



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na
ČVUT

Polovodičový laser

Tomáš Nosek

Vyšší odborná škola a Střední škola slaboproudé elektrotechniky

Novovysočanská 48/280

190 00 Praha 9



„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil jsem literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.“

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/200 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, dne

.....
Podpis

ANOTACE

Tato práce je zaměřena na zpracování teoretického rozboru laserové diody. K zajištění jednotnosti formální úpravy pro celou práci je první část práce věnována vzorům desek, titulního listu, čestného prohlášení a obsahu. Druhou částí je popsán princip fungování, struktury a jednotlivé druhy LD. Poslední částí je zpracování seznamu použité literatury, odkazů a jejich citací.

ANNOTATION

This work is aimed to processing theory laser diode. To ensure uniformity formal adjustments for the whole work is first part devoted to pattern plates, title list, honour declaration and content. The second part describes the working principle, structure and different types of LD. Last part is processing list used literature, links and citation.

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Polovodičový laser.....	6
2.1	Vlastnosti světelného paprsku LD a LED diod.....	7
3	Emise záření.....	7
3.1	Stimulovaná emise záření.....	7
3.2	Spontánní emise.....	9
4	Princip fungování laserové diody.....	11
5	Struktura a materiál LD.....	13
6	Druhy laserových diod.....	14
6.1	DH laser.....	14
6.2	QW laser.....	15
6.3	DFB laser.....	16
6.4	VCSEL laser.....	17
6.5	EEL.....	18
7	Pouzdření laserových diod.....	19
8	Použití laserových diod a jejich výhody a nevýhody.....	20
8.1	Použití LD.....	20
8.2	Výhody a nevýhody LD.....	22
9	Závěr.....	22
10	Použitá literatura a odkazy.....	22
11	Přílohy.....	24

1 Úvod

Polovodičový laser je nový druh zdroje optického záření s novými vlastnostmi na rozdíl od nekoherentního zdroje. Polovodičový laser soustřeďuje svůj světelný paprsek do velmi úzkého intervalu svých vlnových délek. Prvním kdo předvedl koherentní emisi světla byl Robert N. Hall. Poté další výzkumy probíhali v laboratořích IBM, Texas instruments a dalších. První lasery byly homostrukturní a měly jen jeden materiál jako přechod. Po vynalezení heterostrukury se zmenšil prahový proud o 10 násobek, ale to stále nestačilo, až v roce 1970 použil Žores I. Alfjorov s Dmitrijem Z. Garbuzovem dvojí heteropřechod což zapříčinilo snížení prahového proudu na tolik, že dioda mohla pracovat v kontinuálním režimu. To mělo důsledek, že roku 2000 pak oba dostali Nobelovu cenu za fyziku.



Obr. 1 - Žores I. Alfjorov

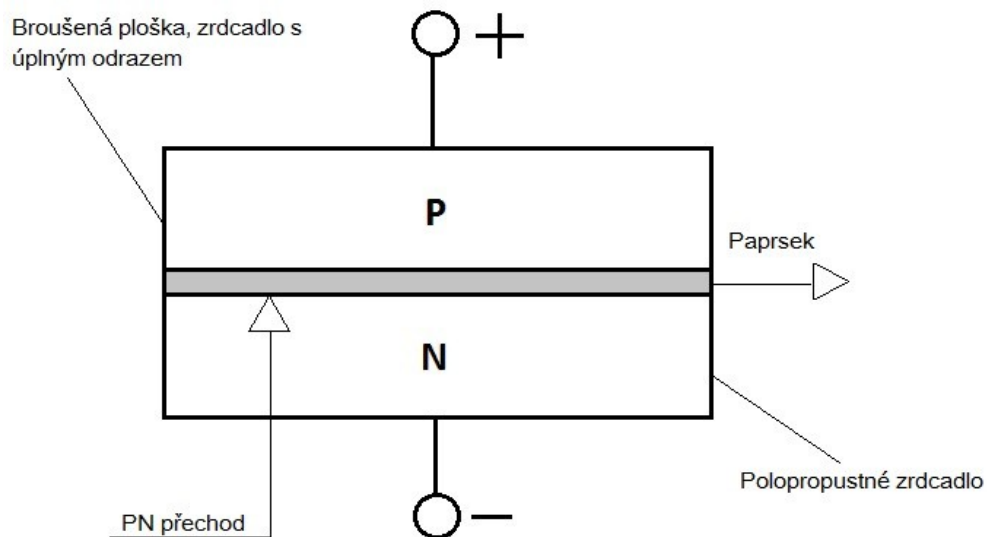


Obr. 2 – Laserová dioda

2 Polovodičový laser

Polovodičový laser (nebo také laserová dioda, LD) je vlastně zařízení ke generování jednobarevného (nebo-li monochromatického) záření. Název „laser“, pochází z dlouhého anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - zesílení optického záření pomocí stimulované (vynucené) emise záření (kvantový generátor optického záření).

Laserové optické záření je teda monochromatické, koherentní. Pojmeme koherence vlastně rozumíme jako vzájemnou souvislost fáze a amplitudy vlnění vycházejících buď ze dvou různých míst na povrchu zářícího tělesa (koherence prostorová) nebo vlnění vycházejícího z jednoho místa, avšak s určitým časovým odstupem (koherence časová) zkráceně zachovává svůj směr, fáze a nemění se s časem. A v neposlední řadě má také sice malou divergenci (rozbíhavost). Optickým rezonátorem rozumíme oblast obklopenou odrazovými plochami v níž je pasivní dielektrické prostředí. U nejjednodušších polovodičových laserů je častým příkladem optického rezonátoru je soustava dvou rovnoběžných rovinných zrcadel obdélníkového tvaru v určité vzdálenosti proti sobě.



Obr. 3 – Princip LD

Pro dosažení vysoké účinnosti se využívá u polovodičových laserů zpravidla dvojitá heterostruktura, která je vytvořena tak, že mezi vrstvy AlGaAs je vložena vrstva GaAs. Tím vzniknou dva PN přechody mezi různými materiály. Struktura uspořádání laserové diody umožňuje to, že je vysílán pouze do úzkého svazek paprsků.

2.1 Vlastnosti světelného paprsku LD a LED diod

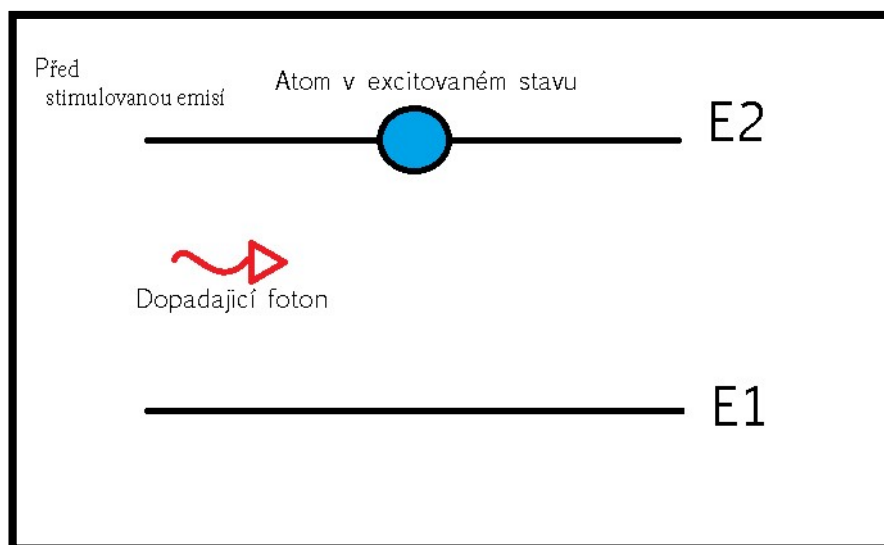
U laserové diody nalezneme světelný paprsek, který má téměř koherentní vlastnosti a na rozdíl od LED diod obsahuje laserová dioda podstatně užší spektrum kmitočtů a tím pádem je i více monochromatické. Obvykle se šířka spektra laserové diody pohybuje něco kolem 1 nm (nebo od desetin nm do nm). Přestože je spektrum laserové diody velmi úzké přesto není dokonale monochromatické na rozdíl od Helium neonových laserů které jsou dokonale monochromatické.

