

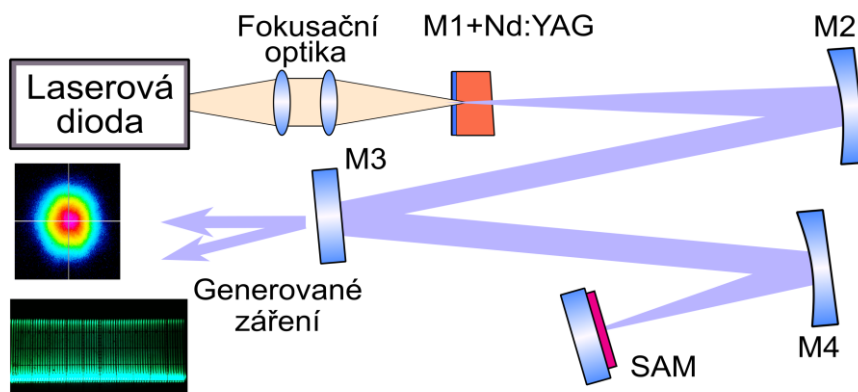
Diodově buzený Nd:YAG laser s pasivní synchronizací módů pomocí saturevatelného absorbéru na zrcadle

Úloha 3. pro pokročilé praktikum z LT na KFE, FJFI, ČVUT Praha

Instruktor: Prof. V. Kubeček, Ing. M. Jelínek
Pracoviště: Lab TN245

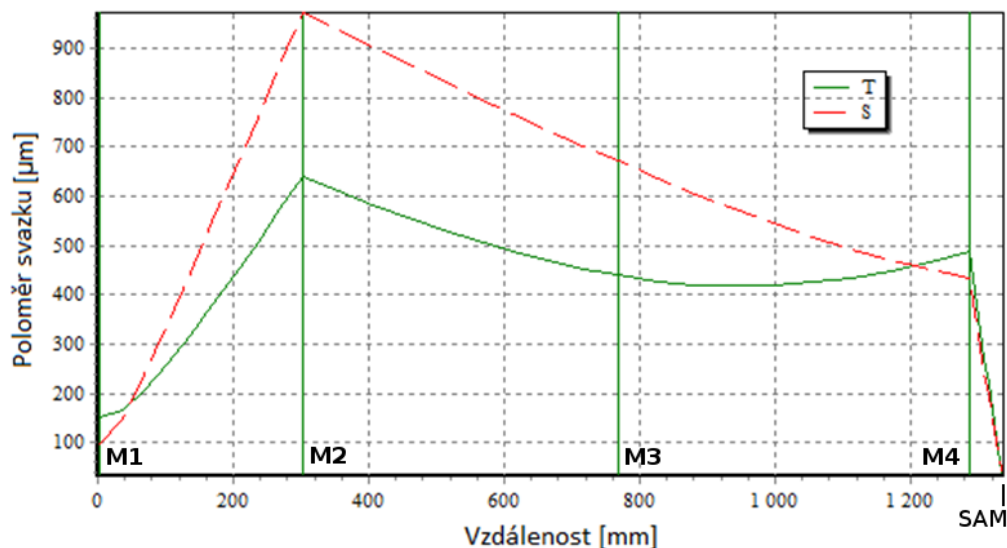
Cíl: Seznámení se s laserem pro generaci pikosekundových impulsů metodou pasivní synchronizace módů a měření výstupních charakteristik laseru

Schéma rezonátoru laseru je znázorněno na obrázku 1. Záření laserové diody (LD) o výkonu 2 W generující na vlnové délce 808 nm je pomocí vazební optiky L fokusováno do krystalu Nd:YAG skrz jedno čelo, na němž je napařeno dielektrické zrcadlo M1 o maximální reflektivitě na vlnové délce generace 1064 nm (HR @ 1064 nm). Lomený rezonátor je dále tvořen zrcadly, M2, M3, M4 a saturevatelným absorbérem na zrcadle SAM (semiconductor saturable absorber mirror). Nelineární reflektivita SAM zajišťuje docílení synchronizace módů. Výkon z rezonátoru je vyváděn částečně propustným výstupním zrcadlem M3 o odrazivosti 98 %.



Obr.1. Schéma rezonátoru laseru.

