**Laser**

Nutné znalosti

* energie fotonu
* pásmová model
* generování fotonů u LED

Nejprve zopakujeme, co je to koherentní světlo. To jsou fotony, které mají

* stejnou vlnovou délku , tedy stejný kmitočet
* stejný fázový posuv
* stejnou rovinu polarizace

Vidíme, že zde při úvahách přecházíme mezi pojetím světla jako proudu částic a světla jako elektromagnetickou vlnou. Není to chyba, prostě používáme to, co se nám lépe hodí.

Co může udělat elektron a foton.

1. emise fotonu



elektron je ve vodivostním pásu (tedy: má energii, odpovídající vodivostnímu pásu), energii ztratí (spadne dolů). Ztracenou energií se ohřeje krystal (nezajímavé) nebo se emituje foton. Energie fotonu je stejná jako ta energie, kterou elektron ztratil. Tomu odpovídá vlnová délka fotonu. Tohle jsme viděli u LED.

1. absorpce fotonu



Foton mizí a předává svou energii elektronu. Elektron samozřejmě vystoupí z valenčního pásu do vodivostního, ale my si stále opakujeme: elektron zvětšil svoji energii. Tady je důležitá jedna věc: mezi valenčním a vodivostním pásem je zakázaný pás. To znamená, že elektron musí získat energii dost velkou. A tu mu dodává foton. Pokud bude mít foton energii například polovinu zakázaného pásu, tak nebude absorbován, protože by elektron „vymrštil“ jenom do poloviny zakázaného pásu. Ale to nejde – tuhle energii mít elektron nemůže. Pokud tedy má foton energii malou, nemůže být absorbován. Energie fotonu záleží na jeho kmitočtu: Takže: pokud má foton příliš malý kmitočet, nemůže být absorbován. Tento jev se nazývá „červená mez“ nebo „dlouhovlnná mez“ . Příliš malý kmitočet znamená příliš velká délka vlny. Pokud to nechápete (převod kmitočet – délka vlny), odejděte na gymnasium.

V běžné LED fungují oba tyto jevy najednou. To znamená, že foton je emitován, za chvíli je absorbován, pak je zase nějaký jiný emitován ...... Emise fotonů převažuje nad absorpcí, takže LED svítí. Ale nezapomeňme, že oba jevy se v LED dějí, a ta absorpce není zanedbatelná.

1. stimulovaná emise fotonu



V materiálu jsme vytvořili v zakázaném pásu energií takzvanou metastabilní hladinu. Na této hladině mohou elektrony být (to znamená: mohou mít tuto energii) , ale moc tam nedrží, velmi snadno energii ztratí, „spadnou“ do valenčního pásu a emitují foton. Proces, kterým se elektrony dostanou na metastabilní hladinu, se nazývá „čerpání“. U laserové diody čerpáme tím, že diodou teče proud.

Pokud se do materiálu dostane foton (na obrázku přilétá zleva) , jeho průlet kolem elektronu (velké černé tečky na metastabilní hladině) způsobí, že elektron ztratí energii (na metastabilní hladině stejně držel jenom silou vůle) , a tím generuje další foton. Tohle se samozřejmě může opakovat mnohokrát. Původní foton se nijak nemění ! Vygenerované fotony a původní foton jsou koherentní **To je důležité a zcela zásadní .**

Dále se pokusíme si ujasnit, co vlastně znamená „foton proletí kolem atomu“ . Najdeme si velikost atomu a vzdálenost mezi nimi (to, co hledáte, se jmenuje mřížková konstanta , atomový poloměr, vzdálenost atomů). Napište si to číslo na papír, vedle toho si napište vlnovou délku světla (našeho, pro optické komunikace) , a dívejte se na to tak dlouho, až vám dojde, že „foton proletí kolem atomu“ je úplný blábol. Ale běžně se to tak říká, a je to odvozeno právě z pásmových diagramů. Podobně jsem našel na Internetu "Narazí-li foton do elektronu takového atomu ..." , je doufám jasné, že i tohle je blábol. Prostě naše obrázky nám nějak pomáhají dopočítat se k použitelným výsledkům, ale tyto představy na úrovni atomů jsou výrazně jinak.

A teď už konečně laser. U laseru je zásadní věc **inversní obsazení hladin.** To znamená, že elektrony nejsou ve valenčním pásu a jsou ve vodivostním (čti: elektrony nemají energii .... a mají energii .....). Protože energie ve valenčním pásu jsou menší, je normální stav takový, že většina elektronů je ve valenčním pásu a jen některé jsou ve vodivostním. V laseru toto převrátíme, proto „inversní obsazení“. Dosáhneme toho čerpáním, tedy průchodem proudu přes diodu. Samozřejmě, inversní obsazení hladin není absolutní, takže i ve valenčním pásu elektrony jsou .



