Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č. **XIV**

Název: **Studium polovodičového GaAs/GaAlAs laseru**

Pracoval: **Jan Polášek** stud. skup. **11** dne **19.3.2009**

Odevzdal dne: .....

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: ..... dne .....

1 Pracovní 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 i0. 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 štěrbina monochromátoru.
5. Určete výkonovou účinnost laseru pro vybranou hodnotu proudu v nadprahové oblasti.

2 Teoretická část

Polovodičový laser je tvořen PN přechodem zapojeným v propustném směru. Pokud je napájen nižšími hodnotami proudu, dochází na něm jen ke spontální emisi a chová se tak vlastně jako obycejná elektroluminiscencní dioda. Emisní spektrum vysílaného zárení je pomerne široké. Pokud velikost proudu překročí prahovou hodnotu I_0, převáží stimulovadá emise a dioda začíná pracovat jako skutečný laser. Emisní spektrum se zúží.

Mezi duležité parametry laserové diody patrí její výkonová úcinnost η, definovaná jako

$$\eta = \frac{\Phi_e}{P} = \frac{\Phi_e}{UI} \tag{1}$$

kde Φ_e je zářivý tok laseru, P je jeho příkon, jež je roven součinu napětí U a proudu I.

V rezonátoru, který je tvořen dvěma svislými plochami o vzdálenosti L (Fabry - Perrotův rezonátor), vzniká stojaté vlnění a spektrum laseru by tedy mělo mít diskrétní povahu. Pro vzdálenost sousedních modů plati

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2LN_g} \tag{2}$$

kde λ je odpovídající vlnová délka a N_g je grupový index lomu aktivního prostředí laseru. Odtud pro délku rezonátoru platí

$$L = \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda N_g} \tag{3}$$

3 Výsledky měření

Pro měření voltampérové a světelné charakteristiky byl pomocí digitálního multimetru měřen proud přiváděný k laseru a napětí na něm, pomocí galvanometru pak také proud tekoucí fotodiodou, ze kterého se díky výrobcem zadané kalibraci (při proudu 115 mA je sv. tok roven 0,5 mW) dá určit světelný tok. Galvanometr měl stupnici o 50ti dílcích a volitelné rozsahy 1:1, 1:10 a 1:100. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v tabulce 1 a graficky znázorněny v grafech 1 2. V grafu 2 jsou body odpovídající hodnotám proudu větším než 110 mA proloženy přímkou $y = A + Bx$. Z průsečíku této přímky s osou x se dá odečíst hodnota prahového proudu:

$$i_0 = (88 \pm 10)\ \text{mA}$$

Z tabulky 1 se dá také pomocí vztahu (1) určit také výkonová účinnost laseru. Pro hodnotu proudu $I = 115$ mA je to

$$\eta = 0,23$$

Pro další měření bylo třeba okalibrovat stupnici monochromátoru. Toho bylo dosaženo s pomocí Hg výbojky o známém spektru (které bylo přiloženo k úloze). Vzhledem k poměrně velké intenzitě světla vycházejícího z výbojky byla šířka štěrbiny monochromátoru nastavena na 0,03 mm. Naměřené spektrum je znázorněno v grafu 3. Polohy jednotlivých spektrálních čar a jim příslušející vlnové délky jsou vyneseny v tabulce 2. Měření bylo omylem provedeno při padesátinásobném zesílení signálu. Lineárním proložením hodnot z tabulky dvě získáváme převodní vztah mezi dílky a vlnovou délkou

$$\lambda = a + b \cdot x$$
$$\text{kde } a = (-530,3 \pm 0,4)\ \text{nm},\ b = (53,08 \pm 0,02)\ \text{nm}$$

kde chyby jsou dány chybou lineární regrese.

S touto kalibrací již bylo možno změřit emisní spektrum GaAs/GaAlAs laseru. To bylo naměřeno při hodnotách proudu 80 mA, 89,9 mA, 110 mA a 115 mA. Šířka štěrbiny byla nastavena na 0,4 mm. Výsledky tohoto měření jsou vyneseny do grafu 4. Z něj se dá určit vlnová délka stimulované emise

$$\lambda_s = (815 \pm 1) \text{ nm}$$

Pro měření modové struktury spektra byla šířka štěrbiny monochromátoru nastavena na 0,6 mm a proud procházející laserovou diodou na 110 mA. Výsledky tohoto měření jsou vyneseny v grafu 5. Z něj je vyjmut a do grafu 6 zakreslen detail v okolí maxima. Z tohoto grafu je odečtena průměrná hodnota vzdálenosti modů v uvedené výseči

$$\Delta\lambda = (0,31 \pm 0,03) \text{ nm}$$

Odtud se dá s pomocí vztahu (3) určit délka aktivní oblasti rezonátoru. Grupový index lomu aktivního prostředí N_g je v tomto případě $N_g = 4,5$, jak bylo uvedeno u úlohy.