3 Emise záření

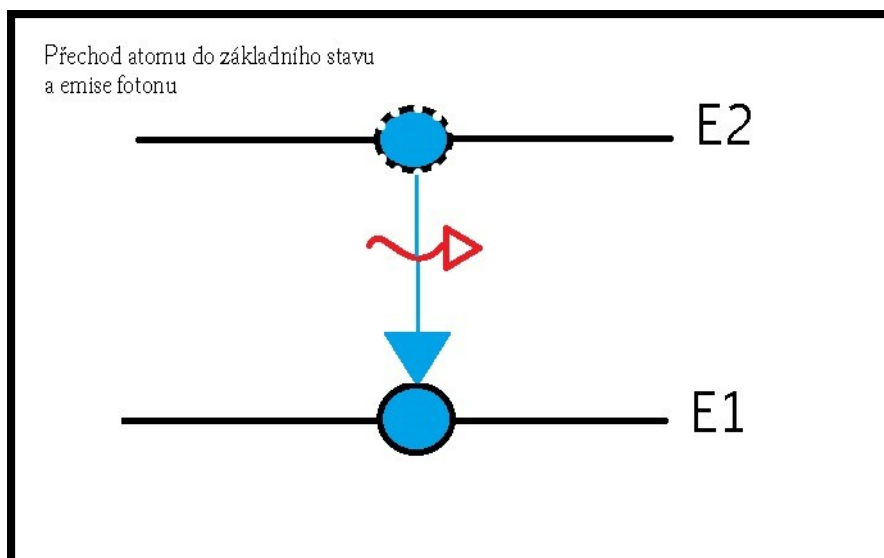
3.1 Stimulovaná emise záření

Obecně se vyznačuje jako emise koherentního elektromagnetického záření z látky vyvolaná dopadajícím zářením za současného přechodu části kvantové soustavy z excitovaného stavu do stavu základního. Excitovaný stav je vlastně fyzikální jev, kdy elektrony v elektronovém obalu atomu jsou přeneseny do vyšších energetických hladin, než je normální stav. Dobrým příkladem je právě fotoelektrický jev vyvolaným dopadem fotonu.

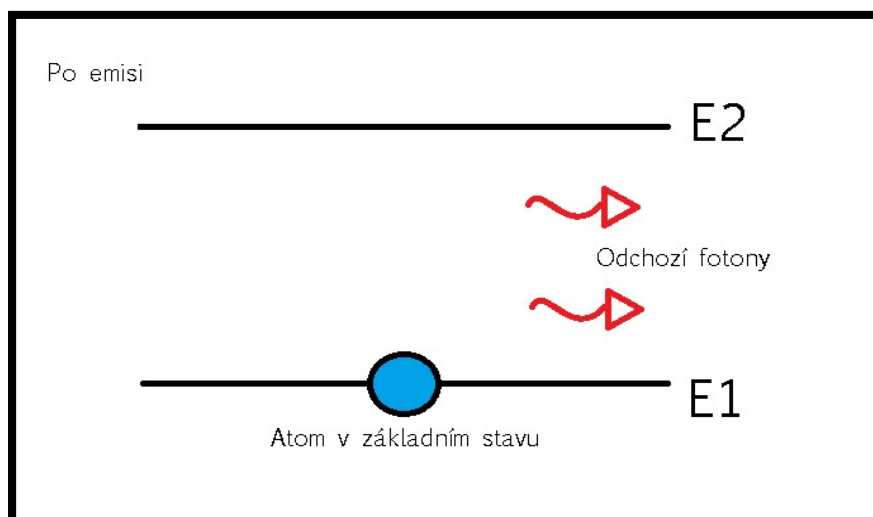
Excitace (vybuzení) je pojem o kterém můžeme říci, že je fyzikální proces, při kterém dochází k přechodu energetického stavu atomu, molekuly nebo iontu na vyšší energetickou hladinu, k tomu přechodu dochází například absorpcí fotonu nebo tepla.



Obr. 4 – Atom před stimulovanou emisí



Obr. 5 – Přechod atomu do základního stavu



Obr. 6 – Po emisi

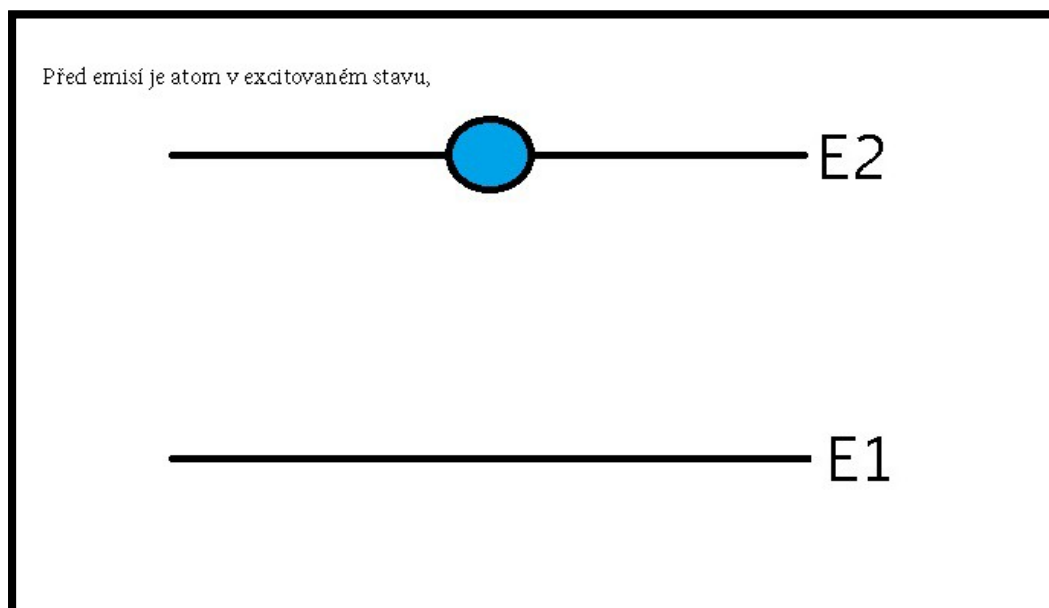
V excitovaném stavu setrvává soustava jen po velmi krátkou dobu $10^{-3} - 10^{-7}$ s a následně přechází do stavu základního za současného vyzáření fotonu či fononu. V případě zářivého přechodu (vyzáření fotonu) se jedná o tzv. spontánní emisi kdy je foton o vlnové délce odpovídající rozdílu energetických hladin vyzářen náhodným směrem s náhodnou fází a polarizací. Ke stimulované emisi dochází tehdy, přijde-li do excitované soustavy (tedy dříve, než dojde ke spontánní emisi) foton o energii rovné rozdílu energetických hladin.

