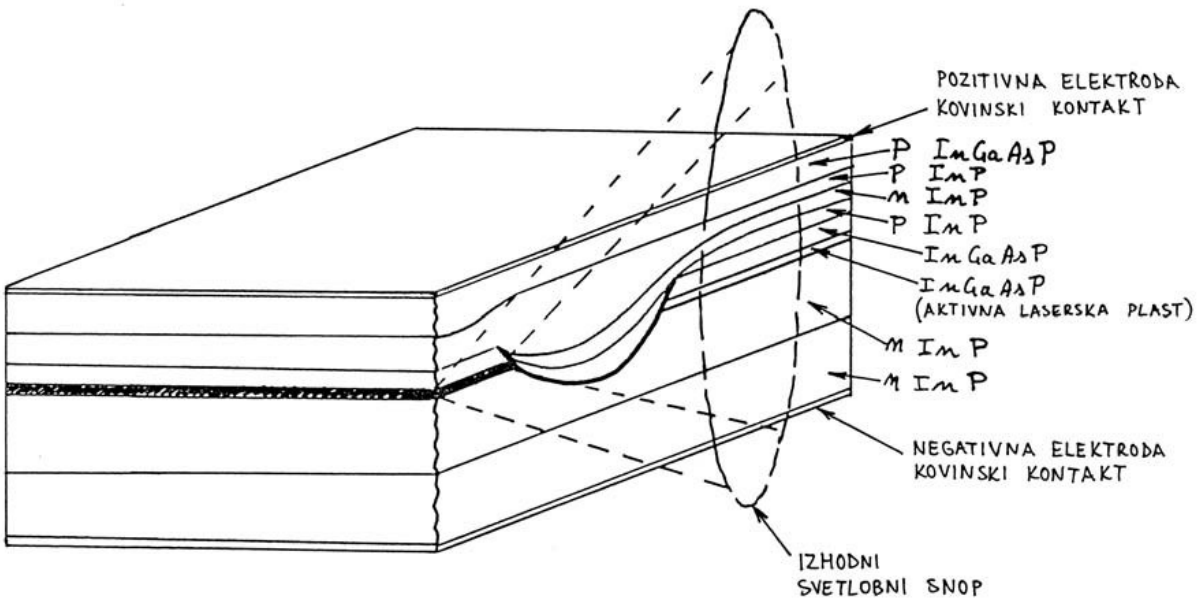
Polprevodniški laser

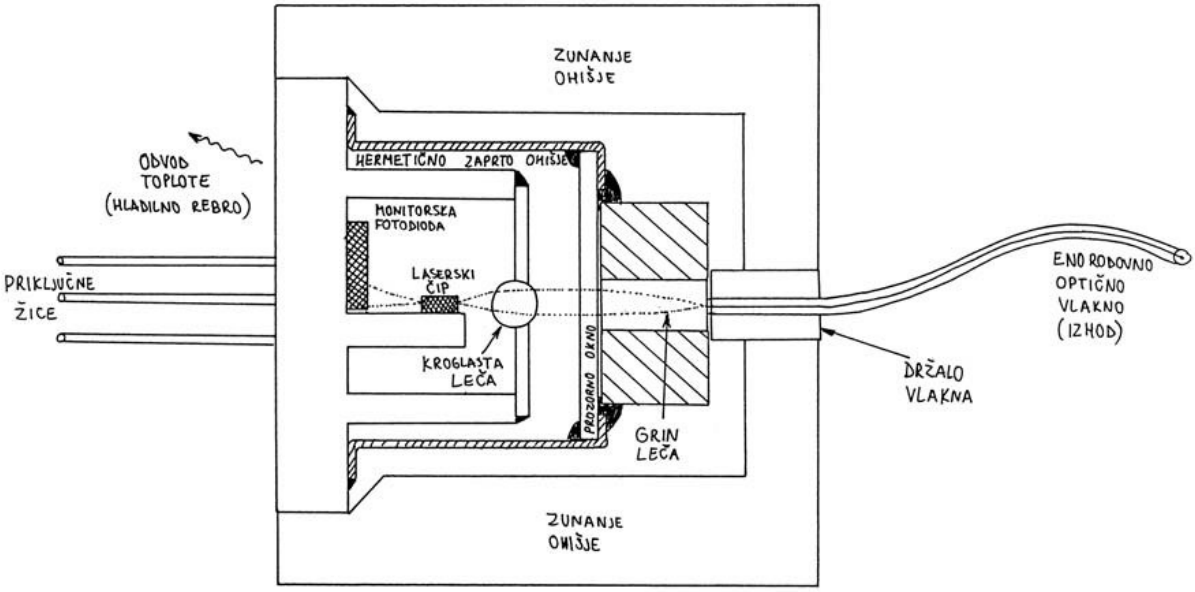
Osnovni svetlobni izvori za vse vrste optičnih komunikacij so polprevodniške svetleče diode in laserji. Vsi polprevodniški izvori za optične komunikacije sevajo v bližnjem infrardečem področju. Tehnološko je najlažje izdelati GaAs svetleče diode in GaAlAs laserje za področje valovnih dolžin od 800nm do 900nm. Ker steklena optična vlakna dosegajo nižje slabljenje in manjše popačenje signalov na daljših valovnih dolžinah, so v ta namen razvili tehnološko zahtevnejše svetleče diode in laserje iz kombiniranih polprevodnikov InGaAsP za valovne dolžine 1300nm in 1550nm.
Prerez komunikacijske laserske diode za 1300nm (ali 1550nm) je prikazan na sliki 14.1. Za razliko od običajne svetleče diode je treba izpolniti pri laserski diodi še nekaj pogojev, da naprava deluje kot laser. Za doseganje inverzne naseljenosti energijskih nivojev so potrebne velike gostote toka v polprevodniku. Aktivno področje, ki je sposobno ojačevati svetlobo, se mora hkrati obnašati kot optični valovod. Da hkrati zadosti vsem pogojem, je laserska dioda izdelana kot heterostruktura iz različnih polprevodnikov.



