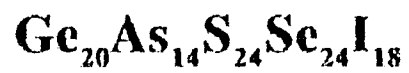


UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

HAVRAN JANKO

OPTIČKE OSOBINE STAKLA



(DIPLOMSKI RAD)

Novi Sad
1994.

Ovim putem želim da se zahvalim Dr. Svetlani Lukić, docentu Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, mentoru ovog rada, na svesrdnoj pomoći oko izbora problema, rukovođenju pripremama, realizaciji eksperimenta i interpretaciji rezultata.

Zahvaljujem se i Dr. Dragoslavu Petroviću, redovnom profesoru Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu, rukovodiocu Laboratorije za eksperimentalnu fiziku čvrstog stanja na svesrdnoj pomoći i korisnim sugestijama prilikom pisanja ovog rada.

Takođe želim da se zahvalim i Sonji i Fedoru Skuban, asistentima Prirodno-matematičkog fakulteta, na izuzetnoj pomoći pri eksperimentalnim merenjima.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPŠTE OSOBINE SLOŽENIH STAKALA	2
3. NAČIN DOBIJANJA I PRIMENA	4
3.1. Sinteza	4
3.2. Upotreba halkogenidnih stakala	5
4. ZNAČAJNE OPTIČKE OSOBINE	6
4.1. Transparencija	6
4.2. Apsorpciona granica	7
4.3. Indeks prelamanja	8
5. METODE MERENJA INDEKSA PRELAMANJA	11
5.1. Metod prizme	11
5.2. Interferencijski metod	12
6. PREPARIRANJE UZORAKA ZA MERENJA	14
6.1. Mikroskopska kontrola kvaliteta uzoraka	14
6.2. Priprema planparalelnih pločica za merenje apsorpcionog spektra	14
6.3. Priprema odgovarajućih prizmi za nestandardno merenje indeksa prelamanja	16
7. MERENJE INDEKSA PRELAMANJA	18
8. ODREĐIVANJE KRATKOTALASNE GRANICE APSORPCIONOG SPEKTRA	22
9. ZAKLJUČAK	29
10. LITERATURA	30

I. UVOD

Već je četvrta decenija od početka istraživanja u oblasti fizike neuređenih sistema. Zbog relativno velikog praznog prostora u teorijskim istraživanjima svakodnevno se dolazi do novih saznanja koja se poput mozaika slažu u jednu celinu, dajući nam kako vreme odmiče potpuniju sliku ove problematike.

Karakteristika amorfnih-staklastih materijala, kao grupacije u okviru neuređenih kondenzovanih sistema, je odsustvo prostorne periodičnosti, tj. daljeg uređenja u rasporedu atoma. Nepostojanje daljeg uređenja ne znači da su ovi materijali potpuno neuređeni i u atomskim razmerama. Lokalne hemijske veze obezbeđuju skoro strogo fiksiranu dužinu veze i malo odstupanje uglova između veza u bližem okruženju atoma. Upravo je bliže uređenje neposredno odgovorno za poluprovodničke osobine, izražene kroz postojanje zabranjenih zona, analognih i energetski bliskih kao kod kristalnih poluprovodnika /1/.

Razlog da je poslednjih godina povećan interes za halkogenidne amorfne poluprovodnike je taj što se oni sve više koriste u raznim oblastima nauke i tehnike.

U ovom radu su ispitivane neke optičke osobine stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ sa ciljem da se upotpune istraživanja petokomponentnog sistema Ge-As-Se-S-I.



2. OPŠTE OSOBINE SLOŽENIH STAKALA

Početak interesovanja za amorfne materijale datira još od sredine pedesetih godina. Počelo se od sinteza stakala tipa A^V-B^{VI} ili $A^{IV}-B^{IV}$. Dalje slede trokomponentna $A^V-B^{VI}-C^{VII}$, $M-A^V-B^{VI}$, četvorokomponentna $M-A^V-B^{VI}-C^{VII}$ ili još složenija $A^{IV}-A^V-B^{VI}(1)-B^{VI}(2)-C^{VII} /2,3/$, gde je M bilo koji element periodnog sistema; A^{IV} -Si-Ge-Pb; A^V -P,As-Bi; B^{VI} -S,Se,Te; C^{VII} -Cl,Br,I /4/.

Amorfni poluprovodnici se mogu podeliti i prema komponentama koje ulaze u njihov sastav:

- elementarni poluprovodnici
- halkogenidna stakla
- oksihalkogenidna stakla
- oksidna stakla i
- staklasti poluprovodnici sa strukturom sličnom strukturi dijaman-
ta /5/.

Halkogenidni staklasti poluprovodnici su amorfni materijali koji sadrže bar jedan od elemenata: S,Se ili Te.

U normalnim uslovima amorfna supstanca je izotropna. Eventualna anizotropija njenih električnih, mehaničkih, optičkih i drugih svojstava se javlja kao rezultat dejstva spoljašnjih faktora /6/.

Amorfno se može smatrati prelaznim između tečnog i kristalnog stanja. Naime, odsustvo uređenosti dugog dometa, haotičan raspored atoma i atomskih grupa, odnosno uzajamni raspored najbližih koordinacionih sfera je u prvoj aproksimaciji kao kod tečnosti. Međutim mnoga mehanička svojstva (na primer viskoznost koja teži ka beskonačnosti), dozvoljavaju da se staklo smatra čvrstim telom /7/.

Odavde vidimo da je staklasto stanje jedno neperiodično stanje koje odgovara termodinamički neravnotežno stanje, za koje nije karakterističan minimum unutrašnje energije. Zbog toga se može očekivati prelaz staklastog stanja u stabilnije, energetski povoljnije-kristalno stanje. Ali u mnogim slučajevima vreme strukturne relaksacije je toliko veliko da se praktično može smatrati beskonačnim.

Amorfna poluprovodnička stakla imaju osobinu da im je širok interval prozračnosti u vidljivom i IC delu spektra i kreće se od 0.5 do 20 μm (u zavisnosti od sastava). Takođe u zavisnosti od sastava, vrednost električne provodljivosti je od $10^{-10} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ do $10^{-12} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ i raste eksponencijalno sa temperaturom /8/. Indeks prelamanja se menja u intervalu 1.8 do 2.95 a dobijena su stakla sa vrednošću čak 3.55 /8/. U zavisnosti od sastava je i gustina halkogenidnih stakala (u intervalu 3-6 gr cm^{-3}), a vrednost mikrotvrdoće nije veća od 300 kg mm^{-2} . Temperature razmekšavanja se kreću do vrednosti nešto iznad 400°C /9-12/.

Halkogenidni staklasti poluprovodnici poseduju unutrašnji fotoefekat. Pri osvetljavanju je moguća pojava foto-elektromotorne sile, čija veličina dostiže vrednosti 0.5-0.7 V.

Takođe pokazuju izuzetnu izdržljivost u odnosu na radijacije, što se objašnjava neuređenošću njihove strukture, kao i to da je kod njih slaba osetljivost električnih osobina na dejstvo primesa, što se objašnjava visokom koncentracijom defekata /13,14/ i zasićenošću valentnih veza u neuređenom materijalu /15/.

Ispitivanja petokomponentnog sistema sastava $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_{52}\text{I}_{14}$ pokazala su da on ima visoku hemijsku stabilnost u odnosu na vodu, vodenu paru i rastvore kiselina. Izvesna hemijska nestabilnost je uočena u kontaktu sa rastvorima baza. Gustina uzoraka se kreće od 3.13-4.26 gr/cm^3 , što zavisi od procentualnog učešća sumpora odnosno selena u datom staklu /1/.

Disperzija indeksa prelamanja je u intervalu 2.05-2.40, što takođe zavisi od koncentracije S odnosno Se /16/.

Staklo ispitivano u ovom radu pripada bliskom sistemu opšte formule $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{S}_{0.5}\text{Se}_{0.5})_{66-x}\text{I}_x$. Naime, sistem sa 14 at% I je u ravnomernom odnosu S i Se pokazao posebno značajne osobine vezane za temperaturnu zavisnost indeksa prelamanja, na nekim talasnim dužinama, kao i zavisnost mikrotvrdoće od opterećenja. Sa druge strane postoji opravdana sumnja da u nekim procentima jod nepovoljno deluje na homogenost i stabilnost uzoraka. To su osnovni razlozi zašto su aktuelna istraživanja vezana za ovaj sistem, a kome pripada i staklo tretirano u ovom radu.

3. NAČIN DOBIJANJA I PRIMENA

3.1 Sinteza

Amorfni materijali se mogu podeliti u dve grupe: masivni uzorci-stakla i filmovi. Stakla se dobijaju iz rastopa na sledeći način: U zavisnosti od sastava stakla, treba odmeriti polazne elementarne komponente visoke čistoće. Kvarcne ampule u kojima se vrši sinteza neophodno je temeljno očistiti. Ampule se najpre peru u hrom-sumpornoj kiselini a zatim ispiraju destilovanom vodom i alkoholom. Zatim sledi njihovo sušenje u peći na temperaturi od 700K u trajanju 5-6 sati sa ciljem da se eliminiše eventualno prisustvo OH grupa u kvarcnom staklu [19]. Onda se iste pune polaznim komponentama vakumiraju do 10^{-7} Pa i zatapaju u acetilen-kiseoničnom plamenu.

Režim sinteze-brzina zagrevanja i hlađenja, zavisi od sastava stakla, odnosno njegove kristalizacione sposobnosti i različita je u svakom konkretnom slučaju. Do maksimalne temperature pri sintezi nekog konkretnog stakla može se doći na dva načina: zagrevanjem uzorka u nekoliko etapa ili kontinualno odgovarajućom brzinom. U prvom slučaju etape zagrevanja zavise od temperatura topljenja polaznih komponenti. Na kritičnim temperaturama rastop se održava nekoliko sati. Kada se dođe do maksimalne temperature, određene za taj sastav stakla, zbog očuvanja homogenog i izotropnog stanja rastopa, pristupa se brzom hlađenju (izuzetno je moguće dobiti amorfni materijal i režimom sporog hlađenja), čime se sprečava formiranje kristalizacionih klica i proces kristalizacije. U drugom slučaju zagrevanje se vrši kontinualno do određene maksimalne temperature. Pri hlađenju neophodno je izvršiti dopunsko odgrevanje dobijenog amornog uzorka u cilju homogenizacije, pri temperaturama koje su nešto ispod temperatura kristalizacije stakla datog sastava, odnosno ispod temperature kristalizacije elementarnih strukturnih jedinica stakla.