$$L = (238 \pm 12) \quad \mu\text{m}$$

4 Diskuse

Chybu měření proudu a napětí v první úloze odhaduji na poslední desetinné místo, chybu měření na galvanometru pak na polovinu nejmenšího dílku (to samozřejmě záleží na nastaveném rozsahu). Z grafu 1 je vidět, že by bylo vhodné naměřit ještě několik menších hodnot, charakteristika však zřejmě odpovídá charakteristice běžné diody. Z grafu 2 je patrná změna směrnice při přechodu prahovým proudem. Pro určení hondoty prahového proudu by bylo vhodné měřit i pro hodnoty proudu větší než 115 mA. Malý počet hodnot, ze kterých je prováděna lineární regrese, zatěžuje hodnotu prahového proudu velkou chybou.

Spektrum Hg výbojky bylo omylem měřeno při padesátinásobném zesílení signálu, což se projevilo na větším šumu kolem nulové hodnoty relativní intenzity. Na určení spektrálních čar však toto nemá vliv.

Z grafu 4 je vidět, že emisní spektrum je pro hodnoty proudu 80 mA a 89,9 mA poměrně široké a odpovídá spektru běžné elektroluminiscenční diody. Převažuje spontální emise. Při hodnotách prou 110 mA a 115 mA se pak spektrum výrazně zužuje, což odpovídá převažující stimulované emisi. Z těchto faktů se dá mj. usuzovat, že hodnota prahového proudu bude větší než námi určená. Nepříliš dokonalý tvar křivky spektra je zřejmě způsoben nepřesnostmi v přístroji, které nejsem schopen identifikovat.

Šířka štěrbiny monochromátoru určije, jak široká část spektra je propuštěna k detektoru (kterým byl v našem případě fotonásobič). Při příliš široké štěrbině je propouštěné spektrum širší, než je nutné k pozorování jednotlivých modů (proto tyto mody také nejsou patrné v grafu 4. Několikanásobným měřením stejného spektra při rozšiřující-se štěrbině bylo zjištěno, že modová struktura spektra vymizí při šířce štěrbiny přibližně 0,11 mm.

5 Závěr

1. Změřte současně světelnou i voltampérovou charakteristiku polovodičového laseru, naměřené hodnoty zanesl do tabulky 1 a graficky znázornil v grafech 1 a 2. Určil jsem hodnotu prahového proudu

   $$i_0 = (88 \pm 10) \text{ mA}$$

2. Pomocí Hg výbojky jsem okalibroval stupnici monochromátoru SPM 2.

3. Změřil jsem emisní spektrum polovodičového laseru při několika hodnotách proudu laserem pod a nad odhadnutou prahovou hodnotou proudu a výsledky graficky znázornil v grafu 4. Určil jsem vlnovou délku stimulované emise

   $$\lambda_s = (815 \pm 1) \text{ nm}$$

4. Z modové struktury emisního spektra laseru jsem určil délku aktivní oblasti rezonátoru

   $$L = (238 \pm 12) \quad \mu\text{m}$$

5. Určil jsem výkonovou účinnost laseru pro hodnotu proudu $I = 115$ mA

   $$\eta = 0,23$$

6 Literatura

[1] http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/, studijní text a pokyny k měření k úloze 15
[2] J. Englich, Zpracování výsledků fyzikálních měření, web, Praha, 2000

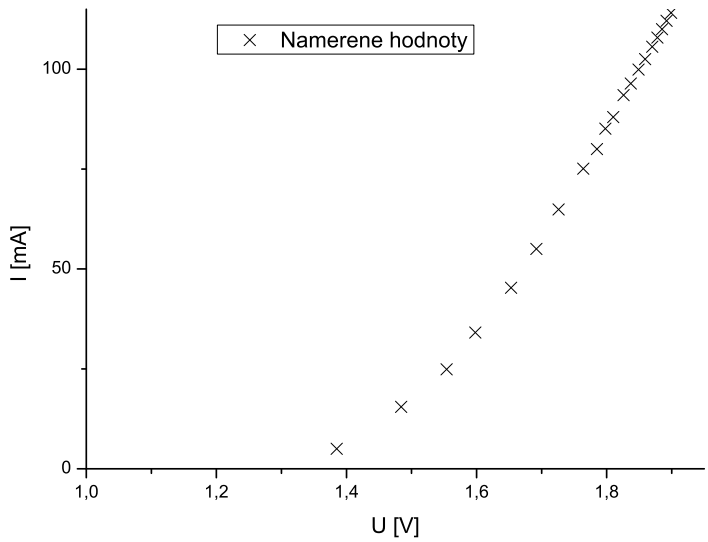
Tabulka 1: Světelná a voltampérová charakteristika