Slika 14.1. – Prerez 1300nm laserske diode.

Presek aktivne laserske plasti je zelo majhen: laserska plast je trak debeline komaj 0.5μm, širine 3μm do 5μm in dolžine nekaj 100μm. Ker imajo uporabljeni polprevodniki visok lomni količnik (okoli 3.5), za povratno vezavo zadošča že sam odboj svetlobe na obeh koncih laserskega čipa. Glede na vrsto rezonatorja imenujemo takšne laserje tudi Fabry-Perot (FP) laserji. Ker ima takšen laser dve enaki zrcali na obeh koncih čipa, se celotna proizvedena svetlobna moč deli na dva snopa, ki izhajata vsak na svojem koncu laserskega čipa.
Za razliko od plinskih (HeNe, Ar-ioni) laserjev imajo polprevodniški laserji razmeroma dober izkoristek pretvorbe električne energije v svetlobno, ki lahko pri nekaterih vrstah laserjev preseže 20%. Polprevodniške laserje tudi enostavno moduliramo z elektičnim tokom, ki teče skozi lasersko diodo, vse do frekvenc nekaj GHz. Podobno kot plinski laserji pa tudi polprevodniški FP laserji nihajo hkrati na več rezonančnih črtah in pri amplitudni modulaciji preskakujejo med različnimi načini nihanja. Zaradi manjših dimenzij rezonatorja je frekvenčni spekter svetlobe dosti širši kot pa pri plinskih laserjih. Za praktično uporabo v optičnih komunikacijah se polprevodniški laserji

vgrajujejo v laserske module, ki poleg laserske diode vsebujejo vsaj še monitorsko fotodiodo in leče za prilagoditev laserskega izhoda na optično vlakno, kot je to prikazano na sliki 14.2. Ker ima aktivna plast v laserju obliko traku, izhodni svetlobni snop ni rotacijsko simetričen in zahteva komplicirano optiko iz dveh leč za prilagoditev na optično vlakno. Svetloba, ki izhaja na drugem koncu laserskega čipa je seveda izgubljena, zato jo delno izkoristi le monitorska fotodioda.



Prerez polprevodniškega laserskega modula.

Pri sodobnih laserjih je pragovni tok nižji in znaša tudi do 5mA. Pragovni to kse veča z višanjem temperature.Za običajne polprevodnike je nevarna povišana temperatura. Pri znižanju temperature pri istem toku laser odda večjo optično moč in lahko pride do zažiga zrcal in s tem uničenje laserja. Za polprevodniške laserje je torej nevarnejša nižja temperatura.

Akustooptični modulator

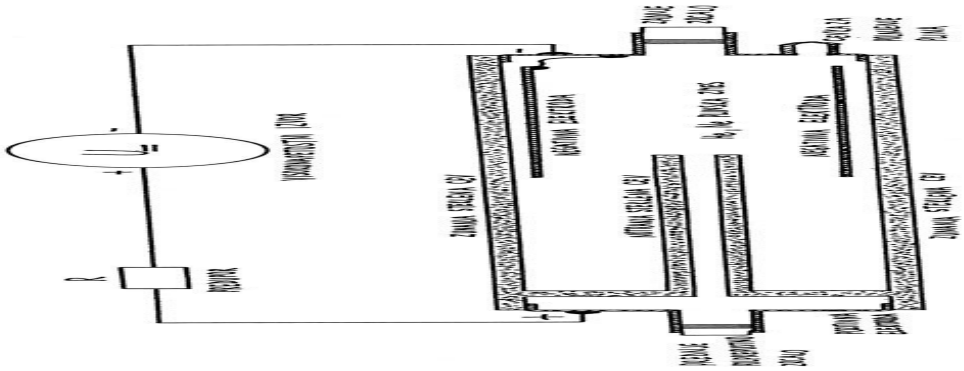
Akustooptika je področje na meji med akustiko in optiko, ki temelji na akustooptičnem pojavu v snovi, torej na interakciji med zvokom ter svetlobo v snovi.
Pri širjenju akustičnega vala se v snovi pojavljajo napetosti, ki se odražajo kot zgoščine (višji lomni količnik) in razredčine (nižji lomni količnik). Zvočni valovi povzročajo uklon svetlobe v snovi.
Interakcija med zvočnim in svetlobnim valovanjem nastane zaradi krajevno-časovne odvisnosti lomnega količnika, ki jo povzroča zvok in ki lahko bistveno vpliva na širjenje svetlobe skozi snov.

Helij-neonska laserska cev

Čeprav se helij-neonski laser običajno ne uporablja za optične komunikacije po svetlovodih, je delovanje te vrste laserja zelo podobno drugim vrstam laserjev. Za razliko od polprevodniških laserjev je helij-neonski laser mnogo večji, je ponavadi v steklenem ohišju in običajno oddaja vidno svetlobo. Zaradi slednjega lahko konstrukcijo laserja in vse pojave opazujemo kar s prostim

očesom. Poleg tega se helij-neonski laser uporablja kot izvor zelo kvalitetne svetlobe za celo vrsto poskusov v optiki. Zaradi velike dolžine optičnega rezonatorja (okoli 30000 valovnih dolžin) je frekvenčni spekter HeNe laserja zelo ozek, dosti ožji od polprevodniških laserjev.

Da dosežemo samostojno nihanje laserja, moramo aktivno lasersko snov vstaviti v rezonator, ki daje na določenih frekvencah zadosti močno povratno vezavo. Rezonator sestavimo iz dveh zrcal na obeh koncih cevi. Zrcala so izdelana iz stekla, ki je na notranji strani prevlečeno z več plastmi različnih dielektrikov. Debeline in lomni količniki teh plasti so tako izbrani, da dosežemo odboj na želeni valovni dolžini in preprečimo odboj na drugih valovnih dolžinah.