Dobijanje amornih poluprovodnika u obliku filmova je složeniji proces. Debljine tankih filmova se kreću od 0,5-10,0 μm [18]. Od svih metoda koje se danas koriste za dobijanje tankih filmova, najčešća je pomoću termičkog i laserskog isparavanja i kondenzovanja u vakuumu, iz unapred sintetisanog masivnog uzorka. Vakuumsko taloženje se može predstaviti kao nekoliko uzastopnih procesa i to: prelaz datog amornog uzorka iz čvrste ili tečne faze u gasovitu, prenošenje para uzorka u prostoru od isparivača do podloge pri smanjenom pritisku gasa i kondenzacija para uzorka na podlogu. Fizičke osobine, fazni sastav i struktura tankih filmova zavise od tehnologije njihovog dobijanja, posebno od temperature podloge na koju se supstanca taloži, a karakteristike kao što su gustina, specifična otpornost, mehanički naponi ili stepen kristalizacije, zavise od brzine taloženja na podlogu [17].

Na kraju treba dodati da posle dobijanja ovakvih uzoraka, bilo filmova, bilo stakala, treba pribeći kontroli njihove amornosti. To se postiže različitim metodama: difrakcijom elektrona, elektronskom mikroskopijom i polarizacionom mikroskopijom.

3.2 Upotreba halkogenidnih stakala

Primena halkogenidnih poluprovodničkih materijala je zbog njihovih specifičnih elektrofizičkih i optičkih osobina jako široka.

Zbog svoje visoke prozračnosti u vidljivom i IC delu spektra, korišćeni su u optičkim uređajima. Oblasti primene halkogenidnih stakala kod IC optičkih uređaja su u termografiji, laserskoj tehnici (za fokusiranje snažnih impulsnih CO₂ lasera-10.6 μm), u IC Fourier spektroskopiji kao i kod visoko razlagajućih optika u tehnici noćnog snimanja. Naspram tradicionalne upotrebe alkalnohalogenih i Erdalkalijumfluoridnih stakala, sve više se upotrebljavaju halkogenidna stakla u različitim sredinama zbog svoje velike hemijske postojanosti. Zato što ne oksidiraju mogu se upotrebiti kao kivete u neutralnoj do jako kiseloj IC spektroskopiji [22].

Vrednost indeksa prelamanja (1.8-2.95) omogućuje njihovu primenu u specijalnim optičkim uređajima. Takođe su aktuelni kao materijali za optička vlakna u IC oblasti spektra.

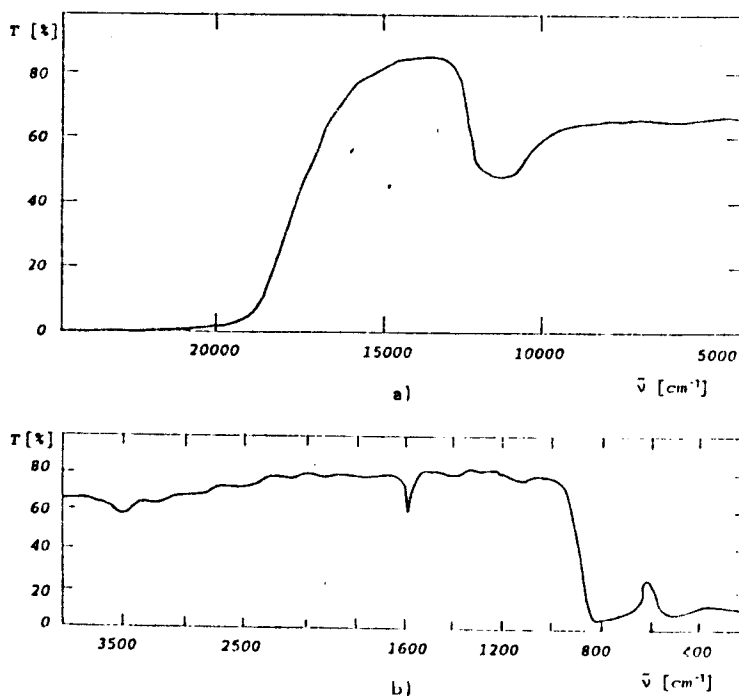
Mnoga halkogenidna stakla imaju vrlo male akustične gubitke, pa se mogu primeniti u akustičnim i akustično-optičkim uređajima kao što su akusto-optičko skanirajući aparati, ultrazvučne linije kašnjenja, IC modulatori i drugo. Halkogeni filmovi imaju osobinu izmene fizičkih osobina pod dejstvom svetlosti. Ovaj efekat optičkog zapisa se koristi u oblasti holografije [17].

4. ZNAČAJNE OPTIČKE OSOBINE

4.1 Transparentcija

Halkogenidna stakla su zbog svojih optičkih karakteristika našla primenu u optičkim instrumentima. Kada se koriste kao optički materijali, potrebno je da njihova oblast prozračnosti obuhvata vidljivu i IC oblast spektra, a naročito talasne dužine He-Ne (0.6238 μm) i CO₂ (10.6 μm) lasera. Analizirajući literaturne podatke [4,20], može se zaključiti da postoji samo nekoliko sastava stakla iz binarnog sistema As-S koji su prozračni za talasne dužine 623.8 nm i 10600 nm. Međutim, termodinamički parametri i uslovi sinteze tih materijala ne dozvoljavaju da se dobiju optički homogena stakla većih dimenzija sa unapred zadanim kompleksom fizičko-hemijskih i optičkih parametara. Zato se u sistem As-S uvode nove komponente: I, Ge, Se ili Sb. Stakla sistema Ge-As-S imaju oblast prozračnosti 0.7-13 μm , a Ge-As-Se 0.6-14 μm [29]. Kao što vidimo, variranjem sastava halkogenidnih staklastih poluprovodnika, može se isticati na optičke osobine ovih materijala.

Ranije ispitivana stakla sistema Ge₂₀As₁₄(Se₁S₁₄)₆₂I₄ pokazuju visoku prozračnost u vidljivoj i IC oblasti spektra u širokom intervalu talasnih dužina. Na slici 4.1.1. je prikazan tipičan transparentni spektar za uzorak iz ovog sistema [2], čija je debljina iznosila 50 μm .



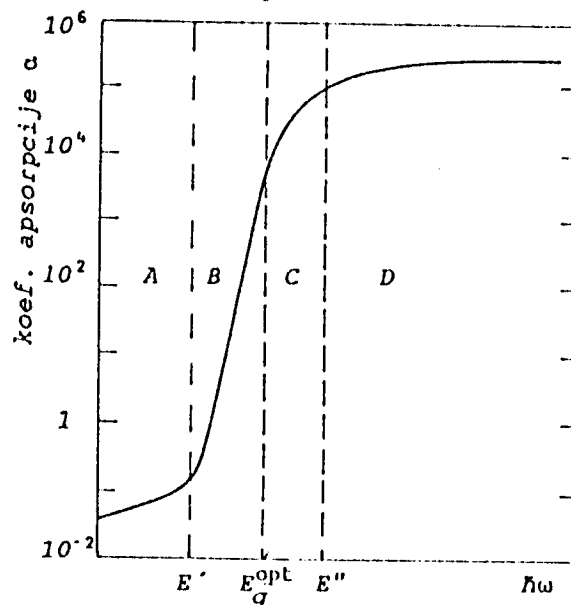
Slika 4.1.1 Transparentni spektri za Ge₂₀As₁₄Se₁₂S₁₀I₄

Ova debljina omogućava transparentnost stakla oko 70% sve do 850 cm^{-1} . Snažna apsorpcija na 850 cm^{-1} uslovljena je karakterističnim oscilacijama As-S i As-I veza /2,21/, što predstavlja početak višefononske apsorpcije, svojstvene za halkogenidna stakla koja sadrže As,S,Se /21,22/. Takođe su uočljivi i pikovi na 3570 cm^{-1} i 1590 cm^{-1} . Prvi potiče od prisustva molekularno apsorbovane vode u sastavu stakla, dok drugi potiče od prisustva OH grupe u staklu. Oba ova apsorpciona pika je moguće pogodnim tehnološkim postupkom umanjiti ili potpuno ukloniti /21,22/. Apsorpciona traka slabijeg intenziteta na 12000 cm^{-1} bi mogla biti posledica fundamentalne apsorpcije GeSe_2 /23/, čije se strukturne jedinice formiraju u staklu.

4.2 Apsorpciona granica

Halkogenidni poluprovodnici su visoko transparentni u vidljivom i IC delu spektra. Do pada transparentije na većim talasnim dužinama dolazi usled fononske apsorpcije. Pri daljem povećanju talasnih dužina počinje neprekidan spektar fononske apsorpcije, koji je uslovljen strukturnom neuređenošću amorfni materijala (odsustvo daljeg uređenja). Pad apsorpcije u oblasti kratkih talasnih dužina dešava se zbog sopstvene apsorpcije do koje dolazi zbog prelaza elektrona iz valentne u provodnu zonu. Ova kratkotalasna granica transparentije se naziva apsorpciona granica (apsorpcioni prag) i odgovara optičkoj širini zabranjene zone.

Kod većine amorfni poluprovodnika apsorpcioni spektar ima oblik kao na slici 4.2.1.

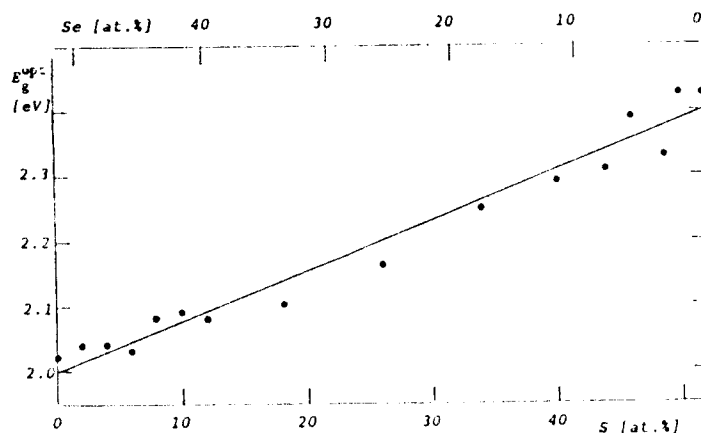


Slika 4.2.1 Opšti oblik apsorpcionog spektra amorfno poluprovodnika u oblasti apsorpcionog praga (prema /24/)

Za određivanje optičke širine zabranjene zone koriste se dva metoda. Prvi je prema Štukeu (Stuke) [25], koji kaže da u mnogim amorfnim poluprovodnicima zabranjena zona elektropokretljivosti odgovara energiji fotona pri kojoj koeficijent optičke apsorpcije ima vrednost oko 10^4 cm^{-1} . Drugi metod kojim se određuje optička širina zabranjene zone je ekstrapolacija krive iznad eksponencijalnog praga. Ekstrapolacijom linearnog dela krive (oblast B na slici 4.2.1.) do preseka sa apscisnom osom dobijamo ocenu optičke širine zabranjene zone (E_g^{opt}). Vrednost E_g^{opt} dobijene ekstrapolacijom krive su po pravilu za 0.1-0.2 eV manje od vrednosti za E_g^{opt} dobijenih metodom Štukea.

