

VAJA 4. - POJAVI V MNOGORODOVNEM OPTIČNEM VLAKNU

4.1. Komunikacijska 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 $125\mu\text{m}$. Za lažje rokovanje so optična vlakna zaščitena vsaj s primarno zaščito premera $250\mu\text{m}$ in običajno še s sekundarno zaščito različnih premerov. Za zaščito steklenih optičnih vlaken se uporabljajo umetne plastične mase.

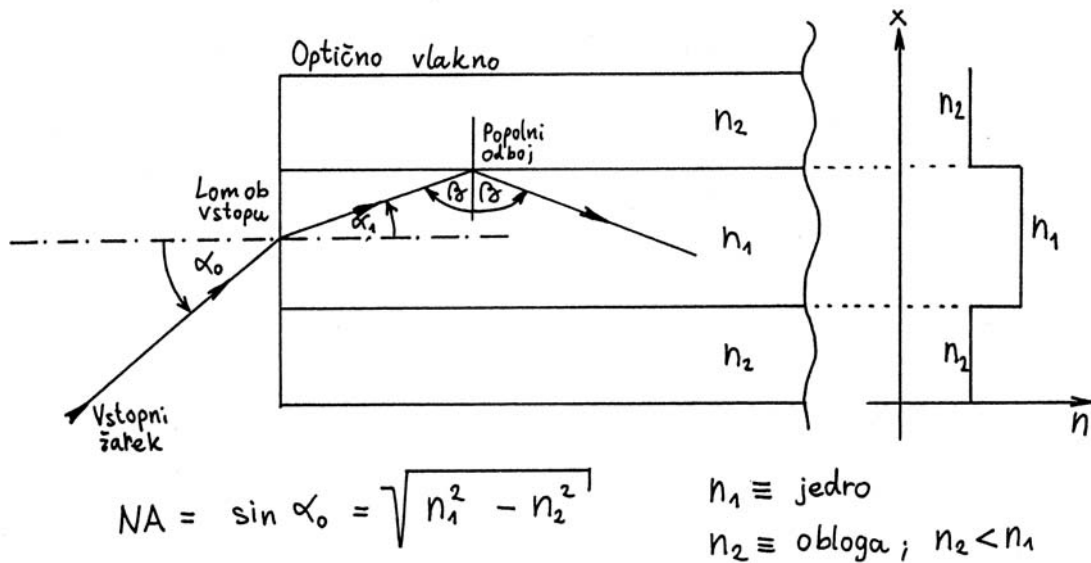
Prvotna optična vlakna so imela stopničast lomni lik in zelo debelo sredico, pri uporabi v frekvenčnem področju vidne in bližnje infrardeče svetlobe pa se je po njih širilo zelo veliko število valovodnih rodov. Pri stopničastem lomnem liku se različni valovodni rodovi širijo z zelo različnimi hitrostmi, 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 ($50\mu\text{m}$ ali $62.5\mu\text{m}$), 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 $125\mu\text{m}$. Standardizirani so tudi lomni količniki sredice in obloge, kar omogoča medsebojno spajanje vlaken različnih proizvajalcev.