Laserový rezonátor byl navržen pomocí programu reZonator (<http://rezonator.orion-project.org>), podle něhož byly zvoleny vhodné vzdálenosti mezi jednotlivými elementy. Tyto vzdálenosti a úhly dopadu ovlivní rozložení pole v rezonátoru, to znamená rozměr základního příčného modu v jednotlivých místech rezonátoru. Vzdálenosti jsou voleny tak, aby velikost módu v krystalu odpovídala velikosti stopy čerpacího záření a zároveň intenzita záření dopadajícího na saturevatelný absorbér (SAM) převyšovala jeho saturační intenzitu. Každý vzorek polovodičového saturevatelného absorbéru vyžaduje pro svou činnost určitou hodnotu hustoty výkonu dopadajícího záření, což lze docílit právě velikostí stopy, respektive vzdáleností zrcadel. Výsledek počítačové simulace udávající příčný rozměr svazku v jednotlivých místech rezonátoru je uveden na obrázku 2. Velikost svazku na SAM je rozhodující pro docílení generace v režimu synchronizace módů. V našem uspořádání je poloměr svazku v krystalu cca 100 μm , na polovodičovém zrcadle cca 30 μm .



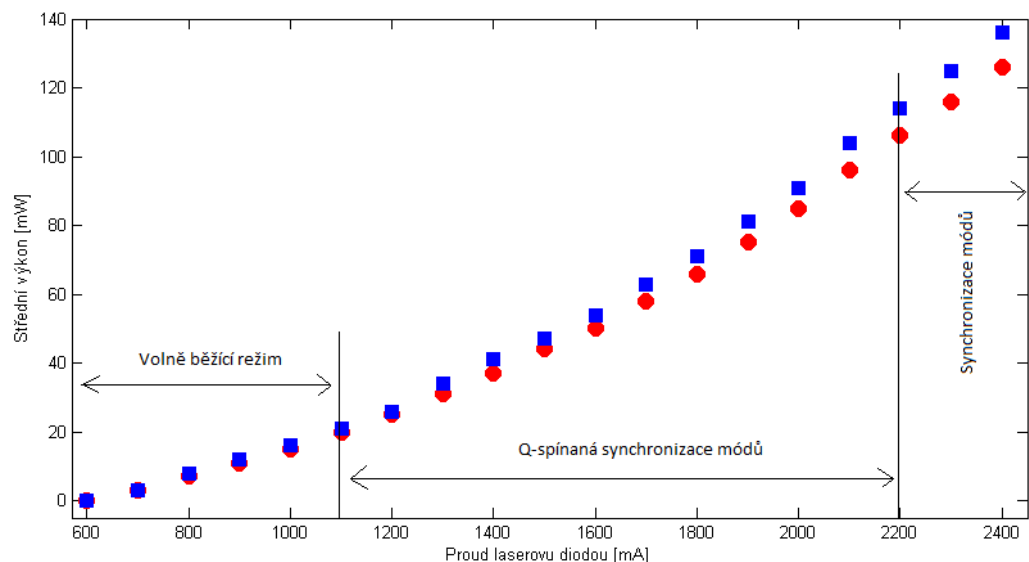
Obr. 2: Příčný rozměr svazku (poloměr základního příčného módu) v jednotlivých místech rezonátoru a na zrcadlech.

Pro módovou synchronizaci diodově i výbojkově buzených neodýmových laserů používáme dva typy polovodičových saturevatelných absorbérů. První struktura je transmisní a je navržena pro použití uvnitř rezonátoru pod Brewsterovým úhlem. Aplikace tohoto absorbérů ve výbojkově čerpaném Nd:YAG laseru, kde vzorek nahradil dříve používané kapalné saturevatelné barvivo pro režim módové synchronizace (popsáno například v článku [2]).

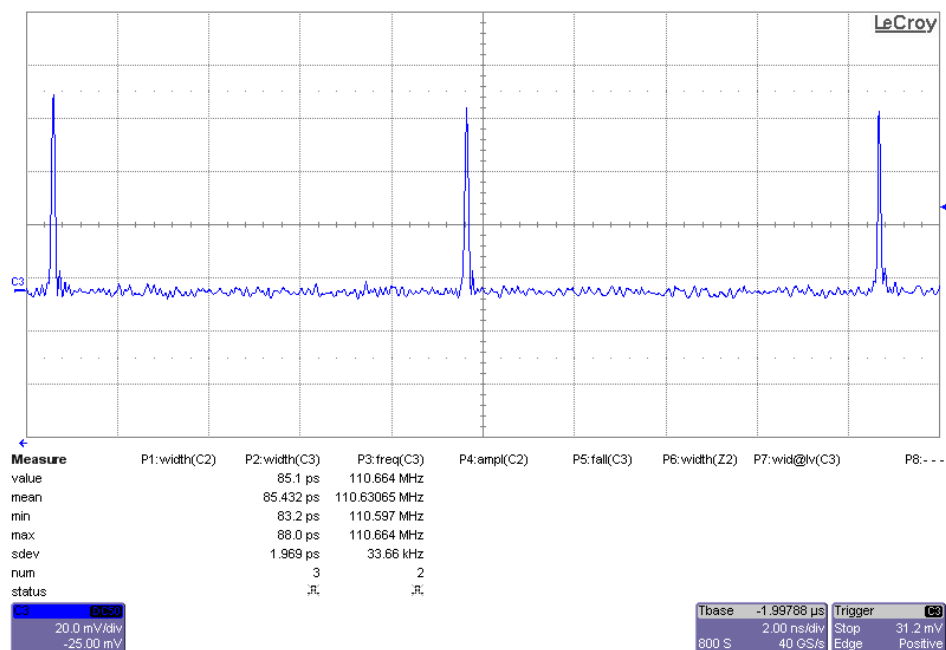
Druhá struktura je reflexní a byla použita jako koncové zrcadlo SAM našeho diodově buzeného laseru. Saturevatelný absorbér je deponován na Braggovské zrcadlo. Tento typ polovodičové struktury byl poprvé navržen U. Keller [3] a byl pojmenován antirezonanční Fabry-Perotův saturevatelný absorbér (AFPSA).