Treba napomenuti da se vrednost za širinu zabranjene zone razlikuje da li je dobijena iz merenja optičkih ili električnih osobina amorfnih materijala. Vrednosti za širinu zabranjene zone dobijene iz optičkih osobina su veće nego vrednosti za širinu zabranjene zone dobijene iz električnih osobina.

Vrednosti širine zabranjene zone merene u sistemu $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_{32}\text{I}_{14}$ [2] se kreću u intervalu od 1.97-2.39 eV, što zavisi od koncentracije selena (sumpora), slika 4.2.2.

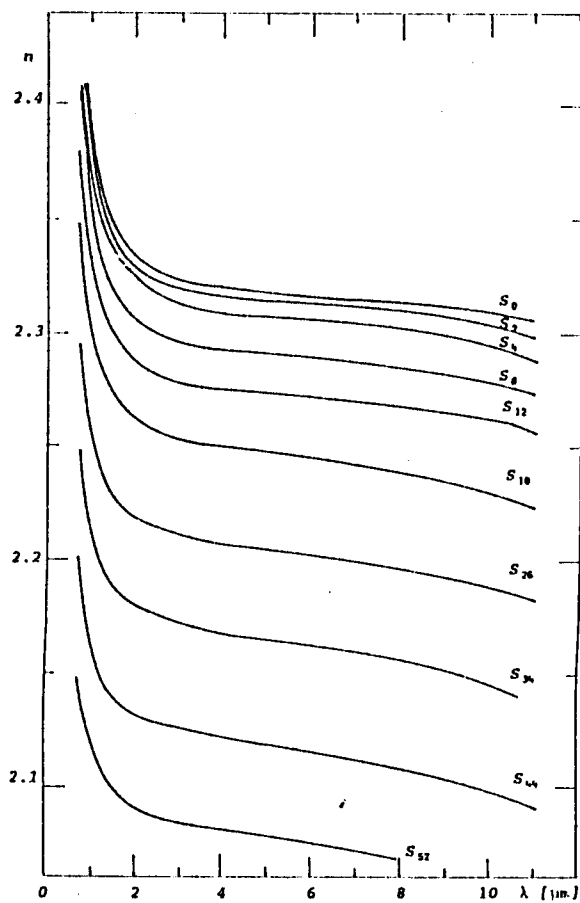


Slika 4.2.2 Optička širina zabranjene zone u zavisnosti od koncentracije $S(\text{Se})$ stakla sistema $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_{32}\text{I}_{14}$

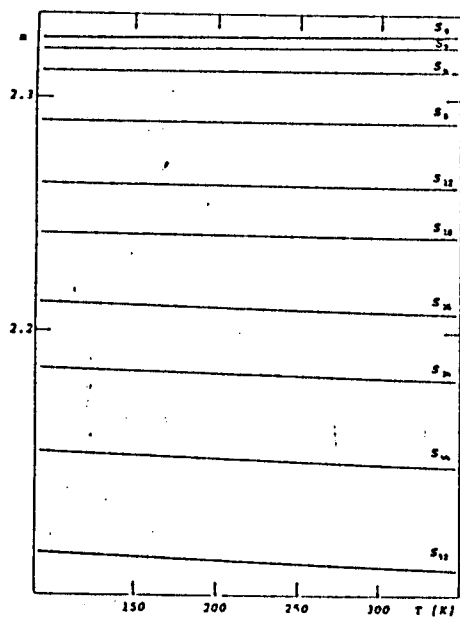
4.3 Indeks prelamanja

Halkogenidna stakla se zbog svog velikog indeksa prelamanja koriste u optičkim uređajima. Disperzija indeksa prelamanja stakla iz sistema $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_{32}\text{I}_{14}$ je predstavljena na slici 4.3.1. [16]. Kao što se vidi najveće vrednosti indeksa prelamanja ima staklo $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{Se}_{32}\text{I}_{14}$. Porast odnosa S/Se uzrokuje opadanje indeksa prelamanja i ova zavisnost je približno linearna.

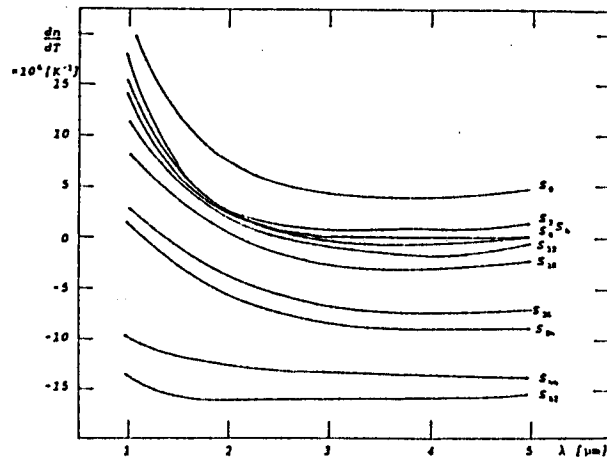
Zavisnost indeksa prelamanja od temperature ($77 < T < 400\text{K}$) prikazana je na slici 4.3.2, a disperzija temperaturnog porasta indeksa prelamanja u funkciji talasne dužine na slici 4.3.3.



Slika 4.3.1 Disperzija indeksa prelamanja stakla sistema $Ge_{20}As_{14}(Se_xS_{1-x})_{52}I_{14}$



Slika 4.3.2 Temperaturna zavisnost indeksa prelamanja stakala sistema $Ge_{20}As_{14}(Se_xS_{1-x})_{52}I_{14}$ [16]



Slika 4.3.3 Disperzija temperaturskog prirasta indeksa prelamanja stakala sistema $Ge_{20}As_{14}(Se_xS_{1-x})_{52}I_{14}$ [16]

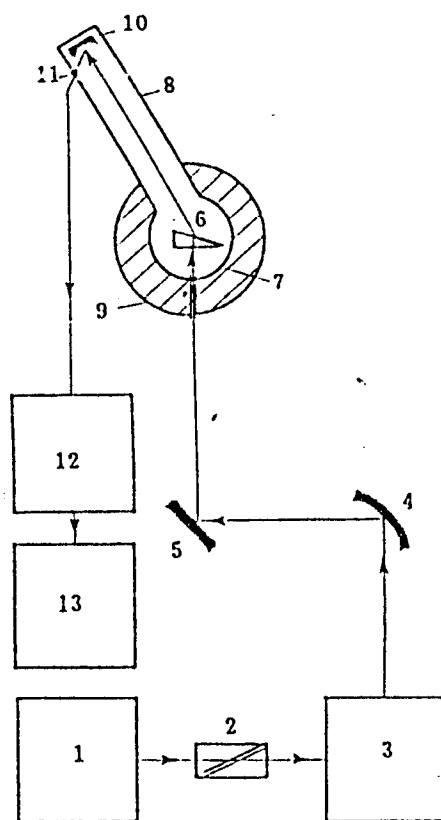
Halkogenidna stakla mogu imati u zavisnosti od sastava pozitivnu, negativnu ili nultu vrednost promene indeksa prelamanja sa temperaturom ($\Delta n/\Delta T$). Staklo sastava $Ge_{20}As_{14}Se_{48}S_4I_{14}$ u ispitivanom temperaturskom intervalu pokazuje nezavisnost indeksa prelamanja od temperature (za $\lambda=5 \mu m$), dakle promenom sastava datog stakla možemo dobiti halkogeno staklo sa pozitivnim, negativnim ili nultim vrednostima $\Delta n/\Delta T$ što je bitno pri izradi stabilnih optičkih sistema.

5. METODE MERENJA INDEKSA PRELAMANJA

Upotreba halkogenidnih stakala u uređajima opto- i mikroelektronike zahteva pored oblasti transparentije, poznavanje i spektralne zavisnosti indeksa prelamanja. Zbog velikih vrednosti indeksa prelamanja koji karakteriše halkogenidne amorfne materijale, isti je nemoguće meriti standardnim refraktometrijskim metodama. Zbog toga moramo pribеći nekim drugim rešenjima.

5.1 Metod prizme

U ovom slučaju merenje indeksa prelamanja se zasniva na efektu prelamanja na prizmi. Kada nam veličina uzorka dopušta da ga možemo obraditi u obliku prizme, tada koristimo ovaj metod. Šema za merenje indeksa prelamanja data je na slici 5.1.1.



Slika 5.1.1 Blok šema aparature za merenje disperzije indeksa prelamanja; 1-izvor svetlosti, 2-polarizator, 3-monohromator, 4-sferno ogledalo, 5-ravno ogledalo, 6-uzorak, 7-kružna ploča sa dijafragmom (nosač uzorka), 8-rotaciona ploča, 9-goniometrijski sto, 10-eliptično ogledalo, 11-detektor zračenja, 12-pojačavač signala, 13-pisač

Eksperiment zahteva visoko polirane uzorke u obliku prizme, čiji ugao može imati vrednosti između 15.30° i 18.30° . Ukoliko se eksperimentalnom postavkom obezbedi da svetlost pada pod pravim uglom na stranicu prizme, dobro poznata opšta jednačina prelamanja na prizmi se transformiše u oblik /26/

$$n = \frac{\sin(\delta + \varphi)}{\sin \varphi} \quad (5.1.1)$$

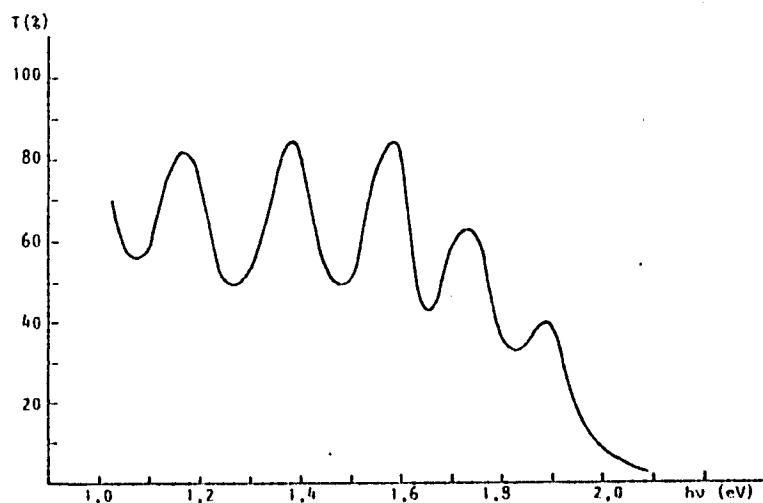
gde je n -indeks prelamanja materijala, φ -ugao prizme, δ -ugao skretanja.

