláštěm vzešlo pro projekt TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System), financovaný Evropskou obrannou agenturou, vlákno pro protidronové laserové systémy (obr. 2). Toto vlákno bylo použito zahraničním partnerem projektu ve výkonových zesilovacích stupních.

Na základě svých vláken tým vyvíjí mnohasetwattové ytterbiové a thuliové lasery vhodné pro průmyslové použití. Zkoumá též cesty k prolomení stávající 1kW výkonové hranice thuliových laserů. Tým je členem Národního centra kompetence s názvem Centrum pokročilé elektronové a fotonové optiky, financovaného Technologickou agenturou ČR, a koordinuje velký infrastrukturní projekt LasApp, spolufinancovaný EU, který je zaměřený na rozvoj centra excelence a kompetence výzkumu laserových technologií a jejich aplikací. V obou těchto velkých projektech neseme zodpovědnost za rozvoj vláknové optických technologií.

Hypocykloidní optická vlákna

Standardní křemenná vlákna našla široké uplatnění v telekomunikacích nejenom kvůli nízkému útlumu, ale také díky excelentním mechanickým vlastnostem, odolnosti a životnosti. Útlum moderních optických vláken je z větší části daný rozptylem na nehomogenitách indexu lomu, které jsou způsobené dopováním jádra křemenného vlákna oxidem germaničitým, a z menší části absorpcí na poruchách v chemických vazbách a na příměsích. Útlum se pohybuje kolem hodnoty 0,2 dB/km, to znamená, že na 15 km vlákna se rozptýlí či jinak poztrácí polovina fotonů.

Nízký útlum světla se ovšem u konvenčních křemenných vláken dosahuje v nepříliš širokém rozsahu kolem vlnové délky 1550 nm. Na obě strany od této vlnové délky útlum strmě narůstá, a to omezuje přenosovou kapacitu optických vláken. I tak se v r. 2023 podařilo po jediném křemenném vlákně přenést informace rychlostí 22,9 petabitů za sekundu.

Pokud je zapotřebí přenášet po konvenčním křemenném optickém vlákně světlo na jiných vlnových délkách, je nutné smířit se kvůli vyššímu útlumu s menším dosahem. Zkoumají se sice optická vlákna vyrobená z alternativních materiálů, ale postrádají dobré mechanické vlastnosti křemenných vláken a navíc je velmi obtížné je svářet. Syntetický křemen, ze kterého jsou konvenční optická vlákna vyrobena, je totiž velmi tvrdý a taví se při vysokých teplotách kolem 2000 °C. To může na první pohled vypadat jako komplikace při spojování optických vláken svářením, ale kvůli pomalé změně viskozity s rostoucí teplotou je dnes sváření optických vláken rutinním způsobem jejich spojování i v polních podmínkách.

Optická vlákna pro střední infračervenou oblast lze připravit z fluoridového, teluridového nebo chalkogenidového skla. Tato skla se taví při mnohem nižších teplotách, ale snížení jejich viskozity s teplotou je strmé a koeficient teplotní roztažnosti je vysoký, což značně komplikuje spojování těchto vláken svářením. Ani mechanické vlastnosti optických vláken vyrobených ze zmíněných měkkých skel nejsou příznivé.

Ráznou odpovědí na volání po kvalitních optických vláknech pro střední infračervenou nebo ultrafialovou (UV) spektrální oblast jsou hypocykloidní křemenná vlákna s dutým jádrem. V těchto



Obr. 2 Optické vlákno s kompozitním pláštěm připravené pro mezinárodní projekt TALOS. Legenda: vnější vrstva pláště – fluorovaný oxid křemičitý; vnitřní plášť – oxid křemičitý; jádro vlákna dopované thuliem je obklopeno prstencovým obalem (tzv. podstavec – pedestal) s indexem lomu vyšším než je index lomu oxidu křemičitého. Vnější průměr vlákna: 445 μm .

Fig. 2 Optical fiber with structured cladding, prepared within international project TALOS. Legend: fluorinated silica cladding; silica cladding; core is surrounded by a ring (so-called pedestal) of refractive index higher than that of silica; thulium-doped core of the fiber. Outer fiber diameter: 445 μm .

-power lasers or fibers with extremely large core area for high-energy pulse amplifiers. The research on structured fibers has been done in collaboration with a team of prof. Ryszard Buczynski from the University of Warsaw. This collaboration has resulted, among others, in design and proof-of-principle demonstration of pedestal-free thulium-doped fiber that preserves high beam quality and makes splicing with other fiber components easier.

The research on thulium-doped fibers with multiple cladding resulted in a specialty fiber for anti-drone laser systems within the TALOS (Tactical Advanced Laser Optical System) project funded by the European Defence Agency (fig. 2). This fiber was used by the foreign partner of the project in power amplification stages.

Based on in-house developed and fabricated fibers, the research team is now dealing with development of sub-kW ytterbium and thulium fiber lasers suitable for industrial applications. One of key research tasks is a study of ways leading to breakthrough progress of current-1 kW-power-limited thulium fiber lasers. The research team is a member of the National Centre of Excellence called the Centre for Advanced Electron and Photon Optics, funded by the Czech Technology Agency. The team is also

responsible for coordinating the large EU co-funded infrastructure project LasApp, which aims to develop a national center of excellence and competence for research on laser technologies and their applications. In both of these extensive activities we are responsible for the development of fiber optic technologies.

Hypocykloidní optická vlákna

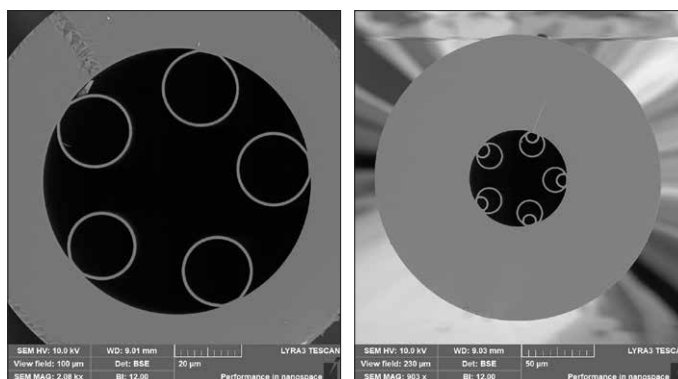
Conventional silica fibers are widely used in telecommunications not only thanks to their low attenuation, but also because of their excellent mechanical properties, durability and operational lifetime. Small but undesired attenuation of modern telecom fibers is primarily caused by scattering inhomogeneities originating from doping of the fiber core with germanium oxide, and to certain extent also by absorptions of imperfections of chemical bonds and impurities. Usual attenuation is around 0.2 dB/km, which means that half of the photons are scattered or generally lost over 15 km of fiber length. This low optical attenuation of conventional silica fibers is unfortunately achieved only within a not very wide spectral range around 1550 nm. Outside of this spectral region the attenuation increases steeply and limits the transmission capacity of the optical fiber. Even so, in 2023, a single silica fiber was able to transmit information at a rate of 22.9 petabits per second.

When transmission of light through conventional silica optical fibers at other wavelengths is expected, it is necessary to be reconciled with a shorter distance of transmission due to the higher fiber attenuation. Although optical fibers made of alternative materials have been intensively investigated, they suffer from a lack of good mechanical properties (comparable to silica fibers) and it is difficult to splice them with the silica ones. In fact, the synthetic silica glass from which conventional optical fibers are made is very hard and their processing temperatures are around 2000 °C. These high temperatures may look like a challenge at first glance but field splicing of silica-to-silica fibers has been mastered and nowadays such operation is performed routi-

vláknech se světlo šíří vzduchem, popřípadě jiným plynem, kterým je jádro naplněné. Dnešní křemenná hypocykloidní vlákna dosahují menšího útlumu než konvenční vlákna na všech cílových vlnových délkách včetně vlnové délky 1550 nm. Jsou přitom připravená ze stejného základního materiálu, který je prověřený desetiletími. Jejich transmisní charakteristika je však pásová, tj. mají spektrální intervaly s nízkým útlumem, které jsou oddělené rezonančními pásy s obrovským útlumem. Někdy se jim proto říká antirezonanční optická vlákna.

Výzkumný tým vláknových laserů a nelineární optiky z ÚFE postupně zdokonaluje technologii přípravy hypocykloidních křemenných optických vláken revolverového typu s jednoduchými a vnořenými kapilárami. Ukázky těchto vláken jsou na *obr. 3*.

Výzkum byl spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem ČR v rámci Operačního programu Jan Amos Komenský MŠMT, projektem LasApp CZ.02. 01. 01/00/22_008/0004573.



Obr. 3 Hypocykloidní křemenná optická vlákna revolverového typu (A) s jednoduchými a (B) vnořenými kapilárami, připravená v ÚFE.

Fig. 3 Revolver-type hypocycloidal silica optical fibers with (A) single and (B) nested capillaries, prepared at the Institute of Photonics and Electronics.

silica fibers achieve lower attenuation than conventional ones at all operational wavelengths, including 1550 nm. Yet they are prepared from the same base material that has been tested and verified over decades. However, their transmission characteristic is of bandpass character, i.e. their spectral transmission bands with low attenuation are separated by resonant bands with huge attenuation. So, they are sometimes called anti-resonant optical fibers.

The team of *Fiber lasers and non-linear optics* ÚFE is gradually improving the technology for preparing hypocycloidal silica optical fibers of the revolver type with single and nested capillaries. Examples of these fibers are shown in *fig. 3*.

The research was co-financed by the European Union and the state budget of the Czech Republic under the Programme Johannes Amos Komensky of the Ministry of Education, Youth and Sports, project LasApp CZ.02. 01. 01/00/22_008/0004573.



Dr. Ing. Pavel Honzátko (*1966) získal doktorát na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy. Zabývá se výzkumem vláknových laserů a zesilovačů. V Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky vede tým vláknových laserů a nelineární optiky, který se snaží prolomit stávající výkonová omezení thuliových a holmiových laserů. Kontakt: honzatko@ufe.cz

Dr. Ing. Pavel Honzátko (*1966) received his doctorate from the Faculty of Mathematics and Physics, Charles University. He is engaged in research on fiber lasers and amplifiers. At the Institute of Photonics and Electronics, Czech Academy of Sciences, he leads the fiber lasers and nonlinear optics team, which is trying to break through the current performance limitations of thulium and holmium lasers. Contact: honzatko@ufe.cz



Dr. Ing. Ivan Kašík (*1963) absolvoval Fakultu chemicko-technologickou Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, kde v r. 1995 obhájil doktorát na téma technologie přípravy optických křemenných vláken. Vede laboratoř technologie optických vláken ÚFE. Podílel se na zavedení technologie telekomunikačních optických vláken do výroby a v současné době se podílí na výzkumu a vývoji speciálních vláken pro vláknové lasery a zesilovače. Kontakt: kasik@ufe.cz

Dr. Ing. Ivan Kašík (*1963) graduated from the Faculty of Chemical Technology of the University of Chemical Technology in Prague, where he defended his doctorate in 1995 on the topic of the technology of preparation of optical quartz fibers. He heads the laboratory of optical fiber technology of the Institute of Photonics and Electronics. He participated in the introduction of telecommunication optical fiber technology into production and is currently involved in the research and development of special fibers for fiber lasers and amplifiers. Contact: kasik@ufe.cz

Polovodičové nanostruktury pro zelené technologie

Semiconductor nanostructures for green technologies

Zaměřujeme se na základní výzkum fyzikálních a chemických dějů při přípravě polovodičových nanostruktur, kontrolu jejich morfologie a vlastností. Vývíjíme metody, které nám umožňují studovat elektrické a optické vlastnosti jednotlivých nanostruktur. Základní poznání pak využíváme při vývoji nových elektronických a optoelektronických zařízení, jako jsou detektory a zdroje světla, senzory plynů a zdroje zelené energie.

We focus on the basic research of physical and chemical processes in the preparation of semiconductor nanostructures with the aim of controlling their morphology and properties. We develop methods that allow us to study their electrical and optical properties, with an emphasis on the characterisation of individual nanostructures. This fundamental knowledge is then used to develop new electronic and optoelectronic devices such as light detectors and sources, gas sensors, and green energy sources.

S polovodičovými materiály a strukturami se dnes setkáváme ve všech oblastech života od osvětlení vnitřních i venkovních prostor přes elektroniku v automobilech, solární panely na střechách domů, inteligentní elektrorozvodné sítě a senzory, chytré telefony, výkonné počítače až po ultrarychlé optické sítě. Rozměry polovodičových struktur se neustále zmenšují. Nejsou to však jen médií široce zmiňované čipy s miliardami tranzistorů pro výpočetní techniku. Jsou to také optoelektronické součástky, jako jsou svítivé diody, lasery a detektory záření pro displeje, osvětlovací techniku a optické komunikace, fotovoltaická zařízení pro bezemisní energetiku nebo senzory plynů pro průmysl a monitorování životního prostředí. S rychle rostoucí životní úrovní lidí se kvalita životního prostředí a ochrana klimatu staly předmětem každodenních odborných i laických diskusí. Až přímé dopady změny klimatu na společnost a životy lidí, jako jsou výkyvy počasí, extrémní sucha, požáry, tání ledovců nebo stoupající hladiny moří, však vedly k zásadním krokům. Hodnotící zpráva Mezivládního panelu pro klimatickou změnu varuje, že pokud nedojde k masivnímu snížení emisí skleníkových plynů, nastanou zásadní změny klimatu (v některých případech v horizontu staletí nevratné).

Česká republika je vysoce průmyslovou zemí s energetikou založenou téměř z poloviny na fosilních, zejména uhelných zdrojích. V přepočtu na počet obyvatel je bohužel největším emitentem skleníkových plynů v Evropě. Energetika, průmysl a doprava stojí za více než třemi čtvrtinami emisí skleníkových plynů. Česká energetika a teplárenství jakožto klíčové zdroje emisí projdou zásadními změnami. Vysoké ceny emisních povolenek již v průběhu několika let povedou k odstavení většiny uhelných zdrojů, které budou muset být nahrazeny dovozem a propojením sítí, úsporami, řízenou spotřebou a novými zdroji s nízkými emisemi. V českém prostředí zejména obnovitelnými zdroji zálohovanými zemním plynem a v dlouhodobém horizontu jadernými elektrárnami. Místo současného krátkodobého poklesu spotřeby elektřiny bude poptávka v budoucnu v souvislosti s výrazným snižováním spotřeby fosilních paliv a elektrifikací průmyslu, dopravy a domácností rychle narůstat.

Ke snížení emisí skleníkových plynů významně přispěje rozvoj elektromobility a fotovoltaických instalací s bateriovými úložišti elektrické energie. To přináší bezpečnostní rizika spojená s jejich haváriemi, které sice nejsou četné, mohou však napáchat rozsáhlé škody. V souvislosti s lithiovými bateriemi se mluví o „tepelném úniku baterie“, jevu anglicky označovaném jako „thermal runaway of batteries“. Při zkratu uvnitř baterie dochází k lokálnímu přehřátí a porušení elektrické izolace, což vede k chemickým reakcím a možnému uvolnění toxických nebo výbušných plynů.

Today, semiconductor materials and structures are found in all areas of life, from indoor and outdoor lighting to electronics in cars, solar panels on the roofs of homes, smart grids and sensors, smartphones, high-performance computers, and ultrafast optical networks. The dimensions of semiconductor structures are constantly shrinking. But these are not just widely media-reported chips with billions of transistors for computing. They are also optoelectronic components such as light-emitting diodes, lasers, and radiation detectors for displays, lighting and optical communications, photovoltaic devices for emission-free energy or gas sensors for industry and environmental monitoring. With the rapidly rising standard of living, environmental quality and climate protection have become the subject of daily professional and lay discussions. However, only the direct impact of climate change on society and human lives, such as weather fluctuations, extreme droughts, fires, melting glaciers, and rising sea levels, has led to major steps. The Intergovernmental Panel on Climate Change assessment report warns that, unless massive reductions in greenhouse gas emissions are made, major climate change will become inevitable (in some cases irreversible within centuries).

The Czech Republic is a highly industrial country with an energy sector based almost half on fossil fuels, mainly coal. In per capita terms, it is, unfortunately, one of the largest emitters of greenhouse gases in Europe. Energy, industry, and transport account for more than three-quarters of greenhouse gas emissions. The Czech energy production and heating sectors, as key sources of emissions, will undergo fundamental changes. High emission allowance prices will lead to the retirement of most coal-fired energy sources within a few years, which will have to be replaced by imports and grid interconnections, savings, flexible energy consumption, and new low-emission sources; in the Czech environment, in particular, by renewable sources backed up by natural gas and, in the long term, by nuclear power plants. Instead of the current short-term decline in electricity consumption, demand will increase rapidly in the future as fossil fuel consumption will be significantly reduced, and industry, transport, and households will be electrified.

The development of electromobility and photovoltaic installations with battery storage of electricity will contribute significantly to the reduction of greenhouse gas emissions. This brings safety risks associated with accidents, which, although not numerous, can cause extensive damage. In the context of lithium batteries, so called ‘thermal runaway of batteries’ is frequently debated. When a short circuit occurs inside a battery, it is followed by local overheating and damage to the electrical insulation, leading to chemical reactions and the possible release of toxic or explosive gases. As

S rostoucí teplotou se zvyšuje rychlost chemických reakcí, klesá elektrický odpor, dochází k dalšímu zhoršení stavu elektrické izolace a zvyšuje se vnitřní tlak plynů až do stavu, který je nevratný a může vést k výbuchu a požáru. Ve všech typech lithiových baterií se v havarijních stavech uvolňují oxid uhličitý (CO_2), vodík (H_2) a oxid uhelnatý (CO). Zatímco CO_2 může baterii poškodit „jen“ zvýšeným tlakem, CO a H_2 mohou v uzavřeném prostoru vyvolat ještě druhotnou explozi. CO je navíc toxický a v již malých koncentracích nad 150 ppm ohrožuje zdraví a život člověka. V současné době jsou pro včasné varování před haváriemi baterií používány senzory pracující na tepelně-vodivostním principu, které však reagují až na poměrně vysoké koncentrace H_2 a CO. Ve spolupráci s VŠCHT Praha a Teslou Blatná v rámci projektu $\text{H}_2\text{COTrack}$ vyvíjíme senzory založené na principu měření změn elektrické vodivosti v závislosti na okolní atmosféře, tzv. chemirezistory, které jsou schopny detekovat velmi nízké koncentrace plynů, jako jsou H_2 a CO, a varovat tak před nebezpečím havárie výrazně dříve než např. tlakové senzory uvnitř zapouzdřených baterií. Přestože byly první chemirezistory vyrobeny již v šedesátých letech minulého století, rozvoj nanotechnologií v posledních desetiletích umožnil nahradit citlivou vrstvu nanostrukturami a výrazně tak zlepšit jejich senzorické parametry. Běžné chemirezistory pracovaly pouze za vysokých teplot, protože aktivní plocha citlivé vrstvy byla malá. Proto neumožňovaly detekovat výbušné plyny.

Chemirezistory s citlivou vrstvou tvořenou polovodičovými oxidy kovů pracují na principu změny elektrického signálu (proudu) dané vzájemným působením mezi detekovanými molekulami plynu a adsorbovanými ionty kyslíku (obr. 1). Pro polovodič vodivostního typu n , jako je např. ZnO, molekuly kyslíku adsorbované ze vzduchu zachycují elektrony z polovodiče a tvoří kyslíkové anionty. Na povrchu polovodiče tak vzniká oblast ochuzená o elektrony a klesá elektrická vodivost struktury (základní vodivost na vzduchu). Pokud k takovému povrchu přivedeme redukující plyn, jako je H_2 nebo CO, molekuly detekovaného plynu reagují s adsorbovanými ionty kyslíku za vzniku vody nebo CO_2 (při detekci H_2 se uvolňuje voda, při detekci CO se uvolňuje CO_2 , viz obr. 1) a elektrony jsou uvolněny zpět do polovodiče, elektrická vodivost tak roste na úroveň základní vodivosti poté, co je znovu adsorbován kyslík.

Pokud připravíme citlivý materiál ve formě nanostruktur, v našem případě nanodrátů, chovají se jednotlivé nanodráty jako vodovodní potrubí, které se na vzduchu zaškrtní, zatímco v přítomnosti molekul CO nebo H_2 potrubí využívá plně svého průřezu. Když cíleně propojíme obrovské množství nanodrátů, získáme vysoce citlivý senzor, který je schopen reagovat i na velmi nízké koncentrace detekovaného plynu. K vysoké citlivosti navíc přispívají i oblasti, kde jsou jednotlivé nanodráty ve vzájemném kontaktu (obr. 2).

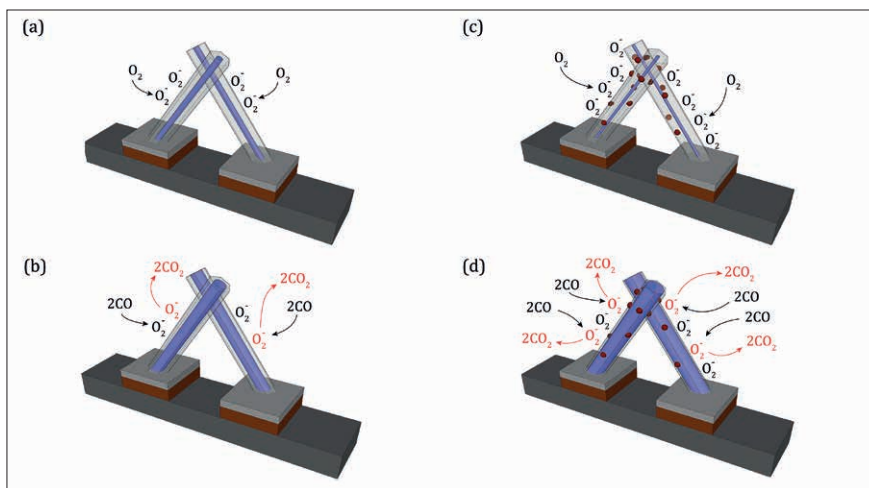
Když se vrátíme k paralele s potrubím, na vzduchu tato místa působí, jako by je někdo ucpal hustým sítem, které propus-

the temperature increases, the rate of chemical reactions increases, the electrical resistance decreases, the state of electrical insulation deteriorates further, and the internal gas pressure increases to a state that is irreversible and can lead to explosion and fire. In all types of lithium batteries, carbon dioxide (CO_2), hydrogen (H_2), and carbon monoxide (CO) are released in hazardous states. While CO_2 can damage a battery “only” by increasing the pressure, CO and H_2 can cause a secondary explosion in a confined space. In addition, CO is toxic and at concentrations as low as 150 ppm, is a threat to human health and life. Thermal conductivity sensors are currently used for the early warning of battery accidents, but these sensors only respond to relatively high concentrations of H_2 and CO. Within the $\text{H}_2\text{COTrack}$ project, in cooperation with the University of Chemistry and Technology in Prague and the company Tesla Blatná, we have developed sensors based on the principle of measuring changes in electrical conductivity depending on the surrounding atmosphere, known as chemiresistors, which are able to detect very low concentrations of gases such as H_2 and CO, and thus warn of the risk of an accident much earlier than, for example, pressure sensors inside encapsulated batteries. Although the first chemiresistors were produced in the 1960s, only the development of nanotechnology in recent decades has made it possible to replace the sensitive layer with nanostructures, significantly improving their sensing performance. Conventional chemiresistors could be operated uniquely at high temperatures because the active area of the sensitive layer was small. Because of their high-temperature operation, they could not detect explosive gases.

Chemiresistors with a sensitive layer consisting of semiconductor metal oxides operate on the principle of changing the electrical signal (current) due to the interaction between the detected gas molecules and the adsorbed oxygen ions (fig. 1). For an n -type conductivity semiconductor, such as ZnO, oxygen molecules adsorbed from the air capture electrons from the semiconductor and form oxygen anions. This creates an electron-depleted region

on the surface of the semiconductor, which decreases the electrical conductivity of the sensitive layer (the basic conductivity in air). If a reducing gas, such as H_2 or CO is brought to such a surface, the molecules of the detected gas react with the adsorbed oxygen ions to form water or CO_2 . Water is released when H_2 is detected, CO_2 is released when CO is detected (see fig. 1), and the electrons are released back into the semiconductor; thus, the electrical conductivity increases to the level of the basic conductivity after oxygen is adsorbed again.

