

Měření parametrů mikročipového laseru a nelineární transmise saturovatelných absorbérů

Úvod

Lasery umožňují doručit na přesně vymezené místo přesnou dávku energie. Charakter interakce, tj. zda dosáhneme ohřátí, roztavení, nebo odpaření materiálu, závisí na okamžité hustotě výkonu dopadajícího laserového záření. Hustotu výkonu lze zvýšit fokusací laserového svazku. Okamžitý výkon záření lze mnohonásobně zvýšit použitím krátkých pulzů. Jedna z metod generace krátkých pulzů (pasivní Q-spínání a pasivní módová synchronizace) využívá saturovatelných absorbérů v rezonátoru laseru, což je studováno v úloze č. 1 v případě Nd:YAG laseru s pulzním výbojovým buzením, kde byla opakovací frekvence výstupních impulsů dána frekvencí buzení. Pasivní Q-spínání lze aplikovat i v případě kontinuálního buzení.

Mikročipové lasery

Velmi zajímavým typem takového laseru jsou diodově buzené mikročipové lasery, kde jsou aktivní prostředí, pevnolátkový saturovatelný absorbér a zrcadla rezonátoru integrována do jediného elementu o tloušťce pouze několika milimetrů. Takto krátký rezonátor má za důsledek generaci extrémně krátkých gigantických impulsů, jejichž délka může být kratší než 1 ns. Přestože je střední výkon takovýchto laserů podstatně nižší než 1 W, pulzní režim generace umožňuje dosažení špičkového výkonu v impulsu v řádu desítek kW. Pokud je svazek dále fokusován, intenzita (tedy hustota výkonu) může v ohnisku dosahovat až desítek MW/cm². Takové intenzity jsou již dostatečné k vyvolání nelineárně optických jevů, jako je např. generace druhé harmonické frekvence. Příkladem mikročipového laseru je laser Nanolase model NP-02012-100, využívající jako aktivní prostředí krystal Nd:YVO₄ a jako saturovatelný absorbér krystal Cr:YAG.

Saturovatelný absorbér

Saturovatelný absorbér (SA) je prostředí vykazující silnou nelinearitu transmitance v závislosti na intenzitě dopadajícího záření. Transmitance je závislá na intenzitě dopadajícího záření tak, že daná látka tlumí vysokou intenzitu méně než nízkou intenzitu, tj. prostředí se stává s nárůstem intenzity dopadajícího světelného záření propustnějším. Nárůst propustnosti SA se často nazývá vybělení nebo prosvětlení dané látky.

Saturovatelný absorbér je charakterizován třemi základními parametry: hloubkou modulace (A_0), saturační intenzitou (I_{sat}) a nesaturovatelnými ztrátami (A_{ns}). Předpokládáme-li dvou-hladinový saturovatelný absorbér, lze absorpci závislou na intenzitě $A(I)$ popsat následujícím vztahem:

$$A(I) = \frac{A_0}{1 + \frac{I}{I_{\text{sat}}}} + A_{\text{ns}}$$

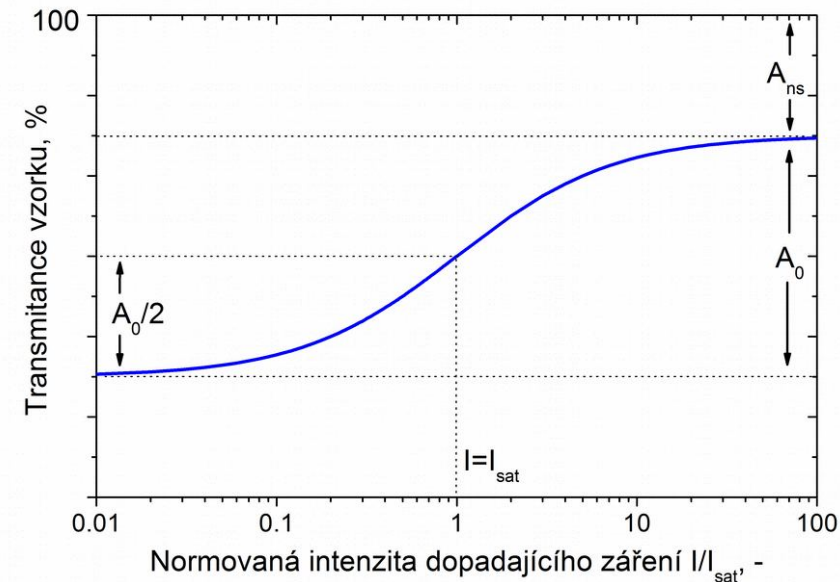
Hloubka modulace (saturovatelná absorpce) popisuje tedy rozdíl mezi maximální a minimální transmisí SA. Nesaturovatelné ztráty představují konstantní úroveň ztrát, kterou nelze saturovat. Do nesaturovatelných ztrát A_{ns} lze zahrnout jednak Fresnelovské ztráty (odrazy) na čelech vzorku a dále například ztráty dané rozptylem světla ve vzorku. Saturační intenzita I_{sat} je definována jako

taková intenzita dopadajícího záření, při níž satureovatelná absorpce klesne na polovinu své maximální hodnoty.

