

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 15

Název.: Studium polovodičového GaAs/GaAlAs laseru

Měřil.: Michal Švanda..... dne: ...26. dubna 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 okulibrujte stupnici monochromátoru.
3. Změřte emisní spektrum polovodičového laseru při 80 a 118 mA proudu laserem. Určete vlnovou délku stimulované emise a diskutujte kvalitativní změny změny na spektrech při změně napájecího proudu.
4. Z modové struktury emisního spektra laseru určete délku aktivní oblasti rezonátoru. Diskutujte, proč je volena úzká štěrbinová monochromátoru.
5. Určete výkonovou účinnost laseru pro $I=115$ mA.

Teoretický úvod

Polovodičový injekční laser je čerpán elektrickým proudem procházejícím PN přechodem v propustném směru. Při průchodu proudu polovodičovým přechodem vzniká při malém proudu pouze spontánní emise, při zvyšování proudu dojde při určité hodnotě i_0 (prahový proud) ke stimulované emisi, což se projeví zesílením vlnových délek odpovídajících vlnovým délkám stimulované emise.

Důležitým parametrem takového polovodičového laseru (laserové diody) je výkonová účinnost η , která je definována:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \quad [\text{R1}]$$

kde Φ je zářivý tok při dodávaném příkonu $P=U.I$, kde U a I jsou napětí a proud tekoucí do diody.

Při měření emisního spektra užší štěrbinou lze zjistit namodulovanou jemnou strukturu – tzv. podélné módy laserového rezonátoru. Z jejich vzdálenosti lze odhadnout aktivní délku rezonátoru l:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2n_G l}, \quad [\text{R2}]$$

je vlnová délka, na které rozdíl určujeme, a n_G grupový index lomu aktivní části laseru.

Podrobný popis aparatury viz [L1].

Výsledky měření

Proměřil jsem voltampérovou a světelnou charakteristiku polovodičové diody v rozsahu proudu 0÷118 mA. Měření shrnuje tabulka [T1]. Chyby proudu i napětí jsou stanoveny odhadem jako polovina nejmenšího dílku stupnice a jsou chybami maximálními.

Charakteristiky jsou vyneseny do grafů [G1] a [G2]. V grafu [G2] je zvětšena lineární část světelné charakteristiky a proložena lineární regresí přímka, která protíná proudovou osu v bodě $i_0=(108\pm 5)$ mA. Chyba takto stanoveného prahového proudu je stanovena z chyb koeficientů lineární regrese provedené programem Origin 5.0 (relativní chyby jsem sečetl ve čtvrcích).

Pomocí Hg výbojky jsem provedl kalibraci monochromátoru. Pro pracovní účely jsem vynesl do sloupcového grafu [G3] tabelované hodnoty spektrálních čar rtuti z [L1] strany 114 a porovnával jejich tvar se spektrem získaným zapisovačem (viz příloha). Získal jsem tak kalibrační tabulku [T2], vnesenou do grafu [G4]. Proložená lineární závislost dává přímou možnost přepočtu vlnové délky v dílcích stupnice monochromátoru na nanometry.

$$\lambda[\text{nm}] = (-53,6 \pm 0,5) * \lambda[\text{dílků}] + (1523 \pm 9)$$

Pomocí této kalibrace jsem určil vlnovou délku stimulované emise laserového svazku (viz tabulka [T3]).

$$\lambda (118 \text{ mA}) = (160,0 \pm 1,8) \text{ nm}$$

$$\lambda (80 \text{ mA}) = (162,1 \pm 1,9) \text{ nm}$$

Chyby jsou stanoveny především z chyb koeficientů lineární regrese, ale také z chyb odečtu z grafu zapisovače, kde jsem chybu stanovil jako 0,01 dílku pro ostrý peak (118 mA) resp. 0,1 dílku pro neostrý peak (80 mA). Tyto (relativní) chyby jsem pro výpočet celkové chyby sečetl ve čtvercích.

Při dalším měření jsem proměřil modovou strukturu spektra laseru (viz příloha). Odečtem z grafu zapisovače jsem určil spektrální délku modu na $\Delta\lambda = (0,32 \pm 0,02) \text{ nm}$. Z grafu jsem odečetl šířku 59 modů s přesností $\pm 0,02$ dílku a započel ještě chybu směrnice člena lineární regrese. Výpočtem podle [R2] pak získáme délku aktivního prostředí:

$$L = (9,1 \pm 0,5) \mu\text{m},$$

chyba je stanovena z chyb jednotlivých členů vystupujících ve vzorci [R2].

