

Pracovní úkoly

1. Změřte současně světelnou i voltampérovou charakteristiku polovodičového laseru. Naměřené závislosti zpracujte graficky. Stanovte prahový proud i_0 .
2. Pomocí Hg výbojky okalibrujte stupnici monochromátoru SPM 2. Diskutujte, proč je volena velmi úzká štěrbina monochromátoru.
3. Změřte emisní spektrum polovodičového laseru při několika hodnotách proudu laserem pod a nad odhadnutou prahovou hodnotou i_0 . Určete vlnovou délku stimulované emise a kvalitativně diskutujte změny ve spektrech provázející změnu napájecího proudu.
4. Při jedné nadprahové hodnotě proudu laserem změřte emisní spektrum polovodičového laseru při různých teplotách laseru. Vyhodnoťte teplotní závislost vlnové délky stimulované emise a výstupního výkonu.
5. Určete výkonovou účinnost laseru pro vybranou hodnotu proudu v nadprahové oblasti.

Teoretická část

Protéká-li diodou proud, může zde docházet k záření. Aby toto záření bylo laserové, musí být splněny dvě podmínky [1]:

1) Obsazení horní energetické hladiny musí být vyšší než obsazení dolní hladiny. To lze zajistit čerpáním laseru, v našem případě dostatečným proudem procházejícím diodou. Prahová hodnota proudu se označuje jako i_0 .

2) Dioda musí být umístěna v rezonátoru.

Pro účinnost laseru platí, podle [1]:

$$\eta = \frac{\Phi}{U \cdot I} \quad (1)$$

Kde Φ je světelný výkon laseru, U je napětí na laseru a I je proud procházející diodou.

Metoda měření

Nejprve jsme změřili V-A a světelnou charakteristiku laseru. Měření světelné charakteristiky probíhalo za pomoci měřicí fotodiody. Hodnota proudu protékajícího obvodem fotodiody byla změřena galvanometrem a následně za pomoci tabulky v dokumentu [2] převedena na odpovídající hodnotu světelného výkonu.

Poté jsme kalibrovali monochromátor za pomoci rtuťové výbojky. Zde jsme využili faktu, že Hg výbojka má známé a dobře identifikovatelné spektrální čáry.

Poté jsme měřili spektrum laseru při několika hodnotách proudu. Pro konstantní hodnotu proudu jsme změřili teplotní závislost, při měření teplotní závislosti bylo velmi těžké ustálit teplotu, proto je možné, že v laseru probíhali teplotní změny během jednoho měření.

Pomůcky

- Polovodičový laser ADL-65102TL
- Galvanometr MG 5
- Ampérmetr RFT Digital Voltmeter G-1002.500
- Voltmetr UNI-T UT803
- Teploměr PeakTech 2010DMM
- Hg výbojka
- Monochromátor SPM 2
- Počítač

Výsledky měření

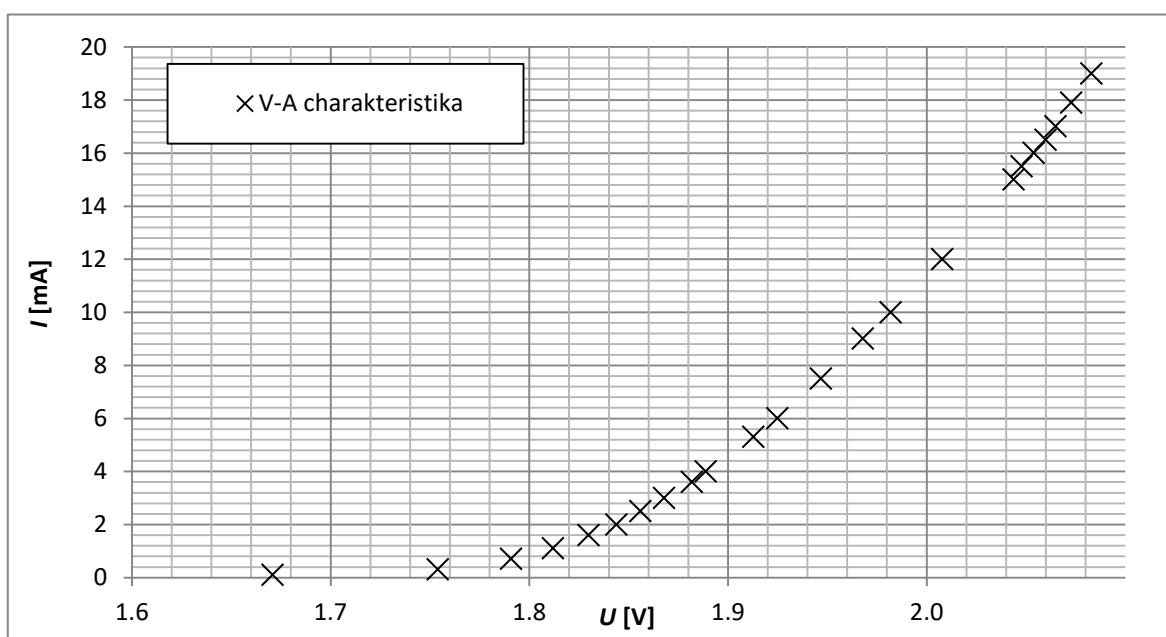
Laboratorní podmínky by neměly ovlivnit výsledky měření. Teplota uvnitř laseru (podle teplotního čidla) byla 23-24°C.

