

# Nd:YAG laser buzený laserovou diodou

## Charakteristiky krystalu

Aktivní prostředí diodou čerpaného laseru tvoří Nd:YAG krystal. Mezi jeho základní charakteristiky patří absorpční spektrum a doba života elektronů na horní laserové hladině odpovídající požadované vlnové délce generovaného laserového záření.

Měření absorpčních spekter krystalů se běžně provádí za pomoci monochromátoru, ve kterém je obvykle zabudována mřížka jako disperzní element. Měření tohoto typu vyžadují složitější aparaturu s vysokou rozlišovací schopností a budou předmětem úlohy č. 7.

Měření v této úloze je založeno na dnes již dobře známých hodnotách absorpčních maxim krystalu Nd:YAG. Energetický diagram iontu  $\text{Nd}^{3+}$  v mřížce yttrium-hlinitého granátu obsahuje absorpční přechody pro emisní spektrum laserové diody použité v tomto experimentu. Maxima těchto absorpčních přechodů odpovídají vlnovým délkám 804,4 nm, 808,4 nm, 812,9 nm a 817,3 nm. Vyzařovaná vlnová délka z emisního spektra laserové diody závisí na teplotě diody a na proudu diodou protékajícím. Tím lze se změnou teploty při stálém proudu postupně měnit vlnovou délku dopadající na krystal. V závislosti na nalezení různých absorpčních maxim (transmitivních minim) lze usoudit, která vlnová délka odpovídá kterému maximu a při jaké teplotě a proudu je vyzařována.

Horní elektronová hladina, přechodem ze které je vyzařováno na vlnové délce 1064 nm, nese označení  ${}^4\text{F}_{3/2}$ . Elektrony se na této hladině mohou udržet relativně dlouho, což vytváří vhodné podmínky pro vznik inverze populace. Veličina, pomocí které se ten jev kvantifikuje, se nazývá doba života. Je to čas, za který poklesne množství elektronů na energetické hladině v důsledku spontánní emise na  $1/e$  počátečního stavu ( $1/e \sim 0,37$ ). Jestliže je Nd:YAG krystal opticky buzen periodicky, lze časové změny intenzity spontánní emise pozorovat pomocí detektoru na osciloskopu a ze časového poklesu na stínítku odečíst dobu života na horní laserové hladině.

## Charakteristiky budící laserové diody

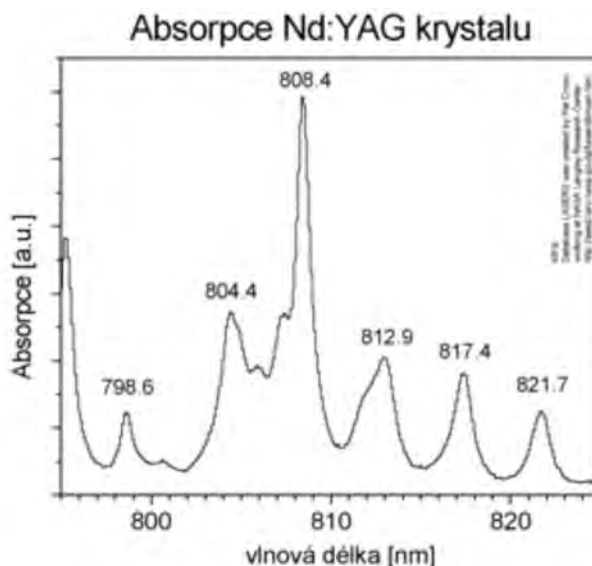
Základní parametry laserové diody představují: vyzařovaná vlnová délka, velikost vyzařovaného výkonu, teplota diody a proud diodou protékající. Tyto parametry nejsou nezávislé, jsou vzájemně provázány. Charakteristikami diody jsou jejich vzájemné závislosti.