Oдавde vidimo da se merenje indeksa prelamanja praktično svodi na merenje ugla prizme i ugla skretanja. Ako se obezbedi striktno poštovanje ove eksperimentalne postavke, procenjuje se greška pri određivanju indeksa prelamanja datog materijala oko ± 0.001 /27/.

Disperzija indeksa prelamanja pokazuje uobičajnu zavisnost. Nagli porast vrednosti na kraćim talasnim dužinama uslovljen je kratkotalasnom apsorpcionom granicom.

5.2 Interferencioni metod

Kada nam okolnosti ne dozvoljavaju da za merenje indeksa prelamanja pripremimo uzorke dovoljno velikih dimenzija, tada pristupamo interferencionom metodu određivanja ovog optičkog parametra na uzorcima u formi tankih filmova. Merenje indeksa prelamanja datih filmova zasniva se na klasičnim merenjima interferencionih maksimuma u transparentnim spektrima /28/, slika 5.2.1.



Slika 5.2.1 Kriva transparentnosti tankog filma $Cu_{0.7}As_{0.3}Se_{1.7}$ /17/

Naime, poznato je da optičku transparentiju tankih filmova karakterišu interferencijski efekti. Iz uslova da je optička debljina filma jednaka /30,31/ ,

$$nd = \frac{1}{4(\tilde{\nu}_{m+1} - \tilde{\nu}_m)} \quad (5.2.1)$$

može se odrediti indeks prelamanja filma n . U gornjem izrazu talasni brojevi $\tilde{\nu}_m$ i $\tilde{\nu}_{m+1}$ se odnose na dva susedna ekstrema na krivoj $T=f(\tilde{\nu})$, tj. na m -ti maksimum i minimum koji potom sledi. Debljina filma d se određuje nekom nezavisnom metodom (mikroskopski, npr.).

Treba istaći da ovaj savremeni metod dozvoljava da se pored indeksa prelamanja odredi i koeficijent apsorpcije materijala /33/. Time je naravno omogućeno da se odredi i širina optički zabranjene zone.

6. PREPARIRANJE UZORAKA ZA MERENJA

6.1 Mikroskopska kontrola kvaliteta uzoraka

Uzoreci stakla dobijeni procesom sinteze su masivni i imaju oblik ampule u kojoj je vršena sinteza. Da bi se mogla vršiti bilo kakva merenja, uzorak je potrebno na odgovarajući način pripremiti.

Najpre se od masivnog uzorka odseče komad dovoljne veličine radi obrade. Dimenzije tog komada treba da budu veće od dimenzija gotove planparalelne pločice ili prizme, u zavisnosti od toga kakav je oblik uzorka potreban za merenje. Odsečeni komad treba pogledati pomoću optičkog mikroskopa radi uočavanja eventualnih naprslina u unutrašnjosti uzorka (ako su dovoljno transparentni) i ukoliko se eventualno uoče defekti, takve uzorke treba odbaciti.

U ovom radu korišćen je optički mikroskop REICHERT (Austrija) sa uvećanjima objektivna 1:1, 4:1 i 10:1. Pomoću njega smo odabrali uzorke za merenje, koji su bez unutrašnjih naprslina i homogenog su sastava.

Dalja kontrola kvaliteta uzoraka izvršena je pomoću polarizacionog mikroskopa MIN-8 (SSSR).

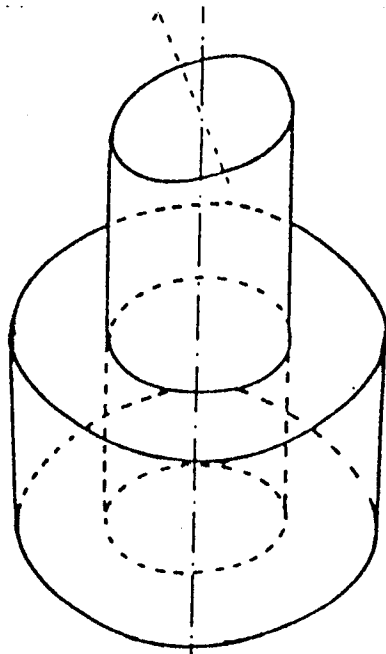
Kao što je poznato, polarizacioni mikroskop omogućuje da se utvrdi eventualna optička aktivnost i anizotropija materijala. Dva polaroida i dopunsko kondenzorsko sočivo pružaju mogućnost da se eksperiment izvrši u tzv. ortoskopskoj ili konoskopskoj postavci. U ovom radu posmatranja su vršena u obe tehnike. Kako u jednom, tako i u drugom slučaju, prilikom obrtanja predmetnog stocića vidno polje je ostajalo tamno, čime je potvrđena izotropija uzorka.

6.2 Priprema planparalelnih pločica za merenje apsorpcionog spektra

Kada je odabran komad dovoljne veličine i zadovoljavajućeg kvaliteta pristupili smo daljoj obradi. U narednoj fazi bio je neophodan metalni držač koji se sastoji od dva koaksijalna cilindra (slika 6.2.1).

Cilindar većeg prečnika $\phi 60$ mm ima šupljinu u koju ulazi masivni cilindar $\phi 30$ mm. Jedna baza masivnog cilindra je normalna na omotač a ugao koji normala na drugu bazu gradi sa osom cilindra iznosi 16° .

U daljem radu najpre je potrebno da se brušenjem obrade ivice datog uzorka, tako da budu međusobno normalne. Za brušenje se koristi prah *karborunduma*, pet različitih stepena granulacije zrna (od $260-28 \mu\text{m}$).



Slika 6.2.1 Metalni držač za izradu planparalelnih pločica ili prizama

Posle grube obrade ivica, pristupa se lepljenju ravnijom površinom uzorka za metalni držač. Lepljenje se izvodi pomoću specijalnog vezivnog sredstva (*salol*), koje nije agresivno. Kada se uzorak zalepi, može se početi sa brušenjem. Najpre se koristi abraziv krupnoće zrna $260\ \mu\text{m}$ i brušenje se izvodi na staklu. Stavi se malo abraziva i sa vodom se napravi pasta. Pomoću najkrupnijeg abraziva se uklone sve veće neravnine na površini uzorka. Zatim se brušenje nastavlja korišćenjem praha manje krupnoće zrna i to sve dotle, dok sa površine uzorka ne nestanu sve izbočine i pukotine. Brušenje na staklu se završava korišćenjem abraziva dimenzija zrna reda $28\ \mu\text{m}$. U tom stanju uzorak ima mat površinu. Da bi se dobila sjajna površina uzorka, brušenje se nastavlja sa najfinijim abrazivom ali ne na staklu, već na kružnoj ploči, preko koje je zategnuta svilena tkanina. Uzorak je i dalje zalepljen istom stranom na bazu metalnog držača, koja je normalna na omotač cilindra. Posle brušenja na tkanini, uzorak dobija sjaj, ali ga je potrebno još ispolirati.

Poliranje se izvodi na svilenoj tkanini pomoću specijalnog polir praha ("*juvelirsko rumenilo*"), nanetog na tkaninu u tankom sloju. Završno poliranje se izvodi pomoću baršuna. Površina je dobro ispolirana kada na njoj nema ogrebotina i tačkica, i kada ima visok ogledalski sjaj, što se mikroskopski proverava.

Sada je na redu brušenje druge površine. Uzorak se sa metalnog držača odlepljuje pomoću acetona i ispoliranom površinom lepi za istu bazu masivnog cilindra. Brušenje i poliranje druge površine uzorka, izvodi se na isti način kao u prethodnom slučaju.

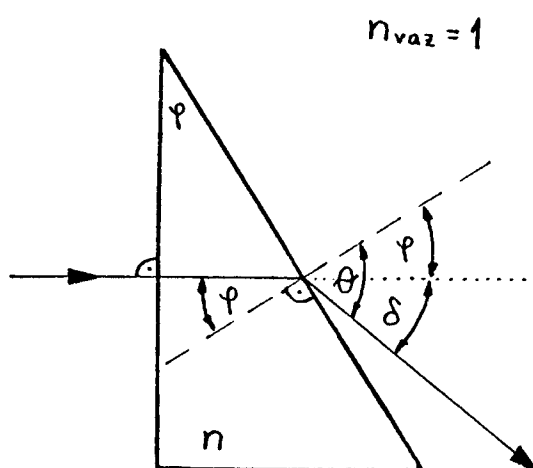
Ovakvim postupkom dobijaju se visoko polirane planparalelne pločice za merenje apsorpcionog spektra.

6.3 Priprema odgovarajućih prizmi za nestandardno merenje indeksa prelamanja

Izbor uzoraka, veličina, brušenje i poliranje opisano je u poglavljima 6.1 i 6.2. Razlika u postupku sastoji se u tome što se posle brušenja i poliranja prve strane uzorka, isti lepi na zakošenu bazu masivnog cilindra. Na ovaj način, korišćenjem držača, omogućeno je da ugao između površine koja se brusi i prve već ispolirane, bude onaj isti ugao, koji zaklapa normala na kosu bazu cilindra sa osom cilindra.

Ovaj ugao nam određuje ugao prizme. Naime, pri merenju indeksa prelamanja metodom prizme imamo dva zahteva. Prvi je visoka ispoliranost uzorka, a drugi određuje maksimalni ugao prizme.

Ako svetlost pada normalno na stranicu prizme (slika 6.3.1), onda se standardna jednačina prelamanja na prizmi transformiše /26/ u oblik (6.3.1)



Slika 6.3.1 Prelamanje svetlosnog zraka pri prolasku kroz prizmu

gde je n -indeks prelamanja materijala, φ -ugao prizme, δ -ugao skretanja (odstupanje izlaznog snopa od pravca upadnog zraka), θ -ugao prelamanja.