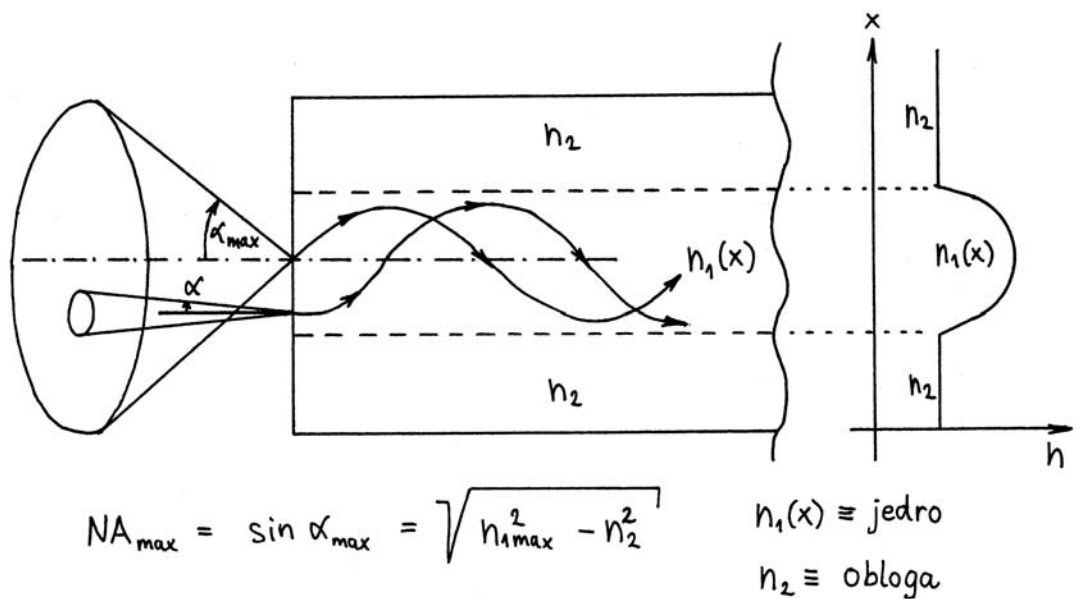
Končna stopnja razvoja so sicer tehnološko najbolj zahtevna enorodovna vlakna različnih lomnih likov. Premer sredice znaša $10\mu\text{m}$ ali manj, premer obloge pa je tudi v slučaju enorodovnih vlaken standardiziran na $125\mu\text{m}$. Lomni količniki in lomni liki enorodovnih vlaken so standardizirani 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 , kot je to prikazano na sliki 4.1.

Numerična apertura se vedno podaja kot sinus vpadnega kota svetlobe v praznem prostoru (lomni količnik enak enoti). Na ta način je numerična apertura enoveljavno podana za katerokoli optično vlakno. Pri spajanju dveh mnogorodovnih vlaken s stopničastim lomnim likom so izgube spoja majhne, ko sta premer sredice in numerična apertura izstopnega vlakna večja ali enaka premeru sredice in numerični aperturi vstopnega vlakna.



Slika 4.1. – Numerična apertura vlakna s stopničastim lomnim likom.



Slika 4.2. – Numerična apertura vlakna s paraboličnim lomnim likom.

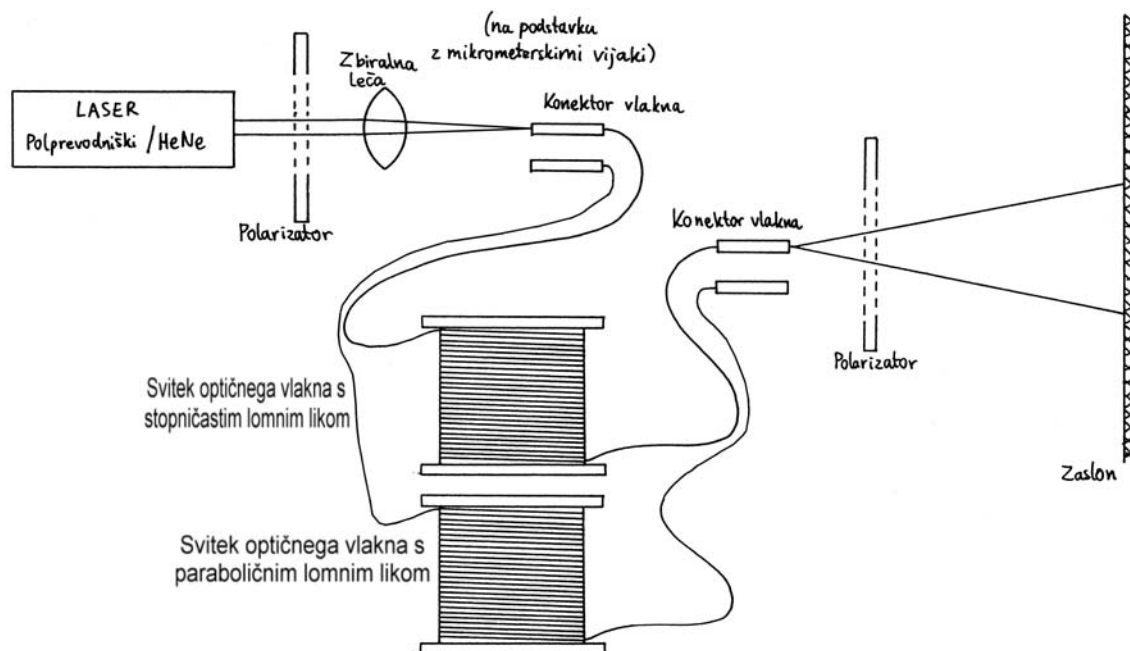
Gradientna vlakna imajo običajno parabolični lomni lik, kot je to prikazano na sliki 4.2. Numerična apertura je tedaj funkcija razdalje od osi vlakna in doseže največjo vrednost na sami osi vlakna. Kot podatek gradientnega vlakna se zato navaja premer sredice in maksimalna numerična apertura na osi vlakna. Tudi v slučaju spajanja gradientnih vlaken so izgube majhne, ko sta premer sredice in maksimalna numerična apertura izstopnega vlakna večja ali enaka premeru sredice in maksimalni numerični aperturi vstopnega vlakna.