Pro hodnotu proudu 115 mA procházejí laserem jsem stanovil výkonovou účinnost podle vzorce [R1] (viz tabulka [T5]). Výkonová účinnost proměřované laserové diody je

$$\eta = (0,23 \pm 0,01)\%$$

chyba je stanovena z chyb jednotlivých členů vystupujících ve vzorci [R1].

Diskuse

Z grafů ze zapisovače přiložených v příloze je zřejmé, že spektrum laseru při proudu pod prahovou hodnotou je zřetelně širší, než při proudu nad prahovou hodnotou. Také rozdíl intenzit je značný, při přenásobení citlivostí zapisovače a napětí na fotonásobiči vyjde rozdíl v jasech kolem čáry odpovídající stimulované emisi asi dvě stě násobný.

V [L1] je uvedeno, že by se měla vlnová délka stimulované emise pohybovat kolem 810 nm. Vlnová délka stimulované emise určená mým měřením je kolem 160 nm.

Bohužel nemohu najít ve svém měření natolik hrubou chybu, která by přenesla zjištěnou vlnovou délku laseru na druhou stranu spektra (z infračervené do ultrafialové).

Za zjištěnou nesrovnalost je odpovědná kalibrace monochromátoru. Srovnáním pracovního grafu [G3] a kalibračního grafu ze zapisovače zjistíme, že si jsou v zásadě podobné, především vzdálenostmi mezi

význačnými spektrálními čarami a přibližně též intenzitami jednotlivých čar (které ovšem nemusí úplně odpovídat, jak jsem zjistil např. při měření úlohy číslo 3 - Mřížkový spektrometr, ve které se také proměřuje rtuťová výbojka).

Přepočítal jsem tedy celé měření (chyby stanovovány stejně jako v případě výpočtů v sekci *Výsledky měření* tohoto referátu) tak, že jsem graf [G3] zrcadlově převrátil viz graf [G3a] a znovu provedl identifikaci spektrálních čar tak, aby "seděla" především vzdálenost mezi jednotlivými tabelovanými čarami ([L1] str. 144) - viz rubová strana kalibračního grafu ze zapisovače. Získal jsem novou kalibrační tabulku spektrálních čar:

| dílků | nm |
|-------|-------|
| 17,61 | 404,7 |
| 18,2 | 435,8 |
| 20,27 | 546,1 |

Při použití lineární regrese dostáváme novou regresní závislost (počítáno pomocí programu Microsoft Excel 97):

$$\lambda[\text{nm}] = (53,2 \pm 0,1) * \lambda[\text{dílků}] + (-532 \pm 2)$$

Z ní vypočítaná vlnová délka stimulované emise je pak:

$$\lambda (118 \text{ mA}) = (818 \pm 3) \text{ nm}$$

$$\lambda (80 \text{ mA}) = (816 \pm 5) \text{ nm},$$

což již odpovídá teoretickým předpokladům.

Přepočítaná délka modu zůstává stejná, protože na jejím výpočtu se podílí pouze směrnice člen regresní závislosti, tedy:

$$\Delta\lambda = (0,32 \pm 0,02) \text{ nm}$$

Díky jiné vlnové délce stimulované emise se mění délka aktivního prostředí ve vzorci [R2]. Výpočtem byla stanovena hodnota:

$$L = (233 \pm 14) \mu\text{m}$$

Chyba byla tedy ve špatné identifikaci čar na kalibračním grafu. Teď již výsledky odpovídají teoretickým předpokladům.

Závěr

1. Změřil jsem světelnou a voltampérovou charakteristiku laseru.

$$\text{Prahový proud: } I_0 = (108 \pm 5) \text{ mA}$$

2. Okalibroval jsem monochromátor.

$$\text{Kalibrační rovnice: } \lambda[\text{nm}] = (53,2 \pm 0,1) * \lambda[\text{dílků}] + (-532 \pm 2)$$

3. Změřil jsem emisní spektrum při dvou proudech 80 a 118 mA.

$$\text{Stimulovaná emise: } \lambda (118 \text{ mA}) = (818 \pm 3) \text{ nm}, \lambda (80 \text{ mA}) = (816 \pm 5) \text{ nm}$$

4. Změřil jsem modovou strukturu emisního spektra laseru.

$$\text{Délka aktivní části: } L=(233\pm 14) \mu\text{m}$$

5. Výkonová účinnost laseru pro $I = 115 \text{ mA}$:

$$\eta=(0,23\pm 0,01)\%$$

Literatura

[L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fährnich - Fyzikální praktikum III. - Optika