Naime, iz zakona prelamanja dobijamo:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \frac{n_{vaz}}{n} \Rightarrow \frac{\sin \varphi}{\sin \theta} = \frac{1}{n} \quad \theta = \delta + \varphi$$

$$n = \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} \Rightarrow n = \frac{\sin(\delta + \varphi)}{\sin \varphi} \quad (6.3.1)$$

Maksimalni ugao prelamanja mora biti samo toliki da se zrak ne vrati u prizmi, znači $\theta_{\max} = 90^\circ$. Iz tog ograničenja dobijamo sledeće uslove za ugao prizme:

$$\text{za } (\sin \theta)_{\max} = 1 \Rightarrow \sin \varphi = \frac{\sin \theta}{n} \leq \frac{1}{n}$$

Ograničenje za ugao prizme je

$$\varphi \leq \arcsin \frac{1}{n} \quad (6.3.2)$$

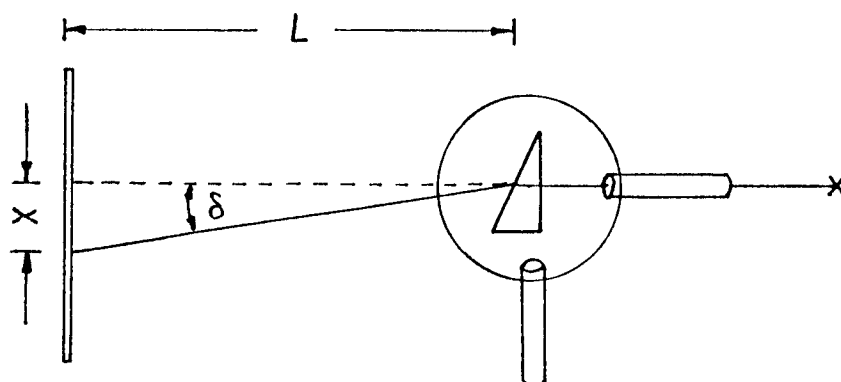
Pošto je disperzija indeksa prelamanja stakala iz složenog sistema Ge-As-Se-S-I u intervalu 2.05-2.40 /16/, poslednji izraz (6.3.2) nam daje maksimalno dozvoljenu vrednost ugla prizme i ona iznosi $\varphi_{\max} = 24.624^\circ$.

Zadovoljavajući ova dva zahteva, može se smatrati da je pri ovakvoj postavci eksperimenta greška pri određivanju indeksa prelamanja materijala ± 0.001 /27/.

Ugao prizme stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{19}$, koje je u ovom radu ispitivano, meren je na dvokružnom optičkom goniometru "ENRAF NONIUS Y-881" sa tačnošću od $\pm 1'$ i iznosi $\varphi = 15.433^\circ \pm 0.017^\circ$.

7. MERENJE INDEKSA PRELAMANJA

Pošto smo napravili prizmu, pristupilo se merenju indeksa prelamanja. Indeks prelamanja stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ meren je pomoću aparature šematski prikazane na slici 7.0.1.



Slika 7.0.1 Šema aparature za određivanje ugla skretanja

Isti se računa pomoću već date formule (6.3.1). Ugao skretanja zraka δ posle prolaska kroz prizmu računa se iz obrasca

$$\delta = \arctan \frac{x}{L} \quad (7.1)$$

gde je L udaljenost prizme od zaklona, a x predstavlja rastojanje na zaklonu između spota direktnog zraka i spota zraka prelomljenog na prizmi.

Međutim, izraz za računanje indeksa prelamanja n je korektan samo u slučaju kada svetlosni zrak pada normalno na prizmu, iz čega proizilazi da se stalno mora kontrolisati položaj prizme u odnosu na izvor svetlosti.

U tu svrhu prizma je pomoću staklenog štapića i plastelina pričvršćena na goniometarsku glavu a zatim zajedno sa goniometarskom glavom postavljena na posebno pokretno postolje. Ovakvo postavljanje prizme omogućuje da se ona orijentiše u prostoru pomoću tri rotacije i tri translacije, koje su međusobno normalne. Dve rotacije i translacije možemo ostvariti pomoću goniometarske glave, dok treću ostvarujemo na pokretnom postolju. Na ovaj način postizemo da svetlost pada normalno na prizmu.

Merenja su vršena na talasnoj dužini $\lambda = 632.8 \text{ nm}$. Kao izvor svetlosti poslužio je He-Ne laser "ISKRA", snage 1mW.

Eksperimenti su vršeni za različita rastojanja prizme od zaklona. Rastojanja x i L su merena čeličnim metrom sa greškom $\Delta L = \pm 0.5$ mm i $\Delta x = \pm 0.5$ mm.

Apsolutna greška indeksa prelamanja se računa iz relacije

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\sin^2(\delta + \varphi)}{\sin^2 \varphi} (\Delta \delta)^2 + \frac{\cos^2 \delta}{\sin^4 \varphi} (\Delta \varphi)^2} \quad (7.2)$$

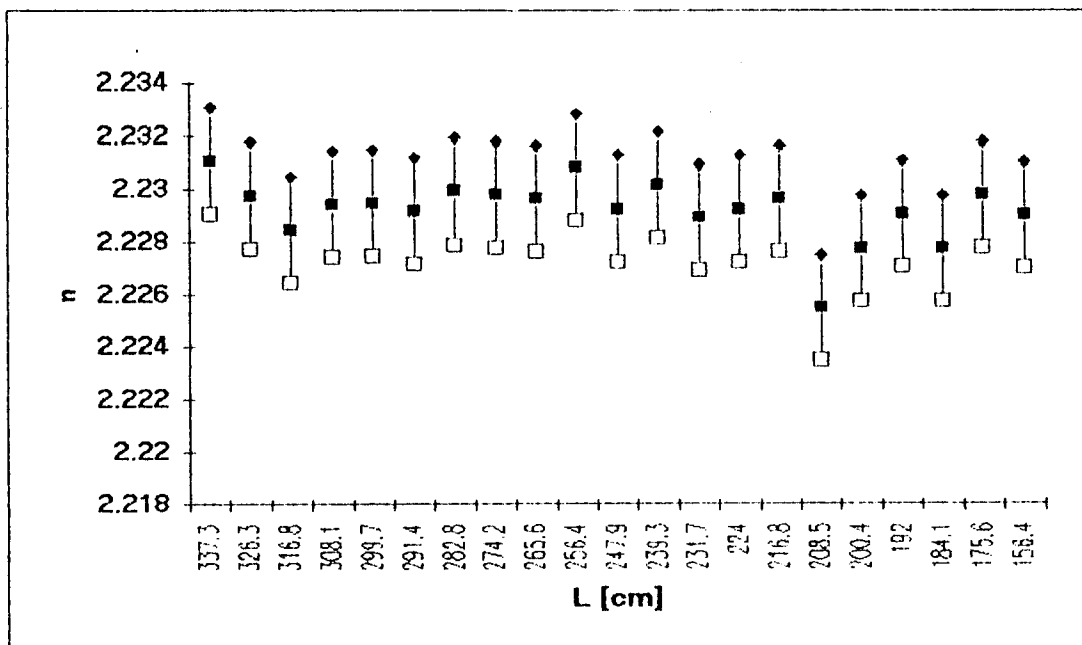
$\Delta \varphi$ je greška koju smo načinili u merenju ugla prizme i iznosi $\pm 1'$. $\Delta \delta$ je greška pri određivanju ugla skretanja i nju određujemo pomoću relacije

$$\Delta \delta = \sqrt{\frac{L^2}{(L^2 + x^2)^2} (\Delta x)^2 + \frac{x^2}{(L^2 + x^2)^2} (\Delta L)^2} \quad (7.3)$$

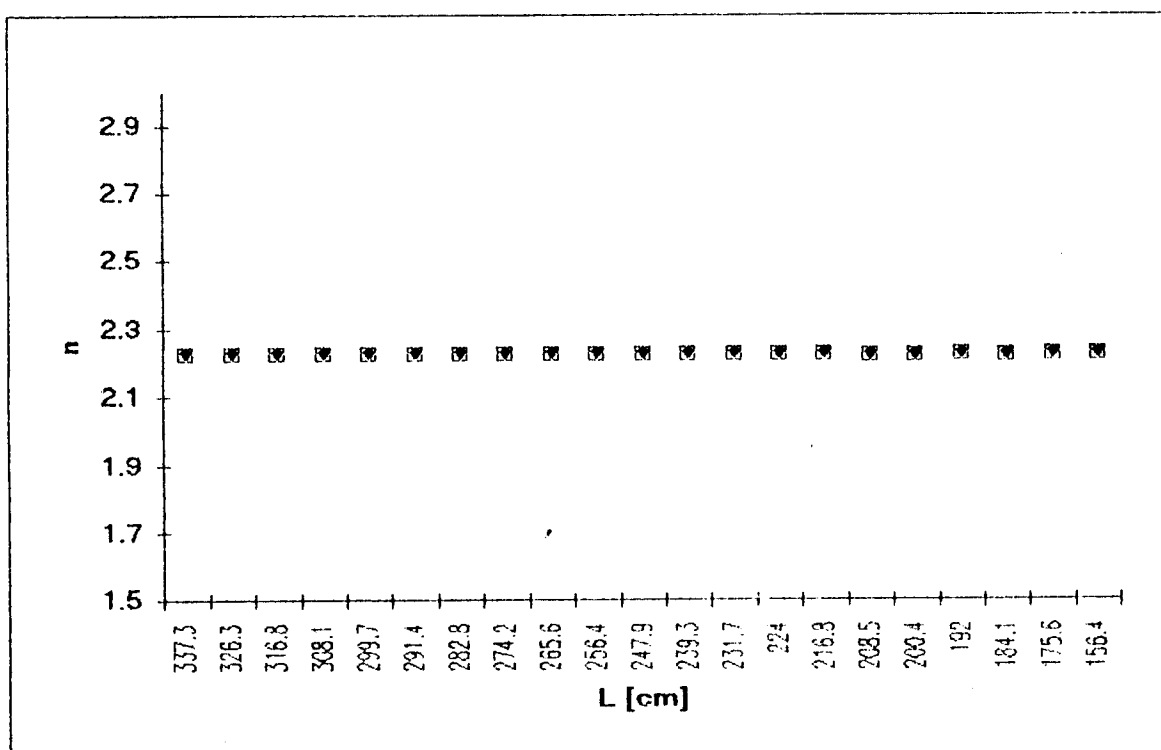
Rezultati merenja indeksa prelamanja su dati u tabeli 1, a grafik zavisnosti od L na slici 7.0.2.