When a sensitive material is prepared in the form of nanostructures, in this case nanowires, the individual nanowires behave like a water pipe that is throttled in air, whereas in the presence of CO or H_2 molecules the pipe makes full use of its cross-section. By intentionally interconnecting a large number of nanowires, a highly sensitive



Obr. 1 Schematické znázornění mechanismu detekce CO ve strukturách s nanodráty ve vzájemném kontaktu. Obrázky (a) a (b) znázorňují detekci CO bez přítomnosti nanočástic katalytického kovu, zatímco obrázky (c) a (d) znázorňují zesílený efekt změny odporu za jejich přítomnosti.

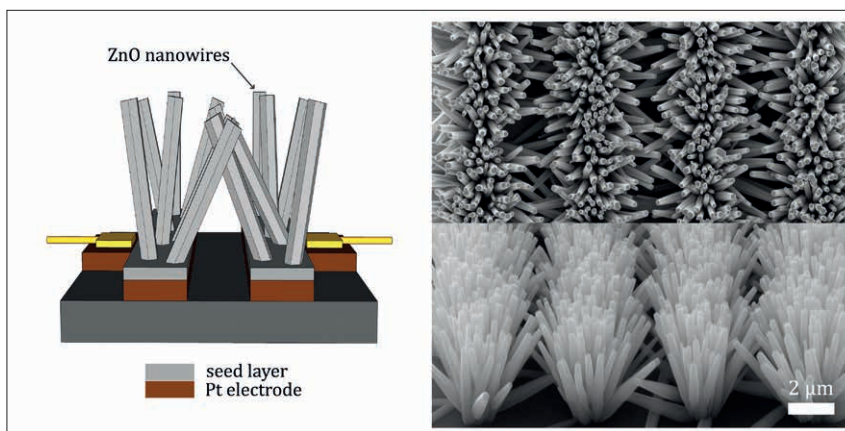
Fig. 1 Schematic representation of the CO detection mechanism in structures with nanowires in contact with each other. Figures (a) and (b) show CO detection without the presence of catalytic metal nanoparticles, while figures (c) and (d) show the enhanced effect of the resistance change in the presence of metal nanoparticles.

tí jen malé množství kapaliny, zatímco za přítomnosti molekul CO nebo H_2 se velikost otvorů v síti zvětší a proudění kapaliny tak brání jen málo. Pozorného čtenáře napadne, že redukcí plynnů je mnoho, a senzor tak bude reagovat na všechny plyny a nebude schopen rozpoznat, o který plyn se jedná. Selektivitu vůči různým plynům můžeme zajistit např. dekorací nanodrátů vhodnými nanočásticemi katalytických kovů, které výrazně zvyšují pravděpodobnost toho, že

na povrchu nanodrátů dojde k reakci iontů kyslíku s molekulami detekovaného plynu. Takto mohou působit třeba nanočástice platiny (Pt) pro H_2 nebo nanočástice zlata (Au) pro CO .

Zelený vodík získaný pomocí obnovitelných zdrojů je slibným zdrojem čisté energie. Může vyrábět elektřinu, pohánět stroje a vlaky, posloužit při výrobě oceli. Může také být přeměněn na syntetická paliva nebo sloužit k výrobě amoniaku pro zemědělská hnojiva, přičemž jediným vedlejším výstupem je voda. Má to ale háček. Když se smísí se vzduchem, může snadno vybuchnout. Využití námi vyvíjených senzorů se neomezuje jen na bateriová úložiště, ale lze jimi monitorovat skladování vodíku a manipulaci s ním, výrobní procesy a obecně bezpečnost všech vodíkových zařízení. Sensory CO jsou klíčové při monitorování kvality ovzduší, prevenci požárů, sledování úniku nebezpečných plynů a mohou ukazovat na přítomnost hořlavých materiálů nebo naznačovat problémy s výfukovými plyny.

Obnovitelné zdroje elektřiny musí být v síti doplněny zdroji poskytujícími požadovaný výkon i v době, kdy není elektřina z obnovitelných zdrojů energie k dispozici. Náhrada uhlí zemním plynem vede ke snížení emisí, zemní plyn je však stále fosilní palivo. Dlouhodobým cílem je proto nahradit zemní plyn bezemisními plyny, jako je vodík. Protože průmysl ani energetika nejsou současnými rozvody plynu na čistý vodík připravené a zelený vodík je zatím velmi drahý, jako přechodné řešení bylo navrženo přimíchání vodíku do zemního plynu. Do rozvodných systémů nelze namísto zemního plynu začít automaticky přivádět čistý vodík. Za schůdný kompromis je považován přídavek řádově jednotek procent „zeleného“ vodíku do zemního plynu při použití stávající rozvodné soustavy. Vzniká tak nová poptávka po senzorech, které by umožňovaly uvnitř potrubí detekovat vodík na pozadí zemního plynu. Do hry vstupují senzory využívající povrchové akustické vlny (SAW), jejichž aktivní vrstvu mohou opět tvořit už popsané nanostruktury oxidů kovů. Tento typ senzoru nevyžaduje pro detekci vodíku srovnávací atmosféru s obsahem kyslíku a dokáže detekovat malé molekuly (vodík) v plynu s velkými molekulami (zemní plyn tvořený převážně metanem). Sensory SAW tvoří vysílač a přijímač na piezoelektrickém substrátu. Na vysílač je přiváděn vysokofrekvenční elektrický signál, který se díky nepřímému piezoelektrickému jevu mění na povrchovou akustickou vlnu. Tato vlna se šíří k přijímači, jenž ji zpětně převede na elektrický signál, který je však fázově zpožděný. Pokud takovéto akustické vlně postavíme do cesty vrstvu citlivou na detekovaný plyn, změní se v závislosti na koncentraci plynu fázové zpoždění a další parametry akustické vlny.



Obr. 2 Schematické znázornění chemirezistoru s citlivou vrstvou tvořenou polovodičovými nanodráty.

Fig. 2 Schematic representation of a chemiresistor with a sensitive layer of semiconductor nanowires.

sensor is obtained that is able to respond to low concentrations of the detected gas. In addition, the sensitivity is further enhanced by the areas where the individual nanowires are in contact with each other (fig. 2). Returning to the parallel with the pipe, in air, these areas appear as if they have been plugged with a dense sieve that allows only a small amount of liquid to pass through, whereas in the presence of CO or H_2 molecules, the size of the holes in the sieve increases and the flow of liquid is thus not

significantly impeded. A careful reader may raise the objection that there are many reducing gases, and that the sensor will thus react to all gases and will not be able to recognise which gas is involved. To make the sensor response selective to particular gases, the nanowires can be, for example, decorated with suitable catalytic metal nanoparticles, which greatly increase the probability that oxygen ions will react with the molecules of the detected gas on the surface of the nanowires. These can be platinum (Pt) nanoparticles for H_2 or gold (Au) nanoparticles for CO .

Green hydrogen produced from renewable sources is a promising clean energy source. It can generate electricity, power machines and trains, and serve in steel production. It can also be converted into synthetic fuels or used to produce ammonia for agricultural fertilisers, with water as the only by-product. But there is a catch. When mixed with air, it can easily explode. The use of the sensors we are developing is not limited to battery storage but can be used to monitor hydrogen storage and handling, production processes, and the safety of all hydrogen facilities in general. CO sensors are key players in air quality monitoring, fire prevention, monitoring for leaks of hazardous gases and can indicate the presence of combustible materials or exhaust gas problems.

Renewable sources of electricity in the grid must be complemented with backup sources to provide the required power, even when renewable electricity is not available. Replacing coal with natural gas leads to a reduction in emissions, but natural gas is still a fossil fuel. The long-term goal is therefore to replace natural gas with emission-free gases such as hydrogen. The industry, the power sector, and the gas distribution systems are not ready for the use of pure hydrogen. Moreover, green hydrogen is still expensive. Therefore, the addition of hydrogen to natural gas has been proposed as a temporary solution. Adding up to 20 percent of green hydrogen to natural gas using the existing distribution system is considered a viable compromise. This creates a new demand for sensors that can detect hydrogen inside a gas pipeline against a natural-gas background. Sensors using surface acoustic waves (SAW) come into play, whose active layer may again consist of the previously described metal oxide nanostructures. This type of sensor does not require a comparative oxygen atmosphere to detect hydrogen and can detect small molecules (hydrogen) in a gas with large molecules (natural gas, consisting mainly of methane). SAW sensors consist of a transmitter and a receiver on a piezoelectric substrate. The transmitter receives a high-frequency electrical signal, which is converted into a surface acoustic wave by an indirect piezoelectric effect. This wave propagates to the receiver, which in turn converts it back into an electrical signal which is, however, phase-delayed.

V týmu nanomateriálů v Ústavu fotoniky a elektroniky vyvíjíme od roku 2015 metody přípravy polovodičových nanostruktur a charakterizujeme jejich elektrické a optické vlastnosti až na úroveň základních stavebních kamenů, např. nanodrátů. Díky tomu víme, jak připravit síť nanodrátů v ideálním uspořádání (což je zásadní pro chemirezistory i pro senzory SAW), a umíme popsat, co přesně se odehrává v sítích polovodičových nanodrátů, když je na ně přiloženo elektrické napětí (což je klíčové pro chemirezistory). Tyto znalosti nám umožňují zlepšovat parametry senzorů plynů pro danou aplikaci.

Měříme každý nanodrát zvlášť

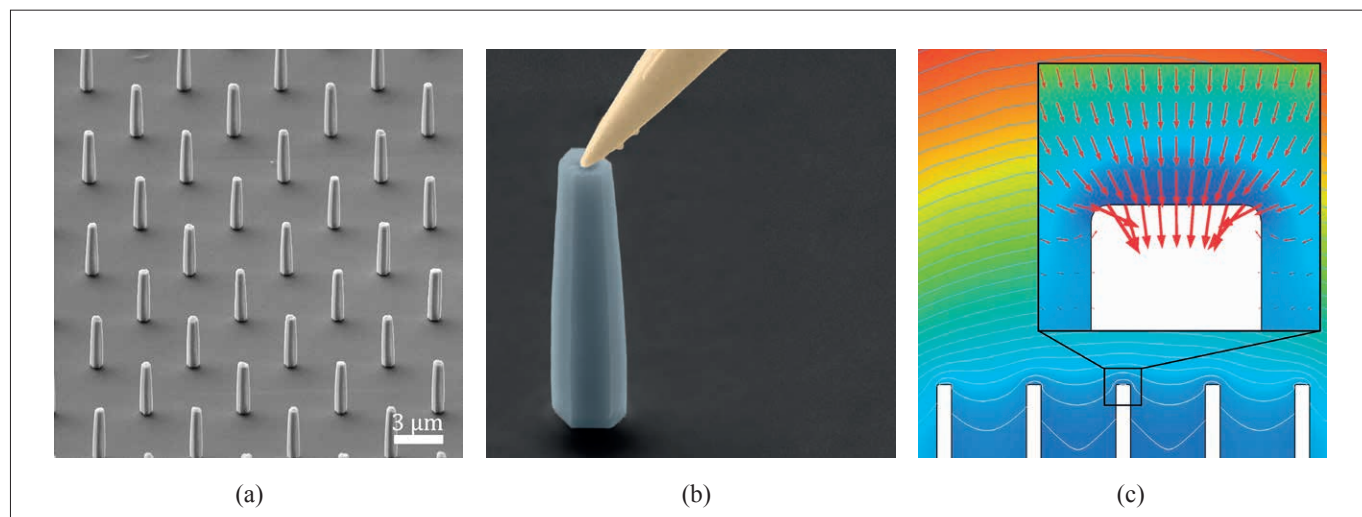
V současné době jsou senzory většinou studovány pouze jako celek, kdy se vyhodnocují vlastnosti rozsáhlých polí nanodrátů. Pro pochopení toho, jakým způsobem se v sítích nanodrátů šíří elektrický náboj, vyvíjíme postupy, které nám umožňují vytvořit elektrické kontakty na jednotlivém nanodrátku, na jejich dvojici v kontaktu nebo ve struktuře s omezeným počtem nanodrátů. Celou síť nanodrátů jsme tak schopni rozebrat na základní stavební jednotky a z jejich elektrických vlastností sestavit obrázek o tom, jak celý senzor funguje. A to v běžné atmosféře i atmosféře detekovaného plynu. K přímým elektrickým měřením používáme nanomanipulátory umístěné v komoře elektronového mikroskopu nebo je přenášíme pomocí nanomanipulátoru na litograficky připravené kontakty.

If a layer that is sensitive to the gas to be detected is placed in the path of such an acoustic wave, the phase delay and other parameters of the acoustic wave change depending on the gas concentration.

The *Nanomaterials* research team at the Institute of Photonics and Electronics has been developing methods for preparing semiconductor nanostructures and characterising their electrical and optical properties down to the level of basic building blocks, such as nanowires. The team has built a strong know-how to prepare a network of nanowires in an ideal arrangement (which is crucial for both chemiresistors and SAW sensors) and to characterise electric charge transport in the networks of semiconductor nanowires (which is crucial for chemiresistors). This knowledge allows us to improve the performance of gas sensors for particular applications.

Characterization of single nanowires to build smarter gas sensors

Currently, gas sensors are mostly studied as a whole, and the properties of large arrays of nanowires have been evaluated. To understand how electric charge is transported in nanowire networks, we have developed techniques that allow us to make electrical contacts to a single nanowire, to a pair of nanowires in contact, or to a structure with a limited number of nanowires. Thus, we can break down the entire network of nanowires into their basic building blocks and use their electrical properties to build a picture of how the entire sensor functions in both ambient atmosphere and in the atmosphere of the gas being detected. Nanomanipulators in the chamber of an electron microscope are used for their direct electrical measurements as well as for their transfer to lithographically prepared contacts.



Obr. 3 Snímek pole nanodrátů ZnO na litograficky upraveném substrátu (a), nanodrát ZnO v kontaktu s hrotem nanomanipulátoru v elektronovém mikroskopu při elektrické charakterizaci (b) a model rozložení koncentrace růstových jednotek v okolí pole nanodrátů (c).

Fig. 3 SEM image of a ZnO nanowire array on a lithographically prepared substrate (a), a ZnO nanowire in contact with the tip of a nanomanipulator in a scanning electron microscope during electrical characterisation (b), and a model of the concentration of the growth units in the vicinity of the nanowire array (c).

Vaříme z vody

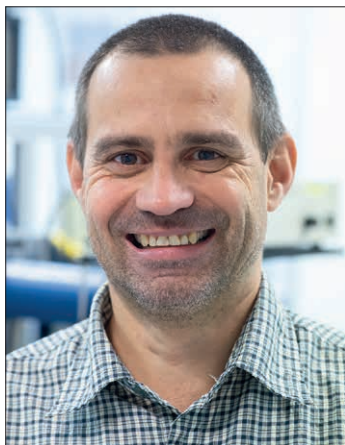
Nanodráty připravujeme z vodných roztoků. Protože je to technicky jednoduché (lze to v principu zvládnout i na vařiči v kuchyni) a nanodráty mohou narůst na velkých substrátech ve velkém množství. Cílem je připravit nanodráty s požadovaným tvarem, rozměry, orientací a fyzikálními vlastnostmi. V přípravě nanodrátů z roztoků převládá empirický přístup, který je ale zdoluhavý a nevede k hlubokému poznání jevů, které se při jejich růstu odehrávají. Tento přístup výrazně posouváme tím, že mode-

Cooking from water

Nanowires are prepared from aqueous solutions. This is because it is technically simple (in principle, it can be done on a stove in the kitchen) and nanowires can grow on large substrates in large quantities. The goal is to prepare nanowires with the desired shape, size, orientation, and physical properties. An empirical cook-and-look approach prevails in the preparation of nanowires from solutions. However, this approach is tedious and does not lead to a deeper understanding of the phenomena that occur during growth.

lujeme chemické a fyzikální jevy probíhající v růstových roztocích a studujeme mechanismy nukleace a růstu. Vyvíjíme nové metody přípravy a také techniky, jak donutit nanodrátů růst daným směrem na místech, kde si to přejeme. Polovodičové nanodrátů jsou monokrystalické. Zjednodušeně si je můžeme představit, jako by byly celé sestavené z velkého množství kostek lega. V roztoku tak musí být kostek dostatečný počet, aby je měl stavitel k dispozici, ale ne moc; při příliš rychlém tempu stavby by se mohly některé kostky ocitnout na špatném místě. I jedna špatně umístěná kostka ze stovek tisíc může mít v polovodičích zásadní vliv na jejich fyzikální vlastnosti. Počtem kostek v roztoku a jejich druhy pak můžeme řídit, jaký tvar a rozměry bude nanodrát mít a kterým směrem poroste. A to je pro senzory plynů založené na sítích polovodičových nanodrátů klíčové.

We advance this approach by modelling the chemical and physical phenomena occurring in growth solutions and by studying their nucleation and growth mechanisms. We developed new growth methods and techniques to force nanowires to grow in a given direction at desired locations. The semiconductor nanowires are single-crystalline. In simple terms, we can think of them as being entirely made up of a large number of Lego blocks. There must be enough blocks in the solution, but not too many; if the build pace is too fast, some blocks could end up in a wrong place. In semiconductors, even one misplaced block out of hundreds of thousands can have a major effect on their physical properties. The number of blocks in the solution and their types can then control the nanowire shape, size, and growth direction, which is crucial for gas sensors based on networks of semiconductor nanowires.



Ing. Jan Grym, Ph.D., (*1974) vystudoval Fakultu elektrotechnickou ČVUT v Praze. V rámci studia a jako postdoktorand působil na Universidad Complutense v Madridu, v Ústavu polovodičů v Pekingu a v Národní laboratoři v americkém Brookhavenu. V Ústavu fotoniky a elektrotechniky Akademie věd České republiky se zabývá přípravou a charakterizací polovodičových materiálů a nanostruktur pro elektroniku a optoelektroniku. Kontakt: grym@ufe.cz

Ing. Jan Grym, Ph.D., (*1974) graduated from the Faculty of Electrical Engineering at the Czech Technical University in Prague. During his studies and as a postdoctoral fellow, he worked at the Universidad Complutense in Madrid, at the Institute of Semiconductors in Beijing, and at the Brookhaven National Laboratory, US. At the Institute of Photonics and Electrical Engineering of the Czech Academy of Sciences, he is involved in the preparation and characterisation of semiconductor materials and nanostructures for electronics and optoelectronics. Contact: grym@ufe.cz

Thulium vláknový laserový systém láme výkonostní rekord

Výzkumníci z **Fraunhoferova institutu pro aplikovanou optiku a přesné inženýrství IOF** (Fraunhofer IOF) v Jeně (Spolková republika Německo) vyvinuli vláknové laserové systémy s thuliovými vlákny, které téměř zdvojnásobují předchozí světový rekord ve výkonu. Laserový systém se skládá ze tří vysoce výkonných thuliových vláknových laserů, které vyzařují světlo ve spektrálním rozsahu 2030 nm až 2050 nm a dosahují výkonu až 1,91 kW – téměř dvojnásobek oproti konvenčním systémům s výkonem ~1,1 kW [systému s jedním vláknovým laserem]. Vysoce výkonné vláknové lasery jsou všestranným nástrojem pro řadu technologických aplikací, např. opracování materiálů a **optické sdělování ve volném prostoru** (FSOC – *free space optical communications*). Volba správného spektrálního rozsahu hraje rozhodující roli, zejména na velké vzdálenosti – například ze Země na satelity. Spektrální oblast >2030 nm je považována za zvláště vhodnou, protože atmosférické ztráty jsou v této oblasti nízké a laserové světlo je relativně bezpečné pro oči.

Princip **spektrálního kombinování svazků** (SBC – *spectral beam combining*) je stěžejní pro optimalizaci potřebné technologické základny s využitím jednotlivých zdrojů. Laserové svazky různých vlnových délek jsou přitom směřovány na speciální optickou reflexní mřížku ve vhodných úhlech. Difrakci se spojují laserové svazky do jednoho. To nejen zvyšuje výkon vláknového laserového systému, ale také zachovává kvalitu svazku a tím i schopnost jeho zaostření.

Předchozí systémy dosahují svých fyzikálních limitů pro vyšší úroveň výkonu, zejména kvůli přehřívání způsobeném nízkou kombinací a účinností laseru. Tým Fraunhofer IOF se s těmito výzvami vypořádával účinnějšími jednotlivými zdroji a vylepšenými chladičskými systémy. Konkrétně speciální technika spojování vláken, známá jako spojování za studena, umožňuje

nízkoztrátové spojení vláken s vlákny (*fiber-to-fiber coupling*) a účinnou regulaci teploty.

Dalším klíčovým komponentem je speciálně vyvinutá difrakční mřížka s účinností >95 % a vynikajícími tepelnými vlastnostmi. „Kombinovaná mřížka je srdcem našeho systému,“ řekl Friedrich Möller, vědec v oddělení laserové technologie ve Fraunhoferově institutu IOF. „Optické kombinační prvky, jako jsou mřížky a dichroická zrcadla pro vlnové délky kolem 2 μm, byly až dosud k dispozici pouze pro lasery o výkonu několika stovek wattů. Naši kolegové v ústavu však vyvinuli speciální difrakční mřížku, která při náročných parametrech výborně funguje i v oblasti několika kilowattů. Umožňuje kombinaci svazků s nízkými ztrátami a s celkovou účinností vyšší než 90 % a je základem pro naše další pokroky ve výkonu.“

Podle Tilla Walbauma, vedoucího skupiny pro laserovou technologii ve Fraunhoferově institutu IOF, je další velkou výzvou dosažení úrovně výkonu 20 kW. Vysoce výkonné thuliové vláknové lasery otevírají širokou oblast použití, včetně lékařských postupů, zpracování polymerů a optického přenosu dat.

[Dodejme, že tým vláknových laserů ÚFE spolupracuje s výzkumníky z Fraunhofer IOF na projektu TALOS TWO Evropské obranné agentury a spolu publikovali společný výzkum teplotních závislostí spektroskopických parametrů thuliových vláken, které jsou podstatné pro návrh účinnějšího chlazení.]

Zprávu z oddílu Technology News ve Photonics Spectra, June 2025 nechal přeložit MS Translatorem a pro české čtenáře poněkud upravil

Miroslav Miler

V hranatých závorkách jsou poznámky obsahového editora

Kde se bere přesný čas?

Where does one get the exact time?

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR provozuje a rozvíjí mj. také specializovanou laboratoř státního etalonu času a frekvence, která je v rámci národního metrologického systému přidruženou laboratoří Českého metrologického institutu a aktuálně je pověřena uchováváním Státního etalonu času a frekvence. Vytváří se zde fyzická aproximace jednotky času – sekundy, a to s využitím kvantového etalonu času a frekvence, konkrétně cesiových svazkových hodin, které se často označují jako atomové hodiny.

The Institute of Photonics and Electronics of the CAS operates and develops, among other things, a specialized Laboratory of the National Time and Frequency Standard, which is a designated laboratory of the Czech Metrology Institute within the national metrology system and is currently responsible for maintaining the National Time and Frequency Standard. A physical approximation of the unit of time, the second, is created here using a quantum standard of time and frequency, namely the cesium beam clock, often referred to as an atomic clock.

Laboratoř dále vytváří národní časovou stupnici označovanou UTC(TP), což znamená Coordinated Universal Time (www.presny-cas-online.cz/obsah/presny-cas-v-cr), která je predikcí světového koordinovaného času UTC a přesným časem v ČR. Laboratoř navazuje další kvantové etalony času a frekvence v ČR na UTC(TP) pomocí signálů satelitních navigačních systémů (GNSS – GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) nebo prostřednictvím vyhrazených optických vláken, případně vyhrazených kanálů v plně optických sítích. Takto navazované atomové hodiny se spolu s UTC(TP) podílejí na tvorbě světového koordinovaného času UTC ve spolupráci s Mezinárodním úřadem pro míru a váhy (BIPM) v Paříži.

Laboratoř provádí náročné kalibrace primárních a sekundárních etalonů času a frekvence, autonomních nebo řízených zdrojů přesného času a frekvence a zařízení pro tzv. časový transfer, tj. porovnávání časových stupnic na velkou vzdálenost pomocí GNSS, optických vláken a optických sítí.

