

Úloha 7

Závislost absorpčního spektra Yb:LuAG monokrystalu na teplotě

Pokročilé praktikum z laserové techniky 2015/2016
KFE, FJFI, ČVUT v Praze, Laboratoř T 244



Czech Technical University in Prague
Faculty of Nuclear Science and Physical Engineering
Břehová 7, 115 19 Prague 1, Czech Republic

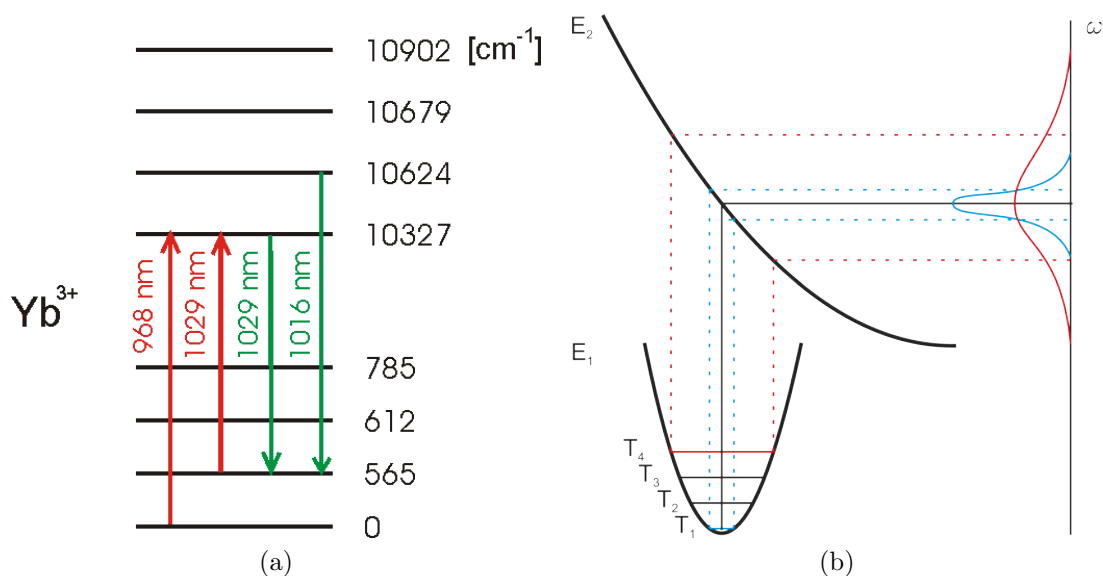
1 Vliv kryogenní teploty na vlastnosti aktivních prostředí

Aktivní prostředí pevnolátkových laserů dnes nejčastěji chladíme vodou. Při ochlazení aktivního prostředí pod 120 K (-150 °C) např. kapalným dusíkem s teplotou varu 77 K dostaneme laser, který označujeme jako kryogenně chlazený.

Důležité materiálové vlastnosti aktivních prostředí jsou tepelná vodivost K , koeficient teplotní roztažnosti α a změna indexu lomu s teplotou dn/dT . Většina prostředí se kryogenně chladí, protože jejich K roste a α a dn/dT klesá. Díky tomu je můžeme intenzivněji čerpat (a získat vyšší výstupní výkony) aniž bychom překročili práh poškození akt. prostředí, nebo deformovali svazek laseru tepelnou čočkou. S teplotou se mění také spektrální vlastnosti – v absorpčním a emisním spektru se mění intenzita, poloha a šířka píků a mění se doba života na horní laserové hladině. Např. rostoucí absorpční pík na dané vlnové délce umožní účinnější čerpání, ale musíme si dát pozor na to, aby pík nebyl užší, než emisní čára laserové diody, kterou prostředí čerpáme.

Důvody změn píků v absorpčním spektru jsou následující:

1. Intenzita píků se mění, protože obsazení energetických hladin se řídí Maxwell-Boltzmannovým zákonem; čím nižší teplota, tím více se obsazují nižší hladiny. Píky, které odpovídají přechodu z nižších hladin budou růst, zatímco píky začínající na vyšších hladinách budou klesat. Podle schématu na obrázku 1a bude absorpční pík Yb:YAGu na 968 nm růst a na 1029 nm klesat.
2. Šířka píků s klesající teplotou vždy klesá. Důvodem je to, že při nižších teplotách přispívá k danému přechodu menší spektrum energií (schématický přechod mezi dvěma energetickými hladinami je na obrázku 1b).
3. Poloha píků se mění, protože se s teplotou mění tepelná roztažnost matrice aktivního prostředí. Vzdálenost iontů ovlivňuje polohy energetických hladin a tím i frekvence odpovídající daným přechodům.



Obrázek 1: (a) – schéma přechodů v prostředí Yb:YAG, červeně absorpce, zeleně emise (b) – schéma změny šířky píků přechodu s teplotou, červeně vyšší teplota, modře nižší.

Největší nevýhodou kryogenně chlazených laserů je kondenzace plynů na aktivním prostředí. Tomu se vyhneme umístěním aktivního prostředí do vakua, které poskytuje také tepelnou izolaci. V této úloze k tomu použijeme do vakua vyčerpaný kryostat, který obsahuje rezervoár kapalného dusíku, držák vzorku, senzor teploty a odporový drát.

