

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO MATEMATICKI FAKULTET



D I P L O M S K I R A D

TEMA: NEKE FIZICKE OSOBINE SULFIDA

RADJEN KOD DR SLOBODANA CARIĆA IZ PREDMETA FIZIKA ČVRSTOG STANJA

NOVI SAD, februar 1976

STUDENT
BELJANSKI JOVAN

Zahvaljujem se profesoru iz
predmeta FIZIKA ĆVRSTOG STANJA
Dr Slobodanu Cariću na pomoći i
veoma korisnim sugestijama koje
su doprinele uspešnoj realizaciji
ovog rada. Posebno se zahvaljujem
asistentu Dragoslavu Petroviću
čije je zalaganje daleko preva-
zilazilo njegove oficijalne oba-
veze.



S A D R Ž A J

	str.
U V O D	1
I. G L A V A = = =	4
1. IDENTIFIKACIJA KRISTALA	4
2. EKSPERIMENTALNI RAD I OBRADA PODATAKA	6
2.a. Izbor i pripremanje uzorka	6
2.b. Instrumentacija i aparati korišćeni u radu	6
2.c. Uslovi snimanja	7
3. NUMERIČKA OBRADA PODATAKA	7
3.a. Određivanje medjuravanskog rastojanja	8
3.b. Eksperimentalni rezultati	9
4. DISKUSIJA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA	15
II. G L A V A	16
1. ODREĐIVANJE GUSTINE KRISTALA	16
1.a. Pregled eksperimentalnih rezultata	17
2. ODREĐIVANJE TVRDOĆE KRISTALA	19
2.a. Postupak pri merenju	19
2.b. Pregled eksperimentalnih rezultata	20
III. G L A V A	21
ELEKTRIČNA PROVODNOST SULFIDA	21
1. OBRADA I PRIPREMANJE UZORAKA	25
2. APARATURA ZA MERENJE ELEKTROPROVODNOSTI	26
3. FOTOPROVODNOST	27
Z A K L J U Č A K	
L I T E R A T U R A	

U V O D



Izučavanje fizičkih osobina čvrstog stanja, zasnovano na saznanjima atomske fizike, počinje u prvim godinama ovog veka. Pojam fizike čvrstog stanja se svodi na onu granu fizike koja se bavi proučavanjem kristala i ponašanja elektrona u kristalima.

Jedan vek ranije, istraživanje osobina kristala se odnosilo samo na spoljašnji oblik kristala i na povezanost različitih koeficijenata, koji opisuju njihove osobine, u vezi sa geometrijskom simetrijom kristala. Posle 1910 godine fizičari su se veoma zainteresovali za atomske modele kristala sledeći otkrića u analizi kristala uz pomoć x-zraka i objavljuvanja niza jednostavnih i uspešnih proračuna i pretpostavci u vezi sa svojstvima kristala.

Pravilnost u pojavljuvanju i obliku kristala, nadjenih u prirodi ili dobijenih u laboratoriji, uverila je istraživače da su kristali obrazovani od identičnih izgradjivačkih delova koji se pravilno ponavljaju u kristalu. Kada se stvara kristal pri nepromenljivim spoljašnjim uslovima, njegov oblik ostaje, uglavnom, nepromenljiv za vreme njegovog rasta - kao da se identični elementarni izgradjivački delovi -(atomi ili grupe atoma) neprekidno dodaju kristalu. Nama je sada poznato da su ovi motivi atomi ili grupe atoma. Ipak veoma je važno napomenuti da je kristal po definiciji anizotropna sredina. Gradja kristala pa i njegove fizičke osobine povezane su sa simetrijom koja i određuje anizotropiju.

U ovom radu će biti izneti rezultati ispitivanja fizičkih osobina određene grupe kristala - SULFIDA. U ovu klasu spadaju jedinjenja metala i metaloida sa sumporom. Pre nego što predjemo na iznošenje i diskusiju eksperimentalnih rezultata, navešćemo neke opšte osobine sulfida, koji se u ovom radu ispituju.