Vědci z laboratoře Státního etalonu času a frekvence spolupracují s dalšími ústavy Akademie věd ČR v rámci programu Strategie AV21, s vysokými školami a průmyslem. Ve spolupráci s českou firmou Dicom/MESIT ASD byla vyvinuta a posléze inovována měřicí aparatura pro časový transfer pomocí GNSS, která se stala světově úspěšnou a využívá se v několika národních metrologických institutech, kalibračních laboratořích, vesmírných agenturách (ESA, NASA, DLR) nebo při špičkovém výzkumu (ESA, CERN). A právě o zařízení GTR50 a jeho nástupcích vypráví náš komiksový příběh. Dílo vzniklo ve spolupráci s CETAV (Centrum transferu AV ČR) a ÚFE AV ČR.

The laboratory also produces a national time scale, referred to as UTC(TP), which stands for Coordinated Universal Time (www.presny-cas-online.cz/obsah/presny-cas-v-cr), which is a prediction of the world's coordinated time UTC and the exact time in the Czech Republic. The laboratory links other quantum standards of time and frequency in the Czech Republic to UTC(TP) using signals from satellite navigation systems (GNSS - GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou) or via dedicated fibre optic or dedicated channels in all-optical networks. The atomic clocks linked in this manner participate with UTC(TP) in the production of Coordinated Universal Time (UTC) in cooperation with the International Bureau of Weights and Measures (BIPM) in Paris.

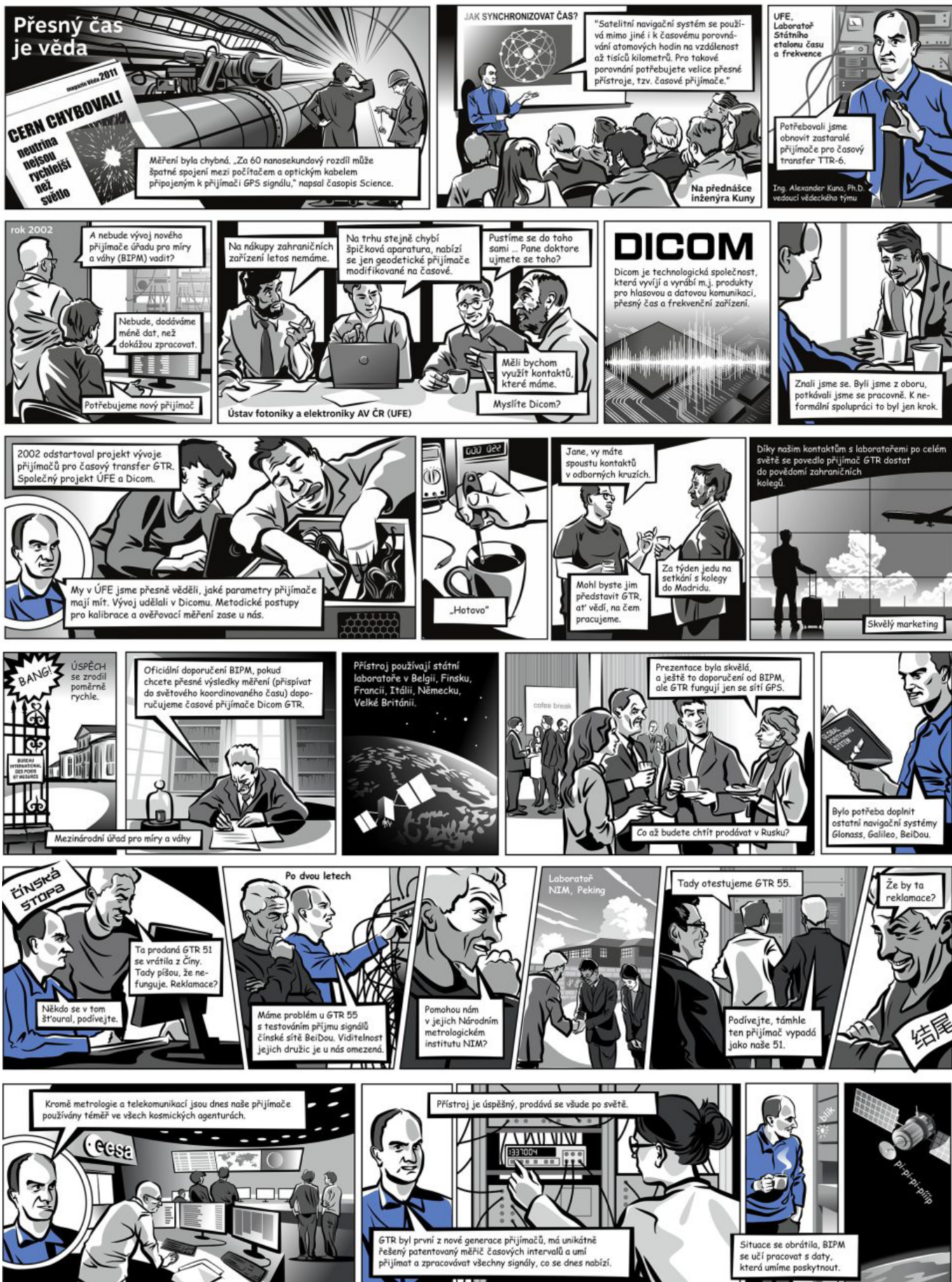
The laboratory performs demanding calibrations of primary and secondary time and frequency standards, autonomous or controlled sources of precise time and frequency, and time transfer equipment, i.e., long-distance time scale comparisons using GNSS, fibre optics, and optical networks.

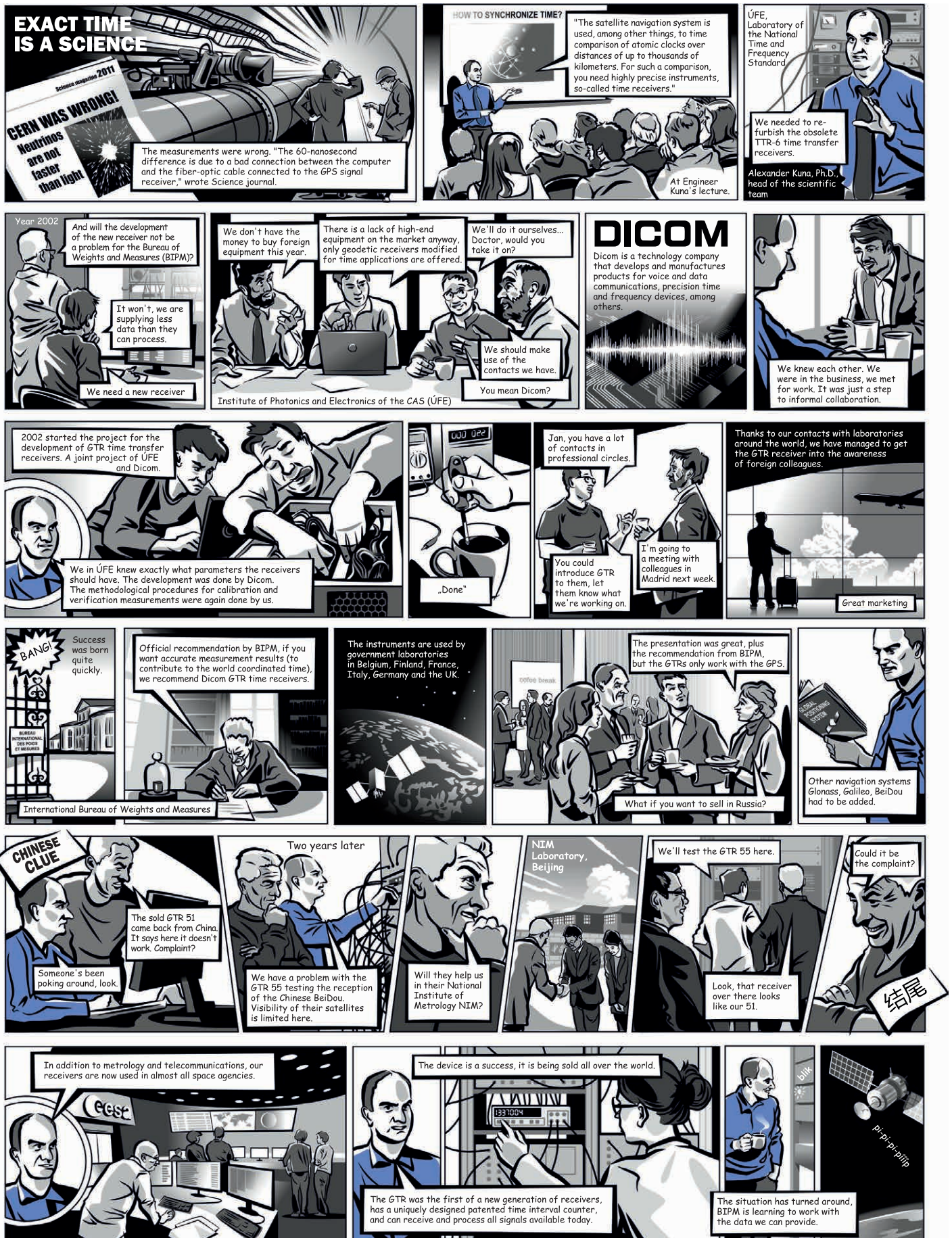
Scientists from the Laboratory of the National Time and Frequency Standard collaborate with other institutes of the Czech Academy of Sciences within the framework of the AV21 Strategy programme, universities, and industry. In cooperation with the Czech company Dicom/MESIT ASD, a GNSS time transfer measuring apparatus was developed and subsequently innovated, which has become a worldwide success and is used in several national metrology institutes, calibration laboratories, space agencies (ESA, NASA, DLR) or in cutting-edge research (ESA, CERN). The GTR50 apparatus and its successors are the subject of our comic story. The work was created in cooperation with CETAV and ÚFE of the CAS.



Ing. Alexander Kuna, Ph.D., (*1978) absolvoval Fakultu elektrotechnickou Českého vysokého učení technického v Praze. Od roku 2004 pracuje v laboratoři Státního etalonu času a frekvence Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, přidružené laboratoři Českého metrologického institutu, a od roku 2009 tuto laboratoř vede. Podílel se na vývoji celosvětově používaných přijímačů přesného času řady GTR5X. V projektu OP JAK QueenTec: Kvantové inženýrství a nanotechnologie vede tým ÚFE v pracích na distribuci ultrapřesných signálů na národní a evropské úrovni. Kontakt: kuna@ufe.cz

Ing. Alexander Kuna, Ph.D., (*1978) graduated from the Faculty of Electrical Engineering of the Czech Technical University in Prague. Since 2004, he has been working in the Laboratory of the National Time and Frequency Standard of the Institute of Electrical Engineering of the CAS, a designated laboratory of the Czech Metrology Institute, and since 2009, he has been the head of this laboratory. He has participated in the development of the worldwide used GTR5X series precision time receivers. In the project OP JAK QueenTec: Quantum Engineering and Nanotechnology, he leads the ÚFE team in the work on the distribution of ultraprecision signals at the national and European level. Contact: kuna@ufe.cz





Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. devadesátiletý

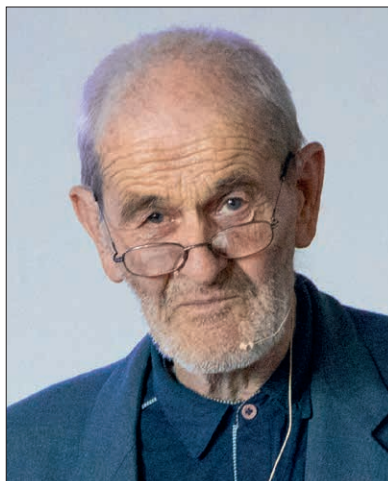
Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. ninety years old

Miroslav Miler oslavil v plné fyzické i psychické svěžesti dne 11. 4. 2025 své devadesátiny. Podle jeho výpovědi si nikdy nepředstavil, že by se dožil zdrav takového věku. Vždy mu připadalo, že rozhraní tisíciletí bude v šedesáti pěti letech jeho věku rozhodující životní mezník. Nicméně ono datum proběhlo a s ním dalších dvacet pět let, aniž by tyto roky příliš poznamenaly jeho fyzickou kondici založenou v mladším věku aktivním sportem.

Po odchodu z aktivního života byl jako emeritní vědecký pracovník Akademie věd České republiky zaměstnán prací, kterou si pro sebe začal vymýšlet sám. V rozhodující době pro jeho další zaměření se potkal s tehdejším šéfredaktorem odborného časopisu *Jemná mechanika a optika* dipl. tech. *Jaroslavem Nevřalou* (*Jem. mech. opt.* **60/5** (2021) 143), který ho „uvrtil“ do práce v tomto časopise, která záležela v tom, že řadou krátkých článků či glos vyplňoval volná místa na posledních stránkách odborných textů, když bylo požadováno, aby tyto články začínaly na nových stránkách. V této aktivitě pokračuje jubilant už celých deset let – i za současného šéfredaktora Ing. *Jaromíra Křepelky*, CSc.

Nemá význam zde opakovat, co o jubilantovi napsal v tomto časopisu jeho věrný kamarád RNDr. *Vladimír Malíšek*, CSc. v souvislosti s jeho sedmdesátinami (viz *Jem. mech. opt.* **50/10** (2005) 305–6), nebo o čem se sám vyslovoval v interview s redakcí tohoto časopisu u příležitosti svých pětasedmdesátin (viz *Jem. mech. opt.* **55/4** (2010) 129–30) v čísle věnovaném vláknové optice, protože v onom roce byla udělena Nobelova cena *Ch. K. Kao*vi, či jak ho představil doc. Ing. *Pavel Peterka*, Ph.D. v jubilejním článku k jeho osmdesátinám (viz *Jem. mech. opt.* **60/5–6** (2015) 194–5). Redakce tohoto časopisu navíc připomněla v r. 2020 jeho pětasedmdesátiny (viz *Jem. mech. opt.* **65/3** (2020) 81).

Kromě neustálého doplňování zásoby různých výplňkových krátkých příspěvků do tohoto časopisu publikoval v tomto období jubilant i několik jednotlivých odborných článků ze svého posledního zaměření na holografické difrakční mřížky a přehledový třídlíný článek o optických základech spektrálních přístrojů, kam zahrnul i některé nové přístupy k této problematice. V poslední době v rámci svého teoretického výzkumu o CBC (coherent beam combining) a SBC (spectral beam combining), který má význam pro dálkové šíření nebo silové soustředění optického výkonu z vláknových laserů, publikoval sérii článků zabývajících se koherentním skládáním rovnoběžně emitujících svazků vláknových laserů. Poslední článek byl vzhledem ke svému významu publikován v angličtině (viz Combining more than five fiber laser beams: *Jem. mech. opt.* **69/9** (2024) 240–44).



Miroslav Miler celebrated his ninetieth birthday in full physical and mental freshness on April 11, 2025. According to his testimony, he never admitted that he would live to such an age. It had always seemed to him that the turn of the millennium would be a decisive milestone at the age of sixty-five. However, that date passed, and with it another twenty-five years, without these years affecting his life too much. After retiring from active life, as an appointed Emeritus scientist of the Czech Academy of Sciences, he was busy with his work, which he began to invent for himself. At a crucial time for his further focus, he met the then editor-in-chief of this professional journal *Fine Mechanics and Optics* dipl. tech. *Jaroslav Nevřala* (see *Fine Mechanics and Optics* **60/5** (2021) 143), who “drilled” him into work in

this magazine, which consisted in filling in the ends of the last pages of professional articles with some short articles or glosses, which remain free when these articles start on a new page. The jubilant has been continuing this activity for ten years – even under the current editor-in-chief Ing. *Jaromír Křepelka*, CSc.

There is no point in repeating here what his faithful friend RNDr. *Vladimír Malíšek*, CSc. wrote about the jubilee in this magazine in connection with his seventieth birthday (see *Fine Mechanics and Optics* **50/10** (2005) 305–6), or what he himself expressed in an interview with the editors of this magazine on the occasion of his seventy-fifth birthday (see *Fine Mechanics and Optics* **55/4** (2010) 129–30) in an issue dedicated to fiber optics, because in that year the Nobel Prize was awarded to *Ch. K. Kao*, or as he was presented by doc. Ing. *Pavel Peterka*, Ph.D. in a jubilee article on his eightieth birthday (see *Fine Mechanics and Optics* **60/5–6** (2015) 194–5). In addition, the editors of this magazine commemorated his eighty-fifth

birthday in 2020 (see *Fine Mechanics and Optics* **65/3** (2020) 81).

In addition to constantly replenishing the stock of various filler short contributions to this journal, the jubilant also published several individual professional articles from his latest focus on holographic diffraction gratings and a three-part overview article on the optical foundations of spectral instruments, where he also included some new approaches to this issue. Recently, as part of his theoretical research on CBC (coherent beam combining) and SBC (spectral beam combining), which is important for long-distance propagation or directed energy applications of optical power from fiber lasers, he has published a series of papers dealing with coherent combination of parallel-emitting fiber laser beams. The last paper was published in English due to its importance (see Combining more than five fiber laser beams: *Fine Mechanics and Optics* **69/9** (2024) 240–44).



Obr. 1 Miroslav Miler jako hráč fotbalového mužstva ÚŘE ČSAV v horní řadě třetí zleva.

Fig. 1 Miroslav Miler as a player of the football team of the Institute of Radio Engineering and Electronics of the Czechoslovak Academy of Sciences in the top row third from the left.

Jubilant se soustavně v tomto časopisu zabývá recenzemi nových zahraničních knih z optiky, fotoniky a příbuzných oborů, zejména těch, které nabízí NTK (Národní technická knihovna) v Praze.

Jednou z hlavních jubilentových aktivit zůstává po celou dobu jeho práce angažování se ve standardizaci: zajímá ho zejména česká terminologie, ale má často co říci i k terminologii anglické. V jeho zájmu je i problematika bezpečnosti práce s optickým zářením jak nekoherentním, tak zejména koherentním zářením laserů. Relativně nové pole standardizace je v oboru fotovoltaických energetických soustav. Jeho činnost byla oceněna v r. 2024 udělením uznání za propagaci a rozvoj standardizace, kterou v rámci výročního udělování cen Vladimíra Lista obdržel od České agentury pro standardizaci (ČAS).



Obr. 2 Miroslav Miler získal v roce 2024 Ocenění za propagaci a rozvoj standardizace od České agentury pro standardizaci.

Fig. 2 Miroslav Miler received the Award for the Promotion and Development of Standardization from the Czech Agency for Standardization in 2024.



Obr. 3 Doc. RNDr. Miroslavu Milerovi, DrSc. (uprostřed) blahopřejí k ocenění generální ředitel České agentury pro standardizaci Mgr. Zdeněk Veselý (vlevo) a předseda Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví Ing. Jiří Kratochvíl (vpravo).

Fig. 3 Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. (center) is congratulated on his award by the Director General of the Czech Agency for Standardization, Mgr. Zdeněk Veselý (left) and the Chairman of the Office for Technical Normalization, Metrology and State Testing, Ing. Jiří Kratochvíl (right).

Budeme potěšeni, když mu Prozřetelnost poskytne ještě nějakou dobu zdraví a jasnou mysl k realizaci dalších aktivit.

Za vedení Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky Pavel Peterka

In this journal, the jubilant systematically reviews new foreign books in optics, photonics and related fields, especially those offered by the NTK (National Technical Library) in Prague.

One of the main activities of the jubilee has remained his involvement in standardization throughout his work: he is mainly interested in Czech terminology, but he often has something to say about English terminology as well. He is also interested in the issue of safety of working with optical radiation, both incoherent and especially coherent laser radiation. A relatively new field of standardization is in the field of photovoltaic energy systems. His activities were recognized in 2024 by recognizing him for the promotion and development of standardization, which he received from the Czech Agency for Standardization (ČAS) as part of the annual Vladimír List Awards.



Obr. 4 Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. převzal ke svým devadesátinám dárky od ředitele ÚFE AV ČR doc. Ing. Pavla Peterky, Ph.D.

Fig. 4 Doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. received gifts for his ninetieth birthday from the director of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D.



Obr. 5 Společná fotografie u příležitosti oslavy 90. narozenin M. Milera.: zleva doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc., prof. Ing. Jiří Čtyrkoký, DrSc.

Fig. 5 Group photo on the occasion of the celebration of M. Miler's 90th birthday: from the left doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc., prof. Ing. Jiří Čtyrkoký, DrSc.

We will be pleased if Providence will give him health and clarity for some time to carry out further activities.

Pavel Peterka on behalf of the management of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences

Workshop o speciálních optických vláknech WSOF 2025 pořádaný spolu se sympoziem SPIE Optics + Optoelectronics v Praze měl rekordní účast

The Workshop on Specialty Optical Fibers 2025, held together with the symposium SPIE Optics + Optoelectronics in Prague, attracted record attendance

V první polovině dubna 2025 se konaly dvě významné akce z oboru optiky a optoelektroniky zároveň. Workshop o speciálních optických vláknech a jejich aplikacích (WSOF), který pořádalo ÚFE a jehož součástí byla také komerční výstava, prohlídky laboratoří a společenské akce, přilákal na 200 návštěvníků. Souběžně s ním se uskutečnilo symposium SPIE Optics + Optoelectronics 2025, které organizovala mezinárodní společnost pro optiku a fotoniku SPIE.

In the first half of April 2025, two major events in the field of optics and optoelectronics were held simultaneously. The Workshop on Specialty Optical Fibers and their Applications (WSOF), organized by ÚFE including a commercial exhibition, laboratory tours and social events, attracted over 200 attendees. The symposium Optics + Optoelectronics, organised by the SPIE, was held in parallel.

SPIE Optics + Optoelectronics

Ve dnech 7.–10. dubna 2025 se v Clarion Congress Hotelu v pražských Vysočanech konalo Symposium SPIE Optics + Optoelectronics, jedna z největších událostí v oboru optiky a optoelektroniky ve střední Evropě, která sdružuje odborníky v oblasti optiky a optoelektronických zařízení a představuje nejnovější pokroky v laserové technologii po celém světě. Ústav fotoniky a elektroniky se i letos aktivně zapojil. Vědci z ÚFE předsedali třem konferencím z šestnácti, prof. Jiří Homola předsedal konferenci o optických senzorech, která je tradičně největší dílčí událostí symposia, prof. Jiří Čtyroký konferenci o integrované optice a Dr. Vladimír Kuzmiak konferenci o metamateriálech.

WSOF

Velmi významnou a úspěšnou akci s rekordní účastí byl rovněž mezinárodní workshop o speciálních optických vláknech a jejich aplikacích WSOF (Workshop on Specialty Optical Fibers and Their Applications), který pořádalo ÚFE ve stejný čas a na stejném místě jako výše zmíněné symposium SPIE. Workshop WSOF 2025 v sobě zahrnul i konferenci o speciálních optických vláknech, jinak obvykle pořádanou v rámci symposia SPIE Optics + Optoelectronics. Tento speciální jednorázový ročník WSOF tak přinesl příležitost pro širší publikum, obvykle se WSOF totiž účastní 100–150 účastníků. Zatímco letos se jich zaregistrovalo na 200. Mohli vidět 106 prezentací, z toho 4 plenární a 15 zvaných přednášek, 43 přednášek a 44 posterů. Úspěch měla rovněž průmyslová výstava, kde vystavovalo 25 firem, výjimečně reprezentativní bylo zastoupení firem dodávajících technologické celky pro přípravu optických vláken.

Akce WSOF tentokrát zavítala do historické Prahy, někdejšího hlavního města Svaté říše římské. Praha totiž není jen o gotice, ale má blízko i k optice. Žili zde nebo tu učinili své objevy Johannes Kepler, Christian Doppler, Emil Wolf, Erich Spitz. Albert Einstein zde koncipoval svou obecnou teorii relativity; první pražská laserová zařízení pocházejí již z roku 1962 a v Akademii věd ČR funguje infrastruktura pro technologii optických vláken, kterou si účastníci WSOF mohli prohlédnout při prohlídkách laborato-

SPIE Optics + Optoelectronics

From 7 to 10 April 2025, the Clarion Congress Hotel in Prague's Vysočany district hosted the SPIE Optics + Optoelectronics symposium, one of the largest optics and optoelectronics events in Central Europe, bringing together experts in optics and optoelectronic devices to present the latest advances in laser and optical technology worldwide. The Institute of Photonics and Electronics (ÚFE) was again actively involved this year. Scientists from ÚFE chaired three conferences out of sixteen, prof. Jiří Homola chaired the conference on Optical sensors, which is traditionally the largest sub-event of the symposium, prof. Jiří Čtyroký chaired the conference on Integrated optics and Dr. Vladimír Kuzmiak chaired the conference on Metamaterials.

