

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM III

Úloha č.: 15

Název: Studium polovodičového GaAs/GaAlAs laseru

Vypracoval: Vít MAREK stud. sk. F12 dne 23.4.2001

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: ..... dne ..... výsledek klasifikace .....

Připomínky:

### Pracovní úkol:

1. Změřte světelnou charakteristiku polovodičového laseru. Současně změřte voltampérovou charakteristiku v proudovém rozmezí 0-118 mA. Naměřené závislosti zpracujte graficky. Stanovte prahový proud  $I_0$ .
2. Pomocí rtuťové výbojky okaliбуйте stupnici monochromátoru.
3. Změřte emisní spektrum polovodičového laseru při 80 a 118 mA proudu laserem. Určete vlnovou délku stimulované emise a diskutujte kvalitativní změny na spektrech při změně napájecího proudu.
4. Z modové struktury emisního spektra laseru určete délku aktivní oblasti resonátoru. Diskutujte, proč je volena úzká štěrba monochromátoru.
5. Určete výkonovou účinnost laseru pro  $I \approx 115$  mA.

### Teorie:

Zesílení záření při průchodu laserem je dáno vztahem:

$$I \approx I_0 e^{(g-\alpha)l} \quad (1) \quad \text{kde } l \text{ je délka rezonátoru, } g \text{ je koeficient zisku, } \alpha \text{ je koeficient ztrát}$$

Mezi důležité parametry laserové diody patří výkonová účinnost  $\eta$ , definovaná jako

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2) \quad \text{kde } \Phi \text{ je vysílaný zářivý tok, } P \text{ je příkon}$$

Při měření s vyšším spektrálním rozlišením je na záznamu spektra vidět jemná namodulovaná struktura, tzv. podélné módy laserového rezonátoru. Pro vzdálenost vlnových délek módů platí vztah

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2LN} \quad (3) \quad \text{kde } N \text{ je grupový index lomu a } L \text{ je délka aktivní oblasti rezonátoru. Pro GaAs je } N = 4,5.$$

### Výsledky měření:

1, Nejdříve jsem proměřil voltampérovou charakteristiku a světelnou charakteristiku laseru.

Tabulka 1

Měření	$I$ [mA]	$er I$ [mA]	$U$ [V]	$er U$ [V]	$I$ [A]	$er I$ [A]
1	0,0	0,1	1,051	0,001	0,0	0,3
2	0,1	0,1	1,147	0,001		
3	0,2	0,1	1,175	0,001		
4	0,3	0,1	1,195	0,001		
5	0,4	0,1	1,219	0,001		
6	0,5	0,1	1,238	0,001		
7	0,7	0,1	1,263	0,001		
8	1,0	0,1	1,290	0,001		
9	2,0	0,1	1,342	0,001		
10	3,0	0,1	1,369	0,001		
11	4,0	0,1	1,391	0,001		
12	5,0	0,1	1,405	0,001		
13	6,0	0,1	1,420	0,001		
14	7,0	0,1	1,431	0,001		
15	8,0	0,1	1,441	0,001		
16	9,0	0,1	1,450	0,001		
17	10,0	0,1	1,459	0,001		
18	15,6	0,1	1,498	0,001	0,5	0,3
19	20,0	0,1	1,525	0,001	1,0	0,3
20	30,0	0,1	1,578	0,001	1,3	0,3
21	40,0	0,1	1,624	0,001	2,0	0,3
22	50,1	0,1	1,667	0,001	3,0	0,3
23	60,0	0,1	1,706	0,001	4,0	0,3
24	70,0	0,1	1,744	0,001	5,3	0,3
25	80,0	0,1	1,780	0,001	7,0	0,3
26	90,0	0,1	1,815	0,001	9,0	0,3
27	100,0	0,1	1,848	0,001	12,5	0,3
28	105,0	0,1	1,864	0,001	15,7	0,3
29	110,1	0,1	1,880	0,001	22,3	0,3
30	113,0	0,1	1,888	0,001	31,7	0,3
31	115,5	0,1	1,895	0,001	43,0	0,3
32	118,0	0,1	1,902	0,001	58,0	0,3