Sfalerit (ZnS) ima strukturu dijamanta: $Zn (0,0,0); (0,1/2,1/2); (1/2,0,1/2); (1/2,1/2,0)$, $S (1/4,1/4,1/4); (1/4,3/4,3/4); (3/4,1/4,3/4); (3/4,3/4,1/4)$. Javlja se u oblicima tetraedra, heksatetraedra ili u kombinacijama ovih sa koškom. Boje je tamno smeđe ili crne sa smolastom, kvazidijamantskom sjajnošću. Izotropan je optički, mada katkada pokazuje izvesne anomalije usled prisutva vurcita. Neprovidan je.

Halkonirit (CuFeS_2) kristališe iše tetragonalno u malim i deformisanim kristalima sfenoedarskog oblika. Obično je mesingano žute boje, katkad može biti i crn zbog površinskih promena. Metalne je sjajnosti. Neprovidan je.

Galenit (PbS) Kristališe teseralno, sa kristalnom rešetkom, koja je veoma slična rešetki natrijum hlorida. Javlja se u lepim kristalima, koji su gotovo uvek oblika kocke ili oktaedra olovnosive je boje sa jako izraženom metalnom sjajnošću.

Cinobarit (HgS) kristališe trigonalno. Kristalna rešetka mu je slična rešetki NaCl : ako se elementarna čelija halita deforme homogeno u romboedar, pri čemu se u njegovim rogljekama nađe atomi žive, a u sredinama ivica atomi sumpora, dobije se elementarna čelija cinobarita. Crvene je boje koja varira u agregatima od skerletne do tamnocrvene pa i crne. Neprozirni je, izuzev ako je u jako finim folijama.

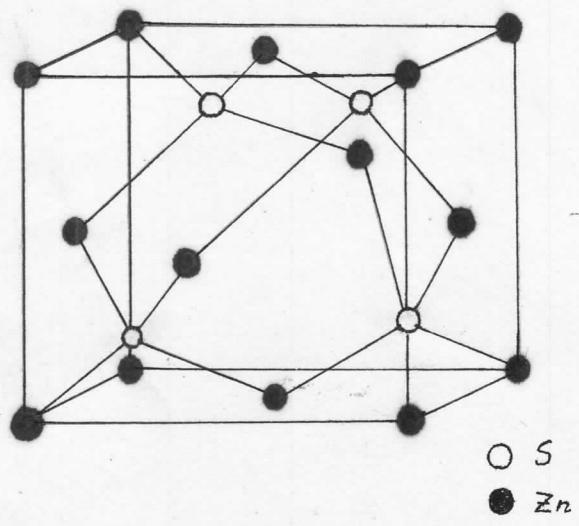
Pixit (FeS_2) ima strukturu kuhinjske soli s tim da rogljeve i centar stranica zauzima Fe, a sredinu ivice molekuli sumpora. Boje je zlatnožute, katkad je po površini išaren smedjom bojom zbog promene površinskih slojeva u limonit. Metalnog je sjaja i neprovidan je. Najrasprostranjeniji je od svih sulfida.

Kovelit (CuS) kristališe heksagonalno. Boje je tamnoplave, nema metalni sjaj i neprovidan je.

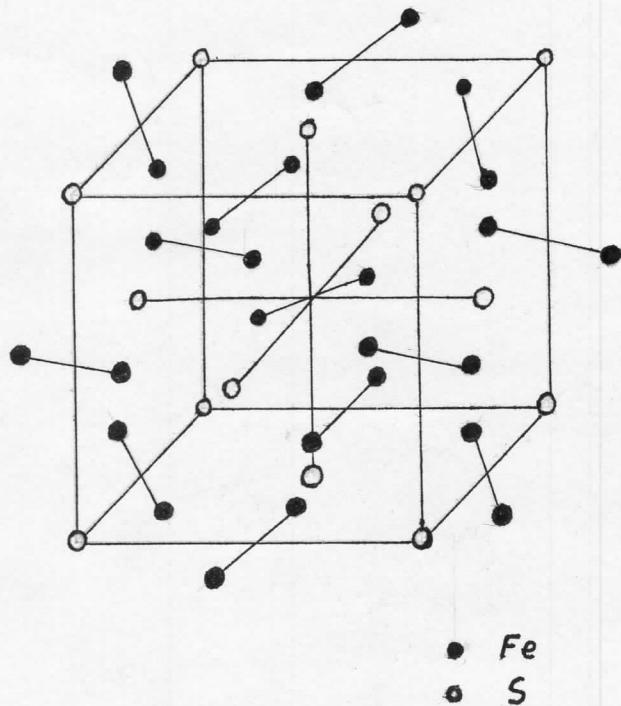
Za identifikaciju je korišćena standardna metoda praha, dok su za merenje provodnosti primenjivane uobičajene metode, eli us izvesne specifičnosti.