U [V]	I [mA]	Dílky galvanometru	Φ [mW]
1,385	5,0	20 ± 0,5	0,0050 ± 0,0001
1,484	15,5	80 ± 5	0,020 ± 0,001
1,554	24,9	150 ± 5	0,038 ± 0,001
1,598	34,1	220 ± 5	0,055 ± 0,001
1,653	45,3	330 ± 5	0,083 ± 0,001
1,692	55,0	440 ± 5	0,110 ± 0,001
1,726	64,9	600 ± 50	0,15 ± 0,01
1,764	75,1	700 ± 50	0,18 ± 0,01
1,785	80,0	800 ± 50	0,20 ± 0,01
1,798	85,1	900 ± 50	0,23 ± 0,01
1,810	88,0	1000 ± 50	0,25 ± 0,01
1,826	93,5	1100 ± 50	0,28 ± 0,01
1,837	96,4	1200 ± 50	0,30 ± 0,01
1,849	99,9	1300 ± 50	0,33 ± 0,01
1,859	102,5	1400 ± 50	0,35 ± 0,01
1,870	105,6	1500 ± 50	0,38 ± 0,01
1,878	107,9	1600 ± 50	0,40 ± 0,01
1,885	110,0	1700 ± 50	0,43 ± 0,01
1,892	112,1	1800 ± 50	0,45 ± 0,01
1,899	115,0	2000 ± 50	0,50 ± 0,01

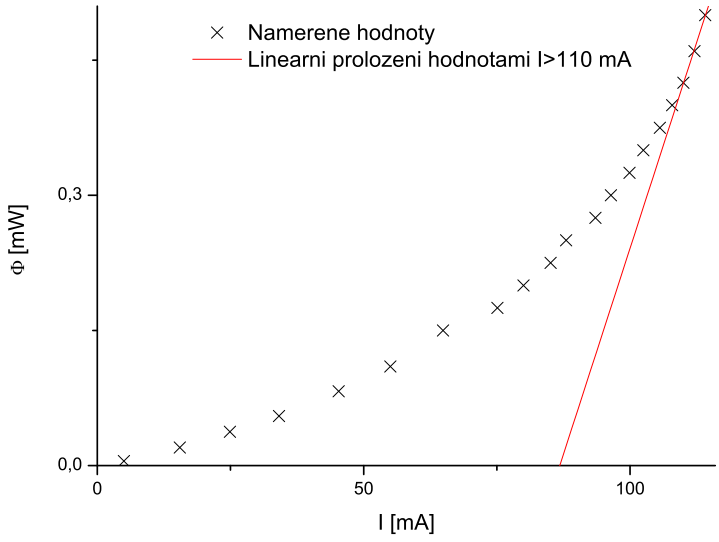
Tabulka 2: Spektrální čáry Hg výbojky

Dílek	λ [nm]
17,6128	404,7
17,6735	407,8
18,2016	435,8
20,2790	546,1
20,8600	577,0
20,8992	579,1

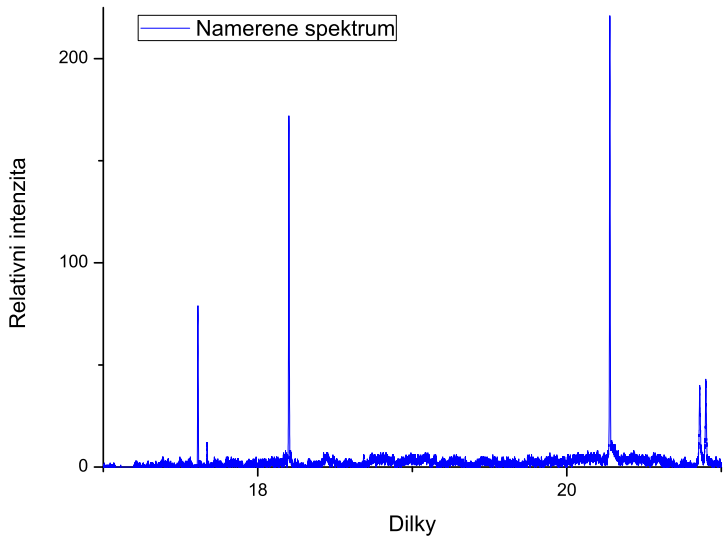
Graf 1: Voltampérová charakteristika GaAs/GaAlAs laseru



