

Optoelektronika

Katedra fyzikální elektroniky FJFI ČVUT

Letní semestr 2017-2018, 26. února - 18. května 2018, 2 (z+zK),
pro bakalářské obory 3FE, 3LASE a magisterský obor 2IT

Pondělí 11.30 – 13.15
přednášky: Troja, učebna KFE 244
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

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.*

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.

Rozvrh přednášek a exkurzí

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

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

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“

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

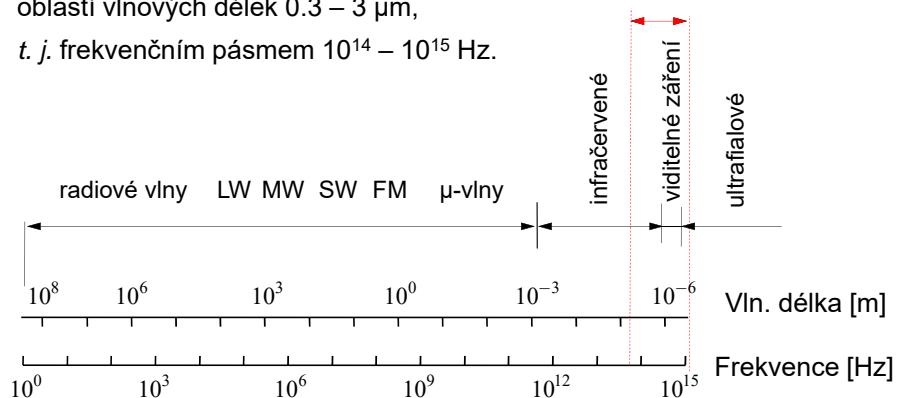
Porovnání fyzikálních vlastností elektronu a fotonu; důsledky pro elektroniku and fotoniku

fyzikální vlastnost	elektron	foton (~vidit. záření)
klidová hmotnost	$m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	0
„velikost“ (lokalizovatelnost)	$> 2.818 \times 10^{-15} \text{ m}$	$\approx 10^{-6} \text{ m}$
elektrický náboj	$-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$	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	$\mathbf{v} (< c)$	$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
síla v elektromagnetickém poli	$\mathbf{F} = e (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$	0

Spektrum elektromagnetických vln

Optoelektronika se zabývá převážně oblastí vlnových délek $0.3 - 3 \mu\text{m}$,
t. j. frekvenčním pásmem $10^{14} - 10^{15} \text{ Hz}$.

Optické záření – doména optoelektroniky



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

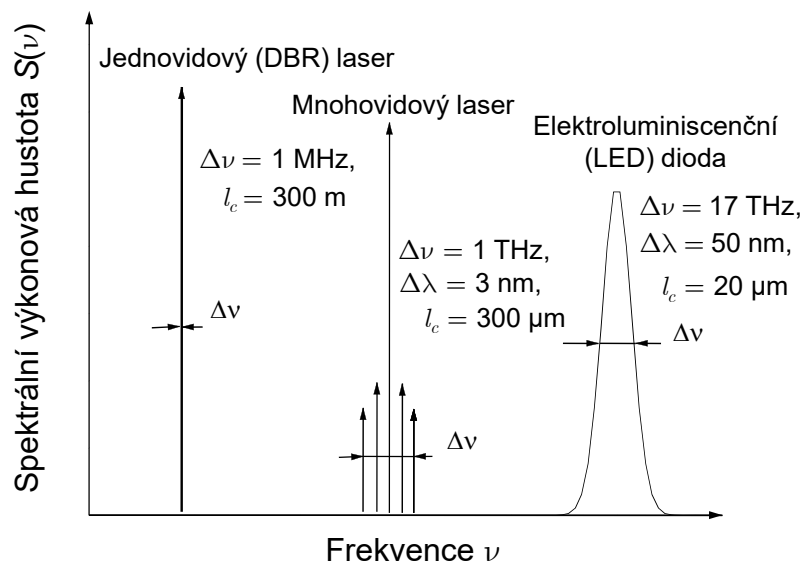
Spektrální (polo-)šířka $\Delta\lambda$ [nm], $\Delta\nu$ [Hz]

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}

Spektrální výkonová hustota některých (polovodičových) zdrojů



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, ...)
...

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
- Projektory (datové i jiné)
- Čtečky čárových kódů aj.
-

^{*)} přednášky prof. Huliciuse

^{**)} přednášky doc. Píny

Nejvýznamnější aplikační oblasti optoelektroniky

- 1. Optické komunikace**
(zdroje a detektory záření, modulátory, spektrální (vlnové) a časové de/multiplexory, vláknové zesilovače, regenerátory, konvertory vlnových délek, zařízení pro kompenzaci disperze, řízení polarizace, ...)
- 2. 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, ...)
- 3. Osvětlovací technika, sluneční články**
(„bílé“ LED diody, signální světla, dopravní značky a signalizace, reflektory automobilů, reklamní průmysl; konverze sluneční energie na elektrickou ...)
4. ...