Grupa minerala - sulfida ima interesantna fizička svojstva koja se koriste u savremenoj tehnici. Pre svega, sulfidi uvećini slučajeva spadaju u poluprovodnike sa malom zabranjenom zonom. Drugo, jedan deo sulfida je fotoosetljiv, to jest menja svoju provodnost pod dejstvom svetlosti.

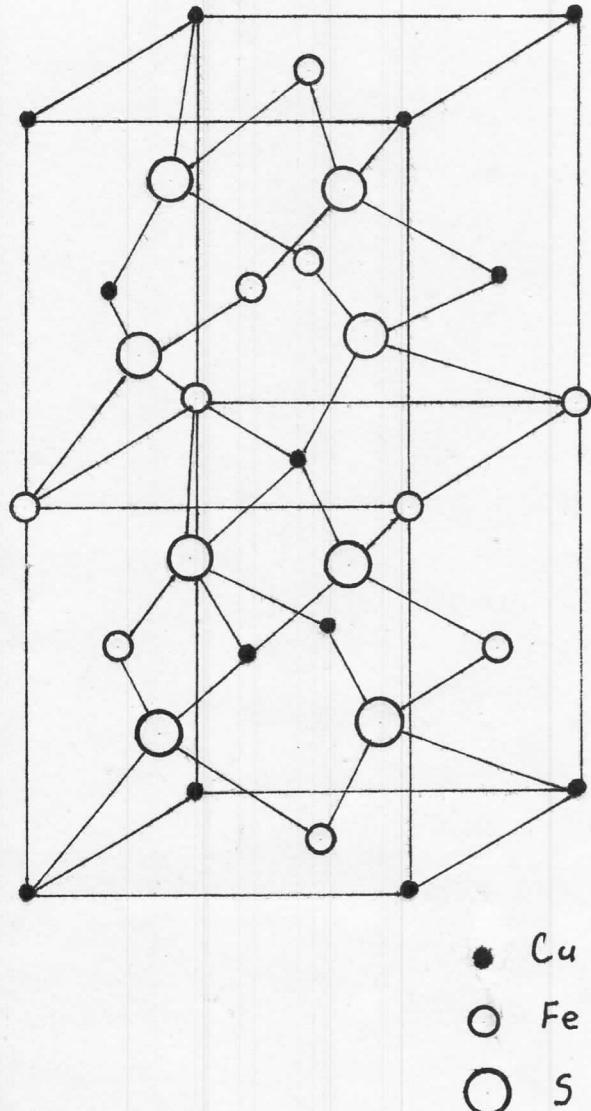
Kod materijala koji se industrijski dobijaju i koriste za izradu poluprovodničkih elemenata, karakteristike se doteruju dodavanjem drugih elemenata - dopiranjem. Kod prirodnih minerala, veliki broj uzoraka je već u toku nastajanja iekristalisa sa primesama u različitim koncentracijama s toga je interesantno izvršiti merenje osnovnih karakteristika tih uzoraka i utvrditi njihovo ponašanje. U ovom radu je posao ograničen na identifikaciju uzoraka, određivanje električnih karakteristika, kao i ispitivanje fotoprovodljivosti.