WSOF

A very important and successful event with a record participation was also the international Workshop on Specialty Optical Fibers and Their Applications (WSOF), which was organized by the ÚFE at the same time and place as the above mentioned SPIE symposium. The WSOF 2025 workshop also included a sub-conference on specialty optical fibers usually organized within the SPIE Optics + Optoelectronics symposium. This special, one-time edition of WSOF thus provided an opportunity for a broader audience, because usually about 100-150 participants attend WSOF. While this year, over 200 registered for the event. They could see 106 presentations, including 4 plenary and 15 invited talks, 43 lectures and 44 posters. The industrial exhibition was also a big success, with 25 companies exhibiting, and the spectrum of companies supplying technologies for the preparation of optical fibers was exceptionally well representative.

In 2025, WSOF came to the historic city of Prague, once the capital of the Holy Roman Empire. Prague is not only about gothics, but also close to optics too. Johannes Kepler, Christian Doppler, Emil Wolf, Erich Spitz lived or made their discoveries here; Albert Einstein spent time here when conceptualizing his general theory of relativity; Prague's first laser devices date as early as 1962 and at the Czech Academy of Sciences operate infrastructure for op-

ří. Rádi bychom upozornili především na Ericha Spitze, který je WSOF tematicky blízký. Erich Spitz a Jean-Claude Simon vytvořili vůbec první jednovodové optické vlákno (byť s vysokým útlumem) pro optické komunikace již v roce 1964. Erich Spitz působil jako čestný předseda symposia SPIE Optics and Optoelectronics v roce 2019, těsně před pandemií covid-19.

Přednášky

S přednáškami vystoupily přední světové osobnosti fotoniky a optiky, velký úspěch sklídily plenární přednášky. Francesco Polletti (University of Southampton, UK) v přednášce „*One (hollow) fibre to rule them all...*“ hovořil o antirezonančních optických vláknech s dutým jádrem s rekordně nízkým útlumem; Heike Ebendorff-Heidepriem (University of Adelaide, Australia) přednesla téma „*Soft glass fibres: versatility through glass composition, nano/micro-crystal incorporation and fibre structure*“; Frank Wise (Cornell University, USA) přednesl příspěvek „*Fiber regenerative amplifiers for femtosecond pulse generation*“. Clémence Jollivet (Coherent Corp., USA) ve své úterní plenární přednášce hovořila o aktuálních směrech vývoje aktivních vláken pro výkonové pulzní vláknové lasery. Velký zájem vzbudil pondělní Industry panel, který moderoval Alexis Mendez (MCH Engineering LLC, USA).

Naši kolegové prezentovali výsledky výzkumu v několika sekcích workshopu. Michal Kamrádek vystoupil s přednáškou o silně dopovaných optických vláknech pro vysoce účinné holmiové lasery. Petr Vařák představil účastníkům interaktivní online software pro Juddovu-Ofeltovu analýzu. Pavel Honzátko, Ivan Kašík a Michal Kamrádek předsedali třem sekcím konference.

Posterová sekce a předání ocenění

Na úterý 8. dubna byla do programu zařazena tradiční posterová sekce. V závěrečném ceremoniálu byla předána cena za nejlepší studentskou práci (Fabrication of an antiresonant hollow-core fibre for mid-infrared nonlinear Raman conversion in nitrogen pumped at 2 μm , Achille Bogas-Droy z Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis, France) a byly vyhodnoceny dva nejlepší poster, jeden z oblasti vláknových senzorů (ZnO-doped preform preparation approaches towards radioluminescent optical fibers, Dennis Köhler, Leibniz-IPHT, Germany) a druhý z oblasti vláknových laserů (Thulium-doped fiber laser with longitudinally segmented active fiber, Bára Švejkarová, ÚFE AV ČR).



Obr. 1 Doprovodná výstava během WSOF a SPIE Optics + Optoelectronics 2025 (zdroj: SPIE/ÚFE)

Fig. 1 Exhibition during WSOF and SPIE Optics + Optoelectronics 2025 (source: SPIE/WSOF)

chers in photonics and optics, and the plenary lectures were a great success. Francesco Polletti (University of Southampton, UK) in his lecture “*One (hollow) fibre to rule them all...*” talked about anti-resonant hollow-core optical fibres with record low attenuation he invented; Heike Ebendorff-Heidepriem (University of Adelaide, Australia) presented “*Soft glass fibres: Versatility through glass composition, nano/micro-crystal incorporation and fiber structure*”; Frank Wise (Cornell University, USA) presented “*Fiber regenerative amplifiers for femtosecond pulse generation*”. Clémence Jollivet (Coherent Corp., USA) in her Tuesday plenary lecture talked about current directions in the development of active fibers for power pulsed fiber lasers. Monday’s Industry panel, moderated by Alexis Mendez (MCH Engineering LLC, USA), attracted broad interest.

Our colleagues presented their research results in several sessions of the workshop. Michal Kamrádek gave a talk on highly doped optical fibers for high efficiency holmium lasers. Petr Vařák presented to the participants an interactive online software for

Judd-Ofelt analysis. Pavel Honzátko, Ivan Kašík and Michal Kamrádek chaired three sessions of the conference.

Poster session and award ceremony

The traditional poster session was included in the program for Tuesday 8 April. In the closing ceremony, the prize for the best student paper (Fabrication of an antiresonant hollow-core fibre for mid-infrared nonlinear Raman conversion in nitrogen pumped at 2 μm , Achille Bogas-Droy from Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis, France) was awarded and the two best posters were evaluated, one from the

field of fiber sensors (ZnO-doped preform preparation approaches towards radioluminescent optical fibers, Dennis Köhler, Leibniz-IPHT, Germany) and the other from the field of fiber lasers (Thulium-doped fiber laser with longitudinally segmented active fiber, Bára Švejkarová, ÚFE CAS).



Obr. 2 Francesco Polletti na své plenární přednášce strhujícím způsobem podal příběh vynálezu optických vláken s dutým jádrem a rekordně nízkými ztrátami (zdroj: SPIE/ÚFE)

Fig. 2 Francesco Polletti giving a plenary talk about fascinating story of his invention of record low-loss hollow-core fibers. (source: SPIE/WSOF)

Prohlídky laboratoří

Účastníci WSOF měli také příležitost ve čtvrtek 10. dubna navštívit laboratoře pro technologii výroby optických vláken na odloučeném pracovišti ÚFE v Praze 6-Lysolajích. V rámci exkurze jsme přibližně 35 návštěvníkům představili naši výzkumnou infrastrukturu, počínaje soustruhem pro výrobu skleněných tyček (preform) metodou MCVD, přes tažicí věž, ve které se preforma taví při 2000 °C, až po stanoviště, kde se vytážené optické vlákno obaluje speciálním polymerem a navíjí na cívkou.

V pátek 11. dubna měli účastníci další příležitost nahlédnout do laboratoří, tentokrát v turnovském Cryturu, přední světové společnosti ve výrobě a zpracování syntetických krystalů. Účastníci exkurze se seznámili s procesem pěstování krystalů syntetického granátu, přesným zpracováním materiálu a montáží integrovaných optoelektronických zařízení ve speciální místnosti. Exkurze v Cryturu byla přístupná i pro účastníky sympozia SPIE Optics+Optoelectronics.

Společenské akce

Pro účastníky konference a workshopu jsme připravili také několik společenských akcí. V pondělí 7. dubna jsme pořádali uvítací recepci v Residenci Primátora hlavního města Prahy na Mariánském náměstí, což je unikátní prostor považovaný za umělecký a architektonický skvost ve stylu art deco. Ve středu 9. dubna měli účastníci možnost zúčastnit se krátké komentované prohlídky historického centra Prahy a poté objevené památky jako Karlův most, Pražský hrad či ostrov Kampa uvidět znovu, tentokrát však z paluby lodi během večerní plavby po Vltavě.



Obr. 3 Labtour do laboratoře technologie optických vláken.

Fig. 3 Labtour to optical fiber technology laboratory.

Lab tours

On Thursday, April 10, WSOF participants also had the opportunity to visit the laboratories for fiber optic production technology at the ÚFE's detached workplace in Prague 6-Lysolaje. During the tour, we presented our research infrastructure to approximately 35 visitors, starting with the lathe for the production of glass rods (preforms) by MCVD, through the drawing tower where the preform is melted at 2000 °C, to the station where the drawn optical fiber is wrapped with a special polymer and wound onto a spool.

On Friday, 11 April, the participants had another opportunity to look into the laboratories, this time at Crytur in Turnov, a world-leading company in the production and processing of synthetic crystals. The participants of the excursion got acquainted with the process of growing synthetic garnet crystals, precise material processing and assembly of integrated optoelectronic devices in a special room. The excursion at Crytur was also open to participants of the SPIE Optics+Optoelectronics symposium.

Social events

We have also prepared several social events for the conference and workshop participants. On Monday, April 7, we hosted a welcome reception at the Residence of the Mayor of the City of Prague on Mariánské náměstí, a unique space considered an art deco architectural gem. On Wednesday 9 April, participants had the opportunity to take part in a short guided tour of the historic center of Prague and then see the sights they had discovered, such as Charles Bridge, Prague Castle and Kampa Island, again, this time from the deck of a boat during an evening cruise on the Vltava River.

Mgr. Petra Palečková, Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, Praha

Měření velmi výkonných laserů: výzvy a řešení

Webinář amerického odborného časopisu LASER FOCUS WORLD, který proběhl dne 7. května 2025 v trvání jedné hodiny, reagoval na akutní problémy souvisejícími s výkonnými systémy vláknových laserů, které mají své aplikace v oblasti vojenské obrany a v technologii laserového obrábění. Odkryl klíčové osvědčené postupy a ukázal, jak se vyhnout běžným chybám při monitorování chování laserů v aplikacích s vysokým výkonem, aby bylo možno ochránit zařízení a zajistit optimální výkon. Sledování chování laserů ve vysoce výkonných aplikacích je rozhodující pro správné fungování procesů. Toto monitorování – samotné laserové měření – však není triviální. Existuje mnoho „drobných věcí“, které si mohou nevědomky zahrávat s měřením nebo dokonce poškodit zařízení. Je třeba např. správně rozhodnout, v kterém okamžiku by se měla zapnout chladicí voda

či jak by měly být vodní cesty po použití očištěny od zbytků vody? Problémy, jako jsou tyto, mohou při jejich podcenění opravdu poškodit nákladný laserový výkonový receptor. V tomto webináři se účastníci mohli dozvědět, co tyto potenciální výzvy zahrnují a jaké jsou osvědčené postupy pro to, jak se s nimi správně vypořádat. Autor Mark Slutzki je ve firmě MKS Ophir od roku 2004 a působí jako výrobní manažer pro měření výkonu a energie. Předtím zastával podobné pozice v odvětví polovodičů a telekomunikací. Vykonal vojenskou službu jako výzkumný fyzik, když pracoval na speciálních projektech v izraelském letectvu. Má akademický titul v oboru elektro-optika a aplikovaná fyzika.

Miroslav Miler

70 let světla v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky

70 years of light at the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences

Vznik ústavu v 50. letech

Založení Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky (ÚFE AV ČR) je úzce spjato s obdobím slučování mimouniverzitních výzkumných pracovišť v čele s Českou akademií věd a umění (1890) do jediné organizace, Československé akademie věd (ČSAV), v roce 1952. V této době totiž vznikala i řada zcela nových pracovišť. Prezidium ČSAV přijalo rozhodnutí o zřízení Ústavu teoretické radiotechniky (ÚTR) v roce 1953.

Vlastní činnost byla zahájena 1. října 1954, oficiálním datem vzniku ústavu je 1. leden 1955 a záhy došlo k přejmenování na Ústav radiotechniky a elektroniky (ÚRE). Pod tímto názvem ústav působil v dlouhém období let 1955–2006. Prvním ředitelem ústavu byl jmenován **Sergej Djad'kov**. Spolu s ním přišla do ústavu skupinka odborníků z průmyslového výzkumu stabilních oscilátorů a statistických metod v radiotechnice. Dále se k ústavu připojila řada významných osobností z oblastí teorie obvodů, přesného měření času a šíření elektromagnetických vln. Již na počátku své činnosti v roce 1957 ústav zaujal světovou pozornost úspěšným měřením Dopplerova jevu u první umělé družice Země, sovětského Sputniku. Úspěšná byla také účast na světové výstavě EXPO 1958 v Bruselu, kde ústav vystavoval samočinný počítač na principu pravděpodobnosti a přístroj pro rezonanční transformaci signálů. Oba exponáty byly oceněny zlatými medailami.

Na konci roku 1955 měl ústav 36 pracovníků (z toho 16 vědeckých), rok poté byly příslušné počty 71 (19) a v roce 1960 dokonce 180 (30). V roce 1959 odchod skupiny 11 pracovníků přispěl ke vzniku nového samostatného pracoviště, které vytvořilo základ Ústavu teorie informace a automatizace (ÚTIA) ČSAV.

V prvních letech své činnosti neměl ústav vlastní budovu a jeho pracoviště byla na 14 různých místech v Praze, z nichž největší bylo v nové budově Geofyzikálního ústavu ČSAV na Spořilově. Záhy začala výstavba nové budovy v Kobylisích, kam se jednotlivá pracoviště začala přesouvat od roku 1960.

60. léta ve znamení přesunu do nové budovy, spuštění maseru a laseru a první laserové operace oka

Přesun do nové budovy byl významný krok pro rozvoj experimentálních výzkumných vybavení. Tak například mohlo dojít k umístění prvního etalonu pro přesná měření času a frekvence se stabilním krystalovým oscilátorem do teplotně stabilizované, 14 metrů hluboké šachty vystavěné v nové budově. **Jiří Tolman**, vůdčí osobnost ve výzkumu generace a měření přesného času a kmitočtu, povzbudil několik spolupracovníků k zahájení výzkumu kvantové elektroniky s cílem vyvinout kvantový generátor mikrovlnného záření – maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) pro přesná měření času. Spuštění maseru na molekulách čpavku se skupině vedené **Viktorem Trkalem** podařilo 26. března 1963, byl to druhý československý maser, první byl spuštěn 12. 2. 1962 na Vojenské akademii v Brně za účelem vývoje přesnějších radarů. Paralelně, byť pouze jako vedlejší směr výzkumu, probíhal od r. 1961 vývoj rubínového laseru. Stimulovaná emise byla pozorována již v roce 1962, avšak průkazná měření překonání laserového prahu podle článku Theodora Maimana provedli Jan

The Institute's establishment in the 1950 s

The foundation of the **Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences (ÚFE)** is closely linked to the period of merging non-university research institutes represented primarily by the **Czech Academy of Sciences and Arts (1890)** into a single organization, the Czechoslovak Academy of Sciences (CAS) in 1952. At this time, a number of completely new institutes were also established. The Presidium of the Czechoslovak Academy of Sciences took the decision to establish the **Institute of Theoretical Radio Engineering (ÚTR)** in 1953.

Its activities started on 1 October 1954 and the official date of the Institute's foundation is 1 January 1955. Soon after, it was renamed as the **Institute of Radio Engineering and Electronics (ÚRE)**. The Institute operated under this name for a long period from 1955 to 2006. The first director of the Institute was appointed **Sergej Djad'kov**. Together with him, a group of experts from the industrial research of stable oscillators and statistical methods in radio engineering came to the Institute. In addition, several prominent experts from the fields of circuit theory, precision time measurement and electromagnetic wave propagation joined the Institute. At the very beginning of its activity, the Institute attracted worldwide attention with the successful measurement of the Doppler effect in the first artificial satellite of the Earth, the Soviet Sputnik, in 1957. The Institute also successfully participated in the 1958 EXPO World Exhibition in Brussels, where it exhibited a automatic computer and an apparatus for resonant transformation of signals. Both devices were awarded gold medals.

At the end of 1955, the Institute had 36 employees (16 of whom were scientists), a year later the corresponding numbers were 71 (19) and in 1960 even 180 (30). In 1959, the leave of a group of 11 employees contributed to the creation of a new independent organization, which formed the basis of the Institute of Information Theory and Automation (ÚTIA) CAS.

In the first years of its activity, the Institute did not have its own building and premises; its laboratories were located in 14 different places in Prague, the largest of which was in the new building of the Geophysical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences in Spořilov. Soon the construction of a new building in Kobylisy began, where individual departments began to move from 1960.

The 1960 s marked by the move to a new building, the launch of the maser and laser and the first laser eye surgery

The move to the new building was a significant step for the development of experimental research facilities. For example, the first standard for precise time and frequency measurements with a stable crystal oscillator could be placed in a temperature-stabilized, 14-metre-deep shaft built in the new building. **Jiří Tolman**, a leader in research on the generation and measurement of precise time and frequency, encouraged several collaborators to begin research on quantum electronics with the goal of developing a quantum generator of microwave radiation - a maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) for precise time measurements. The group led by **Viktor Trkal** succeeded in launching the

Blabla s Alenou Jelínkovou až začátkem května 1963. Vzápětí provedli první československou veřejnou ukázkou laseru v Planetáriu ve Stromovce. Jan Blabla a jeho kolegové později sestavili několik plynových laserů: He-Ne (červen 1964), výkonový CO₂ (1966), N₂ (1966) a He-Cd (1970) laser. V roce 1964 byla v našem ústavu provedena ve spolupráci s Fakultní nemocnicí na Bulovce první oční laserová operace u nás. Příběh vzniku laserového oftalmokoagulatoru je tématem krátkého dokumentárního filmu (viz www.ufe.cz/70).

Ústav byl od samého počátku koordinujícím pracovištěm URSI (Union Radio-Scientifique Internationale) za Československo. Předsedou Československé sekce byl profesor Stránský a Petr Beckman byl generálním sekretářem. Petr Beckman byl členem užšího vedení ÚŘE a vedoucím oddělení „Šíření elektromagnetických vln“ (Propagation of Electromagnetic Waves). Po emigraci Petra Beckmana do USA byli v roce 1963 pracovníci jeho oddělení převedeni do Geofyzikálního ústavu ČSAV.

Začátkem roku 1963 byl jmenován novým ředitelem ústavu **Václav Zima**. Provedl zásadní změny ve struktuře a vědeckém zaměření ústavu. Jak již bylo zmíněno, Oddělení šíření elektromagnetických vln bylo převedeno do Geofyzikálního ústavu ČSAV a na druhou stranu do našeho ústavu byla zahrnuta část bývalé laboratoře optiky ČSAV, zabývající se výzkumem materiálů pro infračervenou optiku. Později, v roce 1965, byla do ústavu převedena z Fyzikálního ústavu ČSAV skupina pro výzkum ferroelektrických monokrystalů a jejich aplikace v elektronice. V souladu se světovým pokrokem na poli mikroelektroniky, optoelektroniky a kvantové elektroniky se značná část kapacity ústavu soustředila na výzkum orientovaný k technologii polovodičů, optickým komunikacím a fyzice. Výrazným rysem etapy ředitele Zimy byla orientace na praxi, včetně zavádění provozů prototypové výroby. Ve východní části suterénu hlavní budovy byla výroba plošných spojů, v budově střediska služeb nad jídelnou bylo v 70. letech přistavěno třetí podlaží pro montáž elektronických zařízení a v 80. letech měl být budován nový pavilon pro prototypovou výrobu laserových diod. Čtyřpodlažní budova měla stát v severní části areálu za montovanou dvoupodlažní stavbou z dřevěné lepené konstrukcí firmy Tesko, ve které dlouhou dobu sídlil Ústav fyziky plazmatu. Útvar hlavního architekta hl. m. Prahy však omezil výšku stavby s ohledem na výšku tehdy sousední budovy směrem k vozovně Kobylisy na dvoupodlažní, navíc nařídil zbourání tzv. „Tesko-baráku“. Rovněž požadavek na rychlý náběh prototypové výroby laserových diod vedl k úpravě původního záměru, kdy nový pavilon byl určen pro technicko-hospodářskou správu ústavu a polovodičové zdroje záření byly připravovány v hlavní budově. Níže jsou shrnuty vybrané výzkumné aktivity ústavu po roce 1965.

Teorie obvodů byla součástí výzkumného zaměření ústavu od dob jeho založení. Na počátku se jednalo o výzkum teorie kaskády dvoubaranů, teorie elektrických filtrů a teorie nelineárních obvodů a oscilátorů. Později byl výzkum koncentrován na diskrétní a digitální zpracování signálu, zvláště na digitální filtry, diskrétní Fourierovu transformaci a spektrální a kepsální analýzu. V roce 1981 se malá výzkumná skupina začala věnovat analýze řeči, jejímu kódování a syntéze. Od samých začátků tato skupinka spolupracovala s Ústavem jazyka českého filozofické fakulty Univerzity Karlovy, s Ústavem teorie informace a automatizace ČSAV a řadou průmyslových pracovišť. V roce 1987 byla těmto výzkumným týmům udělena cena Československé akademie věd za jejich příspěvek k výzkumu kódování řeči. V roce 1975, kdy byl vedoucím oddělení **Mirko Novák**, odešel Mirko Novák s větší částí oddělení z ÚŘE a v nově budovaném areálu ČSAV na Mazance založil nové Centrální výpočetní středisko (CVS) ČSAV – dnešní Ústav informatiky AV ČR.

Úsilí věnované **přesnému času a frekvenci** přineslo světově uznávané a využívané výsledky. Především metoda časového transferu s pomocí synchronizačních impulzů televizního vysílání, kterou navrhl Jiří Tolman, byla celosvětově používána. V devade-

maser on ammonia molecules on 26 March 1963; it was the second Czechoslovak maser, the first was launched on 12 February 1962 at the Military Academy in Brno, for the development of accurate radars. In parallel, only as side-research, the development of the ruby laser was carried out from 1961. Stimulated emission was observed as early as 1962, but conclusive measurements of the laser threshold crossing according to Theodor Maiman's paper were made by Jan Blabla and Alena Jelínková only at the beginning of May 1963. Shortly after, they performed the first Czechoslovak public demonstration of the laser in the Planetarium in Stromovka. Jan Blabla and his colleagues later assembled several gas lasers: the He-Ne (June 1964), the high-power CO₂ (1966), the N₂ (1966) and the He-Cd (1970) lasers. In 1964, the first laser eye surgery in our country was performed in our institute in cooperation with the Bulovka University Hospital. The story of the development of the laser ophthalmocoagulator is the subject of a short documentary film (see www.ufe.cz/70).

From the very beginning, the Institute was the coordinating department of URSI (Union Radio-Scientifique Internationale) for Czechoslovakia. Professor Stránský was the chairman of the Czechoslovak section and Petr Beckman was the secretary general. P. Beckman was in the management of the ÚŘE and head of the “Propagation of Electromagnetic Waves” department. After P. Beckman emigrated to the United States, the staff of his department was transferred to the Institute of Geophysics of the Czechoslovak Academy of Sciences in 1963.

At the beginning of 1963, **Václav Zima** was appointed the new director of the Institute. He made fundamental changes in the structure and scientific focus of the Institute. As mentioned earlier, The Department of Electromagnetic Wave Propagation was transferred to the Institute of Geophysics, and on the other hand, a part of the former Laboratory of Optics of the Czechoslovak Academy of Sciences, dealing with research on materials for infrared optics, was included in our Institute. Later, in 1965, a group for research on ferroelectric single crystals and their applications in electronics was transferred to our Institute from the Institute of Physics of the Czechoslovak Academy of Sciences. In line with world progress in the field of microelectronics, optoelectronics and quantum electronics, a significant part of the Institute's capacity was concentrated on research oriented towards semiconductor technology, optical communications and physics. A distinctive feature of Director Zima's phase was the orientation towards practice, including the introduction of prototype production facilities. In the eastern part of the basement of the main building was the production of printed circuit boards, in the building of the service center, above the canteen, a third floor was added in the 1970 s for the assembly of electronic equipment, and in the 1980 s he wanted to build a new pavilion for the prototype production of laser diodes. It was intended that the four-storey building would be located in the northern part of the campus behind the prefabricated two-storey building of wooden desks of the Tesko company, which for a long time housed the Institute of Plasma Physics. However, the Office of the Chief Architect of Prague limited the height of the building to two storeys, considering the height of that-day adjacent building towards the Kobylisy tramway depot, and ordered the demolition of the so-called “Tesko-barrack”. Together with the requirement of a rapid start of prototype production of laser diodes it led to a modification of the original plan, where the new pavilion was finally devoted to the technical and economic administration of the Institute and semiconductor laser sources were prepared in the main building. Selected research activities of the Institute after 1965 are summarized below.