Broj	x [cm]	L [cm]	δ	$\Delta \delta$	n	Δn
1	132.9	337.3	21.50500	0.00014	2.2311	0.0039
2	128.4	326.3	21.47978	0.00014	2.2298	0.0039
3	124.5	316.8	21.45445	0.00015	2.2284	0.0039
4	121.2	308.1	21.47362	0.00015	2.2294	0.0039
5	117.9	299.7	21.47435	0.00016	2.2295	0.0039
6	114.6	291.4	21.46842	0.00016	2.2292	0.0039
7	111.3	282.8	21.48283	0.00016	2.2299	0.0039
8	107.9	274.2	21.48005	0.00017	2.2298	0.0039
9	104.5	265.6	21.47710	0.00018	2.2296	0.0039
10	101.0	256.4	21.50026	0.00018	2.2308	0.0039
11	97.5	247.9	21.46990	0.00019	2.2292	0.0039
12	94.2	239.3	21.48699	0.00019	2.2301	0.0039
13	91.1	231.7	21.46380	0.00020	2.2289	0.0039
14	88.1	224.0	21.46989	0.00021	2.2292	0.0039
15	85.3	216.8	21.47717	0.00021	2.2296	0.0039
16	81.7	208.5	21.39756	0.00022	2.2255	0.0039
17	78.7	200.4	21.44066	0.00023	2.2277	0.0039
18	75.5	192.0	21.46620	0.00024	2.2290	0.0039
19	72.3	184.1	21.44100	0.00025	2.2277	0.0039
20	69.1	175.6	21.48003	0.00026	2.2298	0.0039
21	61.5	156.4	21.46587	0.00030	2.2290	0.0040

Tabela 1



Slika 7.0.2 Indeks prelamanja stakla $Ge_{20}As_{14}S_{24}Se_{24}I_{18}$



Slika 7.0.3 Indeks prelamanja stakla $Ge_{20}As_{14}S_{24}Se_{24}I_{18}$

Iz tabele 1 i slike 7.0.2 određena je vrednost indeksa prelamanja stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$, za talasnu dužinu He-Ne lasera od 632,8 nm i iznosi $n=2.2292\pm 0.0039$

Ista merenja prikazana su na slici 7.0.3 u uobičajenoj razmeri za standardna određivanja indeksa prelamanja.

Kao što se vidi, u granicama greške, sva izvršena merenja konvergiraju istoj vrednosti indeksa prelamanja. U odnosu na rezultate za analogan sistem $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_{52}\text{I}_{14}$ ova vrednost se mogla očekivati. Naime, u sistemu sa 14 at% I indeks prelamanja kretao se u intervalu od 2.05 do 2.40 /16/, a za staklo sa ravnomernom koncentracijom sumpora i selena vrednost indeksa prelamanja iznosila je 2.205. To ukazuje da povećan sadržaj joda povećava indeks prelamanja. Ovakav zaključak se može izvesti već na osnovu samo ovog merenja, jer se radi o čvrstim rastvorima /34/, čija je karakteristika da je promena fizičkih veličina uvek monotona funkcija koncentracije. Naravno da će tek merenja u više tačaka ovog sistema eksplicitno potvrditi ovakvu tvrdnju.

8. ODREĐIVANJE KRATKOTALASNE GRANICE APSORPCIONOG SPEKTRA

Apsorpcioni spektar halkogenidnog poluprovodničkog stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ meren je u intervalu talasnih dužina od 370-1000 nm pomoću standardne aparature, čiji su glavni delovi monohromator SPM-2 (Zeiss, Jena) sa kvarcnom optikom, fotomultiplikator i instrument za očitavanje intenziteta propuštene svetlosti. Uzorci za ova merenja moraju biti izrađeni u obliku visoko poliranih planparalelnih pločica.

Priprema uzoraka je detaljno opisana u poglavlju 6.2. .

Kao što je poznato, transparentnija T predstavlja odnos između intenziteta upadne i propuštene svetlosti. Za određivanje apsorpcionog spektra ispitivanog stakla služili smo se relativnom metodom. Naime, mereni su intenziteti svetlosti kada je na put svetlosnog zračenja postavljen nosač sa uzorkom I_{uz} i kada je postavljen nosač bez uzorka I_r :

$$T = \frac{I_{uz}}{I_r} \quad (8.1)$$

Transparentni spektri halkogenidnog stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ za tri različite debljine uzoraka, prikazani su na slici 8.0.1. .

Za određivanje apsorpcionog koeficijenta koristi se relacija, koja opisuje slabljenje zračenja pri prolasku kroz materijalnu sredinu debljine d :

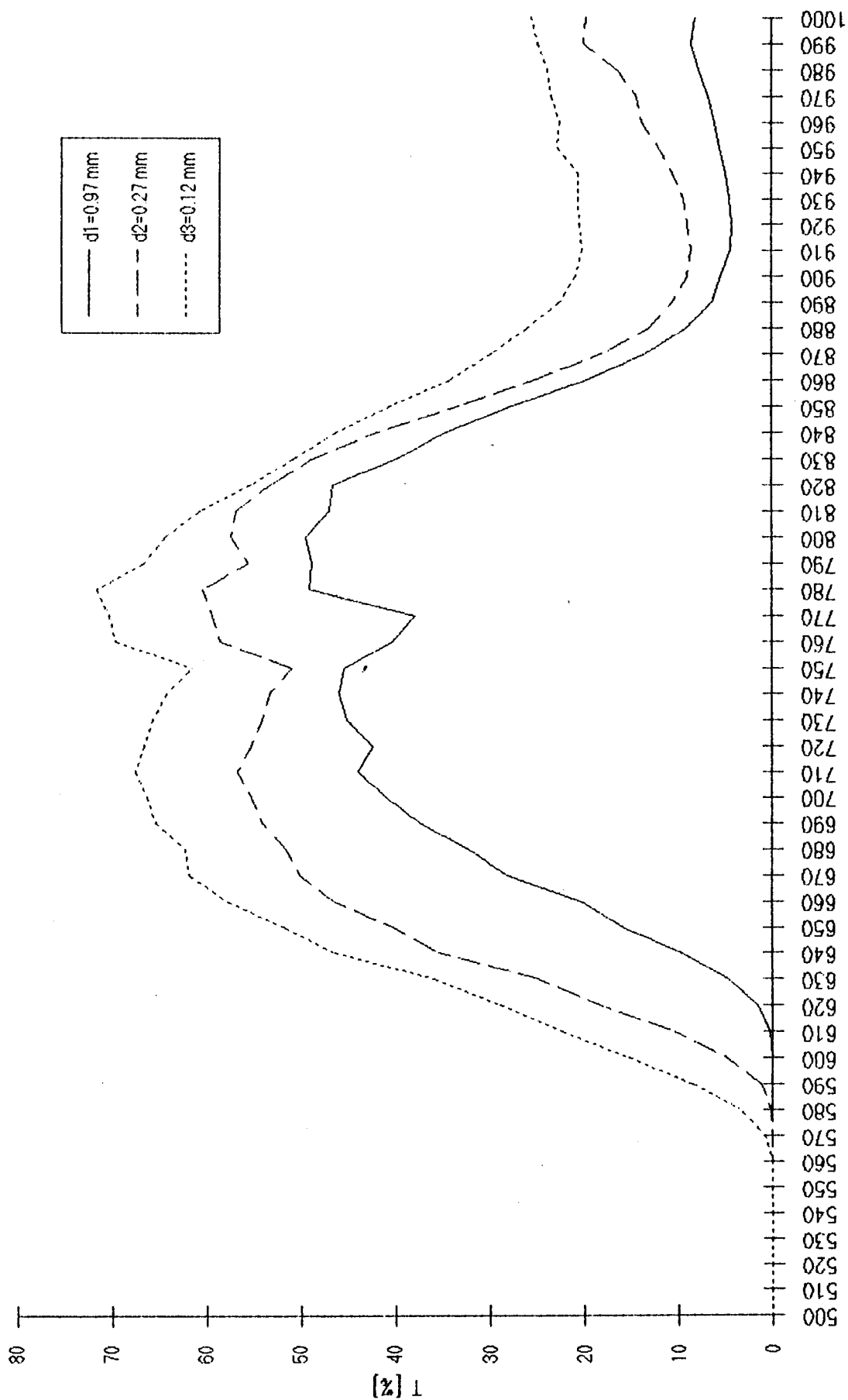
$$I_t = I_0 e^{-\alpha d} \quad (8.2)$$

gde je I_t intenzitet propuštenog zračenja, I_0 intenzitet upadnog zračenja a α apsorpcioni koeficijent. Iz gornjih obrazaca možemo dobiti zavisnost koeficijenta apsorpcije od talasne dužine propuštenog zračenja:

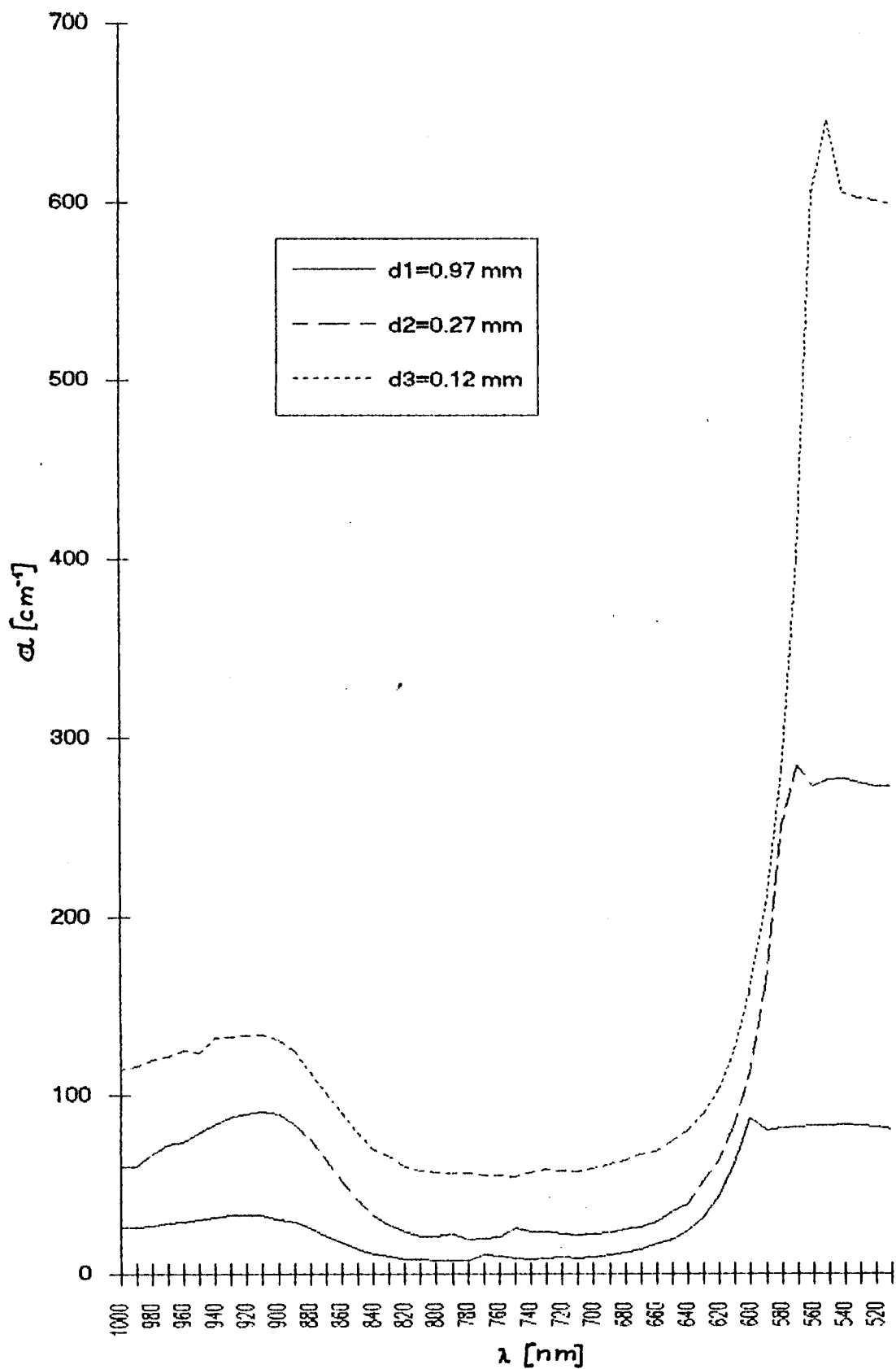
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \frac{1}{T} \quad (8.3)$$

Na slici 8.0.2 prikazana je zavisnost apsorpcionog koeficijenta stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ za tri debljine uzorka, u oblasti kratkotalasne granice.

Optičku širinu zabranjene zone dobićemo ekstrapolacijom linearnog dela krivih $\alpha = f(\lambda)$.



Slika 8.0.1 Transparentni spektral stakla Ge₂₀As₁₄S₂₄Se₂₄I₁₈



Slika 8.0.2 Apsorpcioni koeficijent stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$

Relacija (8.3) smatra se prihvatljivim rešenjem za određivanje optičkog parametra α iz eksperimentalnih podataka. Međutim, činjenica je da u svakom slučaju postoji i efekat refleksije prilikom ozračivanja uzorka. To je razlog zbog koga je za precizna merenja svakako potrebno izvršiti korekciju i na ovaj faktor.

U aproksimaciji normalnog upadnog snopa elektromagnetnog zračenja I_0 za slučaj višestruke refleksije na konačno debelom uzorku, refleksija R , transparentija T i apsorpcija A se definišu na sledeći način /32/

$$R = \frac{I_R}{I_0} = r + \frac{(1-r)^2 r e^{-2\alpha d}}{1 - r e^{-\alpha d}} \quad (8.4)$$

$$T = \frac{I_T}{I_0} = \frac{(1-r)^2 e^{-\alpha d}}{1 - r^2 e^{-2\alpha d}} \quad (8.5)$$

$$A = \frac{I_A}{I_0} = (1-r) \frac{1 - e^{-\alpha d}}{1 - r e^{-\alpha d}} \quad (8.6)$$

$$\text{gde je } r = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (8.7)$$

k je indeks apsorpcije, α debljina uzorka a r -koeficijent refleksije pri jednostrukoj refleksiji.

Veličina k praktično ne utiče na r ako je $\alpha\lambda \leq 1$. Za veoma male vrednosti α (npr. $\alpha \leq 10^2 \text{ cm}^{-1}$) biće $A=0$ a izrazi za refleksiju i transparentiju dobijaju sledeći oblik /22/

$$R = \frac{(n-1)^2}{n^2+1} \quad ; \quad T = \frac{2n}{n^2+1} \quad (8.8)$$

Ako je $\alpha d > 1$, dobija se iz (8.4) da je $R=r$, odnosno nestaje udeo vezan za višestruku refleksiju zbog jake apsorpcije svetlosti u uzorku. Iz izraza

$$T = \frac{(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (8.9)$$

na osnovu eksperimentalnih podataka o transparentiji T i refleksiji $R=r$, može se izračunati α . Ako je vrednost indeksa prelamanja n poznata veličina (a k se može zanemariti) pri $\lambda < 10 \mu\text{m}$ i $\alpha < 10^3 \text{ cm}^{-1}$, na osnovu relacije (8.7) može se proceniti vrednost za r .

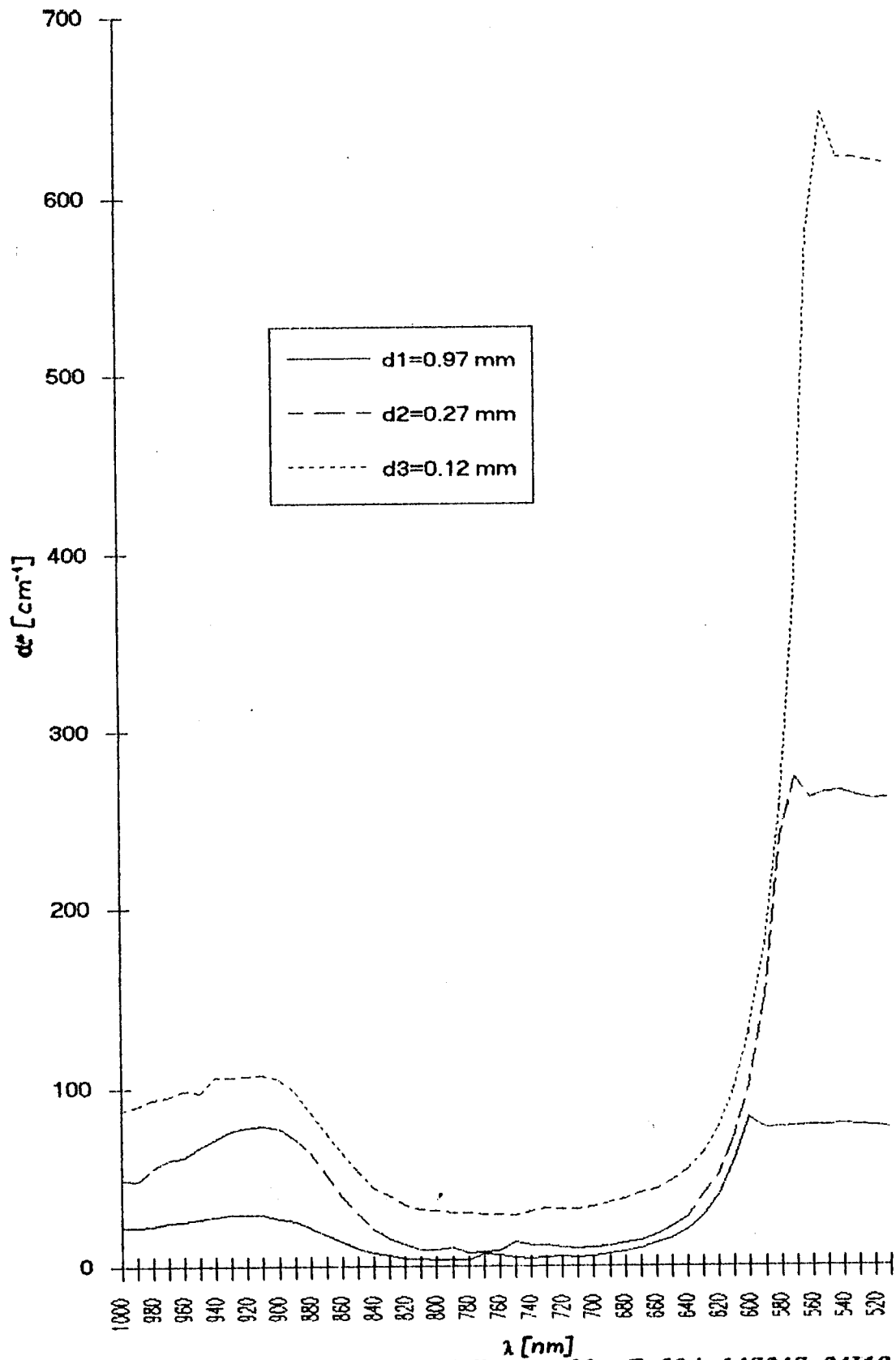
Tada je konačni izraz za apsorpcioni koeficijent /33/

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \frac{(1-R)^2 + \sqrt{(1-R)^4 + 4T^2 R^2}}{2T} \quad (8.10)$$

gde je d -debljina uzorka, T -transparencija a R -koeficijent refleksije pri višestrukoj refleksiji i računa se iz formule

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (8.11)$$

Na slici 8.0.3 dati su apsorpcioni spektri halkogenidnog stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ za tri različite debljine, sa korekcijom na regularnu refleksiju.



Slika 8.0.3 Apsorpcioni koeficijent stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ sa uračunatim efektom na regularnu refleksiju

Transparentni spektar stakla $\text{Ge}_{30}\text{As}_{14}\text{S}_{34}\text{Se}_{24}\text{I}_{16}$ (slika 8.0.1) pokazuje očekivanu visoku prozračnost u vidljivom i bliskom IC delu spektra. Nagli porast apsorpcije na talasnim dužinama manjim od 600 nm. uslovljen je kratkotalasnom apsorpcionom granicom.

Apsorpcioni pik slabijeg intenziteta na približno 750 nm mogao bi biti posledica fundamentalne apsorpcije GeSe_2 (23), čije se strukturne jedinice formiraju u staklu.

Apsorpciona traka na oko 930 nm nije tipična za sistem, nego je posledica nečistoća i može se izbeći pažljivim tehnološkim postupkom sinteze stakla.