Sfalerit (ZnS)



Pirit (FeS_2)



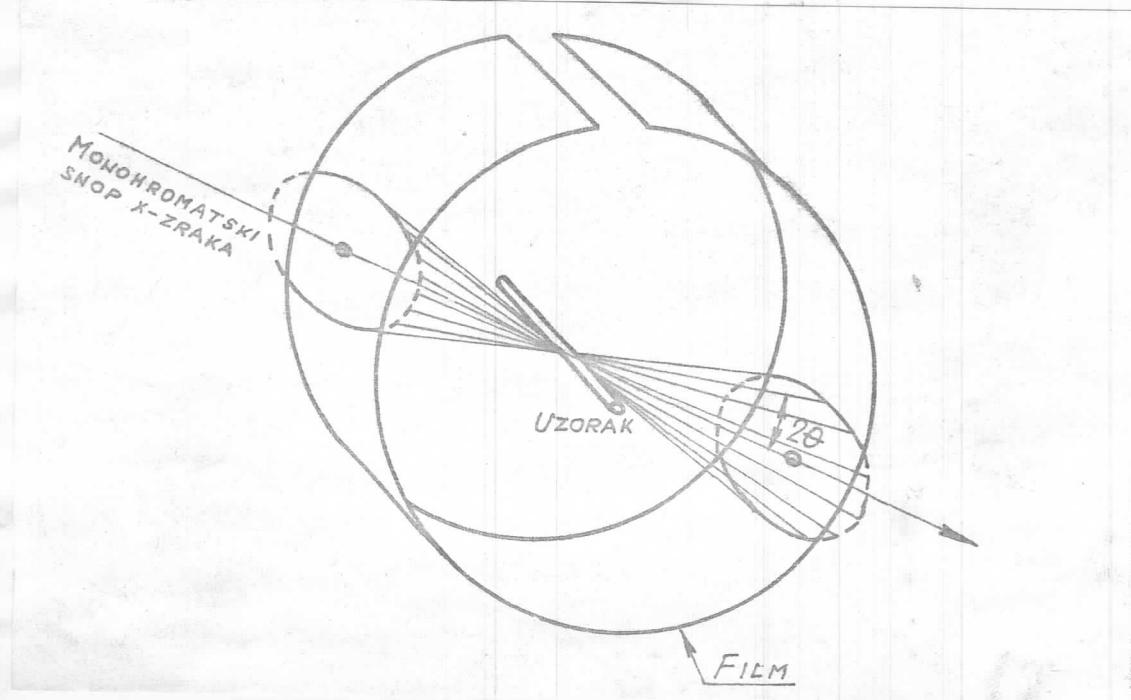
Halkopirit (CuFeS_2)

I G L A V A

I - 1. IDENTIFIKACIJA KRISTALA

U ovom radu identifikacija je vršena metodom Debye - Scherer - a (metodom praha). Metodu praha su od 1915 do 1917 razvili P. Debye i P. Scherer a po njima je i dobila ime.

Kristal, koji želimo da ispitujemo ovom metodom, mora da zadovoljava sledeće uslove: dimenzije zrna praha kristala moraju biti ispod $1/100$ mm, da ima dovoljno kristala, tako da su postignute sve moguće orijentacije i da ukupna količina ne bude prevelika, da nebi došlo do jače apsorpcije. Ukoliko su svi ovi uslovi zadovoljeni, u kristalnom prahu će se uvek naći dovoljno zrna čije će ravni zaklapati odgovarajući ugao sa pravcem x-zraka, tako da će doći do refleksa. Osim toga, kristalna zrnca će biti ravnomerno rasporedjena oko pravca x-zraka, isto kao i da rotira kristal oko pravca x-zraka. To znači, pri propuštanju monohromatskog x-zračenja kroz kristalni prah, dobiteno na zaklonu (filmu) niz koncentričnih krugova, koji potiču od refleksa sa pojedinih ravni i od rotacije tih kristala oko pravca x-zračenja.



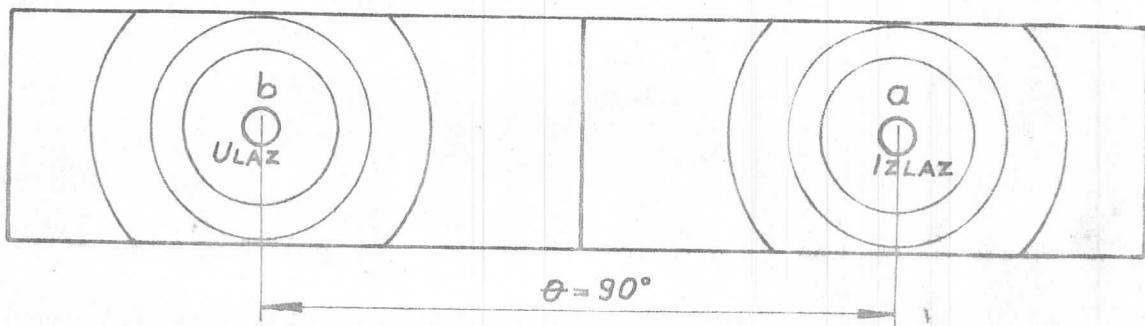
Sl. I-1.1.