Circuit theory has been part of the research focus of the Institute since its foundation. In the beginning, it was research on cascade theory of two-port networks, theory of electric filters and theory of nonlinear circuits and oscillators. Later, research was focused on discrete and digital signal processing, especially

sátých letech postupně přebíraly její funkci systémy GPS (Global Positioning System).

Věnceslav František Kroupa, který z počátku spolupracoval s Jiřím Tolmanem při výstavbě československého centra přesného času a frekvence, se později orientoval na frekvenční syntézu a dosáhl mezinárodního věhlasu. Jeho kniha „Frequency Synthesis: Fundamentals and Measurements“, vydaná v roce 1973, byla první knihou vydanou na toto téma ve světě. Za svůj vědecký přínos byl v roce 2003 oceněn Machovou medailí Akademie věd.

Od poloviny šedesátých let se v ústavu rozvíjel *obor optoelektroniky*. Náš ústav byl v té době jedním z nemnoha pracovišť ve světě, kde se prováděl výzkum, návrh a výroba GaAs elektroluminiscenčních numerických displejů. Původní návrh displeje, navíc v kontextu s nastupující digitální technikou, vzbudil značný mezinárodní ohlas.

Výzkum fyzikálních vlastností elektroluminiscenčních prvků byl prováděn od roku 1967 do konce osmdesátých let. K výrobě GaP substrátů pro elektroluminiscenční zdroje v červené oblasti viditelného spektra se používala heteroepitaxe z plynné fáze. Tato metoda byla dále vylepšena zavedením epitaxe z kapalně fáze pro přípravu heterostruktur. V roce 1979 byla pozornost přesunuta na polovodičové zdroje záření pro optické komunikace. Aktivita byly soustředěny do dvou směrů: v prvním šlo o AlGaAs/GaAs systém pro 0,8 μm telekomunikační okno a ve druhém o InGaAs/InP systém pro provoz v oknech 1,3 μm a 1,55 μm . V roce 1981 bylo dosaženo kontinuální emise záření na vlnové délce 0,8 μm při pokojové teplotě v AlGaAs/GaAs laseru. Na vlnové délce v pásmu 1,3 μm se tak stalo v roce 1988 a rok poté v pásmu 1,55 μm .

Pro charakterizaci připravených polovodičových materiálů a struktur byly rozvíjeny metody pro studium jejich elektrických a optických vlastností. Mezi nejvýznamnější lze zařadit *kapacitní transientní spektroskopii hlubokých hladin* (DLTS, Deep-Level Transient Spectroscopy), *studium teplotně závislého Hallova jevu* (Temperature Dependent Hall Effect) a *nízkoteplotní PL spektroskopii* (Low-temperature Photoluminescence Spectroscopy).

Již od roku 1974 byla v ústavu rozvíjena *Hmotová spektroskopie sekundárních iontů* (SIMS- Secondary Ion Mass Spectroscopy), která představuje významnou metodu pro studium povrchů pevných látek. Zvláštního mezinárodního uznání dosáhl v této oblasti **Zdeněk Šroubek** svými příspěvky jak k experimentálnímu rozvoji metodiky, tak zejména k porozumění procesu přenosu elektrického náboje při rozprašování iontů z povrchu pevných látek.

V oblasti *koherentní optiky* bylo vyvinuto několik specifických metod pro výzkum deformací a mechanických vibrací různých objektů, příp. popis jejich tvarů s použitím holografické topografie. Holografické difrakční mřížky, jako výhodná alternativa mechanicky rytých mřížek, byly vyráběny a dodávány pro speciální optická zařízení v průmyslu. Byla učiněna řada originálních příspěvků k teorii holografického zobrazování, světové prvenství má např. myšlenka fokusujících vázaných mřížek. Výzkum holografie je spjat zejména s prací **Miroslava Milera**.

Začátek výzkumu technologie optických vláken v Československu v 70. letech

V roce 1977 byl zahájen vývoj integrované optiky, tj. výzkum nejruznějších vlnovodných prvků pro dělení, slučování, řízení a zpracování optických signálů. Byla vyvíjena teoretická analýza šíření světla v planárních a kanálkových vlnovodech, zvláště s ohledem na anizotropii substrátu a elektrooptické a akustooptické interakce. Byly vypracovány metody návrhu, jakož i přípravy litografických masek potřebných k experimentální práci.

Na konci 70. let, v souladu se světovými trendy v optických komunikacích, se začalo několik týmů v ústavu zabývat přípravou a charakterizací optických vláken. Koncem 80. let pak spojené úsilí našeho ústavu a Ústavu chemie skelných a keramických materiálů AV ČR vyústilo v ucelenou metodickou a technologickou základnu pro optické komunikace v Československu. To zahrnovalo

digital filters, discrete Fourier transform and spectral and cepstral analysis. In 1981, a small research group began to focus on speech analysis, coding and synthesis. From the very beginning, this group collaborated with the Institute of Czech Language of the Faculty of Philosophy of Charles University, the Institute of Information Theory and Automation of the Czechoslovak Academy of Sciences, and a number of industrial laboratories. In 1987, these research teams were awarded a prize by the Czechoslovak Academy of Sciences for their contribution to speech coding research. In 1975, when **Mirko Novák** was the head of the department, Mirko Novák left the ÚŘE with most of the department and founded the General Computing Centre (GCC) of the Czechoslovak Academy of Sciences – today's Institute of Computer Science of the CAS – in the newly built premises of the Czechoslovak Academy of Sciences in Mazanka.

Efforts dedicated to *precise time and frequency* have produced world-renowned and applied results. In particular, the method of time transfer with the use of synchronization pulses of television broadcasts, proposed by Jiří Tolman, has been applied worldwide. In the 1990 s, the Global Positioning System (GPS) gradually overtook its function.

Věnceslav František Kroupa, who initially collaborated with Jiří Tolman in the construction of the Czechoslovak Centre for Precision Time and Frequency, later turned to frequency synthesis and achieved international fame. His book “Frequency Synthesis: Fundamentals and Measurements”, published in 1973, was the first book published on the subject in the world. He was awarded the Mach Medal of the Czech Academy of Sciences in 2003 for his scientific contributions.

Since the mid-1960 s, the Institute has been developing *the field of optoelectronics*. At that time, our Institute was one of the few laboratories in the world where research, design and production of GaAs electroluminescent numerical displays was carried out. The original display design, moreover, in the context of emerging digital technology, attracted considerable international attention.

Research on the physical properties of electroluminescent elements was carried out from 1967 to the end of the 1980 s. Gas-phase heteroepitaxy was used to produce GaP substrates for electroluminescent sources in the red region of the visible spectrum. This method was further improved by introducing liquid phase epitaxy (LPE) for the preparation of heterostructures. In 1979, the focus shifted to semiconductor radiation sources for optical communications. Activities were focused in two directions: the first was an AlGaAs/GaAs system for the 0.8 μm telecommunications window and the second was an InGaAs/InP system for operation in the 1.3 μm and 1.55 μm windows. In 1981, continuous emission of radiation at 0.8 μm wavelength at room temperature was achieved in an AlGaAs/GaAs laser. This was achieved at the 1.3 μm wavelength in 1988 and a year later at the 1.55 μm band.

To characterize the prepared semiconductor materials and structures, methods were developed to study their electrical and optical properties. Among the most important are *Deep-level Capacitance Transient Spectroscopy* (DLTS), *Temperature-dependent Hall Effect Studies* and *Low-temperature Photoluminescence Spectroscopy*.

Since 1974, Secondary Ion Mass Spectroscopy (SIMS) has been developed at the Institute, which is an important method for the study of solid surfaces. Zdeněk Šroubek has achieved remarkable international recognition in this field thanks to his contributions both to the experimental development of the methodology and, in particular, to the understanding of the process of electric charge transfer during the sputtering of ions from solid surfaces.

In *the field of coherent optics*, several specific methods have been developed to investigate deformations and mechanical vibrations of various objects, or to describe their shapes using holographic topography. Holographic diffraction gratings, as a convenient alternative to mechanically engraved gratings, have been produced and supplied for special optical devices in industry. A number of

např. fyzikální modely pro řízení přípravy gradientních optických vláken, unikátní zařízení pro měření průměru vlákna při tažení a pro automatickou kontrolu procesu tažení vlákna. Tyto výsledky byly podloženy rozsáhlým teoretickým a experimentálním výzkumem šíření světla ve vláknech (jak pro komunikace, tak pro senzorové aplikace), výzkumem technologie vláknových komponent a metod pro charakterizaci optických vláken. Zvláštní pozornost byla věnována výzkumu polarizaci zachovávajících vláken s napětovými prvky.

Transformace Akademie věd po listopadu 1989

Ukončení totalitního režimu a návrat demokracie do naší země v roce 1989 nastartoval řadu pozitivních změn v Akademii věd a jejích ústavech. Již v roce 1990, na samém začátku nové éry, byla zvolena vědecká rada ústavu, orgán, který se aktivně podílel na řízení ústavu. Ředitelem byl jmenován **Viktor Trkal**. Změny se dotkly rovněž výzkumného programu – důraz byl postupně přesouván od průmyslového a aplikovaného výzkumu k základnímu výzkumu. Otevření se světu s sebou logicky přineslo rozšíření mezinárodní vědecké spolupráce s technologicky nejrozvinutějšími státy a z toho plynoucí obohacení vlastní vědecké práce. Svobodné badatelské prostředí podpořila nově zaváděná cílená podpora výzkumu formou vědeckých grantů. V průběhu let 1990–1992 bylo třeba přehodnotit práci všech ústavů ČSAV a zabezpečit jejich činnost po rozdělení republiky přijetím zákona o Akademii věd ČR. Transformace Akademie věd zahrnovala i redukci pracovišť a počtu zaměstnanců. Náš ústav prošel v roce 1992 hodnocením úspěšně, ale, podobně jako ostatní ústavy, musel snížit počet zaměstnanců, a to o jednu třetinu na 128 pracovníků. Od té doby prochází ústav náročným mezinárodním hodnocením pravidelně. V roce 1994 se stal ředitelem **Jan Šimša** a po jeho dvou funkčních obdobích byl v roce 2002 ředitelem jmenován **Vlastimil Matějec**.

Od roku 1990 byl výzkum soustředěn do tří hlavních oblastí/sekci – elektronické signály a systémy, fotonika a materiálový výzkum pro optoelektroniku.

Aktivity ústavu po roce 1990

Pro moderní charakterizaci polovodičových vrstev, povrchů a struktur, jakož i skelných materiálů bylo rozvíjeno několik diagnostických metod. Možnosti metody DLTS spektroskopie byly podstatně rozšířeny vývojem vodivostní spektroskopie. Nízko-tepelný PL spektrometr nyní umožňuje provádět citlivá měření s vysokým rozlišením ve spektrálním rozsahu 300 nm – 5000 nm. Možnosti charakterizace byly dále vylepšeny instalací skenovacího elektronového mikroskopu s EDX systémem, který byl doplněn v ústavu navrženou a zhotovenou katodo-luminiscencí. Za účelem rozšíření diagnostických možností aparatury SIMS byl vyvinut hmotový průletový spektrometr. Studium nanostruktur a velmi tenkých vrstev vybraných polovodičů bylo prováděno s pomocí balistické, emisní elektronové mikroskopie a spektroskopie, včetně v ústavu vyvinutého skenovacího tunelovacího mikroskopu.

Ve spolupráci s Univerzitou v Manchesteru v Anglii byl prováděn experimentální výzkum metastabilních stavů DX center. Bylo zjištěno, že k cínu vztažená DX centra v materiálu AlGaAs vykazují podstatně odlišné dynamické vlastnosti od center vztažených ke křemíku a teluridu. S pomocí DLTS a elektroluminiscenční spektroskopie byly zjištěny nové mechanismy provozní degradace komerčních GaP:N zeleně emitujících diod s vysokou zářivostí. Tento výzkum byl prováděn ve spolupráci s firmou Siemens v Německu.

Vlastnosti hlubokých hladin v polovodičích byly také studovány pomocí teoretických metod využívajících aproximace těsné vazby (tight-binding), ab-initio výpočtů energetických pásových struktur a self-konzistentní metody Greenových funkcí, které byly ověřeny na výpočtu vakuance v Si. Poté byly tyto metody, v rámci státního pobytu **Vladimíra Kuzmiaka** na University of California, Irvine, použity k výpočtu hlubokých hladin tzv. DX-centra v GaAs. V průběhu pobytu byly tyto metody implementovány v nově vznikající oblasti fotonických krystalů a o něco později,

original contributions to the theory of holographic imaging have been made, for example the idea of focusing coupled gratings being a world first. Research on holography is mainly connected with the work of **Miroslav Miler**.

Beginning of research on optical fiber technology in Czechoslovakia in the 1970s

The development of integrated optics, i.e., the research of various waveguide elements for dividing, combining, controlling and processing optical signals directly at optical frequencies, started in our Institute. Theoretical analysis of light propagation in planar and channel waveguides has been developed, particularly with respect to anisotropy of the substrate and to electrooptical and acousto-optic interactions. Methods for the design as well as preparation of lithographic masks were elaborated to facilitate the experimental work.

At the end of 1970 s, following the world trends in optical communications, several teams in the Institute started to deal with the preparation and characterisation of optical fibers. At the end of 1980 s, joined effort of our Institute and the Institute of Chemistry of Glass and Ceramic Materials of the CAS resulted in methodological and technical support of technologies for optical communications in Czechoslovakia. This support included - for example, physical models used for the control of preparation of graded-index fibers, unique devices for the measurement of the fiber diameter during drawing and for automatic control of this process. These results were supported by extensive theoretical and experimental research on light propagation in fibers for both communications and sensors, fiber characterization, and technology of fiber components. Emphasis was also given to the research on polarization-maintaining fibers with stress-applying parts.

Transformation of the Academy of Sciences after November 1989

The fall of the totalitarian regime and the return of democracy to our country in 1989 initiated a number of positive changes in the Academy of Sciences and its institutes. Already in 1990, at the very beginning of the new era, Institute's Scientific Council was elected, a body that took an active part in the management of the Institute. **Viktor Trkal** was appointed as a director. Changes also affected the research program - the emphasis was gradually shifted from industrial and applied research to basic research. The opening up to the world logically brought with it the expansion of international scientific cooperation with the most technologically advanced countries and the resulting enrichment of the scientific work itself. The newly introduced research support in the form of research grants has supported the freedom of research environment. During 1990–1992, it was necessary to reassess the work of all the institutes of the Czechoslovak Academy of Sciences and to secure their activities after the division of Czechoslovakia by adopting the Act on the Czech Academy of Sciences. The transformation of the Academy of Sciences included a reduction in the number of its Institutes and staff. Our Institute passed the evaluation successfully in 1992 but, like other institutes, had to reduce the number of employees by one third to 128. Since then, the Institute has undergone a demanding international evaluation on a regular basis. In 1994 **Jan Šimša** became Director and after two terms of office **Vlastimil Matějec** was appointed Director in 2002.

Since 1990, research has been focused in three main areas/sections - electronic signals and systems, photonics, and materials research for optoelectronics.

Activities of the Institute after 1990

Several diagnostic methods have been developed for modern characterization of semiconductor layers, surfaces and structures as well as glass materials. The capabilities of the DLTS spectroscopy method have been considerably extended by the development of conductivity spectroscopy. The low-temperature PL

v rámci následných společných projektů, i v oblasti metamateriálů, konkrétně cylindrických struktur s negativním indexem lomu, tzv. left-handed materiálů. Nabyté zkušenosti byly dále zhodnoceny v rámci dlouhodobé spolupráce s University of Lisbon při studiu nelineárních vlastností fotonických krystalů a dynamických charakteristik 1D a 2D Bose-Einsteinových kondenzátů.

Připojení laboratoře technologie optických vláken

V roce 1993 byla k ústavu připojena laboratoř technologie optických vláken, která byla dříve součástí Ústavu chemie skelných a keramických materiálů. Toto rozhodnutí posílilo výzkum ústavu na poli optických vláken, neboť program laboratoře je soustředěn na materiálový výzkum optických vláken pro vláknové lasery, telekomunikace a chemické senzory. Jsou zde zkoumány fyzikálně-chemické principy přípravy mnohovrstevnatých optických struktur s využitím metody chemické depozice z plynné fáze a metod sol-gel. Ve spolupráci s francouzskými univerzitami Ecole Central de Lyon a University of Jean Monnet, Saint Etienne, byly vyvíjeny nové typy senzorových vláken, jako jsou sektorová vlákna, vlákna s invertovaným gradientním profilem indexu lomu a vlákna z měkkých optických skel. Rovněž byly zkoumány speciální polymerové a xerogelové povrchy schopné měřit velmi malé koncentrace chemických látek. Započalo se s přípravou mikrostrukturálních optických vláken a speciálních vláken s mřížkami s dlouhou periodou (LPG, long-period gratings).

Pokročilá optická vlákna z laboratoře technologie optických vláken tvořila do značné míry základnu pro výzkum ve skupině nelineární vláknové optiky, zaměřený na generaci, zesilování a nelineární šíření ultrakrátkých pulzů v optických vláknech. Byly navrženy nové metody přípravy dvoujádrových vláken a dvouploškových vláken dopovaných prvky vzácných zemin pro vláknové lasery a zesilovače. Tato vlákna jsou v ÚFE připravována a experimentálně testována. Jsou vyvíjeny softwarové nástroje pro teoretickou analýzu a návrh vláknových zesilovačů dopovaných prvky vzácných zemin (erbiem, erbiem-ytterbiem, praseodymem) a ramanovských vláknových zesilovačů. Tyto programy byly rovněž integrovány do komerčního návrhového software kanadskou firmou Optiwave Inc.

Zahájení výzkumu SPR senzorů

Začátkem devadesátých let byl zahájen výzkum senzorů na principu rezonanční excitace povrchových plazmonů (SPR – surface plasmon resonance). První SPR senzor vyvinutý v ústavu v roce 1992 byl založen na měření útlumu úplného odrazu a úhlovém skenování. Brzy poté byl navržen optovláknový SPR senzor a realizována jeho miniaturizace. Dále byly zkoumány SPR senzory založené na integrované optické vlnovodech, především na vlnovodech připravených iontovou výměnou. Na konci devadesátých let byl studován jev rezonance povrchového plazmonu na difrakčních mřížkách. Tyto studie iniciovaly nový výzkumný program zacílený na mnohakanálové SPR senzory založené na difrakčních mřížkách. V roce 2002 tento program vyústil v unikátní vícekanálový SPR senzor, založený na spektroskopii povrchových plazmonů na matici difrakčních mřížek umožňující provádět přes 100 měření současně. Unikátní SPR senzorové platformy vyvinuté v ÚFE byly využity k detekci a kvantifikaci různých chemických a biologických látek důležitých pro lékařskou diagnostiku (biomarkery, hormony, protilátky), monitorování znečištění životního prostředí (pesticidy) a kontrolu kvality potravin (detekce patogenů a toxinů). Za samostatnou zmínku stojí SPR senzory vyvíjené a využívané ve spolupráci s Ústavem hematologie a krevní transfúze v Praze pro studium a diagnostiku onko-hematologických onemocnění.

Období 2007-2025

V roce 2005 byl přijat zákon č. 341/2005 Sb. o veřejných výzkumných institucích, kterým se radikálně změnilo právní postavení ústavu – z příspěvkové organizace na veřejnou výzkumnou insti-

spectrometer now allows sensitive, high-resolution measurements in the spectral range 300 nm – 5000 nm. The characterisation capabilities have been further enhanced by the installation of a scanning electron microscope with an EDX system, complemented by an in-house designed and fabricated cathode-luminescence system. In order to extend the diagnostic capabilities of the SIMS apparatus, a mass flow spectrometer was developed. The study of nanostructures and very thin films of selected semiconductors was carried out using ballistic, emission electron microscopy and spectroscopy, including a scanning tunnelling microscope developed at the Institute.

Experimental research on metastable states of DX centres has been carried out in collaboration with the University of Manchester, England. It was found that the tin-related DX centers in AlGaAs material exhibit significantly different dynamic properties from the silicon and telluride-related centers. Using DLTS and electroluminescence spectroscopy, new mechanisms for the operational degradation of commercial GaP:N green-emitting diodes with high radiance have been identified. This research was carried out in collaboration with Siemens in Germany.

The properties of deep levels in semiconductors have also been studied using theoretical methods employing tight-binding approximations, ab-initio calculations of energy band structures, and self-consistent Green's function methods, which have been verified on vacancy calculations in Si. These methods were then used to calculate deep levels of the so-called DX-center in GaAs during **Vladimir Kuzmiak's** research stay at the University of California, Irvine. In the course of the stay, these methods were implemented in the emerging field of photonic crystals and, a little later, in subsequent joint projects, in the field of metamaterials, namely cylindrical structures with a negative refractive index, the so-called left-handed materials. The experience gained was further evaluated in the framework of a long-term collaboration with the University of Lisbon in the study of the nonlinear properties of photonic crystals and the dynamic characteristics of 1D and 2D Bose-Einstein condensates.

Connecting the Optical Fiber Technology Laboratory

In 1993, the Laboratory of Technology of Optical Fibers, a part of the former Institute of Chemistry of Glass and Ceramic Materials joined the Institute. This act made it possible to strengthen the Institute research in the field of optical fibers, because the Laboratory's program has been focused on material research of optical fibers for communications, fiber lasers and chemical sensing. Physical and chemical principles of the fabrication of multilayered optical structures via the chemical vapor deposition and sol-gel methods have been investigated. On this basis, rare-earth doped active fibers and novel types of sensing fibers, such as sectorial fibers, inverted-graded index fibers, fibers based on soft-glasses, have been prepared and investigated in collaboration with researchers at the Ecole Central de Lyon, France, and the University of Jean Monnet in Saint Etienne, France. Special polymeric and xerogel coatings sensitive to chemicals have also been investigated. Microstructure fibers and special fiber components with long-period gratings have been prepared in the Laboratory.

Advanced fibers produced by the Laboratory represented, to a great extent, a basis for the investigation of non-linear fiber optics. The research into generation, amplification and non-linear propagation of ultrashort optical pulses in active fibers was carried out. Novel methods for preparing twin-core optical fibers were designed, the fibers were prepared and tested. Software tools for the analysis and design of erbium-doped, erbium-ytterbium-doped praseodymium-doped and Raman fiber amplifiers have been developed. These programs have been used for the optimization of rare-earth-doped fibers and for the analysis of transient effects in fiber amplifiers. They have also been integrated into commercial simulation software packages by Optiwave Inc. (Canada).

tuci – a tím pracoviště získalo i větší samostatnost. Implementace zákona nastávala postupně a administrativních změn bylo využito i pro změnu názvu, který je s platností od 1. ledna 2007 **Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v. v. i.** Význam fotoniky a optiky v zaměření ústavu, které byly bez ohledu na název zásadní již od šedesátých let XX. století, je tak promítnut do jeho názvu. Byla zřízena Rada instituce, mezi jejíž kompetence patřily především koncepční a vědecko-organizační otázky, a Dozorčí rada, sloužící pro dohled zřizovatele, zejména v otázkách ekonomických a majetkových. Byl sjednocen základní formát výročních zpráv, které od roku 2007 nahradily více či méně pravidelné dvouročenky ústavu. Velká pozornost je dlouhodobě věnována hodnocení výzkumné činnosti ústavu organizované Akademií věd AV ČR v pravidelných pětiletých cyklech. Toto hodnocení zajišťuje komplexní, mezinárodní a nezávislé posouzení činnosti pracovišť a poskytuje vedení pracoviště i jednotlivým výzkumným týmům formativní zpětnou vazbu pro řízení a další rozvoj pracoviště. Po roce 2012 tak s ohledem na doporučení vzešlá z předchozích hodnocení došlo k restrukturalizaci ústavu. Restrukturalizace se projevila jednak ve zjednodušení řídicí struktury, byla zrušena sekce jako střední mezičlánek řízení mezi vedením ústavu a výzkumnými týmy, jednak došlo k utlumení výzkumných problematik syntézy řeči a technologie epitaxního růstu polovodičových vrstev z kapalně fáze (LPE), která se částečně propojila s oddělením diagnostiky materiálů a vznikl tým přípravy a charakterizace nanomateriálů. Výzkumná problematika zpracování signálu se transformovala do juniorského týmu bioelektrodynamiky. Týmy vlnovodné fotoniky a technologie optických vláken se spojily do velkého týmu vláknových laserů a nelineární optiky, který rozvíjí tradiční rozsáhlou infrastrukturu ústavu pro výzkum vláknových laserů a technologie optických vláken. Tým optických biosenzorů a přesného času a frekvence zůstaly zachovány v původní podobě tím, že u týmu přesného času byla akcentována jeho funkce servisní laboratoře Státního etalonu času a frekvence. V roce 2017 vznikl další juniorský tým nanooptiky, který založil Marek Piliarik po svém několikaletém postdoktorském pobytu v Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts v Erlangenu.

