

1 Úkol

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.
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. Z modové struktury emisního spektra laseru určete délku aktivní oblasti rezonátoru. Diskutujte, proč je volena velmi úzká šterbina monochromátoru.
5. Určete výkonovou účinnost laseru pro vybranou hodnotu proudu v nadprahové oblasti.

2 Teorie

2.1 Laser

Laser je světelný zdroj zpravidla úzkého spektra, který funguje na principu fotoemise. V našem případě používáme PN přechod, který se jako laser začne chovat až po překročení prahového proudu i_0 .

2.2 Rezonátor

Strany přechodu laseru jsou vybroušeny tak, aby fungovala jako zrcadla. Díky tomu světlo před výstupem z laseru několikrát projde tam a zpět, přičemž vyvolává nucenou fotoemisi. Vlnění vzniklé uvnitř laseru je stojaté a proto v závislosti na délce rezonátoru musí pro vycházející světlo platit

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2LN_g}, \quad (1)$$

kde $\Delta\lambda$ je rozdíl k dalšímu maximu, λ je vlnová délka, L délka rezonátoru a N_g grupová rychlost uvnitř řechodu. Pro náš laser je její hodnota

$$N_g = 4.5 \quad (2)$$

Z tohosnadno získáme vztah pro délku

$$L = \frac{\lambda^2}{2N_g\Delta\lambda} \quad (3)$$

voltmetr UNI-T UT803	$\pm(0.3\% + 2d)$
ampérmetr RFT G-1002.500	$\pm(0.4\% + 3d)$
galvanometr MG5	třída přesnosti 2

Tabulka 1: Nejistoty měřících přístrojů.

2.3 Účinnost laseru

Účinnost laseru je definována vztahem

$$\eta = \frac{\Phi_e}{UI}, \quad (4)$$

kde Φ_e je vyzařovaný výkon, U napětí a I proud.

2.4 Chyby měření

Veškeré chyby měření byly dány nejistotami měřidel. Použitá zařízení spolu s jejich chybami na použitém rozsahu jsou uvedeny v tabulce 1

3 Měření

3.1 VA charakteristika laseru

V připraveném zapojení jsem měřil VA charakteristiku. Postupoval jsem od 115 mA do 0 mA. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 2. Zároveň jsem si zaznamenával i relativní světelný výkon z galvanometru, který je v tabulce uveden v počtech dílků. Výrobce udává, že při proudu 115 mA je zářivý výkon laseru 0.5 mW. Z této hodnoty jsem následně vypočetl světelný výkon pro zbylé proudy uvedený ve 4. sloupci. Nakonec jsem sestavil charakteristiky, které jsou na obrázku 1.

3.2 Prahový proud

Prahový proud i_0 by se měl pohybovat v místě kde začne proud stoupat lineárně s napětím. Dle nafitované přímky v 1 je jeho hodnota přibližně

$$i_0 = (50 \pm 10) \text{mA} \quad (5)$$

Přesnější hodnotu nejsem sto určit.

3.3 Hg výbojka

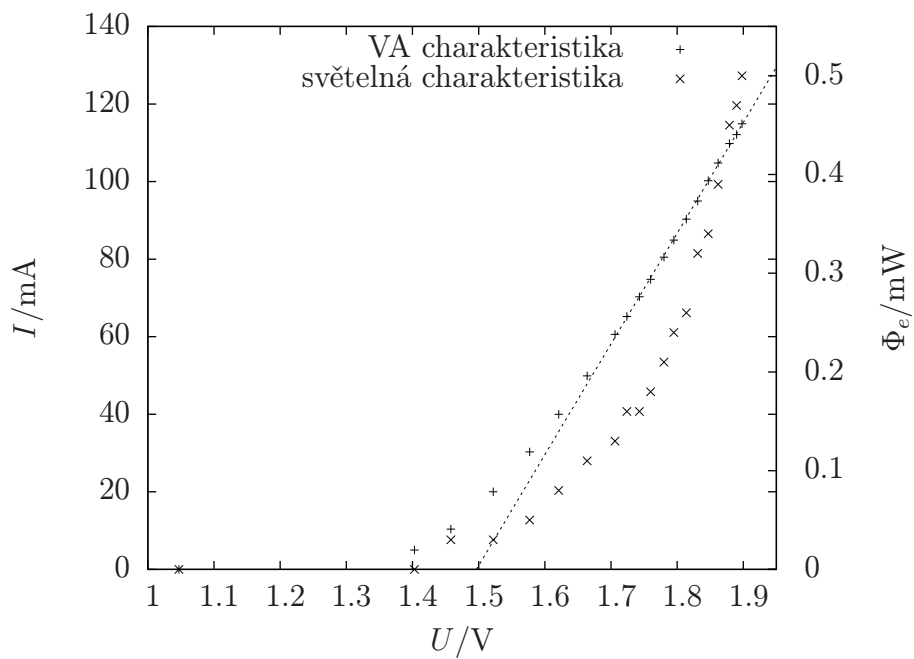
Pomocí spektrometru počítače u úlohy jsem proměřil spektrum Hg výbojky. Z naměřených dat jsem vytvořil graf 2. Dle tabulkových hodnot spektrálních čar pro Hg výbojku