Pro vytvoření stimulované emise je nutné vytvořit tzv. inverzní populaci. Atomy se

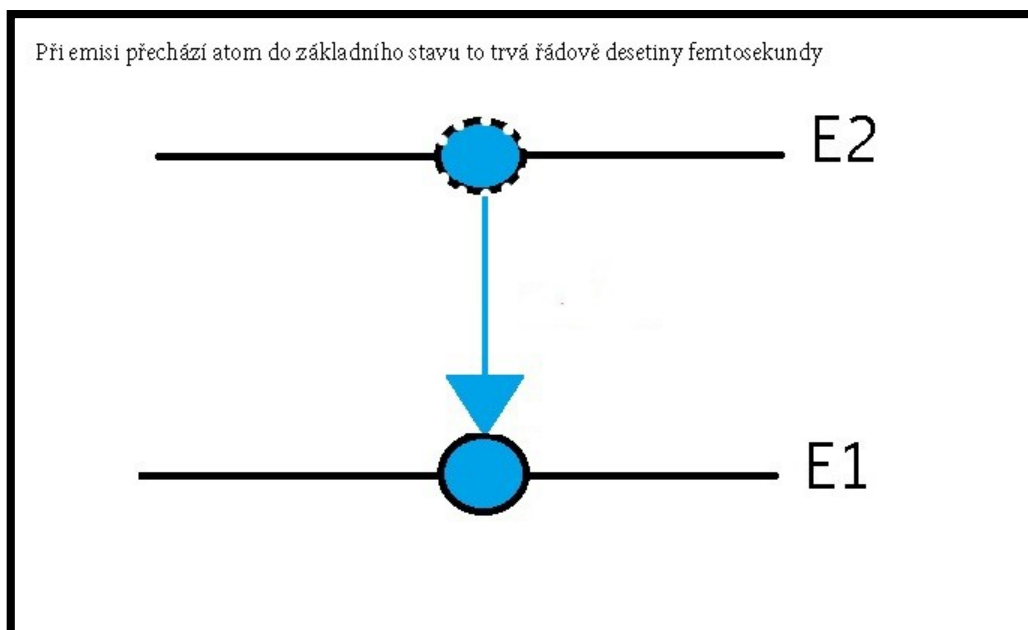
vždy snaží zaujmout stav s co nejmenší možnou energií, a proto se nacházejí ve stavu schopné absorpce. V běžných podmínkách se intenzita světla při průchodu látkou snižuje, protože počet atomů v základním stavu je mnohem vyšší než u stavu excitovaného (tzv. rovnovážná populace) a dopadající fotony jsou atomy látek absorbovány. V případě, že požadujeme také zesílení záření v aktivním prostředí je nutné, aby počet excitovaných prvků kvantové soustavy schopný emise byl větší než počet prvků v základním stavu. Pokud je počet elektronů na energetické hladině vyšší (E_2), než počet elektronů na nižší hladině (E_1), tento stav se nazývá inverzní populace

3.2 Spontánní emise

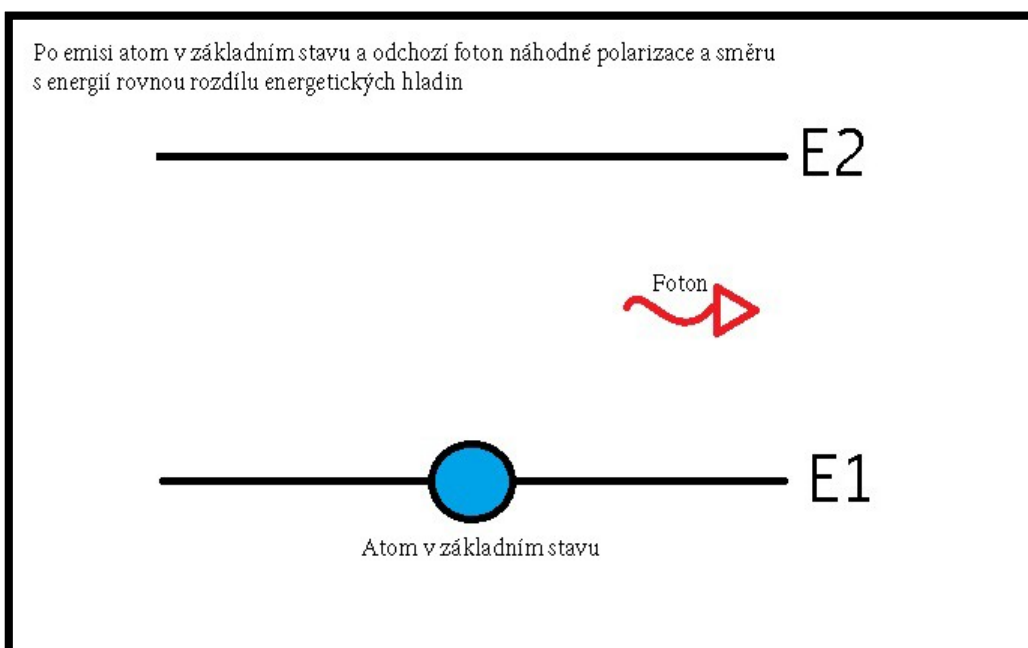
Spontánní emise je jev, při kterém dochází k vyzáření fotonu z excitované kvantové soustavy za současného přechodu kvantové soustavy do základního stavu (nebo obecně do stavu s nižší energií). Na rozdíl od případu stimulované emise přechází kvantová soustava z excitovaného do základního stavu samovolně, tedy bez působení vnějšího elektromagnetického pole, navíc má vyzářený foton náhodný směr, fázi a polarizaci. Světlo generované spontánní emisí nazýváme luminiscencí či fluorescencí. Popisovaný jev je znázorněn na následujícím obrázku, kde kvantovou soustavu pro jednoduchost tvoří pouze dvě energetické hladiny nižší E_1 a vyšší E_2 .



Obr. 7 – Atom v excitovaném stavu



Obr. 8 – Přejchod atomu do základního stavu



Obr. 9 – Po emisi

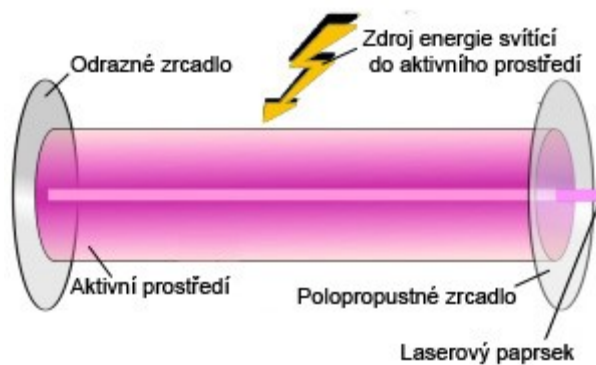
Doba života kvantové soustavy v excitovaném stavu (tedy doba, po kterou elektron setrvává na vyšší energetické hladině, než dojde ke spontánní emisi) je řádově několik nanosekund.

Abychom dosáhli excitovaný stav musí proběhnout děj, při kterém kvantová soustava přejde ze základního stavu do excitovaného, a to například světelným zářením, chemickou reakcí nebo elektrickým výbojem. Kvantová soustava v excitovaném stavu je nestabilní a snaží se dostat do stavu s co nejnižší energií tak, že na uvolněné místo přechází elektron z vyšší energetické hladiny za současného uvolnění fononu nebo fotonu a jehož energie odpovídá rozdílu energetických hladin, mezi nimiž k přechodu dochází.

4 Princip fungování laserové diody

Funkce laserové diody je naprosto stejná jako funkce ostatních laserů a je založena na procesu stimulované emise. Aktivním prostředím je tu okolí PN přechodu, kde dochází k injekci elektronů a děr. Doba životnosti elektronů a děr je pro polovodičové materiály typická (několik nanosekund). Po té dojde k rekombinaci za současného vyzáření fotonu v náhodném směru a o náhodné fázi a polarizaci (případně k absorpci energie z rekombinace krystalovou mříží ve formě tepla). Ke stimulované emisi dochází v případě, že do prostředí přijde foton s energií rovnou rozdílu příslušných energetických hladin ještě předtím, než dojde k rekombinaci (a případné spontánní emisi). V takovém případě tento foton takzvaně stimuluje přechod elektronu do nižší energetické hladiny a tedy i emisi dalšího fotonu, tentokrát stejného směru, fáze i polarizace jako má foton stimulující.