Transmitanci vzorku lze potom vypočítat dle vztahu:

$$T(I) = 1 - A(I)$$

Nelineární transmitance satureovatelného absorbéru v závislosti na intenzitě dopadajícího záření normalizované k saturační intenzitě (I/I_{sat}) je znázorněna na následujícím obr. 1.



Obr.1 Nelineární transmise satureovatelného absorbéru v závislosti na intenzitě dopadajícího záření normalizované k saturační intenzitě (I/I_{sat})

Poznámka: u některých speciálních typů satureovatelných absorbérů, například polovodičových satureovatelných absorbérů na zrcadle (SESAM) může být saturační intenzita definována jiným způsobem.

Pro použití SA pro generaci krátkých pulzů je nutné zvolit takou konfiguraci rezonátoru, aby intenzita záření v místě, kde je umístěn SA, byla srovnatelná se saturační intenzitou. Následně může dojít k prosvětlení SA, které znamená modulaci činitele jakosti rezonátoru Q . Prvními SA byly roztoky látek, v současnosti se z důvodů delší životnosti a snadnější manipulovatelnosti používají pevné látky, jako jsou např. krystaly Cr:YAG nebo LiF s barevnými centry F2.

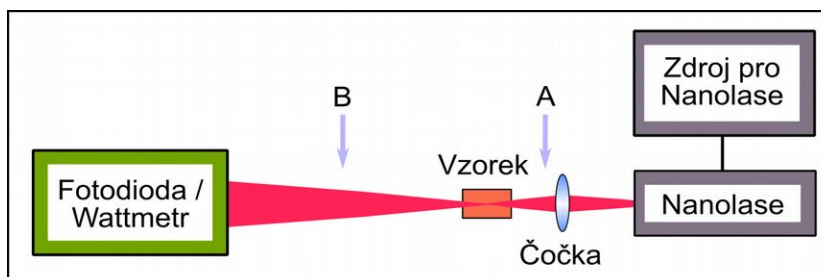
Měření výstupních parametrů mikročipového laseru Nanolase a nelineární transmise absorbérů LiF:F2 je předmětem dané úlohy.

Principy měření nelineární transmise

Pro měření nelineární transmise používáme pulzní laser. Různých hodnot hustoty výkonu dopadajících na vzorek lze dosáhnout

- útlumem dostatečně intenzivního dopadajícího záření pomocí filtrů,
- fokusací dopadajícího záření a následným umisťováním vzorku do míst s různou velikostí laserového svazku – tento princip využijeme i v této úloze.

Schéma uspořádání měření je znázorněno na obr. 2. Výstupní svazek z laseru Nanolase je fokusován čočkou o ohniskové vzdálenosti 25 mm. Předpokládáme, že výstupní svazek má tvar základního příčného módu TEM 00 (Gaussovský svazek). Matematický popis Gaussovského svazku je uveden v příloze tohoto návodu.



Obr. 2 Principiální schéma uspořádání měření.

Úkoly a postup:

Měření parametrů laseru

- Pomocí wattmetru změřte střední výkon na výstupu laseru P_{str} .
- Pomocí fotodiody a osciloskopu změřte délku T_p a opakovací frekvenci f výstupních pulsů.
- Z naměřených hodnot vypočítejte energii jednoho impulsu E_p a špičkový výkon v impulsu P_p za předpokladu jeho délky rovné 810 ps (FWHM) uvedené v technické dokumentaci.
- Porovnejte naměřené hodnoty s technickou specifikací laseru. Proč neodpovídá vámi naměřená délka této kratší hodnotě uvedené v technické dokumentaci mikročipového laseru?