Debye i Scherer su primenili sledeći postupak: uzorek kristalnog praha su stavili u kapilarnu cevćicu, koju su stavili u centar cilindra, na kome se nalazio dobro zategnut i pričvršćen film.

Uzorek se okretao oko svoje ose, normalno na snop x-zraka, koji su padali na njega. Obrtanje se vršilo da bi sve orijentacije

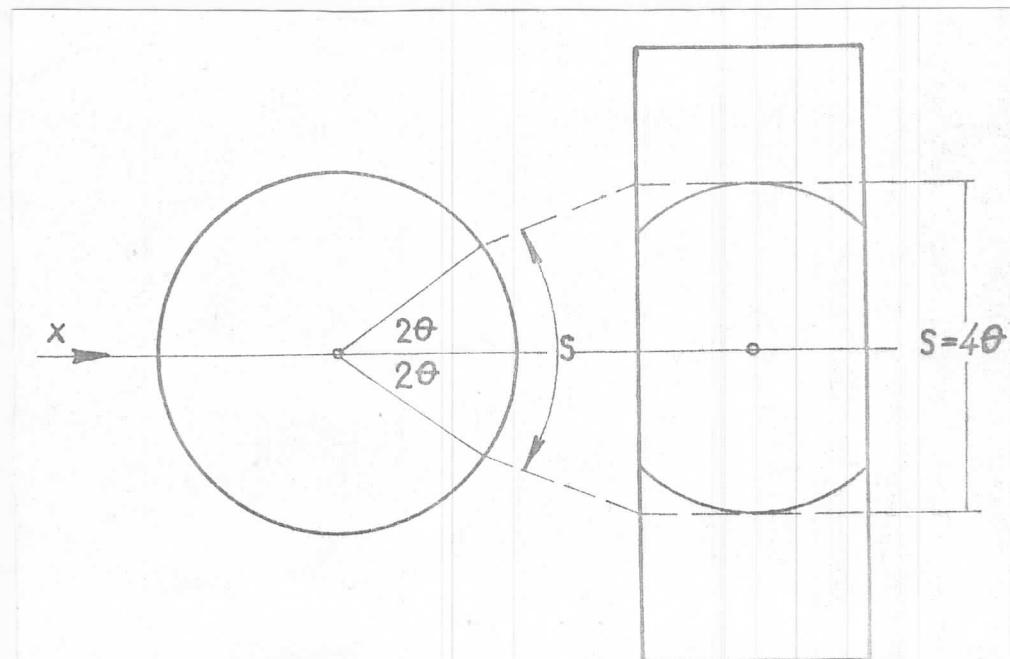
bile ravnomerno zastupljene. Na slici I-1.1. se vidi principjelna postavka.

Dakle, dobili smo konuse difrakcije koji prodiru kroz cilindar, koga čini savijeni film. Kada se film ispravi dobije se kao na slici I-1.2. snimak, na kome se vide tragovi konusa. Ovakav snimak se naziva Debye - Scherer-ov dijagram.



sl. I-1.2.

Kod ovog dijagrama na mestu gde konusi prodiru kod izlaza x - zraka (a) dobijamo linije koje potiču od konusa kod kojih je $2\theta < \pi/2$ i te uglove nazivamo malim uglovima, a na suprotnom kraju gde x - zraci ulaze (b) dobijamo mrlje koje potiču od konusa koji prodiru pod velikim uglovima, tj. $2\theta > \pi/2$.



sl. I-1.3.