Důležitým parametrem laserové diody souvisejícím se stimulovanou emisí je tzv. prahový proud (případně prahové napětí). Aby laserová dioda pracovala tak jak má, musí v propustném směru téct větší proud než prahový. Do té doby se LD bude chovat jako LED (široké, nemonochromatické optické záření malé intenzity). Pod hodnotou prahového proudu dochází pouze ke spontánní emisi a tedy ke generaci nekoherentního záření, naopak s proudem, který dosáhne téže hodnoty, prudce vzrůstá výkon diody a dochází ke stimulované emisi a produkuje se koherentní záření. Hodnoty prahového proudu jsou obvykle v rozmezí 40-250 mA (prahové napětí okolo 1,8 V), nicméně je značně závislé na teplotě. Prahový proud roste s teplotou přibližně 15 % na 1 °C.



Obr. 10 – Princip laserové diody

Stejně jako u ostatních typů laserů potřebujeme optický rezonátor, ve kterém dochází k zesílení světelného záření díky stimulované emisi. U laserových diod plní roli zrcadel odštípnutí krystalu v krystalografických rovinách (v některých polovodičových laserech se z důvodu zvýšení kvality generovaného záření používá místo zrcadel hranol či difrakční mřížka, viz DFB lasery). Tím vzniká tzv. Fabry-Perotův rezonátor.

Než je světlo vyzářeno z dutiny polovodiče, několikrát se odrazí od krajních zrcadel, přičemž prochází aktivním prostředím tam a zpět. Tak dochází k zesílení záření díky stimulované emisi, ale také ke ztrátám vlivem absorpce a nedokonalého odrazu na koncích. Zároveň vlivem destruktivní a nedestruktivní interference vln, získává světlo uvnitř dutiny charakter stojatého vlnění a ustaluje se v tzv. módech či videch. Ty mohou nabývat pouze takových vlnových délek, že rozměry rezonátoru jsou rovny celým násobkům poloviny daných vlnových délek. Vlastnosti diody jsou tedy mimo jiné určeny geometrií dutiny. Obvykle je ve svislém směru natolik úzká, že umožňuje pouze jediný mód, naopak ve vodorovném směru, pokud je dostatečně široká vzhledem k vlnové délce generovaného světla, umožňuje módů více, potom se laser nazývá více vidovým. Těchto laserů se používá je-li třeba velké energie a nevádí rozbíhavost paprsku (např. tisk, buzení chemických látek či jiných laserů). Některé laserové diody generují jedinou vlnovou délku, která se však nepatrně mění s proudem a teplotou. Generovaná vlnová délka závisí kromě velikosti dutiny také na šířce zakázaného pásu použitého polovodiče.

Laserové diody jsou schopny pracovat v impulzním nebo kontinuálním režimu. Kontinuální režim můžeme označit za režim nepřetržitého (spojitého) záření. Impulzní režim spočívá v nahromadění energie (v časovém intervalu) mezi dvěma impulzy a následnému vyzáření. Obecně lze tedy říci, že délka impulsu závisí na výkonu laseru, z toho plyne, že čím

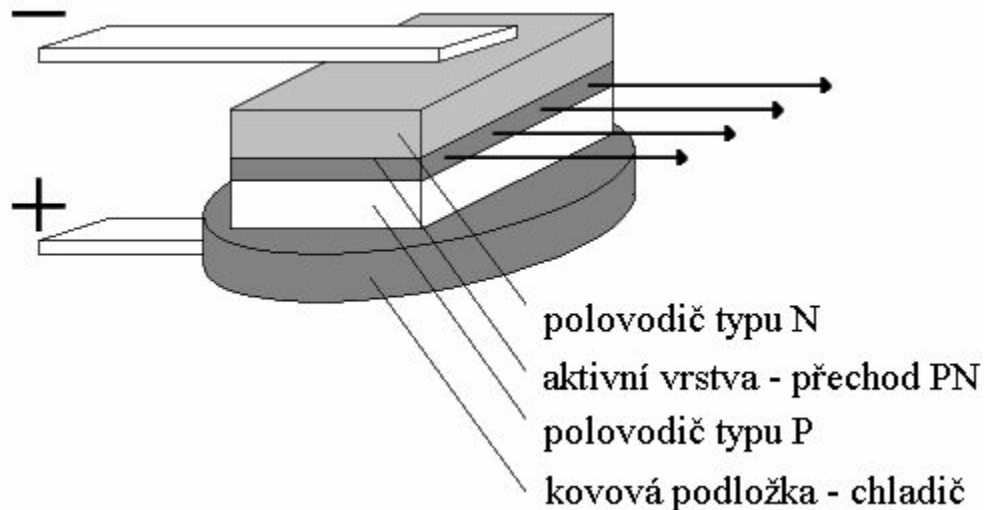
delší impulz, tím menší výkon.



Obr. 11 – LD v porovnání s dolarovým centem

5 Struktura a materiál LD

Velmi důležitým parametrem, který určuje vlastnosti diody je materiál, z něhož je vyrobena. Pravděpodobnost zářivé rekombinace (ať už se jedná o spontánní nebo stimulovanou emisi) je mnohonásobně větší pro polovodiče s tzv. přímým přechodem (kde minimum vodivostního pásu je při stejném vlnovém čísle jako maximum pásu valenčního). Do této kategorie spadají polovodičové sloučeniny, např. Galium arsenid, Indium fosfid, Galium antimonid nebo Galium nitrid. Naopak jednoprvkové polovodiče jako křemík nebo germanium jsou polovodiče s tzv. nepřímým přechodem (kde jsou minima a maxima příslušných energetických pásů vzájemně posunuta), u nichž je pravděpodobnost zářivé rekombinace malá.



Obr. 12 – Struktura LD

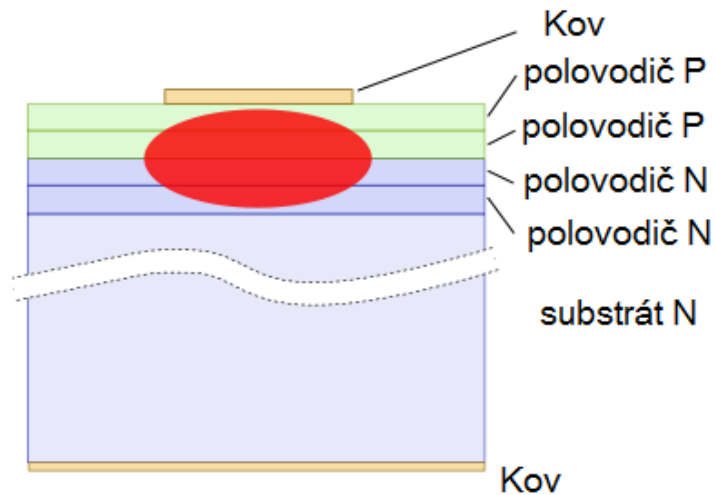
Dioda, vyrobená z jediného materiálu (ať jednoprvkového nebo sloučeniny) je velmi neefektivní a může pracovat pouze v impulsním režimu, neboť pro její funkci je třeba dodávat takové množství energie, které by ji kontinuálním režimu zničilo. Pro zlepšení vlastností přechodu a možnosti použít diodu v kontinuálním režimu se využívá tzv. heteropřechodu, kdy je přechod tvořen dvěma různými materiály s velmi blízkou mřížkovou konstantou, ale různou šířkou zakázaného pásu.

6 Druhy laserových diod

6.1 DH laser

V DH laserech z anglického Double Heterostructure (dvojitý heteropřechod) je přechod z materiálu s užším zakázaným pásem obklopen dvěma vrstvami materiálu se širším zakázaným pásem).