1. Od česa je odvisna barva svetlobe, ki jo oddaja HeNe laser? Barva laserja je odvisna od zrcal, plina, položaja zrcal in točnosti.

2. Kakšna je polarizacija svetlobe, ki izhaja iz rotacijsko simetričnega HeNe laserja? Polarizacija iz rotacijsko simetričenga laserja je nedoločena.

3. Kako dosežemo, da laser oddaja točo določeno linearno polarizirano svetlobo? Da dosežemo točno določeno linearno polarizacijo svetlobe, zrcala damo pod Brewsterjevim kotom.

Popolni odboj valovanja

Ko valovanje vpada na mejo dveh različnih snovi, se del valovanja lahko odbije nazaj v izvorno snov, drugi del valovanja pa se lahko lomi v drugo snov.
V najbolj splošnem slučaju opazimo oba pojava, lom in odboj valovanja. Pri tem smatramo, da so valovni impedanci in hitrosti razširjanja valovanja v različnih snoveh različne med sabo, kot tudi da je meja med dvema različnima snovema ostro določena.

1. Zakaj se lomljeni žarek razmaže v podolgovato liso preden izgine? Zato ker ni neskončno ozek.

2. Kako bi potekal poskus, če bi bila prizma prevlečena z antirefleksnim slojem na vseh stranicah? Potem nebi bilo stranskih odbojev.

Odboj svetlobe na površini stekla

Povezavo med koti vpadnega, odbitega in lomljenega žarka na meji dveh različnih snovi opisuje Snell-ov zakon. $n_1/n_2=\sin q_L/\sin q_V$
Snell-ov zakon ni odvisen od polarizacije elektromagnetnega valovanja (povsem enak zakon velja tudi za vzdolžna valovanja, naprimer za lom zvočnega valovanja), zato lomne

lastnosti različnih snovi preprosto opišemo z lomnim količnikom.

1. Kje se uporablja Bravster-jevo okno? Uporablja se za polarizacijo laserja.

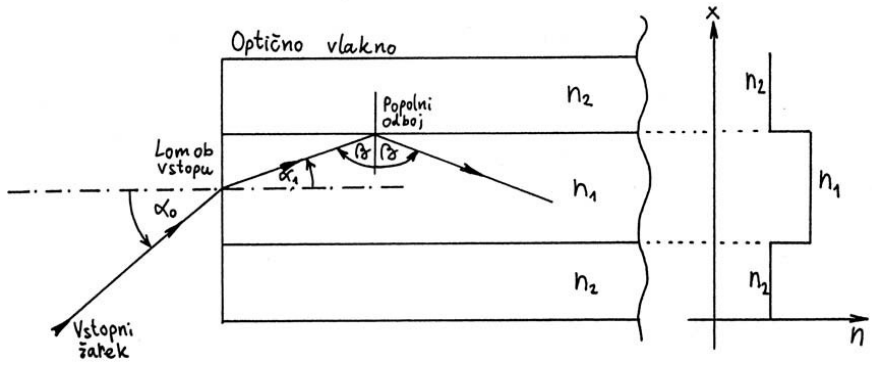
Mnogorodovna optična vlakna

Optična vlakna uporabljamo kot dielektrične valovode. Ker je valovna dolžina svetlobe zelo majhna, so tudi prečne mere ustreznih valovodov zelo majhne. Optična vlakna za komunikacije z majhnimi izgubami so izdelana iz zelo čistega kremenčevega stekla in njihov zunanji premer (sredica z oblogo) je standardiziran na 125μm. Za lažje rokovanje so optična vlakna zaščitena vsaj s primarno zaščito premera 250μm in običajno še s sekundarno zaščito različnih premerov. Za zaščito steklenih optičnih vlaken se uporabljajo umetne plastične mase.

Prvotna optična vlakna so imela stopničast lomni lik in zelo debelo sredico, pri uporabi v frekvenčnem področju vidne in bližnje infrardeče svetlobe pa se je po njih širilo zelo veliko število valovodnih rodov. Pri stopničastem lomnem liku se različni valovodni rodovi širijo z zelo različnimi hitrostmi, kar močno omejuje pasovno širino prenosne poti. Premer sredice in zunanji premer stopničastih vlaken ni bil standardiziran, v uporabi so bila vlakna različnih premerov.

Naslednja tehnična izboljšava je bilo gradientno vlakno. Takšno vlakno ima sicer še vedno razmeroma debelo sredico (50μm ali 62.5μm), vendar se profil lomnega količnika spreminja zvezno po skrbno izbrani krivulji, da so hitrosti razširjanja različnih rodov med sabo čimbolj enake. Zunanji premer vlakna je standardiziran na 125μm. Standardizirani so tudi lomni količniki sredice in obloge, kar omogoča medsebojno spajanje vlaken različnih proizvajalcev. Končna stopnja razvoja so sicer tehnološko najbolj zahtevna enorodovna vlakna različnih lomnih likov. Premer sredice znaša 10μm ali manj, premer obloge pa je tudi v slučaju enorodovnih vlaken standardiziran na 125μm. Lomni količniki in lomni liki enorodovnih vlaken so standardizirani na nekaj vrednosti, kar spet omogoča spajanje podobnih vlaken različnih proizvajalcev.

Eden najpomembnejših podatkov kakršnegakoli dielektričnega valovoda je numerična apertura (NA). Numerična apertura povezuje lomni količnik sredice in lomni količnik obloge v pomembno veličino, ki opisuje elektromagnetne lastnosti optičnega vlakna. V mnogorodovnih optičnih vlaknih, v katerih se lahko širi zelo veliko število rodov, je numerična apertura preprosto sinus največjega vstopnega kota svetlobe, ki še izpolnjuje pogoj popolnega odboja na meji med sredico z lomnim količnikom *n*1 in oblogo z lomnim količnikom *n*2.