V posledních dvou dekáдах byla věnována velká pozornost modernizaci a rekonstrukcím laboratoří. První vlašťovkou byla rekonstrukce laboratoře výkonových vláknových laserů v prostorách dřívější výroby plošných spojů v suterénu v letech 2002–2003. Největším investičním počinem pak byl vznik laboratoře nanotechnologií, využívané především týmy optických biosenzorů a nanomateriálů, která byla dokončena v roce 2013.

Významné výsledky z nedávné doby a podrobnosti o zaměření jednotlivých týmů jsou popsány ve výročních zprávách a na webu www.ufe.cz a samozřejmě zejména v článcích jednotlivých týmů v tomto speciálním dvojčísle JMO.

Významná ocenění a projekty po roce 2000

Připomeneme několik mimořádně významných projektů, ocenění a organizačních úspěchů. ÚFE organizuje řadu konferencí, mezi nejvýznamnější patří náš podíl na organizaci sympozia Optics+Optoelectronics profesní společnosti SPIE, což je jedna z největších událostí v oboru optiky a optoelektroniky ve střední Evropě. Od roku 2007 se pořádá každý druhý rok v Praze a alternuje tak se sympoziem SPIE Photonics Europe v Bruselu nebo ve Štrasburku. Největší dílčí konferencí co do počtu příspěvků a účastníků je konference Optical sensors vedená Jiřím Homolou, který v letech 2013, 2015 a 2017 předsedal i celému sympoziu. Vědci z ÚFE pravidelně předsedají několika dalším dílčím konferencím sympozia, Jiří Čtyrkoký konferenci o integrované optice, Vladimír Kuzmiak o metamateriálech, Pavel Peterka o speciálních optických vláknech a Ivan Kašík workshopu o technologii optických vláken. Z významných velkých konferencí pořádaných přímo ÚFE uvedeme konferenci European Conference on Integrated Optics v roce 2003 (předseda Jiří Čtyrkoký); Europt(r)ode v r. 2010 (předseda

Start of SPR sensor research

Research into surface plasmon resonance (SPR) sensors started in the early 1990s. Initially, the research effort was mainly focused on the theory of surface plasmons and their experimental investigation using the attenuated total reflection method. The first SPR sensor developed at the Institute in 1992 was based on the attenuated total reflection method and angular scanning. Shortly afterwards, a fiber optic SPR sensor was proposed and developed into a highly miniaturized fiber optic SPR probe for localized sensing. Research into SPR sensors based on integrated optical waveguides has also been pursued with emphasis on sensors based on ion-exchanged waveguides. In the late 1990s, the SPR phenomenon on diffraction gratings was studied. This research resulted in a new generation of SPR sensors based on diffraction gratings. In 2002, a unique multichannel SPR sensor based on spectroscopy of surface plasmons on an array of diffraction gratings was demonstrated that allowed for the simultaneous measurements in as many as 100 independent sensing areas. The unique SPR sensor platforms developed at ÚFE have been applied for the detection and quantification of chemical and biological analytes relevant to medical diagnosis (biomarkers, hormones, antibodies), environmental monitoring (pesticides), and food safety and security (pathogens and toxins). Particularly significant was the long-term collaboration with the Institute of Hematology and Blood Transfusion in Prague, dedicated to developing biosensors for the investigation and diagnosis of onco-hematological diseases.

Period 2007–2025

In 2005, Act No. 341/2005 Coll. on Public Research Institutions was adopted, which radically changed the legal status of the Institute – from a contributory organization to a public research institution – and thus, the Institute gained greater independence. The Act was implemented gradually, and the administrative changes were also used to change the name, which is now **the Institute of Photonics and Electronics of the CAS, v. v. i.** The importance of photonics and optics in the focus of the Institute, which have been principal since the 1960s, regardless of the Institutes' name, is thus reflected in its name. A Board of the institution was established, whose competences include mainly conceptual and scientific-organizational issues; and a Supervisory Board, that provide supervision of the establisher, the Czech Academy of Sciences, especially in economic matters. The format of the annual reports was standardized, gradually replacing the Institute's more or less regular biennial reports from 2007 onwards. Great attention has been paid to the evaluation of the Institute's research activities. The evaluation is organized by the Czech Academy of Sciences regularly in a five-year cycle. These evaluations provide a comprehensive, international and independent assessment of the activities of the Institutes and provide formative feedback to the management and further development of the Institutes and individual research teams. Thus, after 2012, the Institute was restructured in the light of recommendations from previous evaluations. The restructuring led to simplification of the management structure, as the research sections – an intermediate management level between the management of the Institute and the research teams – were eliminated; and the research topics of speech synthesis and liquid phase epitaxial (LPE) growth technology of semiconductor layers were suppressed, the latter partially merged with the materials diagnostics department that led to formation of the team of Preparation and Characterization of Nanomaterials lead by Jan Grym. The research in signal processing was transformed into a junior team of Bioelectrodynamics. The Waveguide Photonics and Optical Fiber Technology teams have merged into a large Fiber Lasers and Nonlinear Optics team, that operates the Institute's traditional large infrastructure for research of fiber lasers and optical fiber technology. The teams of Optical Biosensors and the team aimed at precise time and frequency have been retained in their original form; in the latter team, its function

Jiří Homola) a Workshop on Specialty Optical Fibers and Their Applications v r. 2025 (WSOF, předseda Pavel Peterka).

Nejvýznamnější ocenění jsou spojena především s osobností Jiřího Homoly, který byl ředitelem ÚFE v letech 2012–2021. Jiří Homola patří dlouhodobě mezi nejcitovanější vědce v České republice, je laureátem nejvýznamnějšího českého vědeckého ocenění Česká hlava ceny (2009), Ceny ministra školství, mládeže a tělovýchovy za mimořádné výsledky výzkumu, experimentálního vývoje (2014) a dalších významných národních i mezinárodních ocenění. V roce 2012 byl zvolen Fellow členem společnosti SPIE, v letech 2022–2024 byl místopředsdou Rady pro výzkum, vývoj a inovace Vlády ČR. Z dalších ocenění zmíníme zvláštní ocenění předsedy Grantové agentury ČR (GAČR) za projekt Radana Slavíka na výzkum vláknových mřížek (2010), cenu ministra školství pro Miroslava Karáska (2007), kterou získal s kolegy ze sdružení CESNET za výzkum optických vláknových zesilovačů, a dvě ceny za projekty Technologické agentury ČR (TAČR) za projekty Pavla Honzátko, a to v roce 2013 za projekt „Optický paketový přepínač“ a v roce 2020 za projekt „Thuliové vláknové lasery pro průmyslové a medicínské aplikace“.



Obr. 1 Jiří Homola dostává v roce 2009 nejvyšší české vědecké vyznamenání Česká hlava. Zdroj Česká hlava PROJEKT z.ú.

Fig. 1 Jiří Homola receives the highest Czech scientific award, the Czech Head, in 2009. Source: Czech Head PROJECT z.ú.

V posledních dvou desetiletích řešily výzkumné týmy ÚFE široké spektrum projektů. Pro jejich podrobnější výčet odkazujeme na články jednotlivých týmů v tomto čísle. Projekt TAČR vedoucí k vývoji komerčně úspěšného přijímače GTR týmu přesného času je dokonce obrazově ztvárněn formou komiksu. Zde si dovolueme upozornit na některé z nich. Velmi si ceníme velkých výzkumných projektů, jako jsou projekty EXPRO GAČR „Nové biofotonické nástroje pro studium buněčných procesů“ (Jiří Homola) a „Sub-THz chipová zařízení pro řízení proteinových nanopřístrojů“ (Michal Cifra), projekt ERC-CZ „Optické zobrazování dynamiky jednotlivých proteinů“ (Marek Piliarik), projekt Národního centra pro výzkum rakoviny (NÚVR, Jiří Homola a Markéta Bocková),

as a service Laboratory of the National Time and Frequency Standard was emphasized. In 2017, another junior team (Nano Optics) was established by Marek Piliarik after his postdoctoral stay of several years at the Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen.

In the last two decades, much attention has been paid to the modernization and renovation of laboratories. The first swallow was the reconstruction of the laboratory of high-power fiber lasers in 2002–2003 in the former souterrain workshop for printed circuit board production. The largest laboratory investment was the construction of the laboratory of nanotechnology, used mainly by the Optical Biosensors and Nanomaterials teams, which was completed in 2013.

Significant recent achievements and details of the focus of each team are described in the annual reports and on the website www.ufe.cz and, of course, especially in the articles by each team in this special double issue of the JMO journal.

Notable awards and projects after 2000

We will mention a few particularly significant projects, awards and event-organization achievements. ÚFE has organized number of conferences, among the most important is our contribution to the organization of the Optics+Optoelectronics symposium of the professional society SPIE, which is one of the largest events in the field of optics and optoelectronics in Central Europe. Since 2007 it has been held every other year in Prague, alternating with the symposium SPIE Photonics Europe in Brussels or Strasbourg. The largest sub-conference in terms of number of papers and participants is the Optical Sensors conference led by Jiří Homola, who also chaired the whole symposium in 2013, 2015 and 2017 as the general chair. ÚFE scientists regularly chair several other sub-conferences of the symposium, Jiří Čtyrský the conference on Integrated optics, Vladimír Kuzmiak on Metamaterials, Pavel Peterka on Specialty optical fibers and Ivan Kašík the Workshop on optical fiber technology. Among the most significant major conferences organized directly by the ÚFE we mention the European Conference on Integrated Optics in 2003 (chaired by Jiří Čtyrský); Europt(r)ode in 2010 (chaired by Jiří Homola) and the Workshop on Specialty Optical Fibers and Their Applications in 2025 (WSOF, chaired by Pavel Peterka).

The most important awards are mainly associated with the personality of Jiří Homola, who was the director of ÚFE in 2012–2021. Jiří Homola has been for a long time one of the most cited scientists in Czechia, he is a laureate of the most important Czech scientific award Czech Head Award (2009), the Award of the Minister of Education, Youth and Sports for outstanding results in research and experimental development (2014), and other important national and international awards. In 2012, he was elected Fellow member of SPIE, and in 2022–2024 he was Vice-Chairman of the Council for Research, Development and Innovation of the Government of the Czech Republic. Other awards include the Special Award of the Chairman of the Czech Science Foundation (GAČR) for Radan Slavík's project on fiber grating research (2010), the Minister of Education Award for Miroslav Karásek (2007), which he received with colleagues from CESNET for research on fiber optic amplifiers, and two awards from the Technology Agency of the Czech Republic (TAČR) for Pavel Honzátko's projects, in 2013 for the project “Optical packet switch” and in 2020 for the project “Thulium fiber lasers for industrial and medical applications”.

In the last two decades, ÚFE research teams have been working on a wide range of projects. For a more detailed list of these projects, please refer to the articles of each team in this issue. The TAČR project that led to the development of the commercially successful GTR receiver by the team of precise time and frequency is even illustratively presented in the form of a comic strip. Here we take the liberty of highlighting some of the projects. We are very proud of large research projects, such as the EXPRO projects of GAČR

a prestižních mezinárodních projektů, jako jsou projekty „Tactical Advanced Laser Optical Systems“ obranných agentur Evropské unie (Pavel Honzátko). Další důležitou skupinou jsou projekty podpořené z evropských strukturálních fondů. V počátcích nebyly finanční prostředky z těchto programů pro ÚFE dostupné, protože byly určeny pro pracoviště mimo Prahu. Od roku 2024 řešíme 4 velké projekty financované v rámci operačního programu Jan Amos Komenský výzvy „Špičkový výzkum“, přičemž projekt LasApp zaměřený na propojení a rozvoj českých center v laserové technice ÚFE dokonce koordinuje (tým vláknových laserů a nelineární optiky). Kromě toho se podílíme na projektech AMULET (tým optických biosenzorů), QUEENTEC (především tým přesného času) a SenDISo (tým nanooptiky). Projekty OP JAK představují od r. 1989 svým rozsahem mimořádnou příležitost pro rozvoj výzkumu ÚFE, především co se týká rozvoje výzkumné infrastruktury, národní a mezinárodní spolupráce a excelentních výzkumných programů.



Pohled do „Aplikačního střediska“, které bylo vybudováno v nástavbě nad ústavní jídelnou v polovině 70. let, kde se sestavovaly speciální elektronické přístroje v rámci předávání výsledků výzkumu do praxe.

A view of the “Application Centre”, which was built in the extension above the Institute's canteen in the mid-1970s, where special electronic devices were assembled as part of the transfer of research results into practice.



Doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., Ústav fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, Chaberská 1014/57, 182 00 Praha 8-Kobylisy, e-mail: peterka@ufe.cz
RNDr. Jiří Zavadil, CSc., Ústav fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, Chaberská 1014/57, 182 00 Praha 8-Kobylisy, e-mail: zavadil@ufe.cz

“Novel biophotonic tools for investigation of cellular processes” (Jiří Homola) and “SubTHz on-chip devices for controlling protein nanomachines” (Michal Cífra), ERC-CZ project “Optical imaging of single protein dynamics” (Marek Piliarik), participation in the National Institute for Cancer Research (NICR, Jiří Homola and Markéta Bocková), and prestigious international projects such as the “Tactical Advanced Laser Optical Systems” projects of the European Union defence agencies (Pavel Honzátko). Another important group of projects are the ones supported by the European Structural Funds. In the early years after Czechia became part of the EU, these funds were not available to the ÚFE because these funds were intended for organizations located outside Prague. Since 2024, we have been working on 4 large projects funded under the Programme Johannes Amos Comenius, the call Excellent Research. The team of Fiber Lasers and Nonlinear Optics team ÚFE has been even coordinating the LasApp project, that aims at synergetic cooperation and fostering of the Czech research centers in laser technology. In addition, we are involved in the projects AMULET (Optical Biosensors team), QUEENTEC (mainly the Laboratory of the National Time and Frequency Standard) and SenDISo (Nano-Optics team) projects. Since 1989, the extent of the EU-funded Johannes Amos Comenius projects presents an exceptional opportunity for the development of ÚFE research, especially in terms of the upgrade of research infrastructure, national and international cooperation and excellent research programs.



Oslavy 15 let ústavu v Ústředním kulturním domě železničářů (nyní Národní dům na Vinohradech), v r. 1970. Na snímku pracovníci oddělení Kvantové elektroniky, zleva: Pavel Engst, p. Dušek, Viktor Trkal, Vlastimil Bajgar, Alena Jelínková, Jan Blabla, Václav Vávra, Miroslav Vendl.

Celebration of the Institute's 15th anniversary at the Central Cultural House of Railway Workers (now the National House in Vinohrady), Department of Quantum Electronics, from left: Pavel Engst, Mr. Dušek, Viktor Trkal, Vlastimil Bajgar, Alena Jelínková, Jan Blabla, Václav Vávra, Miroslav Vendl.

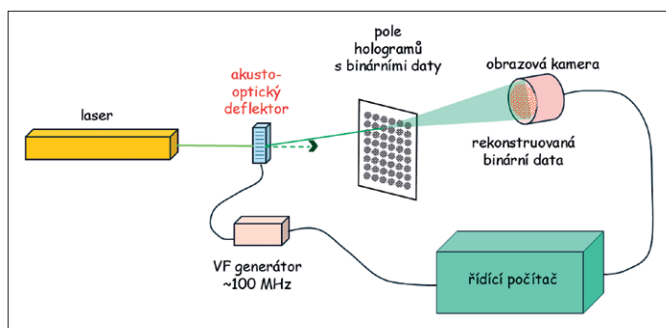
◀ Slavnostní otevření nově zbudované laboratoře nanotechnologií v r. 2013. Zleva tehdejší ředitel ústavu prof. Jiří Homola, předseda Akademie věd prof. Jiří Drahoš a předseda Dozorčí rady ÚFE prof. Miroslav Tůma.

Opening ceremony of the newly constructed laboratory of nanotechnology in 2013. From the left: acting Director of the Institute prof. Jiří Homola, acting President of the Czech Academy of Sciences prof. Jiří Drahoš and acting Chairman of the Supervisory Board of the Institute prof. Miroslav Tůma.

Akustooptický deflektor: Vzpomínka na první úkol nového pracovníka

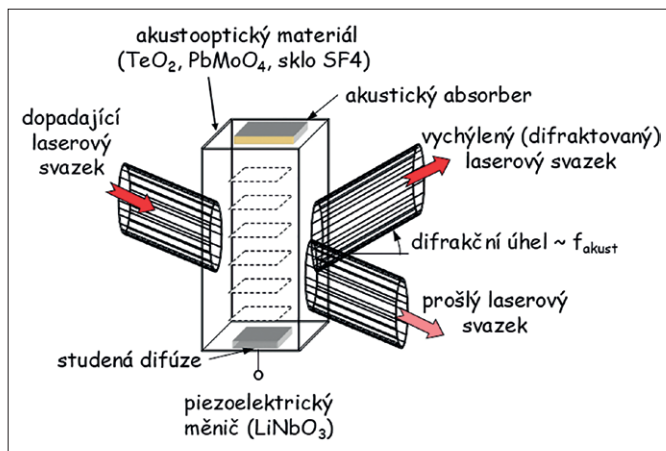
Článek realisticky popisuje vývoj akustooptického deflektoru laserového svazku, kterým byl autor článku pověřen bezprostředně po svém příchodu do tehdejšího Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV (nyní Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR) v 70. letech 20. století v rámci práce na výzkumu optické holografické paměti.

Do tehdejšího Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV – nyní Ústavu fotoniky a elektroniky AV ČR – jsem nastoupil po získání hodnosti CSc. (kandidát věd) a ročním působení jako odborného asistenta na Katedře elektromagnetického pole FEL ČVUT na podzim roku 1973. Oddělení, do něhož jsem byl zařazen, se tehdy zabývalo problematikou optických holografických pamětí (obr. 1).



Obr. 1. Princip pevné optické holografické paměti.

Dostal jsem za úkol vyvinout vzorek akustooptického deflektoru laserového svazku pro adresování jednotlivých hologramů (obr. 2).



Obr. 2. Princip akustooptického deflektoru laserového svazku

O akustooptice jsem tehdy nevěděl prakticky nic, tak jsem se nejprve vrhl na studium literatury. Pro konstrukci fungujícího vzorku deflektoru bylo třeba zvládnout nejen teorii difrakce na běžící akustické vlně v izotropních i anizotropních prostředích, teorii akustických vln v pevných látkách, ale také vlastnosti materiálů vhodných pro akustooptické aplikace a v neposlední řadě také metody účinného buzení akustických vln pomocí piezoelektrických měničů, včetně technologických postupů jejich optimálního spojování s akusto-

optickým materiálem. Problematika mě velmi zaujala, a tak již po poměrně krátké době jsem začal vzorek deflektoru navrhovat – samozřejmě se špičkovými parametry, jak se na začátečníka v oboru sluší. Velmi brzy jsem však musel z původních představ hodně slevit. Optimální akustooptické materiály – monokrystaly molybdenanu olovnatého PbMoO_4 či oxidu teluricitého TeO_2 byly totiž nedostupné, jednak cenově, jednak také kvůli tehdejšímu embargu. Krystal TeO_2 se v té době vyráběl v malém množství i v Maďarsku, avšak získat ho bylo prakticky nemožné. Z alternativních materiálů jsem nakonec zvolil těžké flintové sklo SF4 od firmy Schott, které bylo dostupné za rozumnou cenu. Nižší akustooptickou účinnost skla však bylo třeba vyvážit větší délkou vzájemné interakce akustické vlny a laserového svazku. To ale způsobuje vyšší úhlovou selektivitu Braggova difrakčního režimu, v němž deflektor pracuje kvůli vyšší účinnosti. V důsledku vyšší úhlové selektivity režimu se při změně frekvence akustické vlny fázový synchronismus Braggova režimu silněji narušuje a difrakční účinnost deflektoru klesá. V této situaci přišly velmi vhod poznatky z teorie mikrovlnných fázovaných anténních řad: když se piezoelektrický měnič, který vytváří v materiálu akustickou vlnu, rozdělí na několik segmentů, které vyzařují akustické vlny se vzájemně opačnou fází, jejich vzájemnou interferencí vzniknou dva akustické svazky, jejichž směr se při změně akustické frekvence vychyluje. Tím lze rozložení Braggova režimu do značné míry kompenzovat. Další výhodou tohoto uspořádání je, že relativně velká elektrická kapacita piezoelektrického měniče, což je výbrus z feroelektrického monokrystalu LiNbO_3 , je výrazně snížena sériovým zapojením jednotlivých segmentů.

Teoretický návrh deflektoru tak byl v podstatě vyřešen, a bylo „jen“ zapotřebí vzorek deflektoru vyrobit. Potřebné bločky ze skla SF4 připravili včetně antireflexních vrstev na vstupní a výstupní optické ploše v tehdejších Vývojových dílnách ČSAV v Turnově (nyní centrum TOPTEC při ÚFPAV ČR), krystal LiNbO_3 vypěstovali a polotovar piezoelektrického měniče (řezu 163°Y pro účinné generování podélné akustické vlny) o tloušťce asi 0,5 mm vyrobili v tehdejší firmě Monokrystaly Turnov (nyní CRYTUR), o níž ještě bude řeč. Kritickou technologickou operací bylo spojení piezoelektrického měniče s akustooptickým prostředím tvořeným skleněným bločkem, které muselo současně zajistit elektrické napájení piezoelektrického měniče a optimální přenos výkonu akustické vlny do skleněného bločku. Z literatury byl znám postup využívající tzv. studené difúze, kdy se na jeden spojovaný povrch deponuje kovová vrstva india, na druhý povrch tenká vrstva zlata, a oba povrchy se bezprostředně po depozici ve vakuu k sobě za pokojové teploty přitisknou pod velkým tlakem řádu sto barů. Během několika minut proběhne mezi oběma kovovými povrchy difúze a vznikne velmi pevné a z akustického hlediska velmi kvalitní spojení. V našem případě bylo třeba současně vyřešit přizpůsobení mezi akustickou impedancí piezoelektrického měniče z LiNbO_3 a skla SF4. Numerická simulace s využitím Masonova náhradního elektrického schématu piezoelektrického měniče a teorie elektrického vedení ukázala, že místo india by bylo vhodnější použít cín. Pro zlepšení elektrické vodivosti a zajištění potřebné adheze jsme se rozhodli použít kombinaci tenké zlaté vrstvy (s chromovou adhezí vrstvičkou) a vrstvy cínu, a pro zjednodušení procesu deponovat tyto vrstvy na obě spojované plochy současně. K potřebnému difúznímu spojení tak mělo dojít mezi čerstvě deponovanými vrstvami cínu.