Funkcionalna zavisnost koeficijenta apsorpcije od talasne dužine u oblasti apsorpcionog praga (slika 8.0.2), omogućila je da se ekstrapolacijom krivih odredi optička širina zabranjene zone (E_g^{opt}) od 2.05 eV.

Rezultati za koeficijent apsorpcije prikazani na slici 8.0.2, dobijeni su merenjem transparentnosti (T) uzoraka, bez uračunavanja regularne refleksije (R). Na slici 8.0.3 prikazana je zavisnost koeficijenta apsorpcije od talasne dužine u oblasti apsorpcione granice, uzimajući u obzir korekciju na regularnu refleksiju. Ekstrapolacijom krivih sa slike 8.0.3 određena je optička širina zabranjene zone (E_g^{opt}) od 2.07 eV.

Kao što se vidi, uračunavanje efekta regularne refleksije nije dovelo do nekih značajnijih izmena eksperimentalnih rezultata, pa proizilazi da se za određivanje koeficijenta apsorpcije, a samim tim i optičke širine zabranjene zone, može koristiti izraz (8.3).

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitivane su neke optičke osobine stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ sa ciljem da se upotpune istraživanja petokomponentnog sistema Ge-As-Se-S-I.

Pomoću optičkog i polarizacionog mikroskopa kontrolisan je kvalitet uzoraka, njihova izotropnost i homogenost.

Transparentni spektri u vidljivoj i IC oblasti ukazali su na visoku prozračnost ispitivanog stakla.

Merenje koeficijenta apsorpcije u oblasti apsorpcionog praga, omogućilo je određivanje optičke širine zabranjene zone. Predstavljanjem funkcionalne zavisnosti koeficijenta apsorpcije od talasne dužine, bez uračunavanja regularne refleksije, i ekstrapolacijom ovih krivih, određena je optička širina zabranjene zone od $E_g^{\text{opt}} = 2.05 \text{ eV}$. Predstavljanjem iste funkcionalne zavisnosti, ali sa uračunatim efektom na regularnu refleksiju, ekstrapolacijom ovih krivih određena je optička širina zabranjene zone od $E_g^{\text{opt}} = 2.07 \text{ eV}$.

Merenjem indeksa prelamanja za talasnu dužinu He-Ne lasera ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$), određena je vrednost indeksa prelamanja stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$ od $n = 2.2292 \pm 0.0039$.

10. LITERATURA

1. Avramov M. I. . Amortna halkogenidna poluprovodnička stakla sistema $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_{22}\text{I}_{24}$, doktorska disertacija, Novi Sad (1991)
2. Petrović D. M. . Lukić S. R. . Avramov M. I. . Khiminets V. V. . J Math Sci. Let. . 5(1986) 290
3. Petrović D. M. . Lukić S. R. . Petrović A.F. . Proc XV International Congress on glass Leningrad 1989, vol. 2b. "Nauka", Leningrad (1989) 364
4. Борисова З. У. . "Химия стеклообразных полупроводников". ЛГУ, Ленинград, (1972), с 247
5. Костылев С. А. . Шкут В. А. . Электронное переключение в аморфных полупроводниках. Киев "Наукова думка". 1978 с. 5-25
6. Скрышевски А. Ф. . Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. Москва, "Высшая школа". 1980 с. 302
7. Угай Я. А. . "Введение в химию полупроводников". Всесшя школа, Москва (1975), с. 302
8. Hilton A. R. . Glass Ind. . 48 (1967) 550
9. Полупроводниковые стекла сложного состава. Проспект ВД НХ СССР, Ужгород, Изд во 1975 2 с.
10. Химинец В. В. . Исследования и возможностей практического применения халькогенидных стекол четверных систем $\text{M-A}^{\text{VI}}\text{-B}^{\text{VI}}\text{-C}^{\text{VI}}$ Канд. дис. Ужгород, 1975, 136 с
11. Химинец В. В. . Туряница И. Д. . Чепур Д. В. . Цитровский В. В. . Стеклообразованные и физико-химические свойства стекол в четверных халькогенидных системах $\text{Hg-A}^{\text{VI}}\text{-B}^{\text{VI}}\text{-C}^{\text{VI}}$. В кд. Вопросы физики полупроводников. Стеклообразные и аморфные полупроводники, Калининград, 1975. . с. 79-85
12. Химинец В. В. . Туряница И. Д. . Чепур Д. В. . Изв. ВУЗОВ. Физика, 9(1974)11
13. Губанов А. И. . Квантово-электронная теория аморфных полупроводников. М. JL. . Изд-во АН СССР, 1963, 250 с
14. Губанов А. И. . Мозец Т. Ф. . Изв. АН СССР, сер. физ. 28, 8(1964)1276
15. Мотт Н. . Электроны в неупорядоченных структурах. М., "Мир" 1969, 172 с
16. Rosola I. I. . Avramov M. I. . Petrović D. M. . Khiminets V. V. . Rev. Res. Fac. of Sci. Univ. of N.Sad, 19(1989)67

17. Lukić S. R. , Fizičke osobine amorfnih materijala u sistemu Cu-As-Se-I, dok. disertacija, Novi Sad (1991)
18. Madan A. , Shaw M. P. , "The Physics and Applications of Amorphous Semiconductors" , Academic Press, Inc. San Diego-London. (1988) s 545
19. Brückner R. , J. Non-Cryst. Sol. 5(1971)281
20. Роусон Г. , Неорганические стеклообразование системы" МИР, Москва, 1970
21. Химинец В. В. , Квантовая электроника, 24(1983)84
22. Feltz A. , "Amorphe und glasartige anorganische festkörper". Akademie-Verlag, Berlin. (1983). s. 558
23. Ležal D. , Kašik I. and Götz I. , J. Non-Cryst. Sol. , 90(1987)557
24. Бродски М. , Аморфные полупроводники. Изд. "Мир", Москва (1982)
25. Stuke I. , Non-Cryst. Sol. , 4(1970)1
26. Sears F. W. , "Optika" , Naučna knjiga, Beograd (1963)
27. Зубаны В. А. , Борец А. Н. , УФЖ, 19, 2(1974)331
28. Langmuir I. , Proc. Roy. Soc. ser A. ,170(1939)1
29. Тонкие пленки новых сложных полупроводников, Ужгород, Изд-во УГУ, 1977
30. Чермухин Г. С. , Кириенко Б. В. , Гурин Е. К. , ОМП, 6(1976)13-15
31. Ruske E. , Phys. Stat. Sol. (a) 35,2(1976)477
32. Bergmann L. , Schaffer Cl. - lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. III, Optik. Atomphysik, 1 Teil. Wellenoptik, W. De Gruyter (ed.), Berlin. (1962)
33. Seeger K. , In "Semiconductor Physics" Springer-Verlag, Wien. New York. (1973)
34. Šuman H. , Metalografija, Teh. met. fak. Univ. Beograd, (1975)

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR Diplomski rad

Autor:

AU Janko Havran

Mentor:

MN Dr Svetlana Lukić, docent

Naslov rada:

NR Optičke osobine stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{18}$

Jezik publikacije:

JP Srpski (latinica)

Jezik izvoda:

Jl Srpski (latinica)/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP SR Jugoslavija

Uže geografsko područje:

UGP Vojvodina

Godina:

GO 1994

Izdavač:

IZ Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 4

Fizički opis rada:

FO Broj poglavlja (9), strana (31), lit. citata (34), tabela (1), slika (4), grafika (12)

Naučna oblast:

NO Fizika

Naučna disciplina:

ND Fizika kondenzovane materije

Predmetna odrednica/Ključne reči:

PO Amorfni poluprovodnici, halkogenidna stakla, indeks prelamanja, koeficijent apsorpcije

UDK:

Čuva se:

ČU U biblioteci PMF Novi Sad, 21000 N. Sad, Trg D. Obradovića 4

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ U radu su prikazani rezultati istraživanja spektra fundamentalne apsorpcije poluprovodničkog stakla $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{19}$. Optička širina zabranjene zone određena je iz zavisnosti koeficijenta apsorpcije od talasne dužine u oblasti apsorpcionog praga. Korišćenjem He-Ne lasera, na osnovu eksperimentalnih podataka određen je indeks prelamanja ispitivanog stakla za talasnu dužinu od 632,8 nm.

Datum prihvatanja teme od strane NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

(Naučni stepen / ime i prezime / zvanje / fakultet)

KO

Predsednik: Dr Dragoslav Petrović, red. prof.

član: Dr Stevica Đurović, docent

član: Dr Svetlana Lukić, docent

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF NATURAL SCIENCES & MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT Monographic publication

Type of record:

TR Textual material, printed

Contents code:

CC B.S. thesis

Author:

AU Havran Janko

Mentor:

MN Dr Svetlana Lukić, Assistant Professor

Title:

TI Optical characteristics of the $\text{Ge}_{20}\text{As}_{14}\text{S}_{24}\text{Se}_{24}\text{I}_{13}$ glass

Language of text:

LT Serbian (Roman) (Sr)

Language of abstract:

LA Serbian (Roman) (Sr) / English

Country of publication:

CP Yugoslavia

Locality of publication:

LP Vojvodina

Publication year:

PY 1994

Publisher:

PU Author reprint

Publ. place:

PP 21000 N.S., YU, Trg D. Obr. 4

Physical description:

PD Chapters (9), pages (31), literature (34), tables (1), pictures (4), graphs (12)

Scientific field:

SF PHYSICS

Scientific discipline:

SD PHYSICS OF CONDENSED MATTER

Subject / key words:

SKW Amorphous Semiconductors, Chalcogenide Glasses, Refraction Index, Absorption Coefficient

UC:

Holding data:

HD Library of Faculty of Sciences Novi Sad, 21000 N. Sad, YU, Trg D. Obr. 4

Note:

N

Abstract:

AB The paper presents the results of investigations of spectra of fundamental absorption of the $\text{Ge}_{20}\text{As}_{34}\text{S}_{21}\text{Se}_{24}\text{I}_{19}$ glass. The optical energy gap was determined from the absorption coefficient vs. wavelengths plots in the absorption band edge region. The refraction index of the investigated glass have been determined on the basis of experimental results to use the He-Ne laser with 632.8 nm.

Accepted by the Scientific Board on:

ASB

Defended:

DE

Thesis defended board:

(Degree / name / surname / title / faculty)

DB

President: Dr Dragoslav Petrović, professor

Member: Dr Stevica Đurović, Assistant professor

Member: Dr Svetlana Lukić, Assistant professor