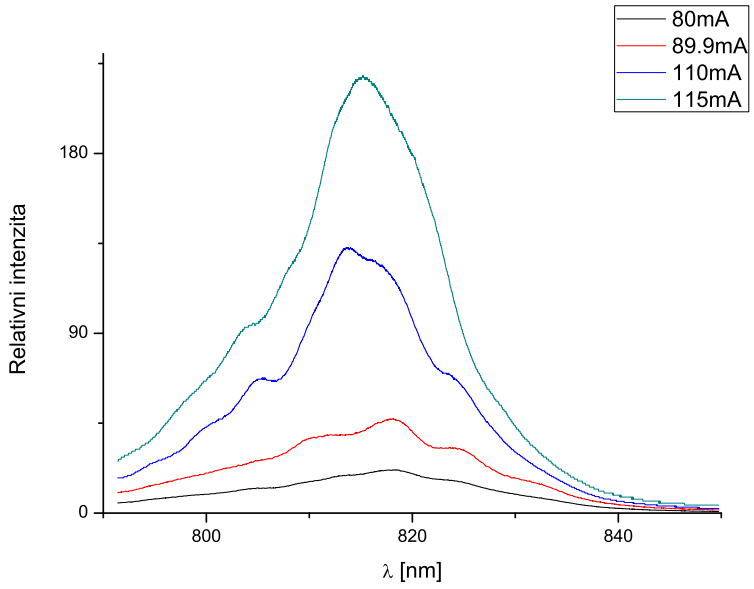
Graf 2: Světelná charakteristika GaAs/GaAlAs laseru



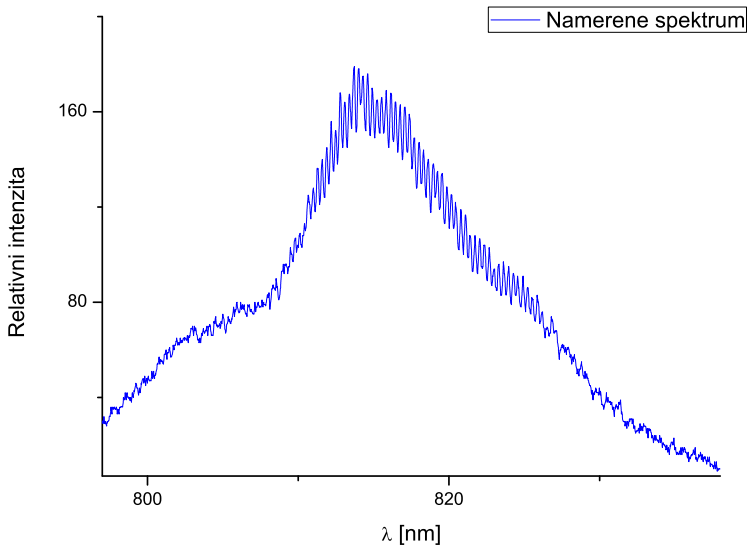
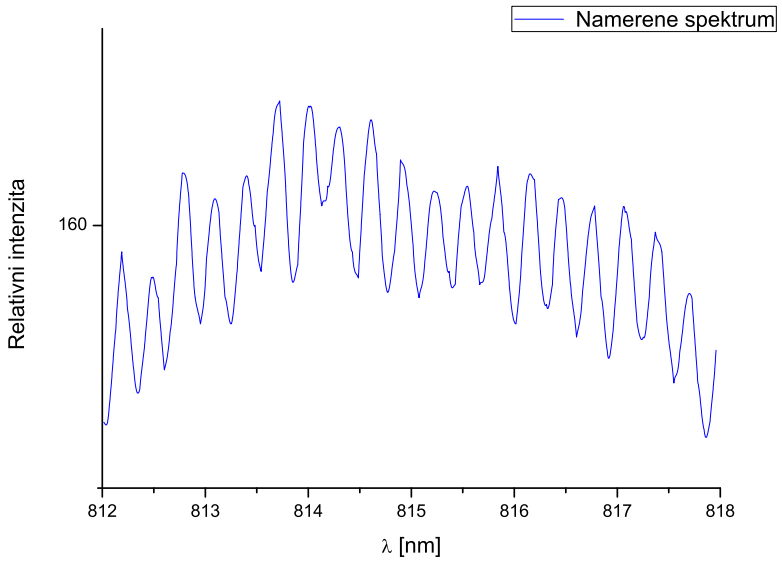
Graf 3: Spektrum Hg výbojky



Graf 4: Emisní spektrum laseru při různých hodnotách proudu



Graf 5: Modová struktura laserového spektra



Graf 6: Detail modové struktura laserového spektra v okolí maxima