Zbývalo vyřešit problém, jak na oba povrchy napařit potřebné vrstvy na měnič i na skleněný bloček pod jedním vakuem a uvnitř vakuové komory pak obě plochy k sobě přitisknout a stlačit potřebnou silou. S vakuovými technologiemi jsem v té době neměl vůbec žádné praktické zkušenosti. Problém jsem proto konzultoval se zkušenými kolegy zabývajícími se napařováním tenkých vrstev, zejména s Ing. Václavem Malinou ze sousedního oddělení. Všechny „tenkovrstvové technologie“, s nimiž jsem se radil, ale jímala čirá hrůza z představy, že by se měla vakuově napařovat několikamikrometrová vrstva cínu, protože by pak bylo velice obtížné vakuovou aparaturu před jejím dalším použití pro jiné operace patřičně vyčistit, a nikdo se proto nechtěl do těchto dosti riskantních pokusů pouštět. V této chvíli přišla spása v osobě pracovníka Monokrystalů Turnov Ing. Rudolfa Trepery, který se v té době zabýval výrobou akustooptických prvků pro klíčování laserů. Ty využívaly jiné materiály piezoelektrických měničů a jiné technologické postupy jejich připojování k akustooptickému materiálu, proto měl Ing. Trepera o nové zkušenosti s piezoelektrickými měniči z LiNbO_3 i o technologii studené difúze velký zájem. Snadno a rychle jsme se tak dohodli na zcela neoficiální, leč o to intenzivnější spolupráci. Ing. Trepera zjistil, že v Turnově bylo možné pro tyto experimenty využít starší vakuovou aparaturu určenou k vyřazení, jejíž parametry by však měly k zamýšlenému účelu postačovat. Na základní desce této napařovačky byla ale volná pouze jedna rotační průchodka a jeden otvor o průměru asi 35 mm, se kterými bylo nutné vystačit jak k manipulaci s napařovanými objekty, tak i k jejich vzájemnému stlačení. Následovala proto fáze intenzivního přemýšlení nad konstrukcí speciálního a poněkud nekonvenčního vakuového zařízení, které by umožnilo umístit oba napařované povrchy na vhodné místo nad zdroji napařovaných kovů, po napaření je k sobě přiložit a poté je k sobě přitisknout požadovaným tlakem. První, relativně jednodušší úkol – manipulace s napařovanými objekty – byl vyřešen pomocí kladky a tenkého lanka ovládaného rotační průchodkou. Řešení druhé úlohy spočívalo v konstrukci jakéhosi pneumatického válcového lisu s pístem o ploše asi 100 cm², což umožnilo vyvinout potřebný tlak na spoj měniče a akustooptického bločku o ploše asi 2 cm² při 50× nižším tlaku uvnitř válce. Zařízení muselo být zkonstruováno tak, aby ani při maximálním tlaku ve válci lisu nedošlo k nepřipustně velkému zvýšení tlaku ve vakuové komoře. S řešením tohoto problému mi velmi pomohl tehdejší mistr naší ústavní vzorkovny, velmi zkušený nástrojař Miroslav Pospíšil. Návrh zařízení vznikl za průběžných vzájemných konzultací, kdy jsme neustále hledali kompromisy mezi podmínkami, které bylo nutné dodržet z hlediska vakuové těsnosti, a technickou realizovatelností zařízení. Další šťastnou náhodou se ve skladu materiálů tehdy našel pozapomenutý blok nerezové vakuové oceli potřebné velikosti, který tehdy nějak vypadl z pravidelné inventury materiálů. Z něho pak byly všechny klíčové části zařízení vyrobeny.

S Ing. Treperou jsme se domluvili, že přijedu do Turnova na několik dní a funkci vakuového zařízení před realizací laboratorních vzorků akustooptických deflektorů důkladně vyzkoušíme. Zařízení jsme pečlivě namontovali do staré napařovačky, vakuový zvon vyčerpali, pak jsme opatrně napouštěli do válce pneumatického lisu okolní vzduch a s napětím sledovali tlak v napařovačce. Když jsme do lisu vpustili plný atmosférický tlak, vakuum se zhoršilo jen nepodstatně. Tak jsme se odvážili zvýšit tlak ve válci lisu připojením lahve se stlačeným argonem až o čtyři bary – a vakuum ve zvonu napařovačky se stále drželo v přijatelných mezích! To nám dodalo odvalu postoupit o další krok. Nejprve jsme podnikli zkušební experiment, kdy jsme místo měničů z LiNbO_3 použili stejně velké, ale podstatně levnější destičky z křemenného skla. Ukázalo se, že difúze cín-cín funguje, a to i při podstatně nižší přitlačné síle, než jsme předpokládali. Během dalších několika dní jsme pak úspěšně připojili měnič z LiNbO_3 na čtyři bločky skla SF4 s napařenými antireflexními vrstvami na vstupní i výstupní optické ploše, které jsme měli pro experiment připravené.

Stále však jsme neměli vyhráno. Ještě bylo třeba ztenčit měniče z původní tloušťky 500 μm, zvolené pro dostatečnou mechanickou odolnost, na pouhých 30 μm, a povrch vyleštit. 30 μm je totiž půlvlnná rezonanční tloušťka LiNbO_3 měniče na středním pracovním kmitočtu deflektoru 75 MHz. Všechny vzorky kupodivu přežily bez újmy i tuto operaci. Pak bylo ještě třeba deponovat na vyleštěné horní plochy měničů zlatou elektrodu, opatřit zadní plochu vzorku deflektoru akustickým absorbérem ze slitiny india a cínu pro potlačení nežádoucích odrazů akustické vlny, zabudovat vzorek do připraveného duralového chladicího držáku a připojit BNC konektor pro přívod elektrického buzení. Pro kompenzaci elektrické kapacity měniče jsme ještě ve spolupráci s technikem z naší laboratoře – všeumělem zdaleka nejen v oblasti elektroniky – Ivo Gregorou navrhli a z měděného drátu zhotovili jednoduchou cívku s několika závity, která tvořila s kapacitou měniče paralelní rezonanční obvod – a vzorky akustických deflektorů byly konečně na světě. K elektrickému napájení deflektoru jsme po jistém úsilí sehnali starý vysokofrekvenční generátor o výstupním výkonu několika wattů, pokrývající pracovní kmitočtový rozsah deflektoru 50 MHz – 100 MHz, a ověřili jsme, že všechny vzorky deflektorů fungují v podstatě v souladu s původními předpoklady (obr. 3).



Obr. 3 Realizovaný vzorek akustooptického deflektoru. Technické parametry: Optická apertura: ~ 20 mm × 5 mm; AO medium: těžké flintové sklo SCHOTT SF4; Piezoelektrické měniče: řez 163°Y LiNbO_3 ; Studená difúze Au-Sn/Sn-Au; Akustický absorbér: slitina In-Sn; Frekvenční pásmo: 50 MHz – 100 MHz; VF příkon: 1 W – 2 W; Elektrická vstupní impedance: ~ 50 Ω; Počet rozlišitelných bodů (Rayleighovo kritérium): 256; Difrakční účinnost @ 488 nm: > 60 %.

Veškeré další práce na holografických optických pamětech byly brzy poté zastaveny vzhledem k rychlému nástupu technologie kompaktních disků.

Dovětek

Ve spolupráci s Niko Tršanem ze slovinského pracoviště Iskra Ljubljana, s nímž měl ústav tehdy pracovní kontakty v oblasti holografie, se nám podařilo teoreticky předpovědět a s naším vzorkem akustooptického deflektoru za použití argonového laseru na slovinském pracovišti demonstrovat možnost současné Braggovy difrakce do prvního i druhého difrakčního řádu v akustooptických prvcích: J. Čtyrský, N. Tršan, Analysis and Design of a Flat Transducer Array Acousto-optic Deflector with Respect to the Second-order Diffraction. *Optica Acta: International Journal of Optics*, **25**(11), 1081–1086 (1978). <https://doi.org/10.1080/713819715>.

Závěr

Když se dnes ohlížím zpět, zdá se mi nepochopitelné, že nám tehdy všechny komplikované technologické operace, s nimiž jsme neměli nejmenší předchozí zkušenosti, vyšly v podstatě na první pokus, navíc za minimálních nákladů a bez zbytečných byrokratických procedur.

Dokumentární film o příběhu první laserové operace oka v Československu

Documentary film about the story of the first laser eye surgery in Czechoslovakia

Krátký filmový dokument ve svižném tempu vypráví z dnešního pohledu neuvěřitelný příběh, kdy ani ne dva roky po sestrojení československých rubínových laserů byla provedena přímo v laboratoři našeho ústavu první laserová operace oční sítnice a následně bylo vyrobeno několik laserových oftalmokoagulatorů používaných v nemocnicích. Dokument mapuje i likvidaci laserové laboratoře po invazi v r. 1968 až po některé současné laserové projekty v Akademii věd.

This short documentary tells an unbelievable story from today's point of view, when less than two years after the construction of the Czechoslovak ruby lasers, the first laser eye surgery was performed in the laboratory of our institute and several laser ophthalmocoagulators used in hospitals were produced. The document also traces the scattering of the laser laboratory after the 1968 invasion and ends with some of the current laser projects at the Czech Academy of Sciences.

Je krásný slunečný 19. červen 2024 a na kopci nad Prahou, v ÚFE v Kobylisích, se scházejí dva pamětníci pionýrských laserových experimentů v Československu 60. let, Ing. Jan Blabla, CSc. a prof. Ing. Miroslava Vrbová, CSc. Před 60 lety MUDr. Jan John z nedaleké nemocnice na Bulovce činí riskantní rozhodnutí a přímo v budově našeho ústavu operuje rubínovým laserem mladou dívku s rozsáhle potřhanou sítnicí. Dosud měl zkušenosti nasbírané jen s laserovými operacemi očí králíků. Operace dopadla dobře a oko dívky bylo zachráněno. Rubínový laser přitom sestavil tým Jana Blably, Aleny Jelínkové, Viktora Trkala a dalších jen o necelé dva roky dříve. O něco později pak ve spolupráci s Výzkumným ústavem spojovací techniky (VÚST) byly prováděny první československé experimenty s laserovou komunikací volným prostorem. Z věžičky našeho ústavu na budovu VÚST na Lhotce. U toho byla zase Miroslava Vrbová. Vzpomínalo se na doby, kdy se studovaly nové objevy a hledala inženýrská řešení. Bez internetu a skoro bez možnosti nákupu komponent ve svobodném světě.

Padla i otázka, co se stalo s výukovým filmem pro lékaře o použití oftalmokoagulatoru, který natočil Krátký film Praha v roce 1971 a který získal první cenu ve velké konkurenci 166 filmů na přehlídce technických, vědeckých a naučných filmů Techfilm 71 [1]. V roce 2015 jsme u výrobce s hledáním nepochodili, o osudu filmu nevěděli. Syn Jana Blably, Marek, který svého tatínka na setkání doprovázel, se nabídl, že zkusí Národní filmový archiv. A vskutku, za nedlouhou hlásil radostnou zprávu, film našli! Zdigitalizují ho a my se těšíme, že jej

It was a beautiful sunny day, 19 June 2024, and on a hill above Prague, at the ÚFE in Kobylisy, two pioneers of laser technology in Czechoslovakia, Ing. Jan Blabla, CSc. and prof. Ing. Miroslava Vrbová, CSc. met after a long time. 60 years ago, MUDr. Jan John from the nearby Bulovka Hospital made a risky decision and operated on a young girl who had multiple retina tears. He performed the surgery using a ruby laser right in the lab in our institute. So far he has only had experience with laser eye surgery on rabbits. The surgery went well, and the girl's eye was saved. The Ruby Laser was assembled by the team of Jan Blabla, Alena Jelínková, Viktor

Trkal and others only less than two years before. A little later, in cooperation with the Research Institute of Communication Technology (VÚST), the first Czech experiments with free-space laser communication were carried out. From the tower of our institute to the VÚST building in Lhotka, where prof. Miroslava Vrbová was there as a young student. Now, they remembered the time when new discoveries were studied, and engineering solutions were sought. Without the Internet and almost without the possibility of buying components beyond the "iron curtain" in the free world.

The question was also raised as to what happened to the educational film for

physicians about the use of the ophthalmocoagulator, made by Krátký film Praha in 1971, which won the first prize in a large competition of 166 films at the Techfilm 71 festival of technical, scientific and educational films [1]. In 2015, we asked the producer but they were unaware of the film's fate. Jan Blabla's son, Marek,



Obr. 1 Vzpomínkové setkání k výročí první laserové operace oka 19. 6. 2024, zleva: prof. Ing. Miroslava Vrbová, CSc., doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., Ing. Jan Blabla, CSc. Foto: Ing. Marek Blabla.

Fig. 1 Meeting on 19. 6. 2024 to commemorate the 60th anniversary of the first laser eye surgery, from left: prof. Ing. Miroslava Vrbová, CSc., doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., Ing. Jan Blabla, CSc. Photo: Ing. Marek Blabla.

promítneme na setkáních k připomínce 70. let ústavu, která plánujeme na přelom listopadu a prosince. Digitalizovaný film jsme dostali koncem srpna. Naději a radost však střídá rozčarování. Film je sice nádherně zpracován, ale je to pomalu plynoucí půlhodina výuky. Navíc o vzniku oftalmookagulatury, jehož příběh nás nejvíce zajímá, ve filmu skoro nic není. Pro výroční setkání je film nepoužitelný.

Jedinou možností je film sestříhat a příběh doplnit. Máme na to dva měsíce, ovšem vedle množství svých jak plánovaných, tak i nečekaných úkolů. S tímto vědomím a s úctou k minulým oceněným tvůrcům se rozhodujeme světit práci profesionálům. Prověřujeme několik možností a nakonec se rozhodujeme pro tvůrce dokumentárních filmů, kteří promítají v letním kině u Hájovny Cibulka, kam zvou i režiséry a scénáristy. Víím, že scénářem musíme začít, a tak oslovuji Benjaminu Tučka, zda by scénář napsal. Po přečtení textů Jana Blabla a Viktora Trkala mi však k mému překvapení sdělí, že napsali své vzpomínky tak barvitě a živě, že z jejich citací scénář už určitě poskládáme dohromady sami. Navíc jde o odbornou problematiku, kde velmi záleží na technickém poradci. O stříh se postará Ondřej Nuslauer a o zvuk Václav Flégl, kteří s Benjaminem Tučkem právě dokončili film. Později jsem se dozvěděl, že šlo o film o reportérovi Martinu Dorazínovi „Válečný zpravodaj“, oceněný na filmovém festivalu ve Varšavě. Ondřej Nuslauer začíná pracovat, zvukovou stopu scénáře generovanou hlasem umělé inteligence postupně doplňuje obrazovým materiálem a hudbou. Mnoho materiálu pro příběh však chybí. Něco nahrazují fotografie, televizní reportáž o maseru v našem ústavu, krásné fotografie dodal Masarykův ústav a archiv AV ČR, záběry z okupované Prahy v roce 1968 poskytl institut Paměť národa, ale napínavě vyprávěný příběh prvních pokusů s rubínovým laserem a smutné vzpomínky na „normalizační“ likvidaci laserové laboratoře, takřka doslovně popisující závěrečnou scénu z filmu Indiana Jones a dobyvatelé ztracené archy, jsme museli natočit sami.

Scénu o stimulované emisi natáčíme na Katedře laserové fyziky a fotoniky Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT. Jenže laboratoře jsou nově zrekonstruované, při stříhu pak vidíme, že v záběrech je tolik moderních prvků, stolů nebo neautentických detailů jako jsou zásuvky či vypínače na stěnách, že z natočeného materiálu zbývá jen zlomek týkající se přímo záblesků laserového zařízení. I s nimi je ale mnoho až trikové práce. Délka impulsů je přibližně milisekunda, takže oko je sice vnímá, ale běžnou kamerou je lze zaznamenat jen velmi nesnadno. Aby byly ve filmu dostatečně zřetelné, tak jsou záblesky kopírovány za sebe a tím uměle prodlužovány, aby je divák ve filmu vůbec postřehl. Při zkoumání archivního záznamu z roku 1971



who accompanied his father to the meeting, offered to try the National Film Archive. And indeed, shortly he reported the happy news, they had found the film! They offered to digitize it and we were looking forward to showing it at the meetings commemorating the Institute's 70th anniversary, which we were planning for late November and early December. We received the digitized film in late August. Hope and joy, however, were replaced by disillusionment. The film was beautifully produced, but it is a slow-moving half-hour of education. Moreover, there is hardly anything in the film about the origin of the ophthalmocoagulator, whose story we were most interested in. For the anniversary meeting, the film was simply useless.

The only option was to edit the film and add the story in. We had two months to do this, however, in addition to our many planned as well as unexpected tasks. With this in mind, and with respect for the past, award-winning filmmakers, we decided to entrust the work to professionals. We examined several options and finally we asked documentary filmmakers who run an open-air cinema at the former forest keeper house at Cibulka forest park, where they also often invite directors and scriptwriters. I knew we had to start with a scenario, so I approached Benjamin Tuček to see if he would write one. However, after reading the texts of Jan Blabla and Viktor Trkal, to my surprise, he told me that they had written their memories so vividly that we would surely put the script together ourselves from their quotations. Moreover, the topic is a rather technical one there, a technical advisor is very important. The editing would be done by Ondřej Nuslauer and the sound by Václav Flégl, who had just finished the film with Benjamin Tuček. Later I learned that it was a film about the reporter Martin Dorazín, "War Correspondent", awarded at the Warsaw Film Festival. Ondřej Nuslauer began to work with the soundtrack of the script, generated by the voice of the artificial intelligence, that he gradually filled with videos, images and music. However, much of the material for the story was missing. To fill it, we used old photographs, a television report about a maser in our institute, beautiful photographs supplied by the Masaryk Institute and the archives of the Czech Academy

of Sciences, footage from occupied Prague in 1968 provided by the Post Bellum Institute, but the thrilling story of the first experiments with the ruby laser and the sad memories of the "normalization" liquidation of the laser laboratory, almost literally describing the final scene from the film Indiana Jones and the Raiders of the Lost Ark, we had to film ourselves.

The scene about stimulated emission was filmed at the Department of Laser Physics and Photonics of the Faculty of

Ondřej Nuslauer zjistil, že podobný trik na prodloužení záblesků použil i tehdejší stříhač. U natáčení likvidace laserové laboratoře si už dáváme pozor na nová zařízení a třeba moderní požární hlásič přelepujeme dobovým nápisem „Udržuj pořádek a čistotu!“. Musíme spěchat, mezi experimentem v laboraci a schůzí kolegia máme na natáčení ve skladišti jen dvě hodiny. Pozornost pro detail a autentičnost se nám vyplatila. Po promítání se dokonce někdo z diváků podívoval, proč v 70. letech natáčeli takovou malichernost jako odvážení bedny

s laserem do skladiště? Lepší pochvalu našeho snažení jsme si snad ani nemohli představit. Při uvádění filmu ústavní veřejnosti pro jistotu bednu ukazují předem, aby nebyla mýlka, že jde o nově dotáčenou scénu. Naštěstí současných záběrů z moderních laserových laboratoří máme v rámci projektu LasApp dostatek a závěr filmu vyznívá optimisticky a s nadějí do budoucna.

Hlas vypravěčky a Jana Blably jsme samozřejmě nenechali umělé inteligenci. Opět pomohli tvůrci z Hájovny, na Cibulkách bydlí nejen filmaři, ale i řada herců, vypravěčkou byla Magdalena Borová z Národního divadla. Tam, kde jsme byli ve scénáři nejistí, nebo kde nenavazoval dobře obraz, si skvěle hlasem poradila a nedokonalost vtipně obrátila v přednost. Jana Blablu namluvil režisér Radim Špaček.

Film jsme dokončili několik dní před 26. listopadem 2024, kdy proběhla připomínka 70 let ústavu ve vile Lanna a druhé promítání bylo 13. prosince 2024. Veřejnou premiéru pak měl film spolu s tiskovou zprávou o našem výročí dne 6. ledna 2025. Snažili jsme se, aby film nenudil, aby divák získal bez zbytečných prodlév všechny informace, které jsme chtěli sdělit. Posuďte sami, jak se nám to podařilo. Film najdete na stránkách www.ufe.cz/70.

References

1. „Kvantová fotokoagulace sítnice“, který vyrobil v r. 1971 Krátký film Praha pro Ministerstvo zdravotnictví a Ústav zdravotní výchovy Praha. Zdroj: Národní filmový archiv.
2. Jan Blabla a Viktor Trkal, První laserová operace oční sítnice v Československu, str. 197–198 speciálního dvojčísla časopisu Jemná mechanika a optika k 60. výročí založení ústavu, 5–6/2015.
3. Jan Blabla a Viktor Trkal, Počátky kvantové elektroniky v Ústavu radiotechniky a elektroniky, Čs. časopis pro fyziku 60(4–5):221–228, 2010.
4. Projekt LasApp: Průlomové laserové technologie pro chytrou výrobu, vesmírné a biotechnologické aplikace je spolufinancován Evropskou unií a státním rozpočtem ČR v rámci Operačního programu Jan Amos Komenský MŠMT, CZ.02. 01. 01/00/22_0 08/0004573. www.LasApp.cz



Obr. 3 Uvedení filmu na adventním setkání ÚFE dne 13. 12. 2024.

Fig. 3 Film introduction at the Advent meeting of the Institute on 13 December, 2024.

Nuclear Sciences and Physical Engineering of the Czech Technical University. But the laboratories are newly renovated, and only during the editing process we noticed that there are so many modern elements, tables or inauthentic details such as wall sockets or switches, that only a fraction of the footage was kept, the one that was directly related to the laser flashes. But even with these there was a lot of almost tricky work. The length of the pulses is about a millisecond, so the eye does perceive them, but they are very difficult to record with an ordinary

camera. In order to make the pulses sufficiently apparent in the film, the pulses are copied behind each other and thus artificially prolonged so that the viewer has a good chance to notice them in the film. When examining archival footage from 1971, Ondřej Nuslauer discovered that a similar trick for extending the pulses was used by the editor of the time. When filming the liquidation of the laser laboratory, we were already looking out carefully for any new equipment and, for example, we had to hide over a modern fire detector with a stylish old table “Keep things clean and tidy!”. We had to hurry to film in the warehouse, with only two hours time available between the lab experiment and a meeting.

Our attention to detail and authenticity paid off. After the film projection, someone in the audience even wondered why they filmed such a trivial thing as taking a wooden box with lasers to the warehouse in the 1970 s? We couldn't have imagined a better compliment to our efforts. When showing the film to our colleagues, I showed the wooden box beforehand to make sure there is no confusion that it is a newly shot scene. Fortunately, we have plenty of contemporary footage of modern laser labs in the LasApp project [4], and the film concludes optimistically and with a bright future.

Of course, we didn't leave the voice of the narrator and Jan Blabla to artificial intelligence. Once again, the creative people from Hájovna helped, not only filmmakers but also many actors live in Cibulky, the narrator was Magdalena Borová from the National Theatre. Where we were unsure of the script, or where the picture did not follow the text well, she handled herself and with her great voice she turned imperfection into an advantage in a humorous way. The voice of Jan Blabla was played by the director Radim Špaček.

We finished the film a few days before 26 November 2024, the date of the Institute's 70th anniversary commemoration at Villa Lanna, and the second internal projection was on 13 December. The public premiere of the film together with the press release about our anniversary took place on 6 January 2025. We tried to make the film not boring, so that the viewer could get without unnecessary delays all the information we wanted to convey. Judge for yourself how we managed to do it. You can find the film on the website www.ufe.cz/70.

ÚFE na Veletrhu vědy, největším vědeckém veletrhu v ČR

ÚFE at the Science Fair, the largest scientific fair in the Czech Republic

VELETRH VĚDY

Veletrh vědy, to jsou tři dny plné vědy, přes sto expozic a vstup zdarma. Největší populárně naučná akce v České republice, kterou každoročně od roku 2015 pořádá Akademie věd ČR, se uskutečnila ve dnech 5. – 7. června 2025 na výstavišti PVA EXPO Praha v pražských Letňanech. ÚFE ani letos nechybělo mezi vystavovateli.

The Science Fair, it is three days full of science, over a hundred exhibitions and free admission. The largest popular science event in the Czech Republic, organised annually since 2015 by the Czech Academy of Sciences, took place from 5 to 7 June, 2025 at the PVA EXPO Praha exhibition centre in Prague's Letňany. ÚFE was also among the exhibitors this year.

Veletrh vědy se zabývá vědou ve všech jejích podobách a nabízí návštěvníkům to nejzajímavější ze světa přírodních, technických, humanitních i společenských oborů. Vědu návštěvníci veletrhu zažijí na vlastní kůži prostřednictvím interaktivních exponátů, modelů, mobilních laboratoří a praktických dílen. Na veletrh se každým rokem vydává stále více návštěvníků i popularizátorů – v minulých letech to bylo přibližně 58 000 nadšenců do vědy.

Veletrh vědy přináší nový způsob, jak se seznámit s vědou. Interaktivní expozice umožní návštěvníkům nejen se dívat, ale také se aktivně zapojit a lépe pochopit složité vědecké principy. Veletrh vědy je zkrátka skvělou příležitostí, jak představit náš výzkum široké veřejnosti, a to malým i velkým návštěvníkům. Proto se ÚFE Veletrhu vědy účastní pravidelně už od roku 2015. Nejinak tomu bylo i letos. Na výstavním stánku jsme představili dvě oblasti výzkumu a také připomněli výročí 70 let od založení ústavu. Pořádali jsme také soutěž o Den v laborce.

