

# Stavba Nd:YAG laseru

J. Hrach, F. Nekovář, M. Pospíšilová

19. června 2012

## Abstrakt

V článku se zabýváme stavbou Nd:YAG laseru, zvýšením jeho stability a provedením několika experimentů. Zvýšili jsme špičkový výkon laseru pomocí Q-spínání, pomocí nelineárního krystalu jsme vygenerovali druhou harmonickou světelného vlnění, které laser generuje, a podařilo se nám provozovat laser v režimu synchronizace módů.

## 1 Úvod

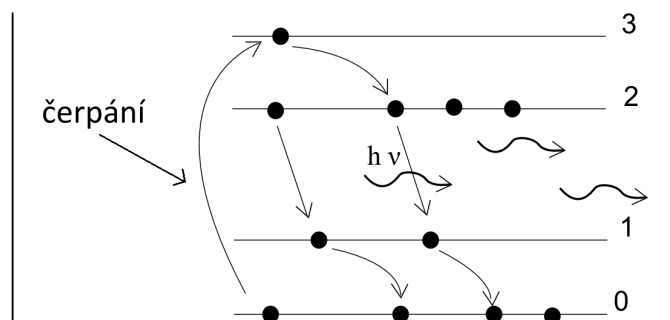
Naším cílem bylo postavit funkční laser, vyzkoušet ho v režimu volné generace, Q-spínání a mode-lockingu a vygenerovat druhou harmonickou generovaného paprsku.

## 2 Princip funkce Nd:YAG laseru

### Aktivní prostředí

Aktivní prostředí laseru je tvořeno yttrium-hlinitým granátem dopovaným neodymem. Pro fungování laseru jsou důležité čtyři energetické hladiny elektronů.

Bez vnějšího buzení jsou elektrony na nejnižší energetické hladině. Pokud krystal nějakým způsobem vybudíme – v našem případě intenzivním zábleskem výbojky – elektrony přejdou na třetí nebo vyšší hladinu a nakonec se usadí na druhé hladině. Procesu vyzvedávání elektronů do vyšších hladin říkáme čerpání. Ve druhé hladině mohou vydržet relativně dlouho (stovky mikrosekund). Stavů, kdy je více elektronů na vyšší energetické,



Obrázek 1: Energetické hladiny aktivního prostředí Nd:YAG. Čerpání vybudí elektrony ze základního stavu na třetí hladinu a laserový přechod probíhá mezi 2. a 1. hladinou.

se říká inverze populace – zatímco z termodynamického hlediska je výchozí stav většina elektronů v nejnižších hladinách, teď je více elektronů ve vyšší hladině.

Pokud elektron sestoupí do nižší hladiny, vyžáří foton infračerveného záření (1064 nm). Tento foton má při průchodu aktivním prostředím tendenci způsobovat sestup dalších elektronů, které při sestupu vyzařují fotony se stejnou vlnovou délkou a stejnou fází. Samovolnému sestupu elektronu a vyzaření fotonu říkáme spontánní fotoemise, sestup a vyzaření způsobené jiným fotonem se nazývá stimulovaná fotoemise.

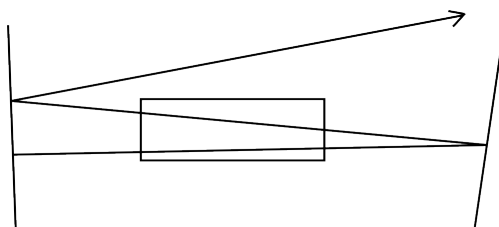
Některé lasery, například rubínové, pracují pouze se třemi hladinami; fotony jsou vyzařovány při přechodu elektronů z hladiny 1 do základní hladiny. Nevýhodou tříhladinového modelu je příliš vysoké obsazení hladiny, do které elektrony sestupují. Když takovým prostředím letí foton, který má způsobit stimulovanou emisi, má tendenci se spíše absorbovat. Takový laser pak potřebuje mnohem silnější buzení.

