

Optoelektronika

Katedra fyzikální elektroniky FJFI ČVUT

Letní semestr 2019-2020, 17. února - 15. (22.) května 2020, 2 (z+zk),
pro bakalářské obory 3FE, 3LASE a magisterský obor 2IT

Čtvrtek 11.30 – 13.15

přednášky: Trojanova 13, učebna 121

exkurze: podle rozvrhu na webu

Přednášející:

Prof. Ing. Jiří Čtyrský, DrSc., ÚFE AV ČR, v.v.i., ctyroky@ufe.cz

Podklady k přednáškám: www.ufe.cz/cs/fjfi

1

Anotace:

Fyzika a technologie optických vlnodů, vláknových zesilovačů a laserů;
fotonická integrace; aplikace v optickém sdělování a senzorech.

Osnova:

- Šíření optického záření v planárních a vláknových vlnovodech, základní vlastnosti vlnodů.
- Příprava planárních a vláknových vlnodů. *Exkurze do Laboratoře optických vláken ÚFE.*
- Základy teorie šíření optického záření v optických vláknech.
- Zesilování optického záření ve vlnovodech dopovaných ionty Er a Yb; vlnodné zesilovače a lasery. Stimulovaný Ramanův rozptyl, ramanovské zesilovače a lasery. *Exkurze do laboratoře vláknové optiky ÚFE.*
- Zpracování optických signálů. Integrovaná fotonika, fotonické krystaly, plazmonika.
- Přenosové vlastnosti optických vláken, časový a vlnový (spektrální) multiplex.
- Základy optických senzorů. Vláknové optické senzory s braggovskými mřížkami a mřížkami s dlouhou periodou. Vláknový gyroskop. Interferometrické senzory. Senzory s povrchovými plazmony. *Exkurze do laboratoře optických senzorů ÚFE.*

2

Doporučená literatura:

1. Podklady k přednáškám www.ufe.cz/cs/fjfi
2. B. E. A. Saleh, M. C. Teich, Fundamentals of Photonics, John Wiley & Sons, 1991.
3. P. C. Becker, N. A. Olsson, J. R. Simpson, Erbium-Doped Fibre Amplifiers: Fundamentals and Technology, Academic Press, 1999.
4. S. Sudo, Optical Fibre Amplifiers, Artech House, 1997.
5. E. J. Murphy, Integrated Optical Circuits and Components: Design and Applications, Marcel Dekker Inc., 1999.
6. J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, J. N. Winn, Photonic Crystals: Molding the Flow of Light. Princeton University Press, Princeton, 1995.
7. G. T. Reed and A. P. Knights, Silicon Photonics, an introduction. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2004.
8. L. Pavesi and D. J. Lockwood, Silicon Photonics. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2004.

3

Rozvrh přednášek a exkurzí

Datum	Téma	Přednáška/ exkurze
20.2.	Úvod do optoelektroniky. Základy vlnovodné optiky	přednáška
27.2.	Základy teorie <i>planárních</i> vlnovodů	přednáška
5.3.	---	---
12.3.	Základy teorie <i>vláknových</i> vlnovodů	přednáška
19.3.	<i>Příprava optických vláknových vlnovodů. Laboratoř vláknové optiky ÚFE, Lysolaje</i>	exkurze
26.3.	Přenosové vlastnosti optických vláken	přednáška
2.4.	Vláknové optické zesilovače a lasery	přednáška
9.4.	Základy integrované optiky	přednáška
16.4.	<i>Optické senzory; laboratoř vláknových laserů hlavní budova ÚFE, Kobylisy</i>	exkurze
23.4.	---	---
30.4.	Integrovaná optika. Optické senzory	přednáška
7.5.	Plazmonika	přednáška
14.5.	Periodické struktury, fotonické krystaly a metamateriály	přednáška
21.5.	Rezerva	