kde  $I_I$  je proud procházející laserovou diodou,  $er I_I$  jeho chyba,  $U$  napětí na ní,

er  $U$  jeho chyba,  $I_2$  proud protékající fotodiodou, er  $I_2$  jeho chyba

Měřil jsem napětí na laserové diodě pomocí digitálního voltmetru (chybu jsem odhadl na 0,001 V) a proud procházející diodou (pomocí digitálního ampérmetru, chybu jsem odhadl na 0,1 mA).

Pomocí galvanometru jsem měřil proud protékající fotodiodou monitorující světelný výkon laseru. Chybu měření jsem odhadl na 0,3  $\mu$ A. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v *tabulce 1*. Ze známého světelného toku při  $I = 115 \text{ mA}$  ( $\Phi = 0,5 \text{ mW}$ ) jsem pak určil světelnou charakteristiku laseru (*graf 1*). Voltampérová charakteristika je zakreslena v *grafu 2*.

Z *grafu 1* jsem v programu Origin odečetl hodnotu prahového proudu  $i_0$  a chybu jsem odhadl:

$$i_0 = (108 \pm 2) \text{ mA}$$

**2.** Pomocí Hg výbojky jsem ocejšoval monochromátor. Zaznamenával jsem intenzitu světla dané vlnové délky na natočení mřížky. Šířka štěrby byla 0,01 mm. Závislost jsem zaznamenal pomocí zapisovače do *grafu 3*. S pomocí tabulek [2] jsem přiřadil jednotlivým peakům vlnové délky a zaznamenal do *tabulky 2*. Chybu odečtu polohy peaku jsem odhadl na 0,02 mm. Pak jsem určil pomocí lineární regrese okalibroval stupnici monochromátoru:

Tabulka 2

[nm]	x [mm]
404,7	17,60
407,8	17,65
435,8	18,18
491,6	19,24
546,1	20,26
577,0	20,84
579,0	20,88

x počet dílků na stupnici monochromátoru

$$\lambda = A \cdot x + B \quad (4) \quad A = (53,1 \pm 0,1) \text{ nm/mm} \quad B = (-529 \pm 1) \text{ nm}$$

**3.** Změřil jsem emisní spektrum polovodičového laseru při 80 mA, 110 mA a 118,1 mA proudu laserem. Šířka štěrby byla 0,2 mm. Spektrum jsem zaznamenal pomocí zapisovače do *grafu 4*. Z tohoto grafu jsem odečetl počet dílků na monochromátoru pro čerpací proud 118 mA (chybu odečtení jsem odhadl na 0,02 dílku) a dosazením do *vztahu (4)* určil odpovídající vlnovou délku stimulované emise:

$$\lambda = (821 \pm 4) \text{ nm}$$

**4.** Modovou strukturu jsem naměřil při šířce štěrby 0,045 mm. Měření jsem zaznamenal do *grafu 5*. Chybu odečtu polohy peaku jsem odhadl na 0,001 dílku a šířky peaku na 0,0005 dílku. Podle *vztahu (4)* jsem určil příslušné vlnové délky a dosazením do rovnice (3) jsem určil délku rezonátoru. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v *tabulce 3*.

Tabulka 3

Měření	x	$\Delta x$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]	$\Delta \lambda$ [nm]	er $\Delta \lambda$ [nm]	L [mm]	er L [mm]
1	25,349	0,0073	817,0	3,5	0,385	0,028	0,193	0,014
2	25,354	0,0062	817,3	3,5	0,330	0,028	0,225	0,019
3	25,360	0,0062	817,6	3,5	0,330	0,028	0,225	0,019
4	25,366	0,0062	818,0	3,5	0,330	0,028	0,225	0,019
5	25,372	0,0057	818,2	3,5	0,303	0,028	0,246	0,022
6	25,378	0,0062	818,6	3,5	0,330	0,028	0,225	0,019
7	25,384	0,0062	818,9	3,5	0,330	0,028	0,226	0,019
8	25,389	0,0062	819,2	3,5	0,330	0,028	0,226	0,019
9	25,395	0,0062	819,5	3,5	0,330	0,028	0,226	0,019
10	25,401	0,0062	819,8	3,5	0,330	0,028	0,226	0,019
11	25,407	0,0057	820,1	3,5	0,303	0,028	0,247	0,023
12	25,413	0,0057	820,4	3,5	0,303	0,028	0,247	0,023