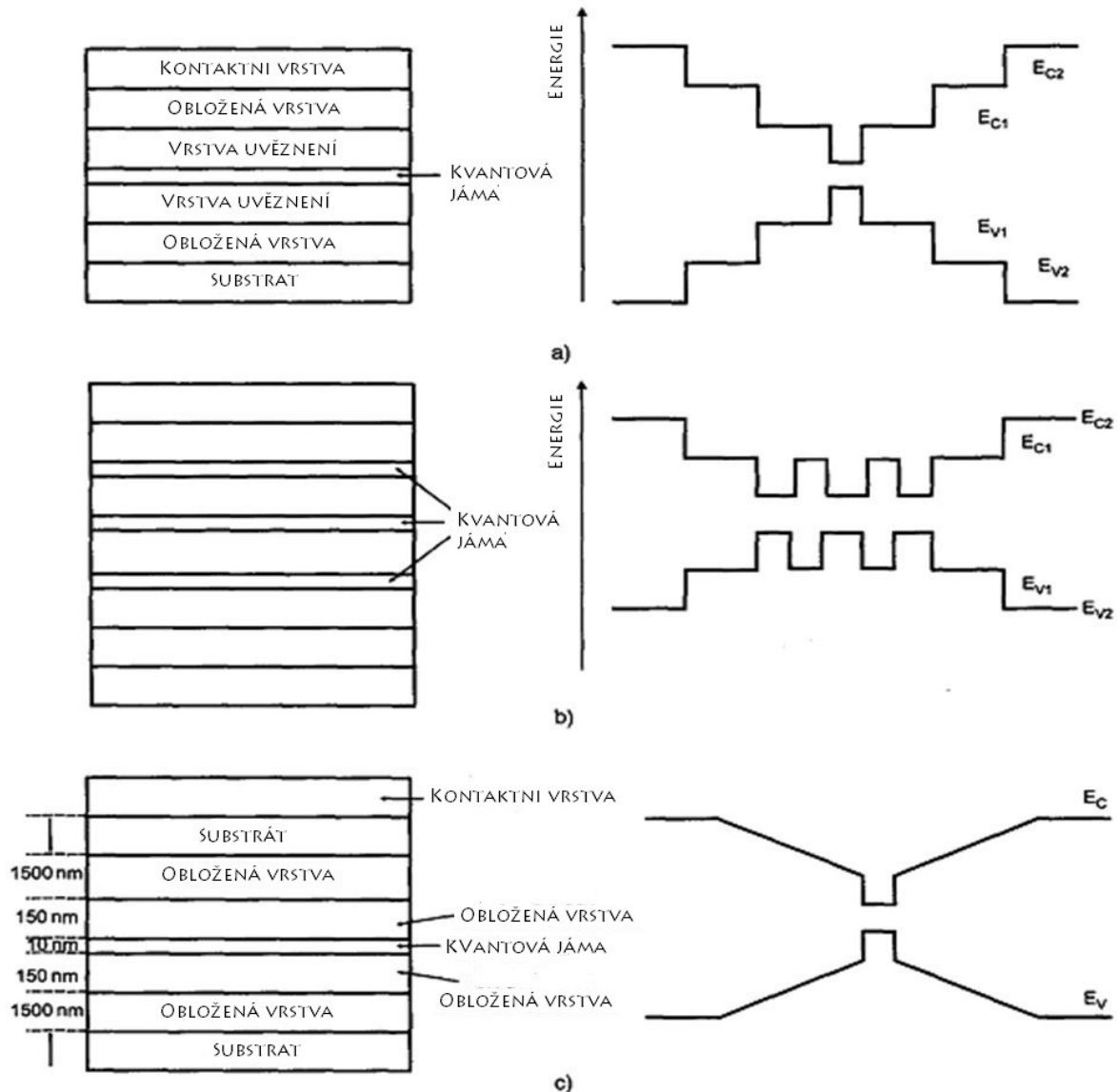
Výhodou DH laseru je, že aktivní oblast je soustředěna do tenké střední vrstvy, obklopené velkými potenciálovými bariérami, čímž se zesilování záření účastní více párů elektron-díra, které se „neroztékají“ do okolních vrstev. Navíc se díky „vhodným“ indexům lomu odráží světlo od heteropřechodů zpět do aktivní oblasti. Účinnost těchto laserů se pohybuje okolo 75 %.



Obr. 13 – Struktura DH laseru

6.2 QW laser

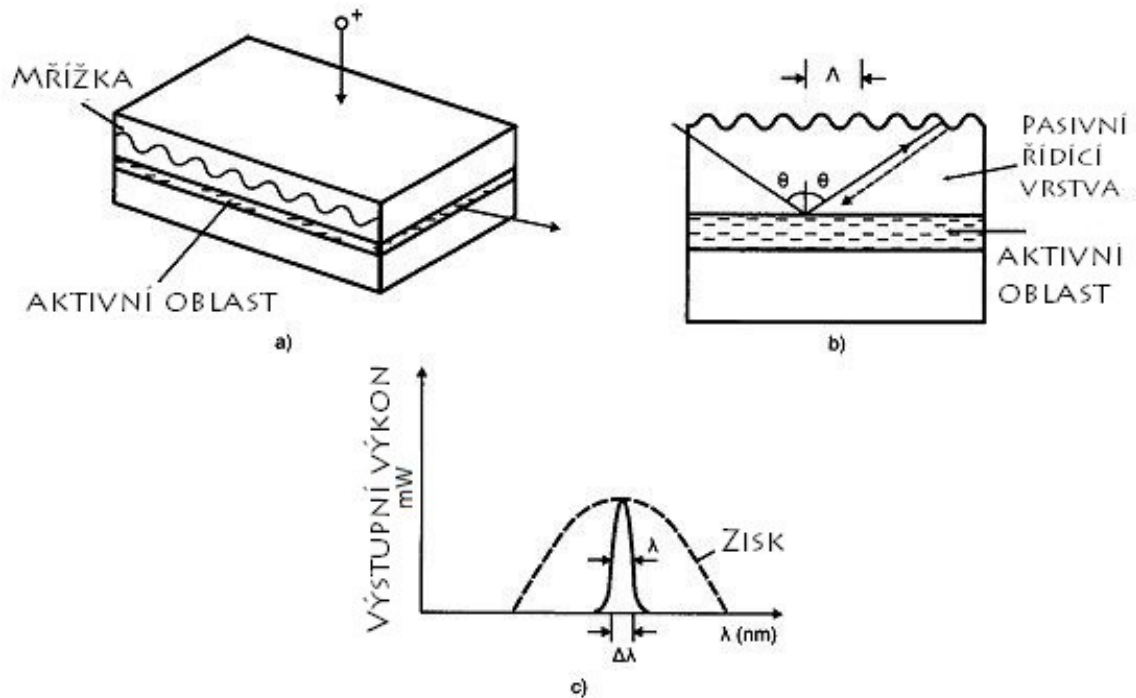
QW lasery z anglického Quantum well (kvantová jáma) jsou speciálním případem DH laserů, kdy prostřední vrstva lišící se materiálem od ostatních vrstev je tak tenká, že spolu s okolními vrstvami tvoří pravoúhlou potenciálovou jámu, v níž mohou elektrony nabývat pouze určitých diskrétních hodnot energií. Běžná tloušťka vnitřní vrstvy je okolo 10 nm, což zapříčiňuje velmi úzkou spektrální charakteristiku. Další výhodou je nižší teplotní závislost prahového proudu a jeho celkově nižší hodnota (desetiny až několik málo desítek mA). Pro lepší omezení světla v aktivní oblasti se používá dalších dvou vrstev s nižším indexem lomu, jež obklopují dosavadní tři vrstvy (tzv. SCH, Separate Confinement Heterostructure). Účinnost dosahuje hodnot vyšších než 80 %.



