

Název práce:
(česky)

Meze laditelnosti vlnové délky laserových diod

Název práce:
(anglicky)

Limits of laser diode wavelength tuning

Pokyny pro vypracování:

Laserové diody (LD) jsou miniaturními a přitom velmi účinnými lasery, kde aktivní médium představují tenké polovodičové heterostrukтуры. Emise světla v ní nastává při rekombinaci elektronu a díry vyvolaných elektrickým proudem protékajícím napříč diodou. K stabilní činnosti LD stačí optický rezonátor tvořený vnitřním odleskem na hladkých stěnách polovodiče.

Nejrozšířenější typy LD jsou vyrobeny z heterostruktur InGaN/GaN (typ. vlnové délky $\lambda = 405, 445\text{--}520$ nm), AlGaInP (typ. $\lambda = 635\text{--}650$ nm) a GaAs/AlGaAs ($\lambda = 780, 808, 940$ nm aj.). Speciální LD s méně obvyklými vlnovými délkami jsou komerčně dostupné, ale přesto jejich výběr nepokrývá spojitě celé spektrum a jejich cena bývá řádově vyšší. To platí i pro LD pracující v blízké ultrafialové oblasti ($\lambda = 375\text{--}395$ nm) [1]; kratší vlnové délky λ jsou předmětem výzkumu [2, 3, 4].

Vlnovou délku každého typu LD je možno omezeně přeladovat prostřednictvím teploty [5] polovodičového čipu, intenzitou čerpacího proudu [3, 6] nebo přidáním spektrálně selektivního externího rezonátoru, který laseru „vnutí“ emisi na volitelné vlnové délce [7]. Zmiňované tři přístupy jsou diskutovány v dostupné literatuře, ale jen zřídka jsou studovány v součinnosti. Relevantní literatura také převážně nedisktuje modré InGaN/GaN laserové diody. Hlavním předmětem bakalářské práce je tedy experimentálně prozkoumat praktické limity přeladování komerčních LD směrem do ultrafialového spektra.

Při řešení postupujte podle následujících bodů.

I. Přípravná/teoretická část

- 1) Nastudujte si detailně princip funkce laserových diod, zejména faktory ovlivňující vlnovou délku. Neopomeňte zásady jejich bezpečného používání z hlediska ochrany zraku i prevence poškození součástky.
- 2) Seznamte se s používáním Peltierova článku, difrakční mřížky, fotodiody a digitálního spektrometru
- 3) Ozkoušejte si počítačové řízení experimentu pomocí jednočipového modulu Raspberry Pi Pico; uveďte do provozu jeho funkce proudového zdroje, měření proudu a ovládání krokových motorů.
- 4) Naučte se kreslit a fitovat optická spektra v prostředí jazyka Python nebo obdobném

II. Experimentální část

- 1) základní měření parametrů LD:
 - i. instalujte modrou laserovou diodu do modulu s proudovým zdrojem
 - ii. pomocí fotodiody změřte optický výkon jako funkci čerpacího proudu za pokojové teploty, najděte prahovou podmínku laseru
 - iii. s využitím dvojmřížkového spektrometru o vysokém dynamickém rozsahu změřte její emisní spektra při podprahovém i nadprahovém proudu
- 2) přeladění teplotou:
 - i. seznamte se s Peltierovým modulem na chlazení laserových diod (Thorlabs TCLDM9), sestavte zpětnovazební smyčku k počítačovému řízení teploty
 - ii. zopakujte úkol 1 na různých dostupných teplotách; sledujte posun střední energie i změnu intenzity jako funkci teploty a čerpacího proudu
- 3) přeladění optickým rezonátorem:
 - i. sestavte laditelný externí laserový rezonátor v Littmanově-Metcalfově uspořádání
 - ii. zopakujte úkol 1 za pokojové teploty, ale s různými úhly zrcadla L.-M. rezonátoru, sledujte výstupní výkon LD jako funkci úhlu
- 4) kombinované přeladění:
 - i. při minimální dosažitelné teplotě na Peltierově modulu nalezněte nejkratší vlnovou délku, na které lze z diody získat koherentní světlo
 - ii. obdobně najděte nejdelší vlnovou délku při nejvyšší bezpečné teplotě modulu
 - iii. ověřte životnost diody při dlouhodobém provozu v řádu dnů
 - iv. vykreslete intenzitu laserové emise jako dvojrozměrnou funkci teploty a vnučené vlnové délky; tuto mapu volitelně změřte i pro různé úrovně čerpání diody a diskutujte rozdíly mezi nimi

Doporučená literatura:

- [1] D. Zhao et al.: J. Semicond. **5** (2017)
- [2] H. Yoshida, et al.: Nature Photonics **2**, (2008): 551-554.
- [3] M. Kneissl, et al.: Appl. Phys. Lett. **82**, 2386 (2003)
- [4] Z. Zhang et al.: Appl. Phys. Express **12**, 124003 (2019)
- [5] C. Fletcher, J. Close: Appl. Phys. B **78**, 305–313 (2004)
- [7] Thorlabs Inc.: Tunable Laser, prealigned Littman kit, str. 10-11, technická dokumentace, dostupná online <https://www.thorlabs.com/catalogpages/Obsolete/2018/TLK-L1550M.pdf>
- [6] S. Nakamura: Semicond. Sci. Technol. **14** (1999)