Vyzařovaná vlnová délka z emisního spektra laserové diody závisí na teplotě diody a na proudu diodou protékajícím. Tím lze se změnou teploty při stálém proudu postupně měnit vlnovou délku dopadající na krystal. V závislosti na nalezení různých absorpčních maxim (transmitivních minim) lze usoudit, která vlnová délka odpovídá konkrétnímu maximu a při jaké teplotě je vyzařována. Jedno z těchto maxim je výraznější a to v důsledku vyšší účinnosti čerpání absorpčního přechodu u Nd:YAG krystalu. Znalost právě hodnoty absorpčního maxima resp. transmitivního minima nám dovoluje zajistit měření charakteristik laserové diody při zachování konstantní vlnové délky záření emitovaného diodou.

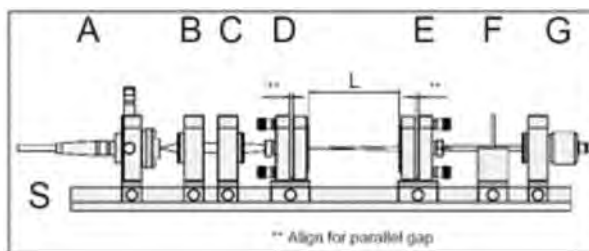
Z fyziky laserové diody je známo, že zvyšováním proudu diodou dochází ke zvýšení vlnové délky vyzařovaného záření. Lze se tedy snížením teploty diody vrátit znovu na původní vlnovou délku a to tak, že se např. nastaví opět optimální vlnová délka záření laserové diody, pro kterou je absorpce záření v Nd:YAG krystalu maximální. Tímto postupem je zajištěna konstantní vlnová délka záření diody pro různé budící proudy.

## Charakteristiky Nd:YAG laseru

Nd:YAG laser čerpaný diodovým laser se skládá z následujících komponent na optické lavici (S). Z čelně



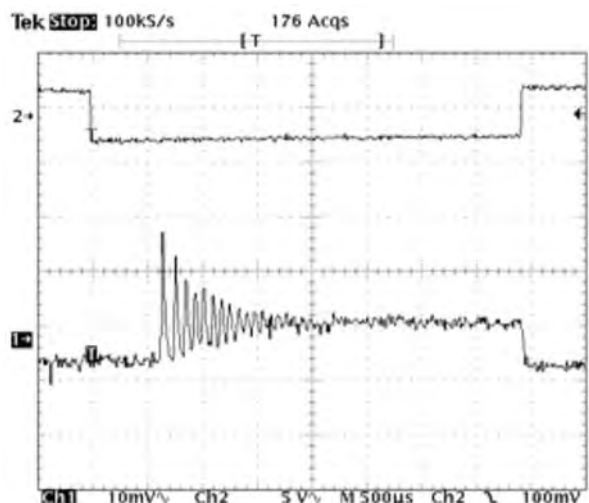
vyzařující laserové diody (A), ze sférické spojné čočky (B), sférické spojné čočky (C) a Nd:YAG krystalu (D) v optickém rezonátoru (D-E) tvořeném dielektrickou vrstvou na planární straně krystalu a sférickým polopropustným zrcadlem (E). Poloměr výstupního zrcadla je 100 mm a jeho reflektivita asi 98 % na 1064 nm. Na optické lavici je také detektor (G) pro detekci energie výstupního záření oddělený filtrem (F), který je horní propustí s hranou 900 nm. Řídící jednotka reguluje budící proud tekoucí diodou, proud tekoucí termoelektrickým chladičem diody a monitoruje její teplotu.



Nastavení laseru probíhá tak, že se pomocí čočky B svazek z diody přibližně kolimuje, potom se vloží čočka C do takto vytvořeného ohniska se umístí krystal D. Krystal má tvar válce o průměru 5 mm a délce 6 mm. Polohu čoček je vhodné zvolit tak, aby byla co nejlépe využita jejich apertura a zároveň nebyl svazek příčně omezován. Pomocí stavěcích šroubů se vytvoří rezonátor z prvků D a E, cílem je nastavit osy rezonátorových zrcadel na sebe tak, aby společně tvořily optickou osu celého rezonátoru. Lze si pomoci sledováním odrazu budícího záření od zrcadla E zpět v blízkosti krystalu pomocí CCD kamery z úlohy 4. Potom lze přes filtr F (blokuje čerpací záření) na detektoru G sledovat intenzitu laserového záření z krystalu Nd:YAG. Při sledování signálu z detektoru lze provést jemné doladění rezonátoru na maximum výstupní energie. Toto doladění je vhodné provádět blízko prahu laserové generace se zapnutou vnitřní modulací čerpací diody.