U/V	I/mA	1/d. galva.	Φ_e/mW
1.898 ± 0.008	114.9 ± 0.8	19 ± 0.5	0.50 ± 0.01
1.890 ± 0.008	112.1 ± 0.7	18 ± 0.5	0.47 ± 0.01
1.879 ± 0.008	109.8 ± 0.7	17 ± 0.5	0.45 ± 0.01
1.862 ± 0.008	104.8 ± 0.7	15 ± 0.5	0.39 ± 0.01
1.847 ± 0.007	100.2 ± 0.7	13 ± 0.5	0.34 ± 0.01
1.831 ± 0.007	95.0 ± 0.7	12 ± 0.5	0.32 ± 0.01
1.814 ± 0.007	90.3 ± 0.7	10 ± 0.5	0.26 ± 0.01
1.795 ± 0.007	84.9 ± 0.6	9 ± 0.5	0.24 ± 0.01
1.780 ± 0.007	80.5 ± 0.6	8 ± 0.5	0.21 ± 0.01
1.760 ± 0.007	74.8 ± 0.6	7 ± 0.5	0.18 ± 0.01
1.742 ± 0.007	70.3 ± 0.6	6 ± 0.5	0.16 ± 0.01
1.724 ± 0.007	65.2 ± 0.6	6 ± 0.5	0.16 ± 0.01
1.706 ± 0.007	60.6 ± 0.5	5 ± 0.5	0.13 ± 0.01
1.664 ± 0.007	49.9 ± 0.5	4 ± 0.5	0.11 ± 0.01
1.621 ± 0.007	40.0 ± 0.5	3 ± 0.5	0.08 ± 0.01
1.577 ± 0.007	30.3 ± 0.4	2 ± 0.5	0.05 ± 0.01
1.522 ± 0.007	20.0 ± 0.3	1 ± 0.5	0.03 ± 0.01
1.458 ± 0.006	10.4 ± 0.3	1 ± 0.5	0.03 ± 0.02
1.403 ± 0.006	5.0 ± 0.3	0 ± 0.5	0.00 ± 0.02
1.047 ± 0.005	0.0 ± 0.3	0 ± 0.5	0.00 ± 0.02

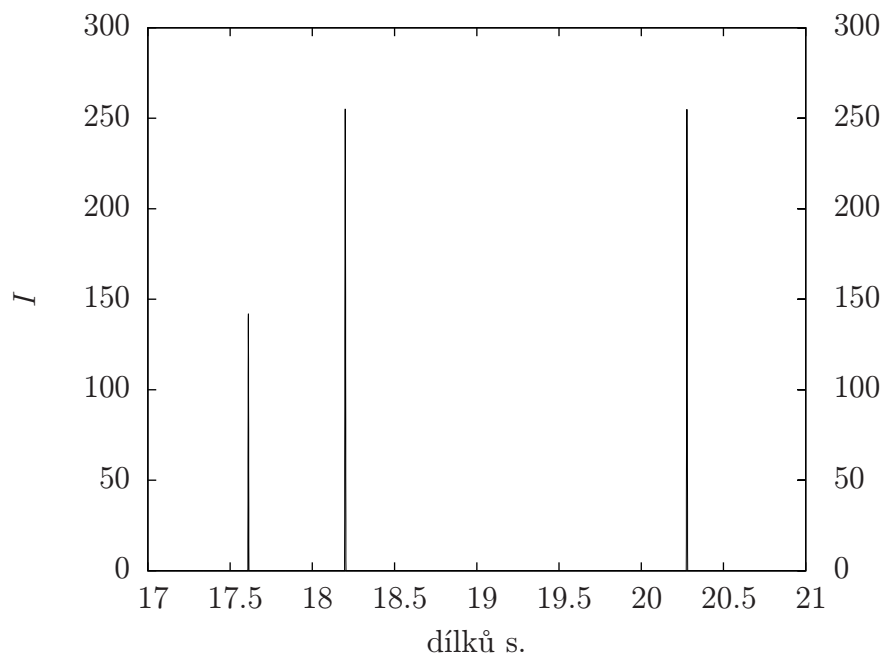
Tabulka 2: VA a světelná charakteristika GaAs laseru