Měření nelineární transmise krystalů LiF:F2

- Umístěte měřený vzorek na posuvný stojánek na optické lavici co nejblíže k fokusační čočce (bod A) a pomocí wattmetru sledujte procházející výkon v závislosti na poloze vzorku až do bodu B vzdáleném přibližně 30 cm od čočky.
- Experimentálně nalezněte polohu ohniska svazku, tj. místo, kde vzorkem prochází nejvyšší výkon. Proveďte měření transmitance vzorku v závislosti na vzdálenosti od nalezeného ohniska až do bodu B. Výsledná křivka by měla tvarem odpovídat křivce na obr. 1. V okolí krčku proveďte měření s menším krokem (hustěji), v oblasti malých změn transmitance můžete měření provádět s větším krokem (body dále od sebe). Jako detektor použijte wattmetr.
- Opakujte měření z předchozího bodu s tím rozdílem, že použijete fotodiodu a osciloskop.
- Spočítejte konfokální parametr svazku b a Rayleighovu vzdálenost z_0 v oblasti krčku. Předpokládejte poloměr svazku v krčku (ohnisku) $w_0 = 75 \mu\text{m}$.
- Spočítejte hustotu výkonu laserového záření v jednotlivých místech měření (bod 2 a 3).
- Naměřené závislosti transmitance na vzdálenosti a hustotě dopadajícího výkonu na vzorek vynesete do grafu a určete hodnotu saturační intenzity, hloubky modulace a nesaturovatelných ztrát za předpokladu, že maximální transmise byla dosažena. Proveďte pro každý z použitých detektorů.

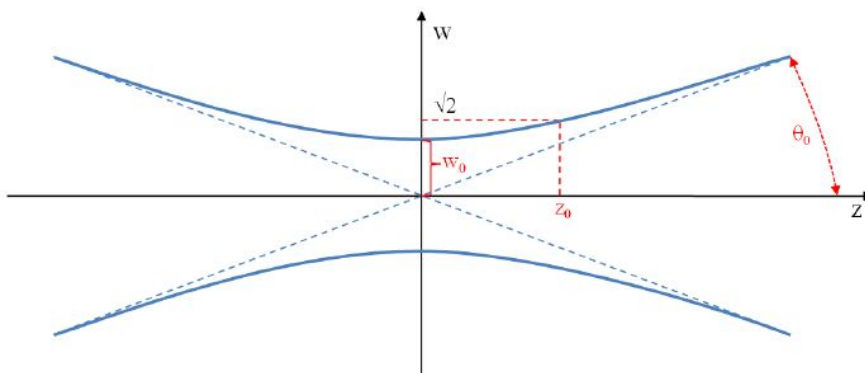
Požadované výsledky:

1. Schéma uspořádání rezonátoru mikročipového laseru Nanolase.
2. Tabulka naměřených hodnot parametrů laseru Nanolase (E_p , P_p , P_{str} , f , T_p) a jejich porovnání s hodnotami z technické specifikace.
3. Tabulka naměřených hodnot transmitance daných dvou vzorků.
4. Grafy nelineární transmitance daných vzorků pro oba detektory. Na ose x uveďte vzdálenost od fokusační čočky a vypočtené hodnoty hustoty dopadajícího výkonu.
5. Hodnoty saturační intenzity, nesaturovatelných ztrát a hloubky modulace pro oba vzorky.
6. Tabulka hodnot poloměru svazku a hustoty výkonu dopadajícího na vzorek v krčku, ve vzdálenosti z_0 , 10 cm a 30 cm.

Bezpečnost práce s laserem:

1. Při práci používejte předepsané ochranné brýle.
2. Závěrku laseru otevírejte pouze na dobu měření.
3. Laserový svazek nikdy nesledujte pouhým okem, ale používejte vizualizační destičku, speciální infračervenou kameru nebo fotodetektor.
4. Optická dráha laserové paprsku má být přímá a co nejkratší a musí být ukončena černou deskou nebo příslušným fotodetektorem.

Příloha: Parametry Gaussovského svazku



Obr. 3 Základní parametry Gaussovského svazku

Závislost poloměru svazku w na vzdálenosti z od místa krčku lze vyjádřit následovně:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2} \quad z_0 = \frac{b}{2} = \frac{\pi w_0^2}{M^2 \lambda}$$

kde λ vlnová délka, w_0 je poloměr svazku v krčku, z_0 je Rayleighova vzdálenost, b je konfokální parametr a M^2 je parametr kvality svazku.

Při výpočtech v této úloze předpokládejte ideální Gaussovský svazek s parametrem $M^2 = 1$.

Poznámka: detailní popis Gaussovského svazku lze nalézt například v návodu k úloze 7: Měření příčného profilu Gaussovského svazku metodou ostré hrany.