$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$n_1 \equiv$ jedro

$n_2 \equiv$ obloga ; $n_2 < n_1$

1. Kako je polarizirana svetloba na vhodu mnogorodovnega vlakna? Na vhodu je polarizacija linearna

2. Kako je polarizirana svetloba na izhodu mnogorodovnega vlakna? Na izhodu je polarizacija nedoločena.

3. V čem se razlikujeta vzorca na zalonu pri vlaknu s stopničastim lomnim likom in paraboličnim lomnim likom. Pri stopničastem bi bila NA (numerična apertura) večja in porazdelitev rodov bi bila povsod enaka.

Enorodovno optično vlakno

Kljub skrbni izbiri oblike lomnega lika in izdelavi mnogorodovnega optičnega vlakna z gradientnim lomnim likom se mnogorodovne disperzije nikakor ne moremo povsem znebiti. Optične komunikacije na velike razdalje in z velikimi bitnimi hitrostmi omogočajo le enorodovna vlakna. Vsa enorodovna vlakna za telekomunikacije imajo premer obloge standardiziran na 125μm, glede na vrsto jedra pa jih razdelimo v več skupin.

Najpreprostejše enorodovno komunikacijsko vlakno ima stopničast lomni lik ter premer sredice med 8μm in 10μm. Takšno vlakno ima najmanjšo disperzijo v okolici valovne dolžine 1.3μm, kjer valovodna disperzija osnovnega rodu natančno izniči učinek snovne (barvne) disperzije stekla. Zato je premer jedra izbran tako, da je 1.3μm hkrati približno zaporna valovna dolžina za višje valovodne rodove (parameter V=2.405...). Na ta način ohranimo visoko slabljenje vseh višjih rodov in hkrati dosežemo najnižje slabljenje osnovnega valovodnega rodu.

Ker je slabljenje optičnih vlaken najnižje pri nekoliko daljših valovnih dolžinah, okoli 1.55μm, se izdelujejo tudi enorodovna vlakna s še manjšim jedrom oziroma bolj kompliciranim lomnim likom (W-vlakna). Takšna vlakna imenujemo disperzijsko premaknjena (angl. dispersion-shifted - DS) vlakna. Pri DS vlaknih s primerno izbrano obliko lomnega lika dosežemo izničenje snovne disperzije z valovodno disperzijo v okolici zanimive valovne dolžine 1.55μm oziroma hkrati na obeh zanimivih valovnih dolžinah 1.3μm in 1.55μm. Za posebne namene se izdelujejo tudi drugačna enorodovna vlakna. V sklopnikih laserskih vlakenskih ojačevalnikov potrebujemo vlakno, ki ostane enorodovno v širokem razponu valovnih dolžin (od 980nm/črpalka do 1550nm/signal). Takšno vlakno ima zelo majhno jedro premera komaj 3μm, toda zelo visoko razliko lomnih količnikov.

Posebna zvrst enorodovnih vlaken so tudi dvolomna vlakna, ki se od običajnih vlaken razlikujejo po tem, da niso rotacijsko simetrična. Dvolomnost običajno dosežemo z dodatki v oblogi, ki nesimetrično stiskajo jedro vlakna. Dvolomna vlakna ohranjajo polarizacijo svetlobe, da se izognemo polarizacijski disperziji.

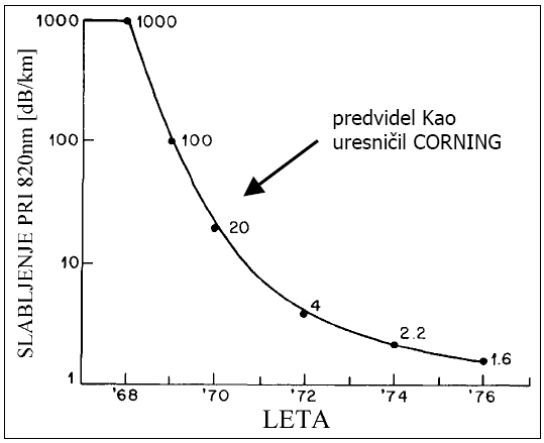
Rezonator polprevodniškega laserja

Osnovni svetlobni izvori za večino optičnih komunikacij so polprevodniški laserji z vgrajenim rezonatorjem. Čip polprevodniške laserske diode vsebuje dielektrični valovod pravokotnega prereza, kot je to prikazano na sliki 17.1. Številne dodatne plasti različnih polprevodnikov morajo zagotoviti delovne pogoje laserja. Obloga valovoda mora imeti nižji lomni količnik in širši prepovedan energijski pas, da ne pride do izgub fotonov, ki so nastali v aktivni plasti. Dodatna izolacijska plast poskrbi, da se celoten enosmerni tok

napajanja usmeri skozi ozko aktivno plast.

Rezonator polprevodniškega laserja je lahko zaključen z zrcali na obeh koncih čipa (Fabry-Perot) oziroma vsebuje porazdeljeno povratno vezavo (angl. Distributed Feed Back - DFB). Vrsta povratne vezave vpliva na vzdolžne rodove laserja, sama porazdelitev polja po preseku valovoda pa je v obeh slučajih enaka. Pri vseh komunikacijskih laserjih sta valovod sam (angl. indexguided laser) oziroma dovod enosmernega toka (angl. gain-guided laser) načrtovana tako, da laser niha samo na osnovnem prečnem rodu s polarizacijo TE (električno polje vzporedno s sloji polprevodnika). DFB laserji seveda nihajo samo na enem vzdolžnem TE rodu.