dílků s.	λ/nm
17.6109	404.7
18.2000	435.8
20.2779	546.1

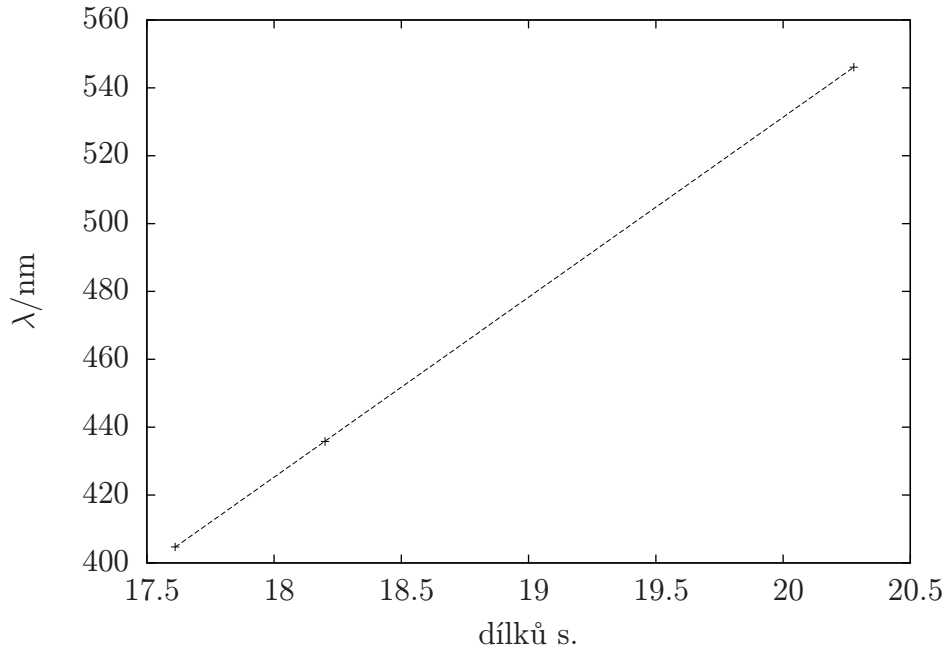
Tabulka 3: Kalibrace spektrometru



Obrázek 1: VA a světelná charakteristika



Obrázek 2: Spektrum rtuťové výbojky.



Obrázek 3: Kalibrační křivka pro spektrometr.

jsem vytvořil kalibrační křivku pro spektrometr, která je na obrázku 3. Vlnové délky odpovídající dílkům spektrometru jsou v tabulce 3.

Vzrah pro vlnovou délku vypočítanou z dílků spektrometru je

$$\lambda = (53.04 \pm 0.05) * x - (529.36 \pm 1.00)\text{nm} \quad (6)$$

3.4 Spektrum laseru

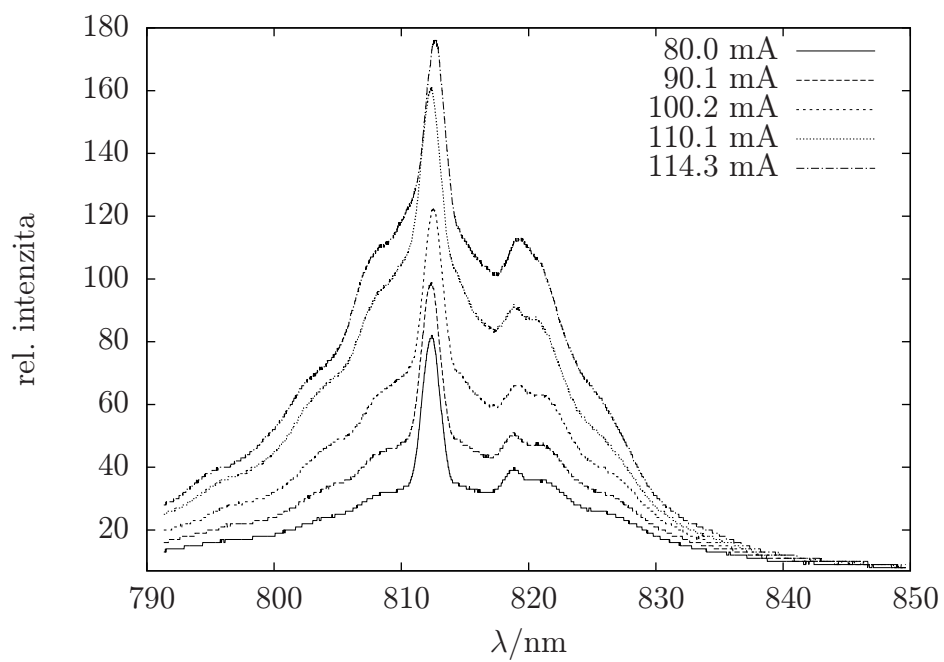
Za pomoci naměřených hodnot a kalibrační křivky 3 jsem vytvořil graf spektra GaAs laseru pro různé hodnoty proudu. Výsledek je na obrázku 4. Z něj jsem určil vlnovou délku stimulované emise, která odpovídá maximu v grafu

