

Lasery – kvantové generátory světla

M. Svoboda *, Ľ. Bednárík **

Fakulta Jaderná a Fyzikálně Inženýrská ČVUT
Břehová 7, 115 19 Praha 1

*nocnptace@centrum.cz, **Lbs@centrum.sk

Abstrakt:

Čím se liší světlo laseru od světla například žárovky? Laserů je velké množství a každý něčím vyniká a je vhodný k určitému použití. Lasery lze rozdělit podle různých kritérií. Příklady některých laserů. Rubínový laser, neodymový laser, helium-neonový laser, polovodičový laser s dvojitou heterostrukturou. Praktické užití laserů.

1 Úvod

Kdyby Vám někdo položil otázku jaké znáte nejjasnější a nejintenzivnější světlo, odpověděli byste mu zřejmě, že světlo z laserů, a samozřejmě byste se nemýlili. Laser produkuje uzounký paprsek barevného světla, který je tak intenzivní, že dokáže propálit díрку v oceli, a zároveň tak úzký, že ho můžeme přesně zacílit na malé zrcadlo na povrchu Měsíce.

2 Objasnění základních principů laseru

Samotné slovo LASER pochází z počátečních písmen anglického názvu „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, což by se dalo přeložit jako „zesílení světla pomocí vynucené emise záření.“ Z čehož vyplývá, že laser je zařízení, které přeměňuje dodávanou energii na laserové světlo. Princip laseru předpověděl již v roce 1916 Albert Einstein, ale k realizaci samotného zařízení došlo poprvé až v roce 1960, kdy fyzika a technologie dosáhly potřebného stupně vývoje.

Rozdíl mezi obyčejným světlem a světlem laseru

Světlo laseru se od obyčejného světla liší tím, že je monochromatické, koherentní a má malou divergenci. Při práci s laserem je určující charakteristikou jeho výkon. Jeho zvyšování se děje hlavně zkracováním laserového pulsu, aby se dosáhlo co největší časové koncentrace energie, tj. co největší hustoty zářivého toku. Dnes se impulsy zkracují až na několik nanosekund a výkony těchto laserů odpovídají výkonům elektráren. Hovoříme o tzv. gigantických nebo obřích pulsech.

Způsob vytvoření laserového aktivního prostředí

Způsob, jakým bude po přívodu budící energie do určitého objemu látky dosaženo stavu s inverzní populací, závisí na uspořádání energetických hladin příslušných kvantových soustav i na dalších fyzikálních vlastnostech těchto soustav. Podle toho můžeme látky rozdělit na látky s tříhladinovou nebo s čtyřhladinovou soustavou kvantových přechodů.

Látky s tříhladinovou soustavou kvantových přechodů

V těchto látkách musí být zakázán přímý přeskok elektronů z hladiny s energií W_1 na hladinu s energií W_0 . Jinak by fotony budící energie samy způsobovaly návrat elektronů na základní hladinu. Ztráty energie a doby trvání přechodu elektronů z hladiny W_1 na hladinu W_2 musí být malé oproti přechodům z hladiny W_2 na původní W_0 .

Kvantové soustavy jsou jednotlivě v nahodilých okamžicích excitovány na úroveň W_1 nekoherentním zářením. Tento stav rychle opouštějí, avšak na hladinách s energií W_2 „na sebe počkají“. Po příchodu stimulujícího fotonu se pak soustavy koordinovaně zbaví nahromaděné energie a vyzáří impuls koherentního záření.

Aby popsané děje mohly v dostatečném počtu kvantových soustav současně probíhat, musí mít budící záření dostatečnou, alespoň prahovou intenzitu (musí být přiváděn alespoň prahový budící výkon). Tento výkon je v případě tříhladinové soustavy kvantových přechodů značný, neboť se velmi mnoho kvantových soustav nachází v základní energetické úrovni, a proto musí být velmi mnoho elektronů vyzvednuto na vyšší energetickou úroveň, než nastane inverze (buzení se provádí proti silně obsazené hladině).