Slabljenje optičnega vlakna

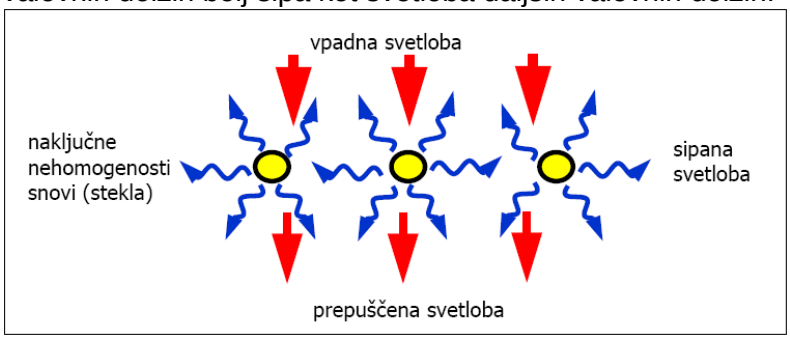


Rayleighovo sipanje

Kasneje so prišli do ugotovitve, da je mogoče doseči še manjše slabljenje pri večjih valovnih dolžinah. Pojav se imenuje Rayleighovo sipanje po lordu Rayleighu, ki je fizikalni pojav odkril. Rayleighovo sipanje razprši svetlobo, ki potem izhaja iz vlakna, kot prikazuje slika 31.2.

Za razliko od loma in odboja, kjer se svetlobno valovanje po pojavu odbije samo v eno smer, se pri sipanju razprši svetloba v vse smeri. Sipanje svetlobe se vrši na naključno porazdeljenih delcih (molekulah) snovi, ki je v našem primeru steklo.

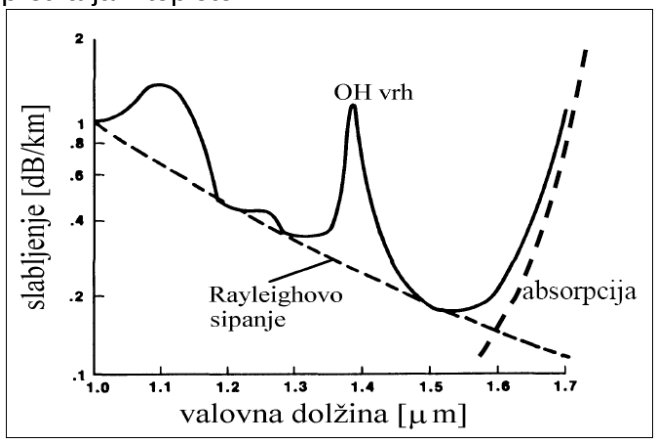
Selektivno sipanje ali Rayleighovo sipanje se pojavi, ko imajo delci snovi lastnost, da bolj učinkovito sipajo svetlobo izbrane valovne dolžine. Običajno je tako, da se svetloba krajših valovnih dolžin bolj sipa kot svetloba daljših valovnih dolžin.



V vidnem delu svetlobnega spektra je svetloba z najkrajšo valovno dolžino vijolična oziroma modra. Ker se ta sveloba najbolj sipa na molekulah v atmosferi, vidijo naše oči nebo modre barve.

Za razliko od Rayleighevega sipanja poznamo tudi Mievo sipanje, ki povzroča belo barvo oblakov. Vodne kapljice v oblaku s polmerom približno 20 μm so dovolj velike, da sipajo vse valovne dolžine vidne svetlobe bolj ali manj enako. To pomeni, da bo skoraj vsa svetloba, ki vstopi v oblak, razpršena. Ker so sipane vse valovne dolžine, vidimo oblake bele barve. Ko so oblaki zelo debeli, prehaja skozi njih vse manj vstopne sončne svetlobe, kar daje oblaku črno barvo.

Z naraščanjem valovne dolžine slabljenje optičnega vlakna pada in teoretično lahko pride do izredno nizkih slabljenj pri visokih valovnih dolžinah, kot prikazuje slika 31.3. V praksi pa se pri večjih valovnih dolžinah pojavi absorpcija svetlobe v steklu, pri čemer se svetloba pretvarja v toploto.



Obstaja še tretji problem in to je absorpcija zaradi Hidroksidnih (OH) ionov, ki so prisotni v steklu. Prisotni so le določeni ioni, ki imajo izrazite absorpcijske vrhove. Najbolj značilen vrh je pri 1400 nm, ki ločuje drugo in tretje spektralno okno. Danes je tehnološko že mogoče izdelati vlakno, ki nima tega OH absorpcijskega vrha.

Minimalno slabljenje optičnega vlakna nastopi pri valovni dolžini 1550 nm in to je tudi razlog za nastanek tretjega spektralnega okna v optičnih komunikacijah.

Mnogorodovna disperzija v gradientnem vlaknu

Prvotna optična vlakna so imela stopničast lomni lik in zelo debelo sredico predvsem zaradi enostavnejše izdelave, spajanja vlaken med sabo in boljšega sklopnega izkoristka na nekoherenten svetlobni izvor. Pri uporabi v vidnem in bližnjem infrardečem področju se po takšnih vlaknih širi veliko število valovodnih rodov. Pri stopničastem lomnem liku se različni valovodni rodovi širijo s precej različnimi hitrostmi, kot je to prikazano na sliki 9.1, kar zelo omejuje pasovno širino prenosne poti.

Pomembno tehnično izboljšavo mnogorodovnega vlakna predstavlja gradientno vlakno. Takšno vlakno ima sicer še vedno razmeroma debelo sredico (standardizirano 50μm oziroma 62.5μm), vendar se profil lomnega količnika spreminja zvezno po skrbno izbrani krivulji, da so hitrosti razširjanja različnih rodov med sabo čimbolj enake.