## Rezonátor

Pokud na obě strany aktivního prostředí dáme zrcadla, svazek fotonů se po opuštění aktivního prostředí odrazí zpátky a takto může rezonovat. Při každém průchodu paprsek vybudí sestup dalších elektronů. Vyzaří se další fotony a paprsek se zesiluje.

V rezonátoru mohou rezonovat pouze vlnové délky, kterých se do délky rezonátoru vejde celočíselný počet. Protože spektrální čára materiálu aktivního prostředí je nějak široká, rezonátor generuje diskrétní spektrum vlnových délek, které tvoří tzv. podélné módy laseru.

Zrcadla musí být dokonale rovnoběžná, jinak by svazek aktivní prostředí po několika průletech opustil. Jednou z možností, jak zrcadla srovnat, je posvítit do aparatury slabým viditelným laserem, sledovat, jak se paprsek odráží, a opatrně zrcadla srovnávat.



Pomocný viditelný paprsek, kterým zjišťujeme nastavení zrcadel, může svítit i přímo v ose laseru, a to díky použití tzv. dielektrických zrcadel. Jedná se o zrcadlo, které odráží vlnovou délku, kterou používá laser, který ladíme (1064 nm), ale většinu paprsku viditelného laseru propustí. Tak můžeme na stínítku vidět, zda se paprsek vrací přesně v ose.

Nastavit zrcadla dokonale paralelně je celkem obtížné, proti si lze pomoci nahrazením jednoho ze zrcadel za duté, případně vložení spojně čočky před něj. Tím se paprsek, pokud mírně vybočí, koriguje zpět do osy.

## 3 Q-spínání

Saturovatelný absorbér je látka, která je za normálních podmínek téměř neprůhledná, ovšem dokáže absorbovat pouze určitý světelný tok. Po překročení určité hraniční hodnoty se stane propustným.

Zatím náš laser pracoval v režimu volné generace. Když jsme spustili buzení, začal pracovat hned, jak se dostatečně načerpá. Q-spínáním se nazývá obecně jakýkoli postup, kterým spustíme laser až v okamžiku, kdy je aktivní prostředí značně načerpáno. Tím se dosáhne kratšího, mnohem intenzivnějšího impulsu.

Ke Q-spínání jsme použili saturevatelný absorbér, který jsme vložili do rezonátoru. Zpočátku absorbér kmitání rezonátoru tlumí. Až když se aktivní prostředí dostatečně načerpá, je intenzita fotonů vzniklých spontánní emisí taková, že se absorbér saturuje a rezonátor se rozkmitá. Vznikne silný impuls s rychlým náběhem.

## 4 Generování druhé harmonické

KDP krystal je anizotropním optickým prostředím. Podobně jako islandský vápenec má pro každou rovinu polarizace jiný index lomu, tedy různě polarizované světlo se v něm šíří různou rychlostí.

Elektrická složka pole – světla rozkmitá dipóly v krystalu, a pokud je dostatečně intenzivní, objeví se v kmitech i druhá harmonická. Kvůli disperzi se materiálem šíří základní frekvence a druhá harmonická různou fázovou rychlostí. Druhé harmonické vygenerované v různých částech krystalu jsou navzájem fázově posunuté a následně se vyruší.

Pokud ale v paprsku IR laseru anizotropní KDP krystal vhodně natočíme, budou určité polarizační roviny generovaných harmonických procházet krystalem v takovém směru, že se projeví vlastnost krystalu mít pro různé polarizace různé rychlosti šíření, harmonické se dostanou do stejné fáze, sečtou se a my je uvidíme.

V našem pokusu se toto projevuje zviditelněním druhé harmonické 1064nm paprsku, která je zelená (532 nm).

## 5 Mode locking

Akustooptický modulátor se skládá z taveného křemene a piezo elementu. Pokud na piezo element přivedeme správný signál, v našem případě je to 75 MHz, což je akustická rezonanční frekvence křemene, vytvoří se v křemenu stojaté vlnění. V křemenu se vytvoří kmity a uzly, a tudíž některé oblasti budou mít vyšší a některé nižší hustotu. Se změnou hustoty se mění index lomu a křemen tak pracuje jako difrakční mřížka. Z vlastností stojatého vlnění je vidět, že tato místa s odlišnou hustotou vznikají a zanikají s dvojnásobkem frekvence kmitání. Máme tedy difrakční mřížku, která se 150milionkrát za sekundu vypíná a zapíná.