Látky s čtyřhladinovou soustavou kvantových přechodů

V tomto případě se dosahuje stavu inverze podstatně snadněji. Rozdíl spočívá v tom, že blízko základní energetické hladiny W_0 se nachází další hladina W_3 . V těchto látkách musí být zakázány také přímé přechody elektronů z hladiny W_1 na W_3 a z W_2 na W_0 . Naopak z hladiny W_3 musí elektrony velmi rychle sestupovat nezářivými přeskoky na hladinu základní. Odtud jsou opět vyzvedávány v důsledku absorpce energie budícího zdroje na hladinu W_1 atd.

Rychlé uvolňování hladiny W_3 je nutné k tomu, aby v látce převládla počet kvantových soustav, jež jsou excitovány na úroveň W_2 , nad počtem soustav neexcitovaných, nacházejících se na úrovni W_3 . To odpovídá stavu inverzní populace mezi hladinami W_2 a W_3 , mezi nimiž dochází k emisi. Protože počet kvantových soustav, které jsou v určitém okamžiku na energetické úrovni W_3 , je malý, převládne nad tímto počtem počet excitovaných soustav dosti snadno, a to již při poměrně malém prahovém budícím výkonu. V tomto případě se mluví o buzení proti málo obsazené hladině. Prahový budící výkon je v čtyřhladinovém způsobu oproti tříhladinovému podstatně menší.

Příklady některých typů laserů

Rubínový laser

Skutečně prvním fungujícím laserem byl rubínový laser, sestrojený r. 1960 americkým vědcem Theodorem H. Maimanem. Aktivní prostředí je zde tvořeno pevnolátkovým krystalem syntetického rubínu Al_2O_3 , v němž jsou rovnoměrně rozmístěny trojmocné ionty chrómu Cr^{3+} v koncentraci asi 0.05%. Osvítíme-li krystal dostatečně intenzivním impulsem světla např. xenonovou výbojkou (doba trvání impulsu řádově desetin milisekund), dojde k excitaci iontů chrómu. V laserově aktivním prostředí probíhá též spontánní emise fotonů čili funkci vstupních fotonů z xenonové výbojky můžou zastávat ony fotony ze spontánní emise. Při vhodném umístění zrcadlových ploch na stěny krystalu, docílíme několikanásobné emise. Okamžitý výkon těchto laserů může dosahovat při výstupních impulsích řádově 10^{-9} až 10^{-12}

výkonů 10^9 Wattů. Tento typ laseru pracuje obvykle v režimu impulsním, při režimu kontinuálním je nutné laser ochlazovat.

Neodymový laser

Na stejném principu funguje laser neodymový, u něhož je aktivní prostředí zastoupeno krystalem yttritho-hlinitého granátu s aktivními ionty neodymu Nd^{3+} . Označuje se zkratkou Nd:YAG a pracuje v kontinuálním režimu a výstupní záření má vlnovou délku odpovídající infračervené oblasti spektra.

Helium-neonový laser

Mezi lasery jejichž aktivní prostředí je skupenství plynného patří laser helium-neonový. Byl před nástupem polovodičových laserů nejrozšířenější a aktivním prostředím je zde směs 5-10 dílů He na 1 díl Ne. Buzení se provádí přímo v trubici se směsí doutnavým elektrickým výbojem vysokého napětí. Excituje atomy He, které při vzájemných srážkách předávají energii atomům Ne, čímž vzniká inverze populace. Vzhledem k velkému množství energetických úrovní může generovat záření řady vlnových délek. Nejčastěji je nám všem známý laser generující červené světlo odpovídající vlnové délce 633 nm.

CO₂ laser

Mezi plynové lasery patří laser s kyslíčnickem uhličitým, kde je aktivní prostředí tvořeno směsí CO₂, N, He v poměru 1:2:8. K stimulované emisi dochází v molekulách CO₂. Existují dva druhy těchto laserů. První využívající buzení elektrickým výbojem v trubici se směsí a druhý tzv. expanzní CO₂. Je tvořen expanzní komorou, do které se vhání směs. Plyn s excitovaným CO₂ proudí rychlostí několikrát převyšující rychlost zvuku ve vzduchu šterbinovou tryskou do vakua. Díky rychlému snižování tlaku dochází k poklesu teploty. Energetické hladiny s velkými energiemi v molekulách CO₂ tak zůstávají po určitou dobu zaplněny elektrony. Říká se tomu „zamrzání“ vyšších energetických hladin. Poté dojde k intenzivnímu vyzáření laserového světla, které je schopné generovat infračervené záření výkonů až stovek kW. Nevýhodou je však velká spotřeba plynu.