$$\lambda_{max} = (812.4 \pm 0.2)\text{nm} \quad (7)$$

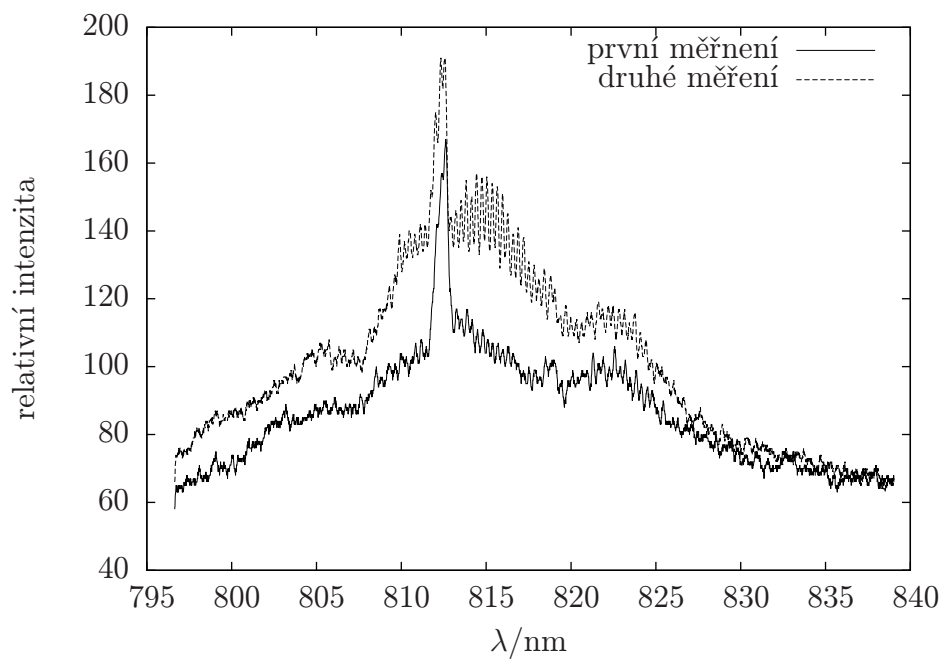
3.5 Rezonátor

Při nastavení velkého proudu laserem (118.5 mA) a úzké štěrbině jsem naměřil spektrum laseru s viditelnou módovou strukturou. Výsledky jsou v grafu 5. Při prvním měření byl laser příliš daleko od spektrometru. Z druhého měření jsem vybral užší část spektra (obrázek 6) a z té dle vztahu 3 dopočítal délku rezonátoru.