Obr. 14 – a) jediná kvantová jáma, SQW laserová dioda b) vícenásobná kvantová jáma, MQW laserová dioda c) klasifikovaný index samotné slehnutí heterostruktura

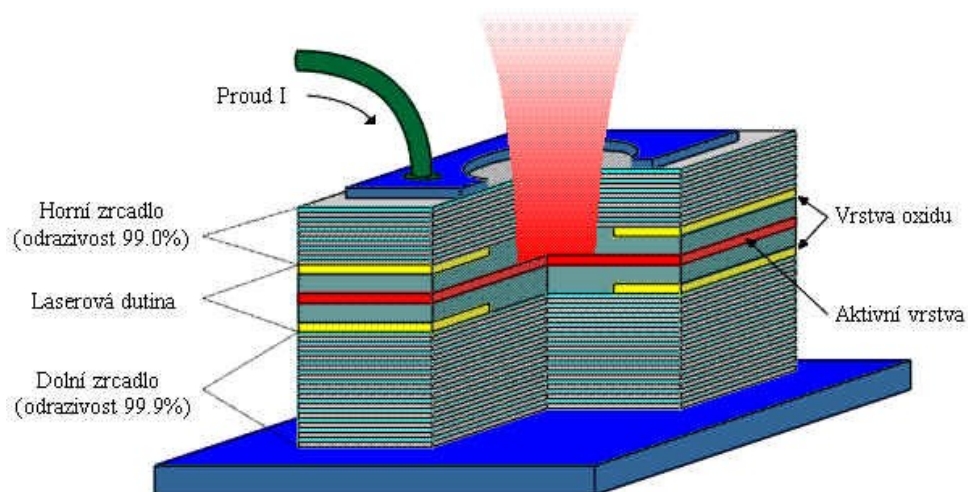
6.3 DFB laser

U DFB laserů z anglického Distributed FeedBack (rozprostřená zpětná vazba) je těsně u aktivní vrstvy naleptána difrakční mřížka, která plní roli optického rezonátoru, takže není třeba odrazů od faset krystalu (proto alespoň jedna z nich bývá pokryta antireflexní vrstvou). Difrakční mřížka navíc působí jako optický filtr, takže je zpět do aktivní oblasti odráženo jen velmi úzké spektrum vlnových délek (menší než 1 nm). Vlnová délka je určena mřížkovou konstantou. Tento typ laserových diod se používá v optických komunikacích.



Obr. 15 - a) DFB laserová dioda b) Ukázka jak funguje rozprostřená zpětná vazba c) skutečný singlemode zářič

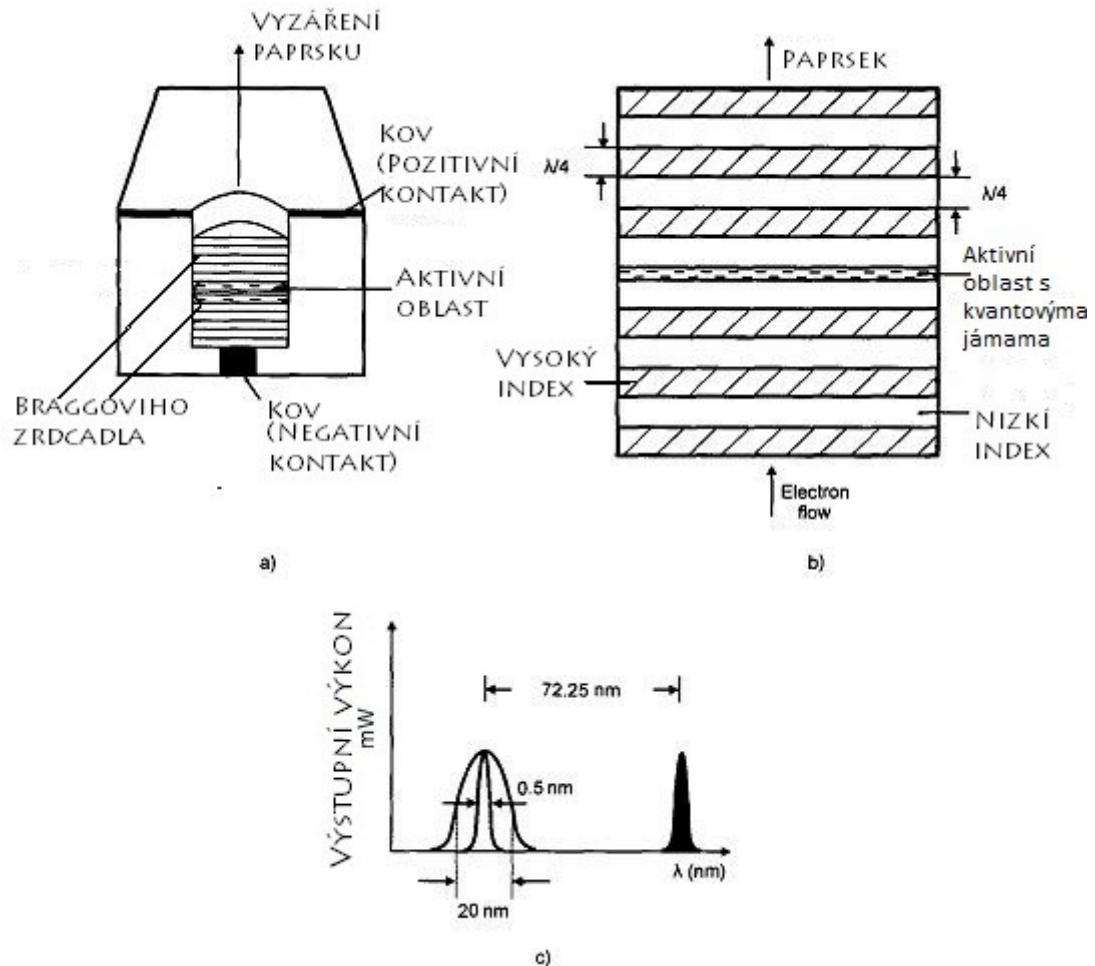
6.4 VCSEL laser



Obr. 16 – Struktura VCSEL laseru

VCSEL z anglického Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers (dioda generující optické záření ve vertikální rezonanční dutině kolmo k povrchu aktivního prostředí). Vyzařují kolmo k rovině aktivní vrstvy. Jelikož vyzařují z horní části čipu, je možné je testovat již na

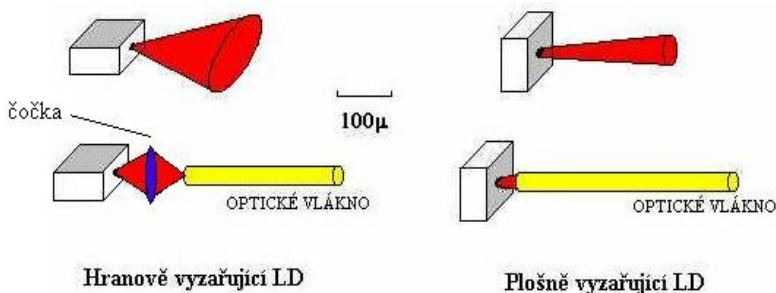
čipové „oplatce“, což snižuje náklady na výrobu. Dalšími výhodami tohoto uspořádání je menší rozbíhavost vycházejícího paprsku ($\sim 10^\circ$ oproti $\sim 30^\circ$ u hranově vyzařujících laserů). Vysoká odrazivost Braggových zrcadel (mřížek) snižuje hodnotu prahového proudu, na druhou stranu klesá i vyzařovaný výkon. Účinnost těchto laserů je někdo v okolí 80%.