Polovodičový laser s dvojitou heterostrukturou

U polovodičového typu laseru s dvojitou heterostrukturou je aktivní prostředí tvořeno tzv. přechodem PN. Čelní stěny krystalu se na rozhraní arsenidu galia a vzduchu díky vysokému indexu lomu chovají jako zrcadla. Zesílení záření v krystalu GaAs je velké, proto tato poměrně slabá zpětná optická vazba postačuje k vytvoření podmínek pro generování světla. Účinnost těchto laserů je velmi vysoká a jsou schopny pracovat kontinuálně i při pokojových teplotách.

Praktické užití laserů

Laser se za dobu čtyřiceti let od svého vzniku uplatnil v celé řadě oborů. Dnes se využívá jako čtecí přístroj, měřicí přístroj, v medicíně, astronomii, geodesii, spektroskopii, v holografii, ve vojenské technice, v dálkovém řízení a v mnoha dalších.

Čárový kód

Jako čtecí zařízení se využívá zejména v obchodních domech, kde slouží k přečtení tzv. čárového kódu. Jedná se o skupiny rovnoběžných čar, jenž reprezentují nějaké číslo. Laserové čidlo převádí informace do signálů ve dvojkové soustavě a ty odesílá do počítače. Ten pak po zpracování získaných dat zjistí, o jaký výrobek se jedná.

Čtení a zápis CD, DVD

V zařízeních pracujících s kompaktními disky a dnes i s disky DVD se laser využívá jak pro čtení tak i pro zápis. Laserový paprsek s nízkým napětím snímá mikroskopické jamky a mezery, které pak převádí na jednotky a nuly, tedy do digitálního kódu. Při zápisu je to obráceně. Kódované signály se předávají do laseru jako elektrické impulsy a laserový paprsek je vysílá v podobě světelných záblesků, které na povlaku disku vytvářejí odpovídající seskupení jamek a mezer.

Laserová chirurgie

Dnes je možné pomocí laserových paprsků "nekrvavou" operací odstranit různé patologické útvary a opravovat tkáň bez řezání, s menší bolestí a bezpečněji. Laserová chirurgie je založena na principu vedení světla optickým vláknem. Laserový paprsek je sám formou světla s velkým množstvím energie. Tuto energii absorbuje tkáň, kterou je třeba odstranit, tedy zahřívá se. Dávkováním tepelné energie může lékař nežádoucí buňky spálit (doslova vypařit). Dále se laserových paprsků používá k zahřívání tkání do té míry, aby se svařily, např. k zastavení krvácení.

Holografie

Další využití našli lasery například k vytvoření trojrozměrný obrazu předmětu – tzv. hologramu. Hologramy vznikají rozdělením laserového svazku na dva. Jeden svazek tzv. referenční směřuje přímo na fotografický film, druhý dopadá nejprve na hologramový předmět a tím si poruší uspořádanou strukturu světelných vln. Film zachytí způsob, kterým je nanesený předmětový svazek rozhází neporušený referenční svazek a vytvoří tak trojrozměrný obraz předmětu.

3 Shrnutí

Použití laseru se stále více prosazuje téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Laser se v dnešní době stává běžným nástrojem, a to jak v medicíně, ve výpočetní technice, armádě, technologii, tak v zábavném průmyslu, pro zpestření a zatraktivnění různých společenských akcí, jako např. v podobě laserových show. Lze jednoznačně konstatovat, že bez využití laseru by současné úrovně techniky nebylo možno dosáhnout a dále pokračovat v jejím vývoji. Laser se proto stává nepostradatelnou součástí našeho moderního života.

Reference:

- [1] ŠTOLL, I.: *Laser a optoelektronika*, PANORAMA, Praha, 1989
- [2] ENGST, P.: *Aplikace laserů*, SNTL, Praha, 1989