Graf č. 1 obsahuje V-A charakteristiku polovodičového laseru. Graf č. 2 obsahuje Světelnou charakteristiku laseru. V grafu je také uveden lineární fit posledních 4 naměřených hodnot, jehož extrapolací byla odhadnuta hodnota prahového proudu jako $i_0 = (16.2 \pm 1.2)$ mA. Chyba byla určena jako chyba lineární regrese.

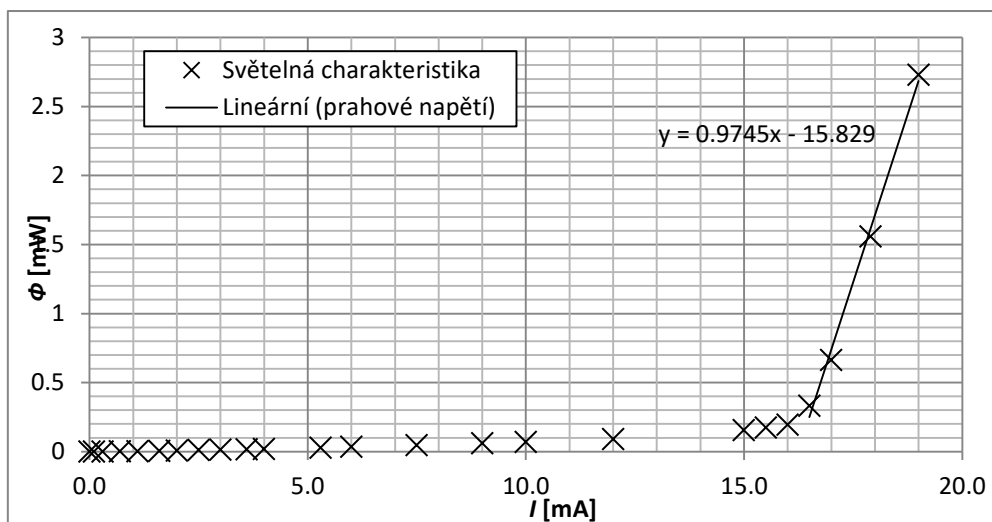
Tabulka 1: Koeficienty použité pro kalibraci monochromátoru

	hodnota	chyba
A [d/nm]	53.06	0.02
B [nm]	-530.1	0.5

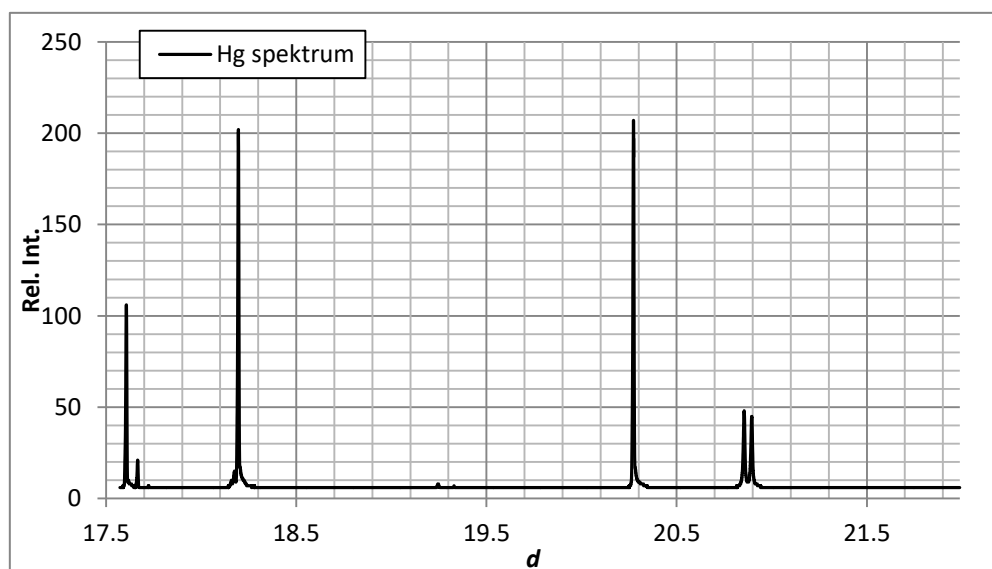
Stupnici monochromátoru jsme okalibrovali za pomoci Hg výbojky. Naměřená relativní intenzita v závislosti na dílcích stupnice monochromátoru je znázorněna v grafu č. 3. Graf č. 4 obsahuje údaje použité ke zjištění koeficientu A a B , tyto koeficienty jsou zachyceny v tabulce č. 1, chyba určení těchto koeficientů byla určena jako chyba lineární regrese.