Jak se dostat na místo exkurze: <http://www.ufe.cz/cs/kontakt>

4

Úvod do optoelektroniky

- Elektronika – Optoelektronika – **Fotonika**:
Postavení a úloha optoelektroniky
- Srovnání elektroniky a fotoniky na základě fyzikálních vlastností **elektronu** a **fotonu**
- Některé významné objevy a vynálezy
- Co v předmětu „Optoelektronika“ *nebude*
- Optický vlnovod jako „fotonický drát“

5

Elektronika – Fotonika – Optoelektronika Postavení a úloha optoelektroniky

Uvažujme o generování, přenosu a zpracování signálů:

Elektronika: prvky a systémy pro generování, přenos a zpracování signálů *v elektrické formě*
(**elektrony** jako nosiče signálů)

Fotonika: prvky a systémy pro generování, přenos a zpracování signálů *v optické formě*
(**fotony** jako nosiče signálů)

Optoelektronika: prvky a systémy pro generování, přenos a zpracování signálů *v elektrické nebo optické formě*
(**elektrony nebo fotony jako nosiče signálu**)
+ konverze mezi těmito dvěma formami

6

Porovnání fyzikálních vlastností elektronu a fotonu; důsledky pro elektroniku and fotoniku

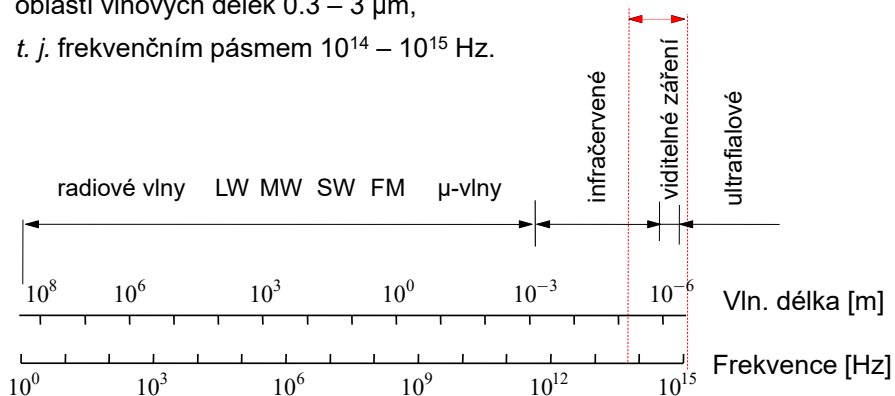
fyzikální vlastnost	elektron	foton (~vidit. záření)
klidová hmotnost	$m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	0
„velikost“ (lokalizovatelnost)	$> 2.818 \times 10^{-15}$ m	$\approx 10^{-6}$ m
elektrický náboj	-1.602×10^{-19} C	0
Spin	$\frac{1}{2}$ (fermion)	1 (bozon)
energie	$\frac{1}{2} m v^2 + e U$	$h\nu = \hbar\omega = hc/\lambda$
Hybnost	$m\mathbf{v}$	$\mathbf{k}\hbar = \mathbf{k}^0 h/\lambda$
rychlost	$\mathbf{v} (< c)$	$c = 2.9979 \times 10^8$ m/s
síla v elektromagnetickém poli	$\mathbf{F} = e (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$	0

7

Spektrum elektromagnetických vln

Optoelektronika se zabývá převážně oblastí vlnových délek 0.3 – 3 μm ,
t. j. frekvenčním pásmem 10^{14} – 10^{15} Hz.

Optické záření – doména optoelektroniky



8

Charakteristiky kontinuálního optického záření

Střední frekvence ν_0 , střední vlnová délka $\lambda_0 = c/\nu_0$

Spektrální výkonová hustota $S(\lambda)$ [W/(nm.m²)]

Celkový výkon $P = \int_{-\infty}^{\infty} S(\lambda) d\lambda$

Spektrální (polo-)šířka $\Delta\lambda$ [nm], $\Delta\nu$ [Hz]