AKUSTO-OPTIČNI POJAVI

Uklon svetlobe na zvočnem valovanju

Zvočno (akustično) valovanje je vzdolžno (longitudinalno) mehansko valovanje

v plinih, tekočinah in trdnih snoveh. Vsako valovanje opisujeta dve veličini: tok in napetost na električnem vodu, električno in magnetno polje za elektromagnetni val v praznem prostoru ter hitrost delcev snovi in pritisk v snovi za zvočno valovanje.
Lomni količnik snovi za svetlobo je odvisen od gostote snovi in je zato tudi funkcija mehanskega pritiska v snovi. Odvisnost lomnega količnika tekočin in trdnih snovi od pritiska je sicer zelo majhna za praktično izvedljive pritiske. Ker pa je valovna dolžina svetlobe zelo majhna, je dolžina poti svetlobe v snovi običajno zelo velika v primerjavi z valovno dolžino. Velike spremembe faze svetlobnega valovanja zato lahko dosežemo tudi z majhnimi spremembami lomnega količnika, če je le dolžina poti zadosti velika.
Zvočno valovanje predstavlja skupino zgoščin in razredčin, ki se širijo po snovi. Za svetlobo predstavljajo zgoščine področja, kjer je lomni količnik snovi nekoliko večji, razredčine pa področja, kjer je lomni količnik nekoliko manjši od srednjega lomnega količnika snovi. Če se zvočni val širi približno pravokotno na smer širjenja svetlobe, pride do uklona svetlobe na zvočnem valovanju.
Pri Raman-Nath-ovem uklonu privzamemo, da je pot svetlobe skozi snov zadosti kratka, da se snov z zvočnim valom obnaša kot enostavna uklonska mrežica, ki modulira fazo vstopajočega svetlobnega žarka. Na izstopu iz uklonske mrežice dobimo šop žarkov. Odkloni žarkov so funkcija zvočne valovne dolžine, ki je kar perioda uklonske mrežice.

TEMPERATURNA ODVISNOST PRAGOVNEGA TOKA LASERJA

Polprevodniški laserski moduli

Za razliko od plinskih laserjev, naprimer helij-neonskega laserja, je delovanje laserjev v trdnih snoveh zelo nestabilno in močno odvisno od temperature aktivne laserske snovi. Vsi polprevodniški laserji so zelo odvisni od temperature polprevodnika. Z rastočo temperaturo se niža ojačenje aktivne laserske snovi, večajo se izmere rezonatorja in spreminja se valovna dolžina laserskega ojačenja v snovi. Zato so prvi polprevodniški GaAlAs laserji delovali le pri zelo nizkih temperaturah, s pomočjo umetnega hlajenja in še to le v impulznem režimu.

Sodobni polprevodniški laserji, GaAlAs za 800-900nm in InGaAsP za 1300nm ali 1550nm, delujejo v enosmernem režimu pri sobni temperaturi, vse lastnosti laserja pa so še vedno močno odvisne od točne vrednosti temperature čipa. Pri vseh vrstah polprevodniških laserjev s temperaturo hitro narašča pragovni tok laserja. V enostavnih FP laserjih (z zrcali na koncih rezonatorja) s spreminjanjem temperature preskakuje valovna dolžina delovanja med različnimi rodovi rezonatorja. V polprevodniških laserjih s porazdeljeno povratno vezavo (angl. Distributed Feed Back - DFB) lahko s spreminjanjem temperature laserskega čipa celo zvezno uglašujemo laser, v ozkem območju okoli 5nm, na želeno valovno dolžino.

Za praktično uporabo v optičnih komunikacijah se polprevodniški laserji vgrajujejo v laserske module, ki poleg laserske diode vsebujejo vsaj še monitorsko fotodiodo in leče za prilagoditev laserskega izhoda na optično vlakno. Monitorska dioda običajno izkorišča svetlobo, ki izhaja na drugem koncu laserskega čipa. Preko monitorske diode lahko preverjamo delovanje laserja in spremembe pragovnega toka laserske diode popravljamo z nastavljanjem delovnega toka diode. Monitorska dioda žal nič ne pove o valovni dolžini, na kateri dela laser, niti o rodovih v rezonatorju. Signal iz monitorske diode zato ni niti povsem sorazmeren s sklopljeno močjo v optično vlakno in ga lahko uporabljamo le kot pripomoček za vpogled v delovanje

laserja, ne pa za točne meritve.

Za delovanje v širšem temperaturnem območju oziroma za zahtevnejše polprevodniške laserje vsebujejo laserski moduli poleg laserja, monitorske fotodiode in optike še Peltier-ovo toplotno črpalko in termistor za merjenje temperature laserskega čipa. Izvedba takšnega popolnejšega laserskega modula je prikazana na sliki 18.1. Toplotna črpalka je izdelana kot baterija termočlenov, ki ohlajajo oziroma segrevajo laser glede na smer enosmernega električnega toka.