4.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Polprevodniški laser za vidno svetlobo (670nm) z vgrajenim kolimatorjem in podstavkom.
- (2) Polarizirani HeNe laser z napajalnikom in podstavkom.
- (3) Dve zbiralni leči (objektiva mikroskopa) skupaj z vpenjalnikoma za konec vlakna na podstavku z mikrometerskimi vijaki.
- (4) Kolut 500m dolgega mnogorodovnega vlakna s stopničastim lomnim likom.
- (5) Kolut 500m dolgega mnogorodovnega vlakna s paraboličnim lomnim likom.
- (6) Držali za izstopna konca optičnih vlaken.
- (7) Zaslón.
- (8) Dva polarizatorja za vidno svetlobo na podstavkih.
- (9) Miza za sestavljanje optičnih vaj.

Namestitev sestavnih delov je prikazana na sliki 4.3.



Slika 4.3. – Namestitev sestavnih delov za opazovanje pojavov v mnogorodnem vlaknu.

4.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Za opazovanje različnih pojavov v optičnem vlaknu je za šolski zgled najbolj primerno mnogorodovno vlakno. Ker so vsa prava telekomunikacijska vlakna načrtovana za delovanje pri valovnih dolžinah $0.85\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$ ali $1.55\mu\text{m}$, so v področju vidne svetlobe ($0.7\mu\text{m}$ do $0.4\mu\text{m}$) vsa obstoječa optična vlakna v resnici že večrodovna zaradi krajše valovne dolžine.

Za šolski zgled zato izberemo zadosti dolg kos mnogorodovnega vlakna. Mnogorodovno vlakno ima zadosti debelo sredico, da je rokovanje z njim še kar enostavno ter da so dopustne tolerance pri sklapljanju na izvor svetlobe ali na detektor kar velike. Za rokovanje je vlakno seveda primerno mehansko zaščiteno ter je lahko opremljeno z ustreznimi konektorji na obeh koncih.

Vajo sestavimo na mizi v zaporedju, kot poteka svetlobni žarek od izvora do zaslona. Svetlobni snop na izhodu kolimiranega polprevodniškega laserja ali helij-neonskega laserja je sicer tanek (premer okoli 1mm), vendar je to še vedno 20-krat več, kot znaša premer sredice gradientnega optičnega vlakna. Če bi laser priključili naravnost na vlakno, bi vlakno dobilo komaj $1/400$ izhodne svetlobne moči izvora. Za boljši sklop laserja na vlakno si zato pomagamo z zbiralno lečo z zelo majhno goriščno razdaljo (objektiv mikroskopa).

Laser, lečo in konec vlakna, ki je opremljen z ustreznim konektorjem, je treba seveda mehansko zelo točno postaviti. Natančna postavitvev je še posebno potrebna pri koncu vlakna glede na lečo. Iz tega razloga postavimo lečo na mizo za sestavljanje optičnih vaj, konec optičnega vlakna pa pritrdimo na podstavek z mikrometerskimi vijaki za natančno premikanje po vseh treh koordinatnih oseh.