Obr. 17 - a) Základní struktura VCSEL laseru b) princip činnosti c) získání křivky a rezonanční režimy

6.5 EEL

Edge Emitting Lasers (hranově vyzařující laser). Tento typ laserových diod vyzařuje záření ze své hrany přechodu. Ve výrobě i aplikaci laserů tento typ zatím převládá.

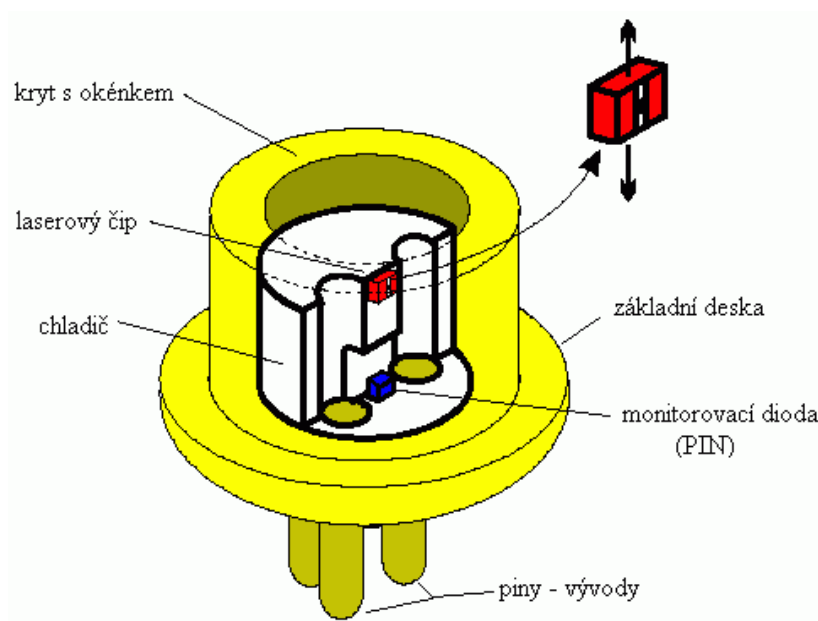


Obr. 18 – EEL laser

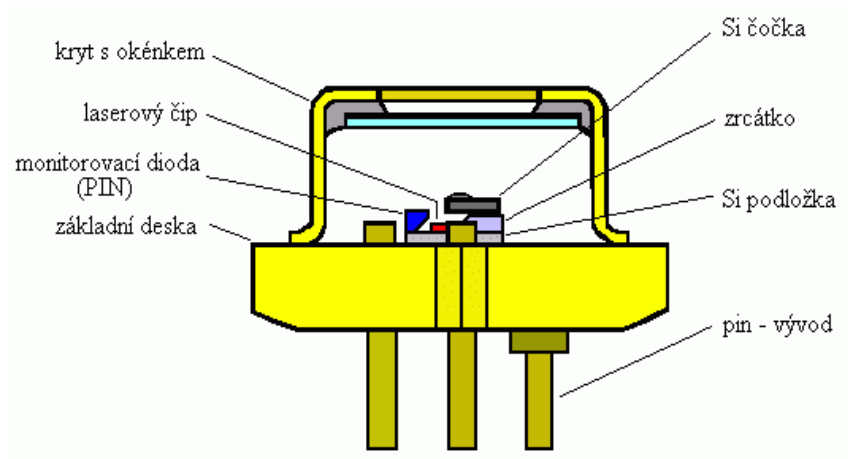
7 Pouzdření laserových diod

Pouzďení laserových diod spočívá v tom, abychom diodu mohly připojit, chránit apod. Hned první vlastností, kterou při pouzdření využíváme je ta, že světlo může vycházet z čipu laseru jak dopředu, ale i dozadu. Proto máme možnost „zadní světlo“ používat k monitorování optického výkonu. Záření dopadající na monitorovací část diody a záření vystupující části z LD mají mezi sebou poměr něco okolo 10% a 90%. Jako monitorovací část se používá fotodioda (PIN), která je umístěna v pouzdře na zadní straně laserového čipu kde paprsek vychází zezadu čipu. Tato fotodioda má alespoň jeden vývod samostatný a lze ji zapojit libovolně, tzn. buď ve fotorezistivním (závěrném) režimu nebo ve fotovoltaickém (propustném) režimu. Procházející proud je přímo úměrný se zářením laseru.

Celkové pouzdření diod se tedy většinou skládá z vlastního laserového čipu, monitorovací PIN diody, základní desky, na které jsou tyto části přilepeny, piny (nožičky), spojů a krytů s okénkem které bývá u dražších laserových diod antireflektované nebo skloněné. Mnohá pouzdra laserových diod jsou určena pro telekomunikaci. Obsahují odrazné zrcátko a čočku, která fokusuje vycházející záření což využíváme při spojování či navazování optických vláken nebo telekomunikačních tras.



Obr. 19 – Zapouzdření diody



Obr. 20 - Zapouzdření diody

8 Použití laserových diod a jejich výhody a nevýhody

8.1 Použití LD

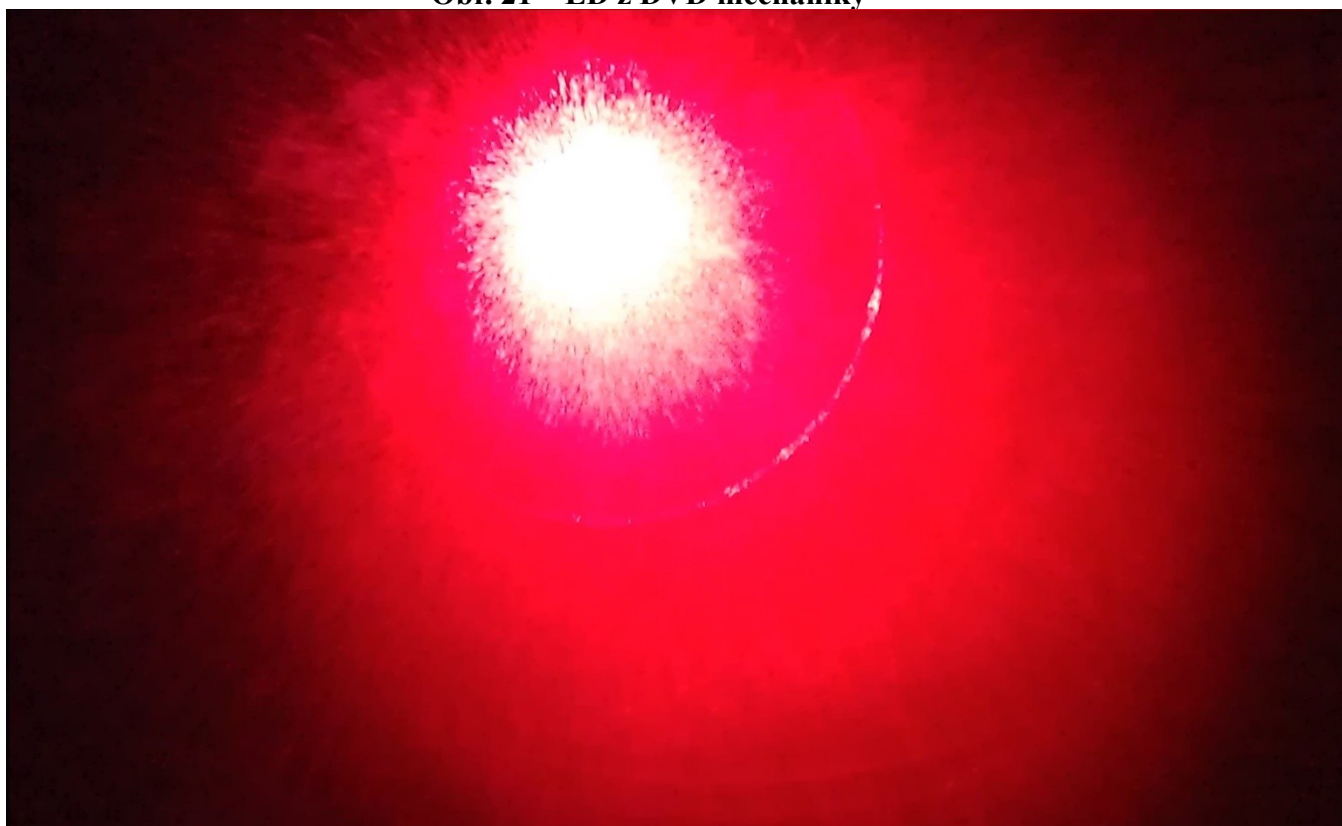
Laserové diody mají jakožto nejběžnější zástupce laserů široké uplatnění v mnoha odvětvích. Jejich úspěch spočívá především v nízkých nákladech na výrobu, možnosti použití v integrovaných obvodech (malá velikost, možnost nízkého napájecího napětí), vysoká účinnost a možnost modulace o frekvencích řádu GHz.