2 Zadání úlohy

Cíle úlohy

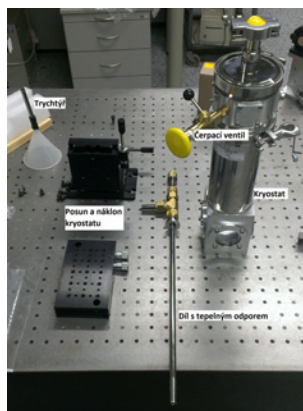
Seznámení se se systémem kryogenního chlazení a naměření absorpčních spekter Yb:LuAG monokrystalu chlazeného kapalným dusíkem pro několik různých teplot akt. prostředí.

Pomůcky

Kryostat VPF-100 s termostatem, čerpací stanice HiCube 80 ECO, vakuometr PKR-261, polystyrenová konvice, plastový trychtýř, kapalný dusík, Yb:LuAG monokrystal, spektrometr StellarNet pro vlnovou délku 500–1300 nm, zdroj bílého světla (halogenová lampa StellarNet), fokusační optika s irisovou clonkou, kolimační optika, optická vlákna.

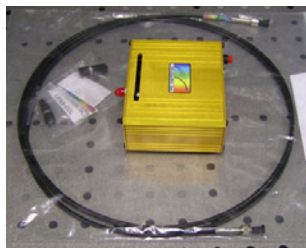


(a)

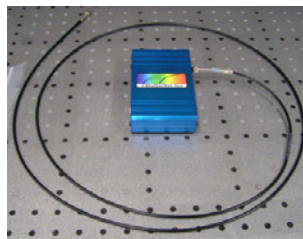


(b)

Obrázek 2: Pomůcky: (a) – čerpací stanice HiCube 80 ECO s turbomolekulární vývěvou a ovládacím panelem TC 110, (b) – Kryostat VPF-100 a držákem pro náklon a posuv a plastovým trychtýřem.



(a)



(b)



(c)



(d)

Obrázek 3: Pomůcky: (a) – halogenová lampa StellarNet, (b) – spektrometr StellarNet pro vlnové délky 500–1300 nm, (c) – vakuometr PKR-261, (d) – ovládací panel termostatu.

Postup měření

1. Vyčerpajte komoru kryostatu a vyneste do grafu závislost tlaku v komoře na čase.
 - (a) Vlnovcem spojte vývěvu a ventil kryostatu, otevřete čerpací ventil.
 - (b) Zapněte čerpání a softwarem zaznamenávejte tlak v komoře. Po dosažení 1 Pa uzavřete čerpací ventil kryostatu, vypněte čerpací proces a po dosažení 0 otáček i čerpací stanici.
2. Připojte ke kryostatu termostat s ovládáním.
3. Naplňte kryostat kapalným dusíkem a vyneste do grafu závislost teploty držáku na čase.
 - (a) Vyjměte z rezervoáru díl s tepelným odporem a přes trychtýř naplňte rezervoár dusíkem.
 - (b) Zapisujte teplotu na termostatu zhruba po 20 s intervalech a vyčkejte, až teplota držáku vzorků klesne na 78 K. Všimněte si chování tlaku v aparatuře. Nakonec vraťte do rezervoáru díl s tepelným odporem.
4. Sestrojte aparaturu k získání absorpčních spekter.
 - (a) Z jedné strany komory přiveďte vláknem a čočkami světlo z halogenové lampy, na druhé straně naved'te světlo čočkami a vláknem do spektrometru.
 - (b) Fokusační optiku světelného zdroje umístěte ke kryostatu tak, aby ohnisko leželo na čele monokrystalu, velikost ohniska nastavte irisovou clonkou. Kolimační optiku umístěte za kryostat tak, abyste prošle světlo dostatečně zachytili, saturaci spektrometru se vyhnete správným nastavením irisové clonky.
5. Zvolte si alespoň 5 pracovních teplot, které během experimentu použijete (např. 100 K, 150 K, 200 K, 250 K, 300 K) a nastavte na termostatu nejnižší z nich.
6. Naměřte transmisní spektrum aktivního prostředí pomocí halogenové lampy a spektrometru postupně pro všechny teploty.
 - (a) Před každým měřením pro danou teplotu zablokujte světlo vycházející z fokusační optiky, pozadí a odečtete ho od zobrazovaného signálu. Posuňte kryostat tak, aby světlo procházelo mimo monokrystal a zaznamenejte referenční spektrum, pomocí něhož pak můžete po přepnutí do transmisního režimu ukládat transmisní spektra monokrystalu pro každou teplotu.
 - (b) Po uložení transmisního spektra pro danou teplotu nastavte na termostatu kryostatu další teplotu, vyčkejte na ustálení a předchozí bod zopakujte.
 - (c) Ze znalosti délky monokrystalu a naměřených transmisních spekter dopočítejte absorpční spektra, identifikujte jednotlivé píky a zjistěte, jak se mění jejich poloha a výška s měnící se teplotou.

Požadované výsledky

Po provedení experimentu na základě uvedeného postupu sepište protokol o měření. Protokol musí mimo jiné obsahovat následující údaje:

1. Schéma experimentu (se vzdálenostmi jednotlivých elementů)
2. Graf závislosti tlaku v čerpané komoře na čase
3. Graf závislosti klesající teploty držáku při chlazení kapalným dusíkem na čase
4. Transmisní spektra monokrystalu pro všechny měřené teploty (závislost transmitance na vlnové délce pro každou teplotu, nejlépe v jednom grafu)
5. Absorpční spektra monokrystalu pro všechny měřené teploty (závislost absorpčního koeficientu ve správných jednotkách na vlnové délce, nejlépe v jednom grafu)
6. Graf závislosti polohy hlavních píků na teplotě
7. Graf závislosti výšky hlavních píků na teplotě

Literatura

D. C. Brown, „The promise of cryogenic solid-state lasers“, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 11 (3), 587 (2005).