MERJENJE POGOSTNOSTI NAPAK V OPTIČNI ZVEZI

Merila za kvaliteto optične zveze

Zvezo po optičnem vlaknu ovrednotimo na enak način kot vsako drugo vrsto zveze. V slučaju analognega prenosa je merilo kvalitete zveze razpoložljivo razmerje signal/šum in popačenje želenega signala. V slučaju digitalnega prenosa je merilo še enostavnejše: pri prenosu digitalnih podatkov nas zanima predvsem verjetnost pojavljanja napak v prenosu oziroma pogostnost, s katero se bojo pojavljale napake.
Pogostnost napak (angl. Bit Error Rate ali BER) je zato merilo kvalitete vsake digitalne zveze. V slučaju zveze po optičnem vlaknu je edini upravičen vzrok pojavljanja napak kvantni oziroma toplotni šum sprejemnika, saj so tu pojavi presihanja polja, motenj ipd, ki jih običajno srečamo v radijskih zvezah, povsem odsotni. Zveze po optičnih vlaknih zato vedno odlikuje izredno nizka pogostnost napak, ki se natančno pokorava enostavnemu statističnemu zakonu šuma.
Obljubljeno kvaliteto zveze po optičnem vlaknu je treba seveda dokazati, se pravi izmeriti pogostnost napak na resnični, obstoječi zvezi. Zvezo enostavno preizkusimo tako, da po njej pošljemo znano sporočilo in na drugem koncu zveze preverimo, kaj smo sprejeli ter preštejemo napake. Ker je pogostnost napak v optičnih zvezah zelo majhna številka, tudi manj kot 10-9, mora biti sporočilo zadosti dolgo, da bomo sploh lahko opazili napako.
Poleg tega je treba pri izbiri sporočila paziti tudi na to, da bomo v njegovi vsebini lahko sploh opazili napako. Naprimer, če vsebuje sporočilo same logične ničle, ne bomo v njem nikoli opazili pokvarjene logične enice, ki se je zaradi napake spremenila v ničlo. Preizkusno sporočilo mora biti zato zelo skrbno izbrano, da vsebuje vse dopuščene bitne vzorce.

LiNbO3 ELEKTROOPTIČNI AMPLITUDNI MODULATOR

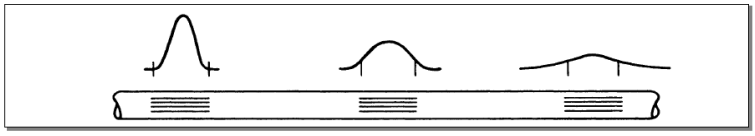
Modulacija svetlobnih izvorov

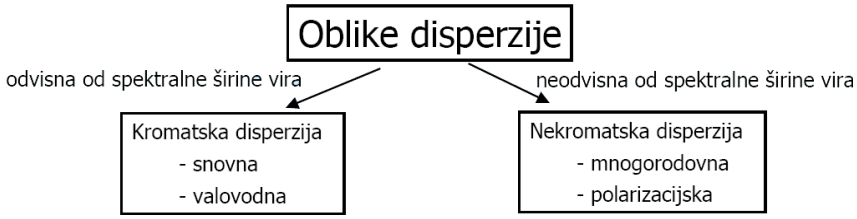
Večina sedanjih optičnih zvez uporablja neposredno modulacijo napajalnega toka skozi LED ali lasersko diodo. S primerno konstrukcijo polprevodniških svetlobnih izvorov se da doseči hiter odziv (1ns) in razmeroma linearno krivuljo izhodne svetlobne moči v odvisnosti od krmilnega toka. Za digitalne optične zveze do hitrosti približno 1Gb/s je takšna rešitev povsem zadovoljiva.
Za še višje hitrosti oziroma za prenos analognih signalov, naprimer več deset TV programov po enem samem optičnem vlaknu, opisana rešitev več ne zadošča. Odziv laserskih diod je prepočasen, poleg tega pa modulacija izredno razširi optični spekter tudi najboljših laserjev s porazdeljeno povratno vezavo (DFB). Posledica razširjenega optičnega spektra je močno povečana disperzija, na kar so optične zveze pri hitrostih 2.5Gb/s in več še posebno občutljive.

Edina smiselna tehnična rešitev je zato ločen modulator, da lahko dela DFB laser v stabilnem enosmernem režimu z izredno ozko spektralno črto. Od vseh znanih fizikalnih pojavov, s pomočjo katerih lahko moduliramo svetlobni žarek, ima dovolj hiter odziv in dovolj veliko občutljivost za električne krmilne signale elektrooptični pojav.

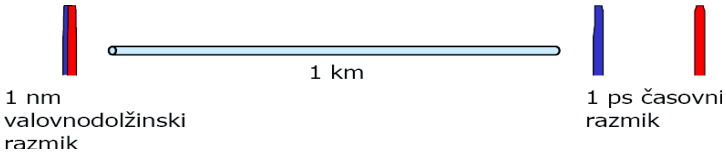
Elektrooptični pojav pomeni v grobem, da je lomni količnik snovi odvisen od zunanjega enosmernega ali nizkofrekvenčnega električnega polja. Za elektrooptične naprave je najprimernejša snov kristal litijevega niobata (LiNbO3), v katerem lahko z difuzijo titana (Ti) povečamo lomni količnik in tako naredimo planarne svetlovode. Najenostavnejša elektrooptična naprava je optični fazni sukalnik

Disperzija optičnega vlakna:

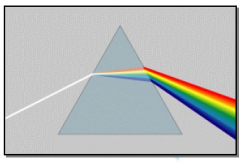


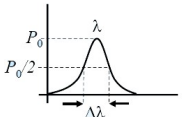


Kromatska disperzija oziroma barvna disperzija
•Signali različnih valovnih dolžin potujejo z različnimi hitrostmi.
•Enota ps/(nm·km)pomeni, da pri disperziji 1ps/(nm·km) dva sočasna impulza zvalovno dolžinskim razmikom 1nm, ki potujeta preko razdalje 1km, prideta časovno zamaknjena za 1ps.



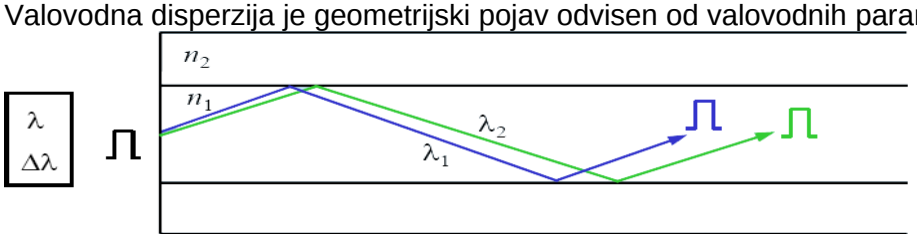
Snovna disperzija
Lomni količnik stekla je frekvenčno odvisen.