Samo optično vlakno ima premer komaj $125\mu\text{m}$ (0.125mm !), zato je zaščiteno z večslojno mehansko zaščito. Primarna mehanska zaščita je nanescna na samo vlakno, da ga štiti pred odrgninami, ki bi se v steklu hitro razširile v prečne razpoke. Primarna zaščita ima običajno premer $250\mu\text{m}$. Sekundarna zaščita je lahko izvedena na različne načine glede na uporabo vlakna. Pri ravnanju z vlaknom s primarno zaščito moramo paziti le na dve stvari: da vlakna ne nategujemo preko dovoljene meje in da vlakna ne krivimo pod zelo majhnim krivinskim polmerom.

Drugi konec vlakna (konektor) vpnemo na stojalo, da bo izhodna svetloba osvetlila zaslon. V pravilno montiranem konektorju je vlakno odrezano natančno pod pravim kotom, površina konektorja pa je spolirana. Zato moramo s tako obdelanim koncem vlakna ravnati previdno, da obdelane površine ne poškodujemo. Ko vlakna ne uporabljamo, natakujemo na proste konektorje ustrezne pokrovčke, ki ohranjajo konec konektorja čist in ga varujejo pred mehanskimi poškodbami.

4.4. Prikaz značilnih rezultatov

Ko je vaja sestavljena, vključimo izvor in poskušamo nastaviti mikrometerske vijake tako, da je sklop med lečo in vlaknom čim boljši. Slika na zaslonu je seveda odvisna od tega, katere rodove vzbudimo v vlaknu in v kakšni medsebojni fazi so rodovi. Različne rodove vzbudimo z majhnimi premiki leče. Medsebojna faza rodov pa je odvisna od vrste uporabljenega izvora svetlobe.

HeNe laser proizvaja zelo ozko spektralno črto (1MHz), faze posameznih rodov so točno določene in na zaslonu lahko opazujemo interferenčne pojave. Polprevodniški laser proizvaja širšo spektralno črto (100GHz), medsebojne faze rodov postanejo v daljšem kosu vlakna nedoločene in interference rodov na zaslonu ne vidimo več.

Medsebojne faze rodov so močno odvisne od ukrivljenosti vlakna v svitku, kar seveda lahko opazujemo le s HeNe svetlobo. Če svitek premaknemo ali rahlo stisnemo, se faze posameznih rodov spremenijo in spremeni se tudi slika na zaslonu.

Na optičnem vlaknu brez sekundarne zaščite opazimo, da svetloba uhaja povsod tam, kjer je vlakno ukrivljeno. Svetloba uhaja predvsem na ostrih zavojih, kar je neposredna posledica matematične rešitve enačb razširjanja svetlobe po zakrivljenem vlaknu. Pri uporabi vlakna se zato vedno izogibljemo ostrim zavojem, ki prinašajo dodatno slabljenje zveze po optičnem vlaknu.

Rotacijsko simetrično optično vlakno ne ohranja polarizacije svetlobe, kar lahko hitro preverimo s polarizatorjem, ki ga vstavimo med konec vlakna in laser oziroma zaslon. V ukrivljenem vlaknu povzročijo mehanske sile pojav dvolomnosti v sicer amorfem steklu. Ker je vlakno zmotano v svitek, je končni učinek dvolomnosti skoraj nepredvidljiv. Z dvema polarizatorjema na obeh koncih vlakna lahko le preverimo, da je učinek dvolomnosti različen za različne rodove v vlaknu.

Končno izmerimo še numerično aperturo (NA), ki je pomemben podatek optičnega vlakna. Numerično aperturo izračunamo iz velikosti slike na zaslonu in oddaljenosti prostega konca optičnega vlakna od zaslona. V slučaju gradientnega vlakna bo izračunani rezultat enak maksimalni numerični aperturi na osi vlakna.

4.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Kako je polarizirana svetloba na vhodu mnogorodovnega vlakna?
2. Kako je polarizirana svetloba na izhodu mnogorodovnega vlakna?
3. Izmeri numerično odprtino mnogorodovnega vlakna in podaj njeno pomembnost!
4. V čem se razlikujeta vzorca na zaslonu pri vlaknu s stopničastim lomnim likom in paraboličnim lomnim likom.