Situaci vidíme na obrázku. Ve vodivostním pásu jsou elektrony na nižších hladinách energií, to je normální a obvyklé. Ve valenčním pásu jsou elektrony na nižších hladinách energií, a nejsou na vyšších hladinách. Mezi valenčním a vodivostním pásem je zakázaný pás. To jsou hodnoty energií, kterých elektron nemůže dosáhnout (opakujeme již poněkolikáté). Do této situace přiletí foton. Jeho energii máte nakreslenou napravo , červeně. Tuto úsečku si vystřihněte, budeme s ní posouvat. Zkusíme, zda tento foton může být emitován. To znamená: červenou úsečku dáme horním koncem na metastabilní hladinu. Dolní konec úsečky zasahuje do valenčního pásu, tam, kde nejsou elektrony. Nic tedy elektronu nebrání, aby spadnul dolů (správně: aby ztratil energii) a emitoval foton. Zkusíme, zda foton může být absorbován. To znamená, že foton mizí a elektron navýší svoji energii. Vezmeme tedy červenou úsečku a dáme ji dolním koncem do valenčního pásu, tam, kde jsou elektrony. A vidíme, že horní konec úsečky je v zakázaném pásu. To znamená, že foton nemůže být absorbován. K absorpci by potřeboval, aby měl větší energii (až do vodivostního pásu) , ale on ji nemá.

**Základním smyslem inversního obsazení hladin tedy je, že foton s danou energií (červená úsečka) může být emitován, ale nemůže být absorbován.** Tohle se pokouším vysvětlovat už léta, vždycky na to kývají hlavou, ale za čtrnáct dní už to nikdo není schopen vysvětlit. Tak se to konečně naučte.

V LED se fotony emitují i absorbují, emise převažuje, proto to svítí. V laseru se fotony pouze emitují, proto laser svítí jako blázen.

Samozřejmě, výše uvedený mechanismus je ideální stav, ve skutečném laseru k nějaké absorpci dochází jinými mechanismy, třeba tím, že se fotony mění v teplo. Ale výsledná bilance je výrazně lepší než u LED.

A korunu všemu dodává to, že v LASERu funguje stimulovaná emise (viz výše), takže foton pomocí tohoto mechanismu generuje další fotony, které jsou s ním koherentní. Proto laser dodává koherentní záření.

**Fabry – Pertotův resonátor**

Vlnová délka světla v LASERu je poměrně přesně nastavena velikostí zakázaného pásu. Ale to nestačí. Další nastavení je uděláno pomocí F-P resonátoru.

F-P resonátor jsou dvě zrcadla, mezi kterými světlo resonuje. Připomínáme, že světlo je elektromagnetické vlnění. A zrcadla jsou elektricky vodivá. To znamená, že elektrické složka vlnění musí mít na zrcadle uzel (pokud netušíte, co to je, tak loni s Ing. Novotným odrazy na vedení, předloni ve fyzice mechanické kmity)



Na prvním obrázku máte situaci, kdy se mezi zrcadla „vejdou“ právě dvě vlny.



na druhém obrázku máte situaci, kdy se mezi zrcadla vejde právě jedna vlna.



Na třetím obrázku se mezi zrcadla vejde polovina vlny



Na tomto obrázku máme mezi zrcadly tři půlvlny.

Vidíme tedy, že kmitočet se dá pomocí F-P resonátoru nastavit  po půlvlnách.

Samozřejmě, tohle funguje i u jakýchkoli dvou zrcadel, která si dáte blízko sebe ! Pokud je ale vzdálenost zrcadel velká, dojdeme k něčemu takovémuto:



Tady je 10 vlnových délek mezi zrcadly. Ale stejně jako těch 10 délek to odfiltruje i 10,5 délky , 11 délek, 11,5 délky , ................. , takže to vlastně nefiltruje nic, protože vlnové délky jsou blízko u sebe a filtruje to celé pásmo délek.

Jako cvičení si udělejte: máme zrcadla 1 cm od sebe, pouštíme do nich červené světlo. Kolik vlnových délek se vejde mezi zrcadla ? A potom k tomu počtu vlnových délek přidejte 1 , a spočítejte, jak velká bude vlnová délka. Potom zase přidejte 1 , a tak dále a tak dále. Vidíme, že mezi filtrovanými frekvencemi jsou díry, ale jsou tak blízko sebe, že lze v podstatě říci, že zrcadla odrážejí celé spektrum barev.

No a teď už skutečné provedení LD (laserová dioda)

<https://electronicscoach.com/laser-diode.html>

<https://www.photonics.com/Articles/Semiconductor_Lasers_An_Overview_of_Commercial/a25099>

Mraky různých diod máte na

<https://www.thorlabs.com/navigation.cfm?guide_id=2222>

A jinak samozřejmě ask Google.

**Start svícení**

Jak jistě tušíte, data se přenášejí po optickém vláknu tím, že laser do vlákna bliká. To znamená, že chvíli svítí a chvíli nesvítí. Začátek svícení vypadá tak, že laser nejdříve svítí stejně jako LED. To znamená, že vyrábí světlo s větší šířkou pásma. Až po nějaké době se laser stabilizuje, načerpá elektrony atd. atd., a potom začne svítit koherentně a s velmi úzkým spektrem. Toto chování ( tedy změna frekvence v závislosti na protékajícím proudu ) se nazývá **chirp.** Ten je samozřejmě nežádoucí. Ale nic se s tím nedá dělat, laser prostě startuje jako LED, není v silách konstruktérů tuto fázi eliminovat.

Řešením jsou takzvané CW lasery – continual wave . To znamená, že laser svítí neustále, a jeho světlo se přerušuje modulátorem ( to be continued ....... )