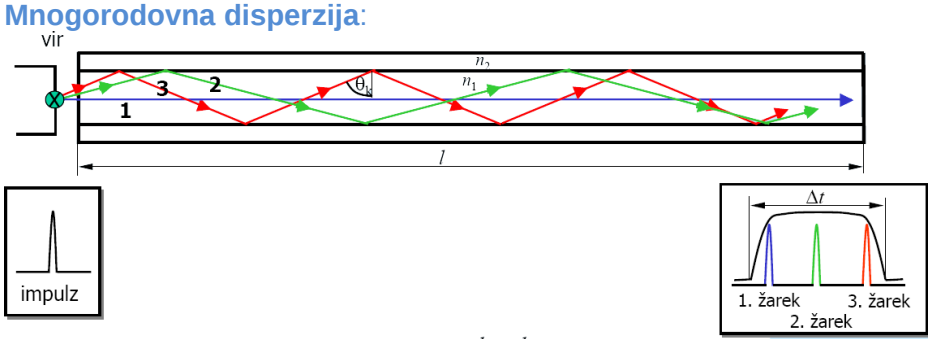
Valovodna disperzija

Valovodna disperzija je geometrijski pojav odvisen od valovodnih parametrov.



Vhodni impulz pride na konec ob različnem času, tudi če je snov nedisperzna.

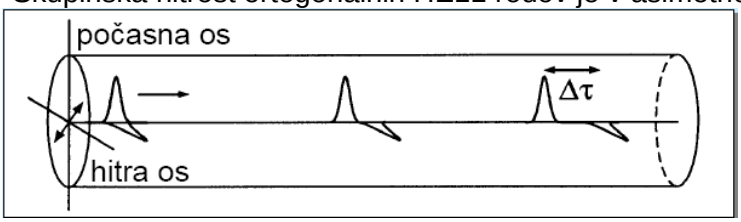
Mnogorodovna disperzija:



Ker je lomni količnik jedra večji od lomnega količnika obloge, je čas potovanja 3. Žarka večji od časa potovanja direktnega žarka.

Polarizacijska disperzija

•Polarizacijska rodovna disperzija –PMD(Polarization Mode Dispersion)
•Zaradi polarizacijsko odvisnega lomnega količnika (dvolomnost) se po t.i. enorodovnih optičnih vlaknih v resnici širita dva ortogonalno polarizirana HE11 rodova.
•Skupinska hitrost ortogonalnih HE11 rodov je v asimetričnem vlaknu različna.



Vlakno za kompenzacijo disperzije (DCF)

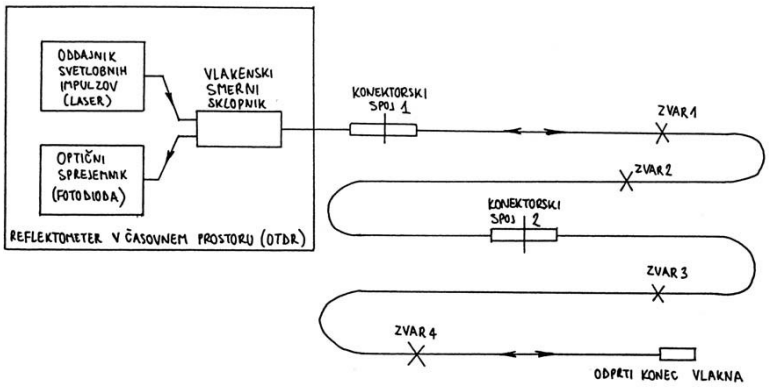
•Delujejo na enak način kot disperzno premaknjena vlakna
•DC vlakno mora generirati dovolj negativne disperzije (-80ps/nmkm)
•Da dosežemo znatno večjo valovodno disperzijo, moramo uporabiti večji Δn jedra in obroča, ter večjo globino (prostornino) jaška
•To se odraža v zmanjšanju Aeffna praktične vrednosti med 15-20μm2, vendar zaradi visoke disperzije nelinernosti niso omejitveni faktor
•Naklon in κ sta odločilna parametra, ki pogojujeta zahtevnost širokopasovnega kompenzacijskega sistema
•Proizvajalci ne prodajajo vlakna temvečmodule, kjer je vlakno navito a primeren premer, ki omogoča enorodovnost

OPTIČNI REFLEKTOMETER V ČASOVNEM PROSTORU (OTDR)

Reflektometerske meritve optične zveze

Pri meritvah resničnih optičnih zvez sta si oba konca zveze nekaj deset do nekaj sto kilometrov narazen, torej običajno nista dostopna hkrati. Za meritev optične zveze bi zato želeli postopek, ki zna izmeriti optično vlakno v vkopanem kablu z dostopom na enem samem koncu optične zveze. Takšno meritev imenujemo reflektometerska meritev. Izvedemo jo tako, da v vlakno pošljemo na enem koncu znan signal in opazujemo, kaj se po določenem času zaradi različnih odbojev vrne na istem koncu vlakna.

Reflektometerska meritev v časovnem prostoru je prikazana na sliki 13.1. V vlakno pošljemo časovno kratek impulz svetlobe. Svetlobni impulz se odbije predvsem na odprtem koncu vlakna in na konektorskih spojih. Precej slabotnejše je Rayleigh-ovo sipanje svetlobe v steklu vzdolž celotne dolžine vlakna. Odboji na zvarih so zanemarljivo majhni.



Ustrezen merilnik, ki vsebuje oddajnik optičnih impulzov, smerni sklopnik, optični sprejemnik in prikazovalnik rezultata meritve, imenujemo optični reflektometer v časovnem prostoru ali OTDR (angl. Optical Time-Domain Reflectometer). Glavna omejitev optičnega reflektometra je uporaben domet. Signal reflektometra se sicer širi po istem vlaknu kot signal resnične optične zveze, toda signal reflektometra mora isto pot preteči dvakrat!