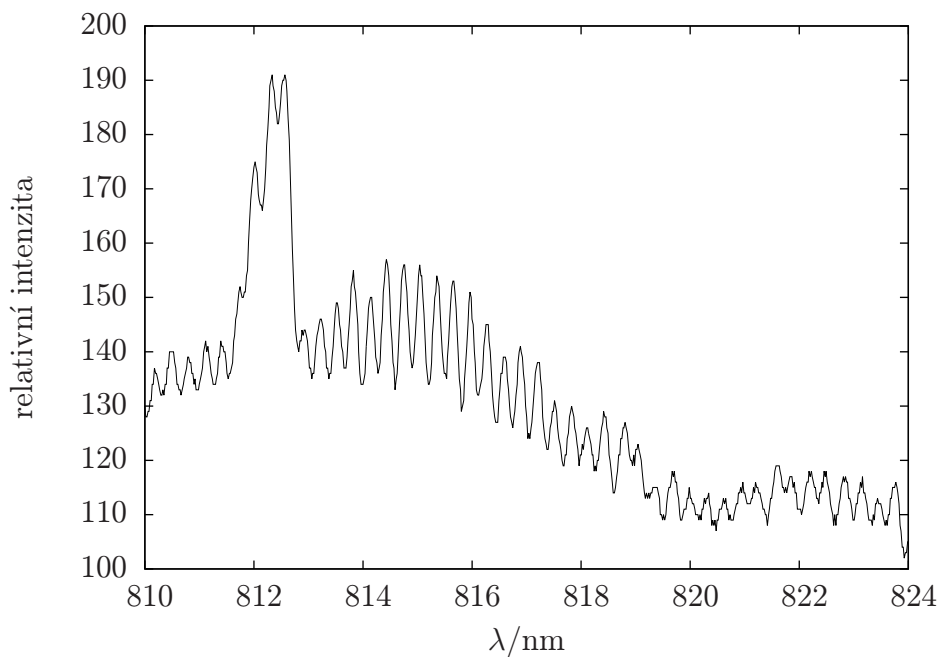
$$l = (235.8 \pm 0.8)\mu\text{m} \quad (8)$$



Obrázek 4: Spektrum GaAs laseru pro různé hodnoty proudu.



Obrázek 5: Emisní spektrum GaAs laseru při úzké štěrbině.



Obrázek 6: Emisní spektrum GaAs laseru při úzké štěrbině.

3.6 účinnost

Po dosazení do vzorce 4 jsem stanovil účinnost laseru pro proud 114.9 mA. Výsledek je

$$\eta = 0.23 \% \quad (9)$$

4 Diskuze

Při měření charakteristik nedošlo k žádnému odkolu od teorie. U světelné jsou však hodnoty podle mého názoru nižší než uvedené výše. Relativní poměr odpovídá skutečnosti, referenční hodnota pro proud 115 mA platí pro nový laser, což ten při měření použitý není.

Kalibrace spektrometru vyšla velmi dobře. V datech z měření spektra Hg výbojky jsou sice viditelné pouze tři nejvýraznější spektrální čáry (což podle mě neodpovídá grafu zobrazenému na počítači u úlohy), avšak jim naitovaná přímka má velmi malou chybu fitu.

Spektrum laseru má dle očekávání poměrně ostré maximum. Je sice o něco výše než oblast kalibrace, ale to podle mého názoru nemá velký vliv na přesnost měření. Při zvyšování proudu rostla intenzita v celé šíři měřeného spektra. Nejvýrazněji však právě ve zmíněném maximu, které odpovídá hodnotě stimulované emise.

Při měření modové struktury emisního spektra jsem musel kvůli nevýraznosti prvního provést měření druhé, ve kterém je již mnohem lépe vidět potřebný jev. Pro srovnání

uvádím měření obě. Úzká štěrbina byla zvolena, protože rozdíl mezi maximy je natolik malý, že při šířce vstupní štěrby by se jinak rozmazala. Vypočítaná hodnota délky rezonátoru by mohla odpovídat skutečnosti, ale nemám žádnou možnost porovnání správnosti výsledku.

Účinnost laseru vyšla menší, než jsem očekával. Zářivý výkon byl, jak již bylo uvedeno výše, podle mě ještě nižší, takže skutečný výkon je pravděpodobně ještě nižší.

5 Závěr

Naměřil jsem VA a světelnou charakteristiku GaAs laseru. Výsledek je na obrázku 1. Odhadl jsem hodnotu prahového proudu na

$$i_0 = (50 \pm 10) \text{ mA} \quad (10)$$

Provedl jsem kalibraci spektrometr za pomoci Hg výbojky. Kalibrační křivka je na obrázku 3.

Proměřil jsem spektrum GaAs laseru pro různé proudy. Výsledek je na obrázku 4.

Určil jsem délku aktivní oblasti laseru

$$l = (235.8 \pm 0.8) \mu\text{m} \quad (11)$$

Určil jsem výkonovou účinnost laseru pro proud 114.9 mA

$$\eta = 0.23 \% \quad (12)$$

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum III**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_315.htm (28. 2. 2012)
- [2] *J. Englisch: Zpracování výsledků fyzikálních měření*
LS 1999/2000