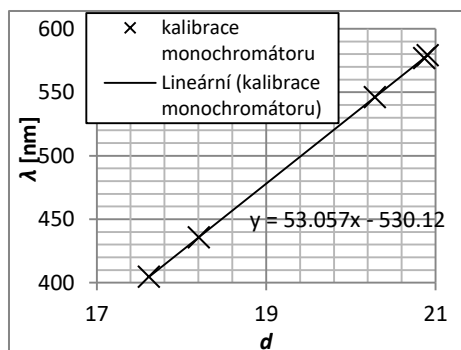
Graf 1: Voltampérová charakteristika laseru



Graf 2: Světelná charakteristika laseru



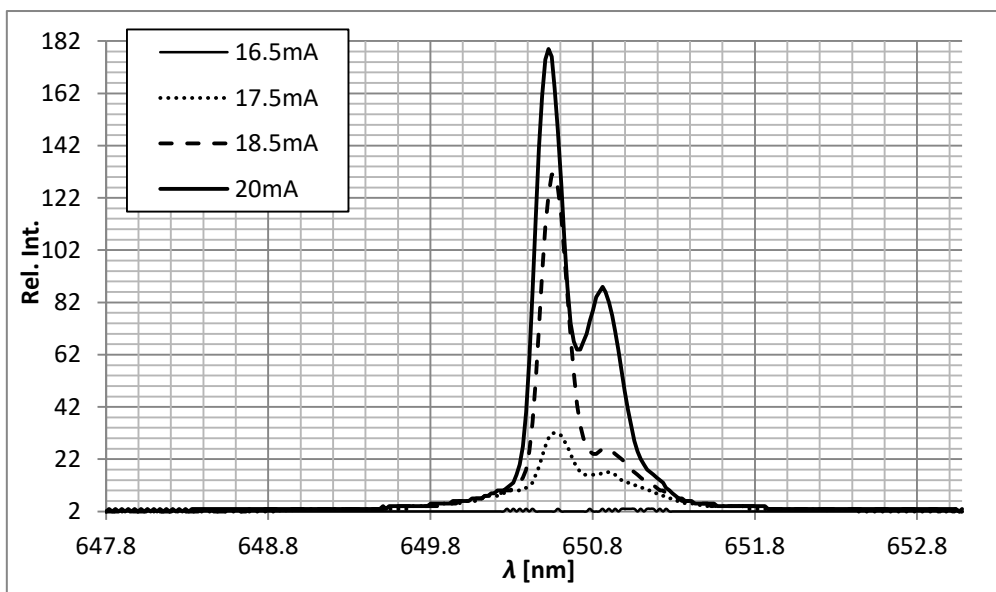
Graf 3: Naměřené spektrum Hg výbojky, osa x je vynesena v dílcích stupnice monochromátoru