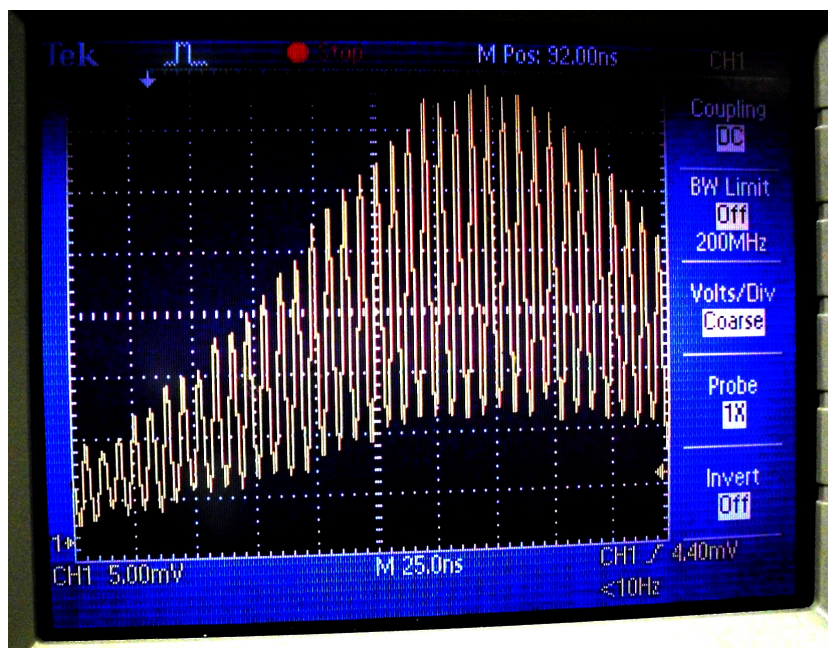
Když vložíme akustooptický modulátor do rezonátoru, v okamžiku, kdy vypadá jako difrakční mřížka, většinu paprsku odkloní; v okamžiku, kdy je průhledný, nebude mít žádný vliv. Když ho vložíme co nejbliž k jednomu ze zrcadel a naladíme rezonátor na stejnou frekvenci, jako má modulátor, dojde k synchronizaci fází podélných módů. Tímto způsobem můžeme vytvořit jeden krátký, ale extrémně intenzivní impuls – když se všechny módy podporované aktivním prostředím sečtou.

Potřebovali jsme tedy naladit rezonátor na správnou frekvenci. Difrakční mřížka se vypíná 150milionkrát za sekundu, paprsek tedy musí přijít každých 6,7 ns. Rezonátorem proběhne tam a zpátky; délka rezonátoru vyjde na 1 metr, pokud by byl ve vakuu nebo vzduchu. My ale máme aktivní prostředí, které má vyšší index lomu, tedy paprsek se v něm zpomalí. Rezonátor byl nakonec ve fázi s modulátorem při délce 92 cm.

## 6 Výsledky měření

Režim	Délka impulzu [ns]	Špičkový výkon [kW]	Energie [mJ]
Volná generace	60000	0,06	3,6
Q-spínaný	45	9	0.4
Mode-lock	<6	-	-

Tabulka 1: Naměřené délky impulzů a špičkové výkony pro jednotlivé režimy provozu.



Obrázek 2: Osciloskopický záznam generovaného signálu v režimu synchronizace módů; oscilace mají periodu 6,7 ns.

## 7 Závěr

Podařilo se nám sestavit Nd:YAG laser a provést několik pokusů včetně realizace mode-lock režimu.

## 8 Poděkování

Děkujeme FJFI za organizování Týdne vědy a za poskytnutí potřebného vybavení.