Nanomateriály a nanosvět zblízka

Proč nás pravidelně uspořádání a symetrie tak přitahuje? Není to jen otázka krásy – krystalické nanomateriály s pravidelně uspořádanými atomy vykazují speciální vlastnosti od mechanických až po elektrické nebo optické. V jedné části našeho výstavního stánku bylo možné nahlédnout do tohoto úžasného světa, kde jsme společně s návštěvníky prozkoumávali fyzikální principy, které umožňují vznik těchto materiálů, a odhalovali, co je dělá tak výjimečnými. Dokonce jsme se přenesli přímo do naší nanolaboratoře, kde bylo možné vidět, jak s nanomateriály manipulujeme a jak poznáváme jejich vlastnosti.

Kouzlo elektromagnetického záření

V druhé části stánku se návštěvníci přesvědčili, že bez elektromagnetického záření by byl jejich mobilní telefon bezzubý a bezdrátové připojení k internetu by bylo pouhým snem. Ukázali jsme, že toto záření není užitečné pouze pro telekomunikace a ohřev jídla v mikrovlnce, ale že nám dovoluje nahlížet do nitra lidského těla a dokonce ovlivňovat jeho funkce. Návštěvníkům jsme představili náš fascinující výzkum a vysvětlili, jak elektromagnetické záření působí na buňky a jejich strukturu. Ukázali jsme jim nejmodernější elektromagnetické čipy, které dokážou dokonale tvarovat elektrické pole. Každý návštěvník si u nás mohl vyzkoušet experiment, ve kterém v mikrovlnné troubě pomocí speciální hmoty „uviděl“ neviditelné mikrovlny a pod mikroskopem se někteří pokoušeli odhalit, kde jsou na našich čipech výrobní vady. Když se jim to povedlo, odnesli si sladkou odměnu.

The science fair deals with science in all its forms and offers visitors a glimpse of the most interesting topics from the world of natural, technical, humanities and social sciences. Visitors can experience science first-hand through interactive exhibits, models, mobile laboratories and hands-on workshops. Each year, more and more visitors and science popularizers make their way to the fair – in past years, approx. 58 000 science enthusiasts attended.

The Science Fair brings a new way to learn about science. Interactive displays allow visitors to not only watch, but also to actively engage and better understand complex scientific principles. In short, the Science Fair is a great opportunity to introduce our research to the general public, both young and old. That is why ÚFE has been participating in the Science Fair regularly since 2015. This year was no different. At the exhibition stand we presented two areas of research and also commemorated the 70th anniversary of our Institute. We also held a competition for a Day in the Lab.

Nanomaterials and the nanoworld up close

Why are we so attracted to regular order and symmetry? It's not just a question of beauty - crystalline nanomaterials with regularly arranged atoms exhibit special properties ranging from mechanical to electrical or optical. One section of our exhibition stand offered a glimpse into this amazing world, where we explored with visitors the physical principles that allow these materials to form and revealed what makes them so special. We were even virtually transported directly into our nano lab to see how we manipulate nanomaterials and learn about their properties.

The magic of electromagnetic radiation

In the second part of the booth, visitors were convinced that without electromagnetic radiation, their mobile phones would be toothless and wireless internet connection would be only a dream. We showed that this radiation is not only useful for telecommunications and heating food in the microwave, but that it allows us to look inside the human body and even influence its functions. We presented our fascinating research to visitors and explained how electromagnetic radiation affects cells and their structure. We showed them state-of-the-art electromagnetic chips that can perfectly shape the electric field. Each visitor could try an experiment in which they could "see" invisible microwaves in a microwave oven using a special substance, and under a microscope some tried to discover where the manufacturing defects in our chips were. When they succeeded, they took home a sweet reward.

Projekt LasApp spojuje

Využili jsme toho, že se pod jednou střechou sešlo tolik akademických pracovišť, a uspořádali jsme setkání velkého projektu LasApp: *Průlomové laserové technologie pro chytrou výrobu, vesmírné a biotechnologické aplikace*, který ÚFE koordinuje. Významným rysem projektu LasApp je široká spolupráce s dalšími pracovišti v ČR vytvářejícími distribuovanou infrastrukturu pokrývající a koordinující výzkumné a vývojové aktivity v oblasti špičkových laserových technologií, konkrétně vláknových laserů a tenkodiskových laserů. Veletrh byl dobrou příležitostí prezentovat veřejnosti témata a některé výsledky projektu. Projekt LasApp je spolufinancován Evropskou unií v rámci Operačního programu Jan Amos Komenský MŠMT.

Těší nás, že jsme i letos mohli být součástí nejvýznamnější populárně naučné akce v České republice a přiblížili tak náš výzkum zase o kousek blíže široké veřejnosti.

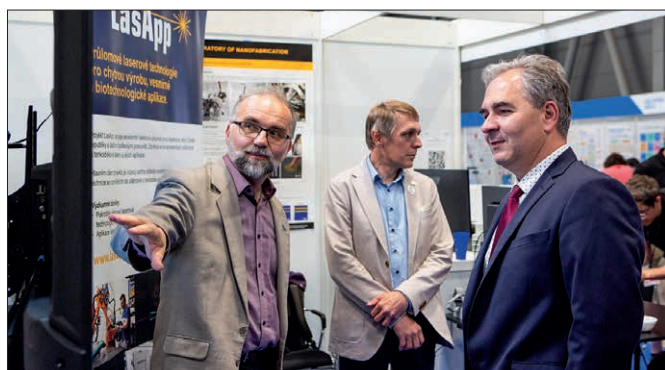


Předseda Akademie věd ČR Radomír Pánek při návštěvě našeho stánku a představení projektu LasApp.

Zleva: Dr. Ing. Pavel Honzátko, prof. RNDr. Zdena Palková, CSc., Ing. Marek Mach, Ph.D., prof. RNDr. Radomír Pánek, Ph.D., doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., prof. Ing. Josef Lazar, Dr., Ing. Jan Kaufman, Ph.D.

President of the Czech Academy of Sciences Radomír Pánek visiting our stand and LasApp project presentation.

From left: Dr. Ing. Pavel Honzátko, prof. RNDr. Zdena Palková, CSc., Ing. Marek Mach, Ph.D., prof. RNDr. Radomír Pánek, Ph.D., doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D., prof. Ing. Josef Lazar, Dr., Ing. Jan Kaufman, Ph.D.



Předseda Akademie věd ČR Radomír Pánek s ředitelem ÚFE Pavlem Peterkou při návštěvě našeho stánku a představení projektu LasApp.

President of the Czech Academy of Sciences Radomír Pánek with the Director of ÚFE Pavel Peterka visiting our stand and LasApp project presentation.

The LasApp project brings together

We took advantage of the fact that so many academic departments have come together under one roof and we organised a meeting of the large project *LasApp: Breakthrough Laser Technologies for Smart Manufacturing, Space and Biotechnology Applications*, that is coordinated by the ÚFE. An important feature of the LasApp project is the extensive collaboration with other institutes in the country creating a distributed infrastructure covering and coordinating research and development activities in the field of cutting-edge laser technologies, specifically fiber lasers and thin-disc lasers. The fair was a good opportunity to present the topics and some results of the project to the public. The LasApp project is co-funded by the European Union under the Programme Johannes Amos Comenius of the Ministry of Education, Youth and Sports.

We are pleased that we could be part of the most important popular educational event in the Czech Republic this year and bring our research a little closer to the general public.



ÚFE na Veletrhu vědy 2025.

ÚFE on Science Fair 2025

Mgr. Petra Palečková, Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, Praha

Přispíváme k technologickému rozvoji průmyslu a poznání v oborech fotoniky a elektroniky

(P. Peterka) 107
Hlavní poslání Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky, který si v roce 2025 připomíná 70 let od svého založení, je aplikovaný a základní výzkum v oborech fotonika a elektronika. Čtenářům časopisu Jemná mechanika a optika nabízíme malou ochutnávku toho, na čem v současnosti šest výzkumných týmů ústavu pracuje.

Optické biosenzory v biologickém výzkumu a medicíně

(J. Homola) 109
Vývoj optických biosenzorů není možný bez spolupráce vědeckých oborů od fotoniky po biologii. Podrobněji o nich mluví Jiří Homola, který tento program vede.

Mikroskopie, kde byste ji nečekali: Od titěrných molekul až k záhadám vesmíru

(M. Piliarik) 111
Vidět na vlastní oči je od nepaměti jedním z klíčů k pochopení záhad přírody a světa kolem nás. Uvěřit, že lidské tělo se skládá z jednotlivých buněk ne nepodobných těm, které tvoří třeba žílu, vyžaduje obrovskou míru představivosti a důvěry. Až do té doby, než je poprvé uvidíte, třeba v mikroskopu. Představa, že každá taková buňka žije vlastní život, pracuje, dělí se a všechno to řídí kaskáda zdánlivě náhodných pohybů jakýchsi molekul, zní naprosto bláznivě až do okamžiku, kdy tyto pohyby můžeme pozorovat. Otázka, jestli i kolem ostatních hvězd obíhají planety, trápila lidstvo od doby, kdy pochopilo, že na jedné takové planetě sedí, až do chvíle, kdy tyto planety dokázalo vidět. Protože vidět znamená uvěřit.

Nové směrnice k mezinárodní normě o ochraně očí a tváře před laserovým zářením

(M. Miler) 114

Pozoruhodná elektřina a světlo organismů

(M. Cifra) 115
Na odlehle planetě, vzdálené miliony světelných let od Země, leží mezi troskami a popelem postava, jejíž život visí na vlásku. Dr. Mara Ryan, brilantní vědkyně a neohrožená průzkumnice, je po tragickém incidentu jediným přeživším expedice. Její tělo je poseto popáleninami a krvavými ranami po nečekaném souboji s nepřátelskými tvory. Z posledních sil se doplácí k lékařské stanici, kde leží její jediná naděje na přežití – pokročilý medicínský přístroj, Tricorder. Ruce se jí třesou, když ho aktivuje, a obrazovka se rozsvítí sérií složitých grafů a dat. Tricorder pomocí sofistikovaných bioelektromagnetických senzorů rychle analyzuje její vitální funkce a zahajuje samoošetření. Přístroj vysílá pulsy elektromagnetických vln do Marina těla, které okamžitě začínají regenerovat poškozené tkáně a stabilizovat její oběhový systém. Mara cítí, jak se bolest zmírňuje a její tělo začíná nabývat na síle. Když Mara opět nabere dostatek síly, aby se postavila, ví, že tento technologický zázrak jí právě zachránil život.

Jasnější nad tisíc sluncí

(P. Honzátko, I. Kašík) 120
Ne, nejde o inspiraci snímkem Christophera Nolana „Oppenheimer“ a výbuchem pumy Trinity v Nevadské poušti v závěru filmu. Řeč sice bude o jasů až o mnoho řádů vyšším, než je jas na povrchu Slunce, jenže jen na malinkaté plošce několika desítek mikrometrů čtverečních uvnitř jádra optického vlákna pro optické komunikace, senzory, medicínu i pro hrubou sílu pro řezání a sváření v průmyslu... a nakonec i v obraně, ve vláknových laserech pro zbraně se směřovanou energií. Již více než třicet let rozvíjíme velkou výzkumnou infrastrukturu vláknových laserů a technologie optických vláken a jsme hrdí na to, že v těchto oborech jsme na světové špičce. Nabízíme vám nahlédnutí do dvou našich výzkumných oblastí: našeho tradičního tématu aktivních vláken a nedávno zahájeného výzkumu hypocykloidních vláken se vzduchovým jádrem.

We contribute to the technological progress of industry and knowledge in the fields of photonics and electronics

(P. Peterka) 107
The main mission of the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences (ÚFE CAS), which celebrates in 2025 its 70th anniversary since its foundation, is applied and basic research in the fields of photonics and electronics. We offer readers of the journal Fine Mechanics and Optics a small taste of what the six research teams of the institute are currently working on.

Optical biosensors in biological research and medicine

(J. Homola) 109
The development of optical biosensors is not possible without collaboration across scientific disciplines, from physics through chemistry to biology. Jiří Homola, who leads the research team, talks about optical biosensors in detail.

Microscopy where you wouldn't expect it: From tiny molecules to the mysteries of the universe

(M. Piliarik) 111
Seeing with our own eyes has always been one of the keys to understanding the mysteries of nature and the world around us. To believe that the human body is made up of individual cells not dissimilar to those that make up, say, an earthworm, requires a tremendous amount of imagination and trust. Until you see them for the first time, perhaps in a microscope. The idea that each such cell has a life of its own, working, dividing, and all governed by a cascade of seemingly random movements of molecules sounds absolutely crazy, until we can observe these movements. The question of whether there are planets orbiting other stars has plagued mankind from the time it realised it was sitting on one until it could see them. Because seeing is believing.

New guidance on the international standards of eye and face protection against laser radiation

(M. Miler) 114

The remarkable electricity and light of organisms

(M. Cifra) 115
On a remote planet millions of light-years from Earth, a lone figure lies among rubble and ash, her life hanging by a thread. Dr. Mara Ryan, a brilliant scientist and fearless explorer, is the sole survivor of the expedition after a tragic incident. Her body is covered in burns and bleeding wounds from a sudden battle with hostile creatures. Summoning the last of her strength, she crawls toward the medical station – her only hope for survival. There, an advanced medical device awaits: the Tricorder. Her hands trembling, Mara activates the device. The screen flickers to life, displaying a series of complex graphs and data. Using sophisticated bioelectromagnetic sensors, the Tricorder swiftly analyzes her vital signs and initiates self-treatment. Pulses of electromagnetic waves penetrate Mara's body, triggering the regeneration of damaged tissues and stabilizing her circulatory system. She feels the pain subside as strength slowly returns to her limbs. When Mara finally stands, she knows this technological marvel has just saved her life.

Brighter than a thousand Suns

(P. Honzátko, I. Kašík) 120
No, it's not inspired by Christopher Nolan's movie "Oppenheimer" and the Trinity bomb explosion in the Nevada desert at the end of the film. We are talking about brightness many orders of magnitude higher than the brightness at the surface of the Sun, but only in a tiny area of a few dozen square micrometers inside the core of an optical fiber for optical communications, sensors, medicine, as well as for brute force cutting and welding application in industry... and eventually in defense, in fiber lasers for directed energy weapons. We have been developing a large research infrastructure of fiber lasers and optical fiber technology for more than thirty years and we are proud to be world leaders in these fields. We offer you a glimpse into two of our research areas: our traditional active fiber topic and our recently launched research into hollow-core hypocycloidal fibers.

Polovodičové nanostruktury pro zelené technologie

(J. Grym) 123
Zaměřujeme se na základní výzkum fyzikálních a chemických dějů při přípravě polovodičových nanostruktur, kontrolu jejich morfologie a vlastností. Vyvíjíme metody, které nám umožňují studovat elektrické a optické vlastnosti jednotlivých nanostruktur. Základní poznání pak využíváme při vývoji nových elektronických a optoelektronických zařízení, jako jsou detektory a zdroje světla, senzory plynů a zdroje zelené energie.

Thulium vláknový laserový systém láme výkonnostní rekord

(M. Miler) 127

Kde se bere přesný čas? (A. Kuna) 128
Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR provozuje a rozvíjí mj. také specializovanou laboratoř státního etalonu času a frekvence, která je v rámci národního metrologického systému přidruženou laboratoří Českého metrologického institutu a aktuálně je pověřena uchováváním Státního etalonu času a frekvence. Vytváří se zde fyzická aproximace jednotky času – sekundy, a to s využitím kvantového etalonu času a frekvence, konkrétně cesiových svazkových hodin, které se často označují jako atomové hodiny.

doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. devadesátiletý

(P. Peterka) 131

Workshop o speciálních optických vláknech WSOF 2025 pořádaný spolu se sympoziem SPIE Optics + Optoelectronics v Praze měl rekordní účast (P. Palečková) 133
V první polovině dubna 2025 se konaly dvě významné akce z oboru optiky a optoelektroniky zároveň. Workshop o speciálních optických vláknech a jejich aplikacích (WSOF), který pořádalo ÚFE a jehož součástí byla také komerční výstava, prohlídky laboratoří a společenské akce, přilákal na 200 návštěvníků. Souběžně s ním se uskutečnilo sympozium SPIE Optics + Optoelectronics 2025, které organizovala mezinárodní společnost pro optiku a fotoniku SPIE.

Měření velmi výkonných laserů: výzvy a řešení

(M. Miler) 135

70 let světla v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd České republiky

(P. Peterka, J. Zavadil) 136

Akustooptický deflektor: Vzpomínka na první úkol nového pracovníka (J. Čtyrský) 144
Článek realisticky popisuje vývoj akustooptického deflektoru laserového svazku, kterým byl autor článku pověřen bezprostředně po svém příchodu do tehdejšího Ústavu radiotechniky a elektroniky ČSAV (nyní Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR) v 70. letech 20. století v rámci práce na výzkumu optické holografické paměti.

Dokumentární film o příběhu první laserové operace oka v Československu (P. Peterka) 146
Krátký filmový dokument ve svižném tempu vypráví z dnešního pohledu neuvěřitelný příběh, kdy ani ne dva roky po sestrojení československých rubínových laserů byla provedena přímo v laboratoři našeho ústavu první laserová operace oční sítnice a následně bylo vyrobeno několik laserových oftalmokoagulátorů používaných v nemocnicích. Dokument mapuje i likvidaci laserové laboratoře po invazi v r. 1968 až po některé současné laserové projekty v Akademii věd.

ÚFE na Veletrhu vědy, největším vědeckém veletrhu v ČR (P. Palečková) 149
Veletrh vědy, to jsou tři dny plné vědy, přes sto expozic a vstup zdarma. Největší populárně naučná akce v České republice, kterou každoročně od roku 2015 pořádá Akademie věd ČR, se uskutečnila ve dnech 5. – 7. června 2025 na výstavišti PVA EXPO Praha v pražských Letňanech. ÚFE ani letos nechybělo mezi vystavovateli.

Semiconductor nanostructures for green technologies

(J. Grym) 123
We focus on the basic research of physical and chemical processes in the preparation of semiconductor nanostructures with the aim of controlling their morphology and properties. We develop methods that allow us to study their electrical and optical properties, with an emphasis on the characterisation of individual nanostructures. This fundamental knowledge is then used to develop new electronic and optoelectronic devices such as light detectors and sources, gas sensors, and green energy sources.

Thulium fiber laser system shatters performance record

(M. Miler) 127

Where does one get the exact time? (A. Kuna) 128
The Institute of Photonics and Electronics of the CAS operates and develops, among other things, a specialized Laboratory of the National Time and Frequency Standard, which is a designated laboratory of the Czech Metrology Institute within the national metrology system and is currently responsible for maintaining the National Time and Frequency Standard. A physical approximation of the unit of time, the second, is created here using a quantum standard of time and frequency, namely the cesium beam clock, often referred to as an atomic clock.

doc. RNDr. Miroslav Miler, DrSc. ninety years old

(P. Peterka) 131

The Workshop on Specialty Optical Fibers 2025, held together with the symposium SPIE Optics + Optoelectronics in Prague, attracted record attendance (P. Palečková) 133
In the first half of April 2025, two major events in the field of optics and optoelectronics were held simultaneously. The Workshop on Special Optical Fibers and their Applications (WSOF), organized by ÚFE including a commercial exhibition, laboratory tours and social events, attracted over 200 attendees. The symposium Optics + Optoelectronics, organised by the SPIE, was held in parallel.

High power laser measurement: Challenges and solutions

(M. Miler) 135

70 years of light at the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences

(P. Peterka, J. Zavadil) 136

Acousto-optic deflector: A memory of a new employee's first task (J. Čtyrský) 144
The article realistically describes the development of an acousto-optic laser beam deflector, which the author of the article was entrusted with immediately after his arrival at the then Institute of Radio Engineering and Electronics of the Czechoslovak Academy of Sciences (now the Institute of Photonics and Electronics of the Czech Academy of Sciences) in the 1970s as part of work on the research of optical holographic memory.

Documentary film about the story of the first laser eye surgery in Czechoslovakia (P. Peterka) 146
This short documentary tells an unbelievable story from today's point of view, when less than two years after the construction of the Czechoslovak ruby lasers, the first laser eye surgery was performed in the laboratory of our institute and several laser ophthalmocoagulators used in hospitals were produced. The document also traces the scattering of the laser laboratory after the 1968 invasion and ends with some of the current laser projects at the Czech Academy of Sciences.

ÚFE at the Science Fair, the largest scientific fair in the Czech Republic (P. Palečková) 149
The Science Fair, it is three days full of science, over a hundred exhibitions and free admission. The largest popular science event in the Czech Republic, organised annually since 2015 by the Czech Academy of Sciences, took place from 5 to 7 June, 2025 at the PVA EXPO Praha exhibition centre in Prague's Letňany. ÚFE was also among the exhibitors this year.

Ředitelé ústavu

Directors of the Institute

doc. Ing. Pavel Peterka, Ph.D.

2021–dnes



prof. Ing. Jiří Homola, CSc., DSc.

2012–2021



Ing. Jan Šimša, CSc.

1994–2002



prof. Ing. Václav Zima, DrSc.

1963–1989



Dr. Ing. Pavel Honzátko

březen–září 2021



Ing. Vlastimil Matějec, CSc.

2002–2012



RNDr. Viktor Trkal, CSc.

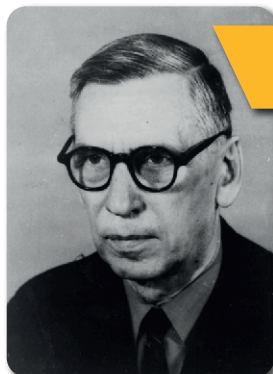
1990–1994



foto ČTK/Stanišlav Peška

Ing. dr. Sergej Djad'kov, DrSc.

1954–1963



Posláním Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR (ÚFE AV ČR) je přispívat k rozvoji poznání a technologickému pokroku v oblastech fotoniky, optoelektroniky a elektroniky ve prospěch společnosti v průmyslu, medicíně, komunikacích nebo obraně.

The mission of the Institute of Photonics and Electronics (ÚFE) of the Czech Academy of Sciences is to advance human knowledge in the fields of photonics and electronics and to drive technological progress to benefit society in areas such as industry, medicine, communications, or defense.

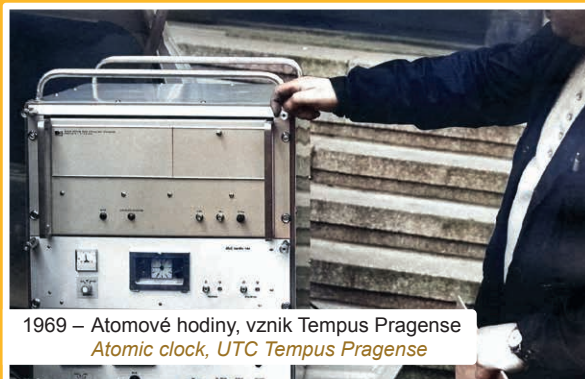
- 2025** ● 70 let ÚFE
70 years ÚFE
- 2020** ● Cena TAČR, vláknové lasery
TAČR Award, fiber lasers
- 2013** ● Čisté laboratoře pro nanotechnologie
Cleanrooms for nanotechnologies
- 2008** ● Patentován kompaktní SPR biosenzor
Compact SPR biosensor patented
- 2004** ● Ivan Kašík, metoda dopování nanočásticemi pro výrobu opt. vláken
Nanoparticle doping method for opt. fiber fabrication
- 1995** ● Jiří Homola, první biosenzor s povrchovými plazmony (SPR)
First biosensor based on surface plasmon resonance (SPR)
- 1981** ● 1. československé nízkoztrátové optické vlákno
1st cs. low-loss optical fiber
- 1974** ● Zdeněk Šroubek, SIMS
Secondary-Ion Mass Spectrometry (SIMS)
- 1969** ● Jiří Tolman, přenos přesného času TV signálem
Precise time transfer by TV signal
- 1964** ● 1. československá laserová operace oka
1st cs. laser eye surgery
- 1958** ● Dvě zlaté medaile na EXPO 58 v Bruselu
Two gold medals at Brussels EXPO 58
- 1957** ● Zaměření Dopplerova jevu u družice Sputnik
Sputnik's Doppler effect detection
- 1955** ● Oficiální datum vzniku
Official founding date



2008 – Patentován kompaktní SPR biosenzor
Compact SPR biosensor patented



1981 – 1. čs. nízkoztrátové optické vlákno
1st cs. low-loss optical fiber



1969 – Atomové hodiny, vznik Tempus Pragense
Atomic clock, UTC, Tempus Pragense



1964 – 1. čs. laserová operace oka
1st cs. laser eye surgery



1958 – Samočinný počítač pro EXPO 58
Automatic computer for EXPO 58