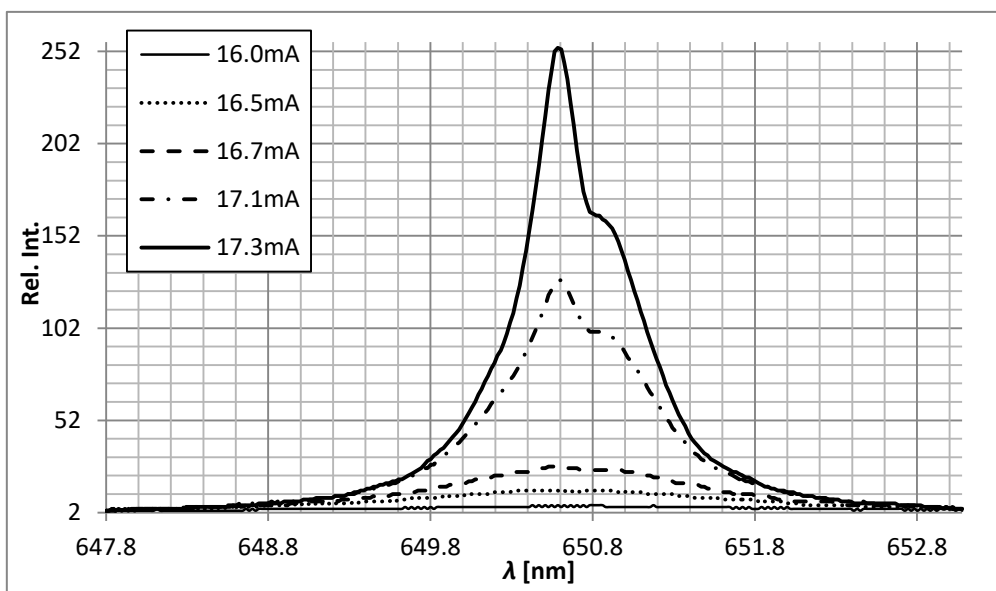
Graf 4: Kalibrace monochromátoru – fitování naměřených dat

Emisní spektrum bylo měřeno se dvěma různými nastaveními měřicí aparatury. Data neměřená prvním nastavením zachycuje graf č. 5, toto měření probíhalo pro větší proudy v laseru a tudíž větší intenzity. Při snižování proudu klesla hodnota světelného výkonu natolik, že bylo třeba nastavit vyšší zesílení, tím se stala data neporovnatelná, a proto jsou vynesena na grafu č. 6, referenční hodnotu zde představuje proud 16.5 mA, který je vynesena v obou grafech.

Graf č. 7 zachycuje závislost spektra na teplotě. Teplota se při tomto měření pohybovala mezi 12-28°C a v grafu je vyneseno spektrum laseru vždy po 2°C. Proud byl 18 mA.