Po nastavení laseru na maximální výstupní energii při dané energii buzení čerpacího laseru je možné přistoupit k měření závislosti výstupní energie na budící energii. Nejsnazší je použít výsledků předcházející úlohy a čerpací diodu provozovat při proudech a teplotách odpovídajících vyzařování na vlnové délce s maximální absorpcí v Nd:YAG krystalu. Při zvětšování budícího proudu diodou poroste intenzita výstupního záření z Nd:YAG laseru. Tato závislost bude vykazovat práh, to znamená, že do určité hodnoty budícího proudu nebude prakticky žádné výstupní záření detekováno a od ní výše poroste přibližně lineárně. Prahová hodnota čerpání odpovídá situaci, kdy zisk po úplném průchodu rezonátorem vyrovná jeho energetické ztráty, čili intenzita zesílovaného záření je po úplném průchodu rezonátorem (tam i zpět) stejná jako na počátku.

Ačkoliv je čerpací diodový laser buzen v čase prakticky konstantním proudem, lze pozorovat jemnou strukturu časového průběhu výstupního záření v podobě krátkých nepravidelných impulsů, zejména těsně po zapnutí čerpání. Tento jev, anglicky zvaný spiking, je typický pro režim volné generace. Jeho teoretický rozbor je uveden v úloze o Nd:YAG laseru buzeném výbojkami. Pro pozorování tohoto jevu je vhodné provozovat laser těsně nad prahem generace a nastavit rezonátor tak, aby podporoval zejména základní příčný mód.



#### Cíle:

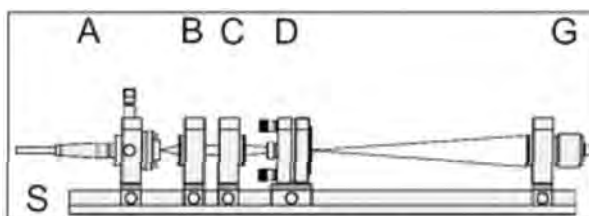
Stanovení závislosti absorpce (nebo propustnosti) Nd:YAG krystalu na vlnových délkách emisního spektra laserové diody. Na základě znalosti absorpčních čar Nd:YAG krystalu stanovení emisní čáry laserové diody, pro kterou je absorpce krystalu maximální (propustnost minimální). Stanovení doby života elektronů na hladině  $^4F_{3/2}$ .

Nalezení takových provozních podmínek diody, kdy vyzařuje na konstantní vlnové délce. Změření závislosti jejího výkonu při provozování v těchto podmínkách.

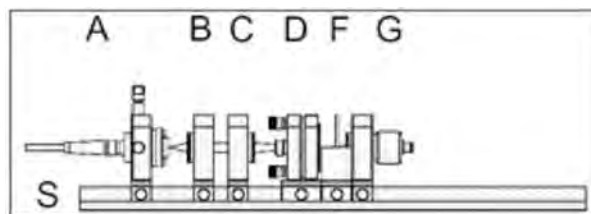
Nastavit a provozovat diodovým laserem čerpaný Nd:YAG laser v režimu volné generace. Provést pozorování a měření energetických a časových charakteristik výstupního záření.

#### Postup:

1. Postavit experimentální uspořádání podle tohoto schématu:
2. Funkcí obou čoček B a C je soustředit maximum energie z diody A do ohniska, do kterého bude vložen krystal D.