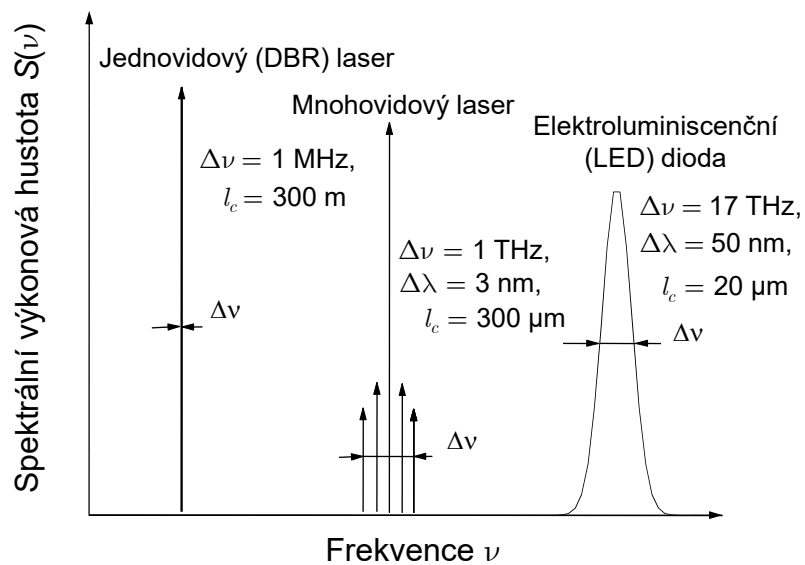
Délka koherence $l_c = \lambda_0^2/\Delta\lambda$ [m]

Doba koherence $t_c = l_c/c = 1/\Delta\nu$

Amplituda (\mathbf{E}), intenzita $I \sim |\mathbf{E}|^2$, fáze φ , polarizace \mathbf{E}

9

Spektrální výkonová hustota některých (polovodičových) zdrojů



10

Některé objevy a vynálezy významné pro rozvoj optoelektroniky

≈ 1861 Maxwellovy rovnice
≈ 1900 Bezdrátový přenos (Hertzovy experimenty)
Prvá polovina 20. století – kvantová mechanika
1940 – 1950 Mikrovlnná technika
1960 Laser (rubínový; 1961 He-Ne, 1962 polovodičový)
1960+ – integrované elektronické obvody, mikroelektronika
1966 – Kao: sklo může mít útlum < 20 dB/km !! (Nobelova cena 2009)
1969 – Integrovaná optika
1970 – Dvojitá polovodičová heterostruktura (Nobelova cena 2000)
1970 – 80 mnohovidová vlákna, útlum 3 dB/km
1980 – jednovidová vlákna, útlum 0.2 dB/km
1987 – fotonické krystaly
1990 – optické vláknové zesilovače a lasery
1995 – „modré“ diody a lasery
2000 – nano- (plazmonika, optika, fotonika, ...)
...

11

Co v předmětu „Optoelektronika“ nebude (ačkoli to tam patří)

- Zdroje záření, zejména polovodičové*) (výjimka: vláknové a vlnovodné lasery)
- Fotodetektory a obrazové snímací prvky (CCD, CMOS)**)
- Displeje klasické, plasmové, LCD, organické LCD
- Optické paměti, CD, DVD, magnetooptické
- Projektor (datové i jiné)
- Čtečky čárových kódů aj.
-

*) přednášky prof. Huliciuse

***) přednášky doc. Píny

12

Nejvýznamnější aplikační oblasti optoelektroniky

- 1. Osvětlovací technika, sluneční články**
(„bílé“ LED diody, signální světla, dopravní značky a signalizace, reflektory automobilů, reklamní průmysl; konverze sluneční energie na elektrickou ...)
- 2. Optické komunikace a datové přenosy**
(zdroje a detektory záření, modulátory, spektrální (vlnové) a časové de/multiplexory, vláknové zesilovače, regenerátory, konvertory vlnových délek, zařízení pro kompenzaci disperze, řízení polarizace, ...)
- 3. Optické senzory**
(objemové, vláknové; vlastní, nevlastní; vláknový gyroskop, akcelerometr, senzory biologických a/nebo chemických látek, biosenzory pro medicínální aplikace, kontrolu jakosti potravin, monitorování životního prostředí, ...)
- 4. Mikrovlnná a speciální technika** *aj.*