Graf 5: Spektrum laseru pro vyšší proudy

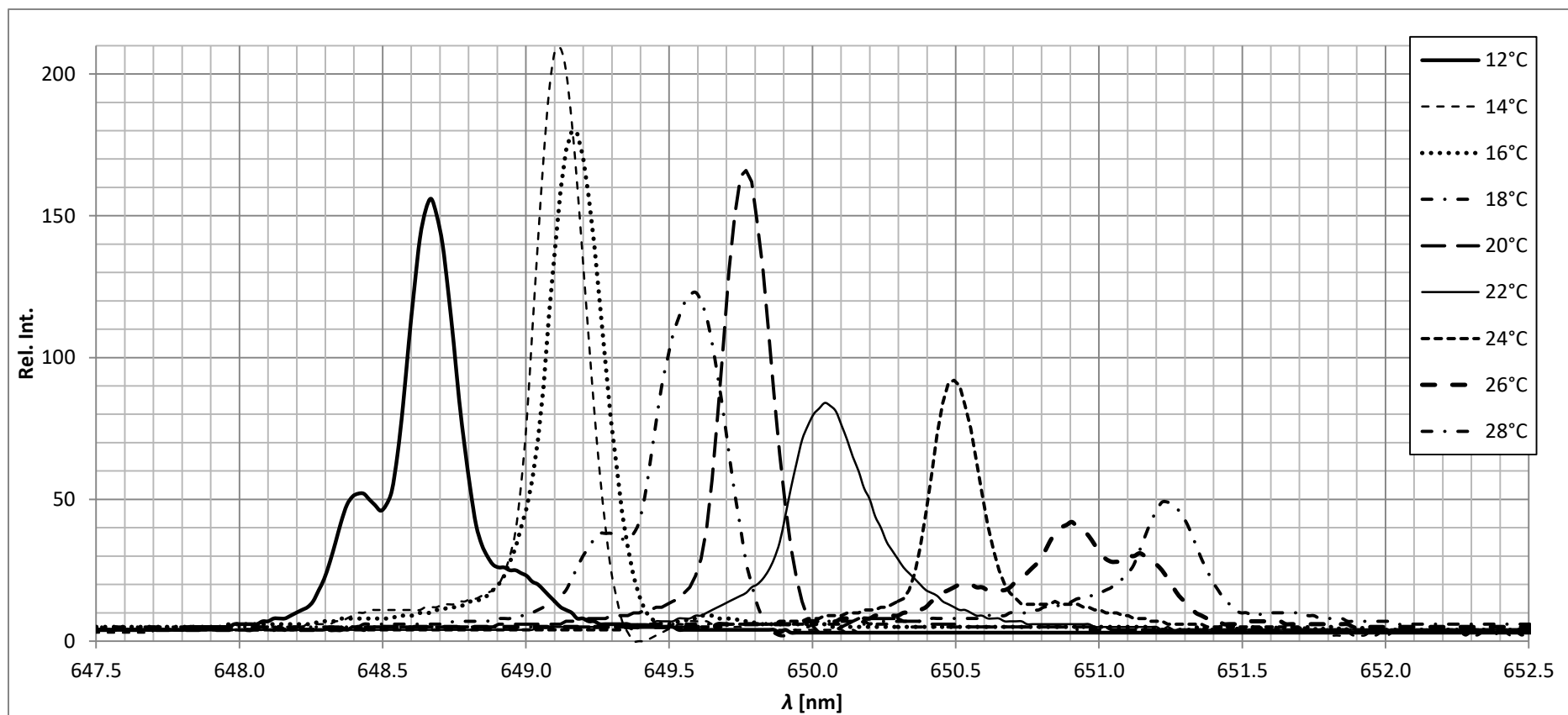


Graf 6: Spektrum laseru pro nižší proudy

Tabulka 2: Účinnost laseru

η [%]	6.9
\pm [%]	0.3

Výkonovou účinnost laseru jsme určili ze vztahu (1) pro proud 19 mA. Chybu jsme odhadli na 5%, protože největší podíl na chybě měla fotodioda, u které je její chyba neznámá. Výsledná účinnost i s chybou je uvedena v tabulce č. 2.



Graf 7¹: Spektrum laseru v závislosti na teplotě, použitý proud byl 18 mA

¹ V grafu jsou pro některé teploty použity stejné čáry. Lze je odlišit tak, že vlnová délka maxima intenzity se posouvá s rostoucí teplotou směrem k vyšším hodnotám.

Diskuse

Voltampérová charakteristika odpovídá V-A charakteristice polovodičové diody, kde je nejprve nutné zvětšit napětí na určitou hodnotu a poté začne protékat proud. Světelná charakteristika odpovídá teoretickým předpokladům, kdy po překročení prahové hodnoty i_0 se prudce zvýší světelný výkon laseru.

Při kalibraci monochromátoru jsme použili relativně tenkou štěrbinu monochromátoru (0.03mm). Úzká štěrbina je zde použita, aby bylo dosaženo velké přesnosti na výstupu, protože platí, že čím užší štěrbina tím menší vlnové délky jsme schopni rozlišit.

V grafu č. 6 je vidět, kdy dochází k přechodu z obyčejného diodového světla na laserové. V poměrně širokém spektru LED diody se vytvoří úzký pruh. Bohužel nejspíše chybou se při vyšších proudech objevil ve spektru ještě jeden mod, jak je patrné v grafu č. 5. Vzhledem k tomu, že spektrum Hg výbojky bylo změřeno správně v celém rozsahu, je možné vyloučit chybu měření. Nejspíše se tedy jedná o chybu laseru. Vlnová délka stimulované emise je 650.48 nm.

Tyto parazitní mody nejspíše také ovlivnily výsledky teplotní závislosti spektra laseru. Očekávané chování maxima laseru je takové, že se zvyšující se teplotou bude růst vlnová délka stimulované emise, což se v našem případě potvrdilo. Zároveň má klesat amplituda. Klesající trend amplitudy se zvyšující se teplotou je z grafu č. 7 patrný, není ovšem monotónní. Při podrobnějším zkoumání grafu 7 se zdá, jakoby onen vedlejší mod měl jinou závislost na teplotě a poté se skládal s hlavním maximem.

Poměrně nízká účinnost laseru odpovídá tomu, že jsme ji určili při poměrně nízkém proudu (19 mA), ale maximální proud laserem činí 23 mA.

Závěr

Zjištěná voltampérová charakteristika odpovídá polovodičové diodě. Světelná charakteristika odpovídá teoretickým předpokladům. Prahový proud byl určen jako:

$$i_0 = (16.2 \pm 1.2) \text{ mA}$$

Stupnice monochromátoru byla okalibrovaná s velmi malou chybou.

Naměřené emisní spektrum a jeho závislost na napájecím proudu odpovídá teoretickým předpokladům.

Chování emisního spektra v závislosti na teplotě není úplně v souladu s teorií pro správně fungující laser.

Výkonová účinnost laseru byla stanovena:

$$\eta = (6.9 \pm 0.3)\%$$

Literatura

- [1] Kvantová optika a optoelektronika. *Fyzikální praktikum* [online].
[cit. 22.3.2017]. Dostupné z:
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_315.pdf

- [2] AlGaInP Visible Laser Diode. *GM Electronic* [online]
[cit. 22.3.2017]. Dostupné z:
<https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.511-269.1.PDF>