Příklad závislosti výstupního výkonu laseru na čerpacím výkonu znázorňuje obrázek 3. Výkon v každém svazku byl měřen wattmetrem Molelectron přímo za zrcadlem M3. Pro nízké úrovně čerpacího výkonu laser generuje v kontinuálním režimu a od čerpacího výkonu 1100 mW dochází ke generaci ultrakrátkých impulsů v režimu synchronizace módů. Zde ještě rozlišujeme mezi generací v režimu Q-spínané synchronizace módů (1100 – 2200 mA) a kontinuální synchronizací módů (2200 – 2400 mA)

Časová vzdálenost těchto impulsů odpovídá době dvojnásobného průchodu světelného impulsu rezonátorem, jak je ilustrováno na obrázku 4. Časovou diagnostiku výstupního záření lze provádět pomocí fotodiody připojené k osciloskopu. Přesnost měření délky jednotlivých impulsů je omezena analogovou šířkou pásma použitého osciloskopu a dále analogovou šířkou pásma fotodiody. Detaily lze nalézt v [3], případné možnosti zpřesnění zjištěné délky impulsu budou diskutovány v laboratoři.



Obrázek 1: Příklad měření středního výkonu laseru v závislosti na budícím proudu laserové diody. Modrá závislost naměřena za zrcadlem M3 ve směru od zrcadla M2; červená závislost ve směru od zrcadla M4.



Obr.4 Detail sledu impulsů v režimu kontinuální synchronizace módů. Měřeno osciloskopem LeCroy SDA9000 s fotodiodou EOT ET-3500.

Další důležitou charakteristikou výstupního svazku je také jeho prostorová struktura, kterou lze zaznamenat prostřednictvím CCD kamery (DataRay WinCamD).

Pokyny

1. Změřte vzdálenosti mezi jednotlivými prvky rezonátoru a nakreslete aktuální schéma.
2. S využitím příslušného programu (např. ReZonator) vypočtete profil módu TEM₀₀ (viz obr. 2).
3. Určete, v jakém intervalu vzdáleností SAM od zrcadla M4 bude rezonátor stabilní.
4. Změřte výstupní výkon za zrcadlem M3 pro oba svazky v závislosti na budícím proudu diody.
5. Změřte výstupní výkon za zrcadly M2 a M4 - pouze pro maximální čerpání.
6. Stanovte reflektivity resp. propustnosti jednotlivých zrcadel.
7. Proveďte časovou diagnostiku výstupního záření v optimálně běžícím režimu synchronizace módů s využitím dvou osciloskopů (např. Tektronix DPO3032 300 MHz, LeCroy SDA9000 9 GHz) s příslušnými fotodiodami. Porovnejte naměřené délky impulsů, případně zkuste zpřesnit měření výpočtem.
8. Vypočtete hustotu energie a špičkového výkonu v krystalu Nd:YAG a na SAM s využitím co nejpřesněji určené skutečné délky impulsu.
9. Zaznamenejte prostorovou strukturu výstupního svazku v optimálně běžícím režimu synchronizace módů.
10. Zpracujte výsledky do protokolu o rozsahu cca 5 stran, formát .doc nebo .pdf.

Doporučená literatura

- [1] A. Dombrovský et al.: Workshop ČVUT, FYZ 041, 2002.
- [2] A. Dombrovský et al.: Proceedings of SPIE, Vol.5036, s.113-118, 2002.
- [3] U. Keller: IEEE Journal of selected topics in QE, Vol.2, No.3, 1996.
- [4] M. Jelínek et al.: Single Shot Diagnostics of Quasi-Continuously Pumped Picosecond Lasers Using Fast Photodiode and Digital Oscilloscope, v knize Photodiodes – Communications, Bio-Sensings, Measurements and High-Energy Physics, Intech, 2011.