13	25,419	0,0057	820,8	3,5	0,303	0,028	0,247	0,023
14	25,425	0,0057	821,1	3,5	0,303	0,028	0,248	0,023
Měření	x	$\Delta x$	$\lambda$ [nm]	er $\lambda$ [nm]	$\Delta \lambda$ [nm]	er $\Delta \lambda$ [nm]	L [mm]	er L [mm]
15	25,431	0,0062	821,4	3,5	0,330	0,028	0,227	0,019
16	25,436	0,0062	821,6	3,5	0,330	0,028	0,227	0,019
17	25,442	0,0057	822,0	3,5	0,303	0,028	0,248	0,023
18	25,448	0,0057	822,3	3,5	0,303	0,028	0,248	0,023
19	25,454	0,0062	822,6	3,5	0,330	0,028	0,228	0,019
Ø							0,232	0,023

kde x je počet dílků na stupnici monochromátoru (poloha peaku),  $\Delta x$  šířka peaku,  $\lambda$  odpovídající vlnová délka, er  $\lambda$  její chyba,  $\Delta \lambda$  šířka peaku, er  $\Delta \lambda$  její chyba, L délka rezonátoru, er L její chyba

Výsledná délka rezonátoru je  $L = ( 0,23 \pm 0,02 ) \text{ mm}$ .

5, Z grafu 2 jsem odečetl v Originu hodnotu napětí pro čerpací proud 115 mA:  $U = ( 1,894 \pm 0,001 )$   
V. Dosazením do vztahu (2) jsem určil výkonovou účinnost laseru:

$$\eta = 0,23 \%$$

### Diskuse:

Největších chyb jsem se dopustil při odečítání z grafů nakreslených pomocí zapisovače. Při vzrůstu napětí roste prostorová delokalizace vlny. To však podle Fourierovy analýzy vede k zúžení spektra tohoto signálu ( tomu odpovídá graf 4 ).

Při proměřování modové struktury je zvolena menší šířka štěrbin, aby se zmenšil interval vlnových délek štěrbinou procházejících. Fotonásobič pak detekuje přesněji vlnovou délku vybranou pomocí mřížky.

### Závěr:

- 1, Světelná charakteristika polovodičového laseru je zakreslena v grafu 1. Voltampérová charakteristika je zakreslena v grafu 2. Prahový proud je  $i_o = ( 108 \pm 2 ) \text{ mA}$ .
- 2, Kalibrační rovnice monochromátoru je  $\lambda = A \cdot x + B$  ;  $A = ( 53,1 \pm 0,1 ) \text{ nm/mm}$ ;  $B = ( -529 \pm 1 ) \text{ nm}$
- 3, Emisní spektrum je zakresleno v grafu 4. Vlnová délka stimulované emise je  $\lambda = ( 821 \pm 4 ) \text{ nm}$ .
- 4, Délka aktivní oblasti rezonátoru je  $L = ( 0,23 \pm 0,02 ) \text{ mm}$ .
- 5, Výkonová účinnost laseru je  $\eta = 0,23 \%$ .

### Použitá literatura:

- [1] Fyzikální praktikum III. Optika, I.Pelant, J.Fiala, J.Pospíšil, J.Fährnich Karolinum Praha 1993
- [2] Fyzikální a matematické tabulky J.Brož, V.Roskovec, M.Valouch SNTL Praha 1980
- [3] <http://www.mff.cuni.cz/iso/study/xbk/zfp/home.htm> F III, Úloha 15, Studijní text