Díky výše zmíněným vlastnostem se hojně používají v telekomunikacích v optických vlnovodech. Používají se v laserových měřicích vzdáleností od běžných (měřicích centimetry až metry) až po drahé přístroje používané například k měření vzdálenosti družic od Země. Laserové diody jsou součástí čteček čárových kódů, stejně jako ve známých laserových ukazovátkách. Používají se také v tiskovém průmyslu, kde slouží jako zdroje osvětlení při skenování, ale také pro rychlý tisk s vysokým rozlišením v laserových tiskárnách. Infračervené a červené laserové diody jsou v CD a DVD přehrávačích a mechanikách, fialové se potom používají u HD DVD a Blu-ray technologiích. Vysoko výkonové laserové diody se uplatňují v průmyslových oblastech k řezání, obrábění, svařování či buzení jiných laserů, ale také například v lékařství v chirurgii nebo fotodynamické terapii. Další aplikace jsou dezinfekce (ultrafialové), zbraňové systémy, kvantová kryptografie, laserové televize nebo

Polopropustné zrcadla a čočky



Obr. 21 – LD z DVD mechaniky



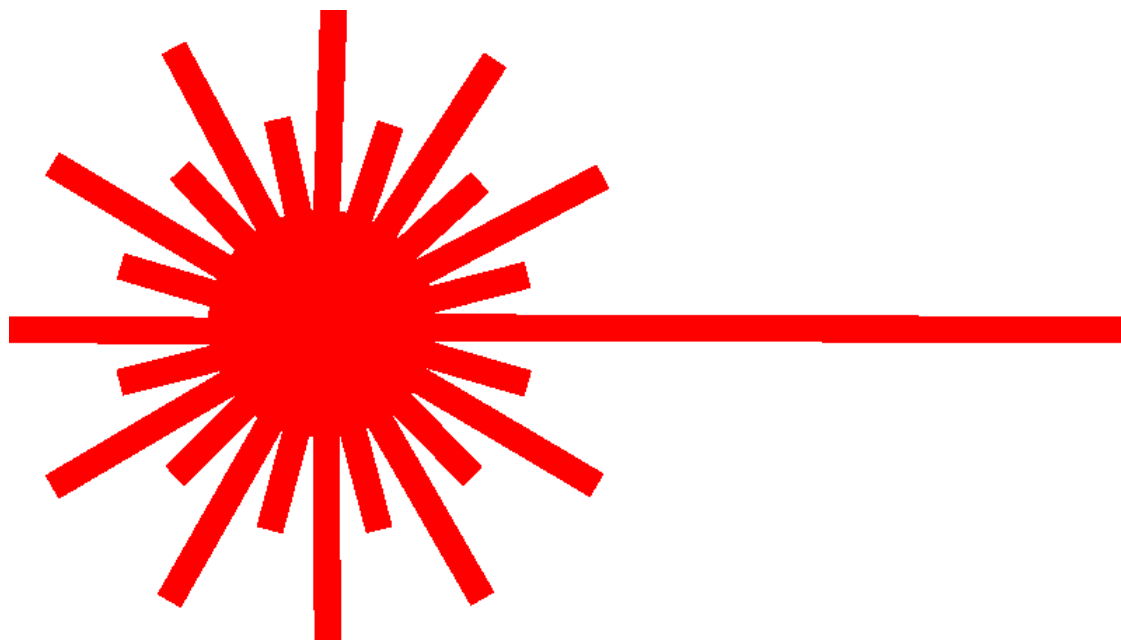
Obr. 22 – Vyzáření červeného laseru

8.2 Výhody a nevýhody LD

Jednou z hlavních výhod jsou miniaturní rozměry, malá setrvačnost, jednoduché součástky a malé napájecí napětí. Za to nevýhody jsou v podobě nižší prostorový a časový koherenci, nižší teplotní stability a odolnosti.

9 Závěr

Od prvního dne kdy se podařilo poprvé vygenerovat laserové záření, stal se laser velikou budoucností především v medicíně, výzkumu a armádě. Můžeme říct, že polovodičový laser je v dnešní době téměř nepostradatelný a je běžnou součástí našich životů, především ulehčuje práci mnoha lidem po celém světě a to v mnoha oborech, ale přesto všechno je i polovodičový laser stále nedokonalým a má značné rezervy jako je např. teplotní stabilita, nižší koherence atd. Současné technologie laserů se dále vyvíjí a jejich rozměry se stále zmenšují. V dnešní době známe lasery o velikostech pouhého zlomku milimetru (nanolaser), ale také velmi silné lasery se silou 2,03 megajoulů se spojením 193 paprsků do jednoho. S takovými hodnotami již brzy můžeme vytvořit např. efektivní termojadernou fúzi.



Obr. 23 – Logo bezpečnostních tříd laseru

10 Použitá literatura a odkazy

Lit. 1 – je odkaz na tištěnou knihu

[Lit. 1] Mišek, Ján - Polovodičové zdroje optického záření, Nakladatelství techn. lit., 1988

Lit. 2 – je odkaz na internetovou stránku

[Lit. 2] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>

Lit. 3 – je odkaz na internetovou stránku

[Lit. 3] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/oldindex.html> - povolení použití obrázků v příloze č.1

Lit. 4 – je odkaz na internetovou stránku

[Lit. 4] <http://lasery.wz.cz>

Lit. 5 – je odkaz na internetovou stránku se všemi parametry

[Lit. 5] http://cs.wikipedia.org/wiki/Laserov%C3%A1_dioda

11 Přílohy

Příloha č. 1 Povolení použití obrázků

Příloha č. 1

Redakce Elektrovue (redakce@elektrovue.cz) 17.2.2013

Vážený pán Nosek,

pokiaľ je mi známo, tak obrázky vo vašej publikácii, resp. záverečnej práci môžete využiť. Avšak ich nemôžete vydávať za svoje vlastné. To znamená, že pri použití obrázku/textu/tabuľky/.... ho musíte náležite citovať (uviesť zdroj hneď za obrázkom a samozrejme v použitej literatúre na konci Vašej publikácie). Túto skutočnosť si môžete všimnúť vo viacerých článkoch uverejnených v našom časopise, keďže autori takýmto spôsobom čerpajú z iných odborných publikácií (citácia cudzieho obrázku je označená číslom v hranatých zátvorkách v popisku obrázku).

Nasledujúce odkazy popisujú napríklad citačnú normu ISO690, ktorá je takisto využívaná v našom časopise.

<https://sites.google.com/site/novaiso690/>

<http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/internet/ARBEITSBLAETTERORD/LITERATURORD/ZitationISO690.html>

Ďakujem za prejavovaný záujem o náš časopis.

Za redakciu,

Miroslav Botta