3. Po zapnutí čerpací diody (bez vnitřní modulace proudu), lze celou optickou soustavu nastavit pomocí konvertoru infračerveného záření - zobrazovací destičky.
4. Potom vložit do ohniska krystal.
5. Zapojit detektor (G) k zesilovači řídicí jednotky LDC01 a odpovídající výstup připojit do prvního kanálu osciloskopu.
6. Nastavit minimální teplotu laserové diody.
7. Nastavit proud diodou na maximální hodnotu. Umístit detektor (G) v dostatečné vzdálenosti, případně předřadit rozptylné prvky, aby nedocházelo k jeho saturaci, tj. signál byl nejvýše zhruba 1 V.
8. Nastavit proud diodou na pevně zvolenou hodnotu blízké maximální.
9. Postupně pomalu zvyšovat teplotu laserové diody a sledovat na osciloskopu změnu amplitudy signálu z detektoru (stejnou úroveň). Pokles, případně zvýšení, signálu odpovídá větší, respektive nižší, absorpci záření Nd:YAG krystalem. Při nastavování teploty je třeba vždy uvažovat reálnou dobu odezvy teplotní zpětné vazby (několik sekund).
10. Vrátit proud k bodu 7 a teplotu nastavit na právě nalezené absorpční maximum.
11. Postupně snižovat (zvyšovat) proud diodou o zvolený krok a přitom změnou (obvykle zvýšením) teploty diody nastavit opět optimální vlnovou délku záření laserové diody, pro kterou je absorpce záření Nd:YAG krystalem maximální. Tímto postupem je zajištěna konstantní vlnová délka záření diody udržováním v lokálním maximu absorpce.
12. Současným zaznamenáváním změn intenzity (trojice dat) získat závislost výkonu při konstatní vyzařované vlnové délce.
13. Nastavit proud diodou zpět na hodnotu z bodu 10 a teplotu na odpovídající nalezené absolutní absorpční maximum.
14. Experimentální uspořádání doplnit o filtr RG1000 umístěný těsně před detektor. Tím se odfiltruje přes krystal prošlé budící záření.
15. Na druhý kanál osciloskopu připojit referenční signál (Pump-out) a od tohoto kanálu spouštět.
16. Zapnout interní modulaci a její periodu na LDC01 nastavit tak, aby intenzita spontánní emise poklesla v každé periodě na nulu a odečíst čas, za který tato intenzita poklesne na  $1/e$  své počáteční hodnoty. Pro toto měření je třeba přisunout detektor velmi blízko krystalu, pak zase vrátit zpět.
17. Ze znalosti geometrických parametrů zrcadel rezonátoru vypočítat interval vzdáleností  $L$ , při kterých je rezonátor stabilní. Při výpočtu neuvážovat optickou mohutnost krystalu.
18. Výstupní svazek čerpací diody soustředit do ohniska pomocí spojných čoček B a C obdobně jako v předcházející úloze. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat efektivitě přenosu čerpací energie, stavebnice nemá velkou energetickou rezervu.
19. Do vytvořeného ohniska vložit krystal D.
20. Do vzdálenosti  $L$  ležící zhruba v polovině vypočteného intervalu stability umístit přední zrcadlo E.
21. Nastavit rezonátor tak, aby roviny označené na schématu \*\* byly rovnoběžné.
22. Sledovat intenzitu výstupního záření detektorem G a doladit rezonátor na maximální výstupní energii.
23. Měnit postupně proud a teplotu budící čerpací laser podle výsledků předcházející úlohy tak, aby byl krystal čerpán konstantní vlnovou délkou a měřit výstupní energii Nd:YAG laseru.
24. Přepnout diodu do pulzního režimu a nastavit budící energii těsně nad práh generace. Na osciloskopu potom pozorovat časový průběh výstupního záření.



### Požadované výsledky:

1. Do správně popsaného grafu vynést naměřené závislosti absorpce (v relativních jednotkách) Nd:YAG krystalu na teplotě laserové diody pro zvolený budící proud. Jednotlivým píkům přiřadit absolutní vlnové délky.
2. Doba života na elektronové hladině  $^4F_{3/2}$  neodymu.
3. Graf závislosti teploty diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce.
4. Graf závislosti výstupního výkonu laserové diody na proudu diodou při konstantní vyzařované vlnové délce.
5. Graf závislosti výstupní energie Nd:YAG laseru v závislosti na energii buzení (ne na teplotě nebo proudu) s vyznačením prahu laserové generace.
6. Okomentovaný náčrt jemné struktury obálky časového průběhu generovaného laserového záření v blízkosti prahu.