Na ispravljenom snimku vidimo da se uglovi pod kojima dobijamo konuse maksimalne interfencije mogu meriti kao dužine (sl. I-1.3.) dužina S odgovara otvoru konusa od 4θ , pa sledi:

$$\theta = \frac{S}{4R}$$

I - 2. EKSPERIMENTALNI RAD I OBRADA PODATAKA

I-2.a. Izbor i pripremanje uzorka

U ovom radu su ispitivani sledeći uzorci: pirit (FeS_2), halkopirit (CuFeS_2), galenit (PbS), sfalerit (ZnS), cinobarit (HgS) i kovelit (CuS). U nekim uzorcima (CuFeS_2 , HgS) su bile izvesne nečistoće, što se manifestovalo u dodatnim linijama na snimku praha, međutim, nama je bio cilj da se identifikuju linije za koje je u tablicama dato da pripadaju odredjenom sulfidu. Uzorci su pripremani mrvljenjem u ahatnom avanu, tako da budu dovoljno sitni i da zadovoljavaju uslove koje zahteva metoda praha. Zatim su pomoću neutralnog lepka, lepljeni na tanak stakleni štapić, koji je potom stavljan u kameru za prah. Veoma je važno da prah bude ravnомерно rasporedjen na štapiću u vidu tankog homogenog sloja, da bi se time postigli povoljni uslovi za difrakciju. Ako bi sloj bio suviše debeo, došlo bi do apsorpcije i neke linije na snimku praha bi izostale.

I-2.b. Instrumentacija i aparati korišćeni u radu

Aparati koji su korišćeni u radu su: kamera za prah (Philips PW 1024) i generator x - zraka tipa Philips PW 1008. Film je punjen tek pošto je bio isečen i probušeni otvori za kolimator i antikolimator specijalnim sekačem (Philips PW 1022). Zatim se kamera stavlja na generator x - zraka (Philips PW 1008) sa bakarnom antikatodom. Snimanje je vršeno sa niklenim filterom koji propušta K zračenja ponderisane talasne dužine $\text{Cu} = 1,54172 \text{ \AA}$. Cev je radila sa naponom od 40 KV, a struja kroz cev je bila 20 mA. Eksponiranje je trajalo 5 časova. Kamera za prah je izradjena za Straumanis tehniku merenja filma (tragovi difrakcije se dobijaju na ulazu i na izlazu x -zračenja,

tako da imamo tzv. "direktni" i "povratni snop", odnosno imamo asimetrične linije, koje se javljaju na mestu ulaza, odnosno izlaza zračenja. Kamera je opremljena sa dva kolimatora i dva antikolimatora. Jedan kolimator daje širinu snopazračenja od 0,5 mm, a drugi 1 mm. Antikolimatori su sasvim isti, stin što je promer svakog prilagođen kolimatoru koji mu odgovara. Nosač uzorka je smešten u sredinu kamere. Antikolinator ima fluorescentni deo na kome se može odrediti da li je ulazni snop paralelan sa horizontalnom osom kamere, na kojoj leži uzorak. Pomoću "zuba" se zateže film što je moguće više, tako da nema nikakvih nabora na delu na koji padaju x - zraci koji su difraktovani.

I-2.c. Uslovi snimanja

Snimanje se vršilo sa kamerom, koju smo prethodno opisali na rentgenu tipa Philips PW 1008. Uslovi snimanja za sve uzorce su bili isti, a vreme ekspozicije 5 časova. Razvijanje filma je trajalo 5 minuta u posebnom razvijaču za rentgen filme. Posle pranja u vodi film je fiksiran 15 minuta i posle ponovnog ispiranja ostavljen da se suši. Posle sušenja, koje je u proseku trajalo oko 6 časova, film je bio spremан за merenje. Pri radu je korišćen "ILFORD" film namenjen specijalno za rentgensko snimanje.

I-3. NUMERIČKA OBRADA PODATAKA

Važan eksperimentalni podatak su bili rezultati koji su se dobili merenjem uglova, na osnovu rastojanja medju linijama, koje predstavljaju otvore konusa maksimalne interferencije. Ovako mereni uglovi predstavljaju u stvari Bragove uglove. Postupak je sledeći: na filmu je potrebno meriti dužine iz kojih izračunavamo Bragove uglove. Na razvijenom Bebye - Scherer - ovom dijagramu imamo mesta gde x - zraci ulaze odnosno izlaze. Rastojanju izmedju ovih mesta odgovara 90° Bragovih, odnosno 180° uglovnih. Rastojanje ovih mesta se određuje na taj način, što se prvo odredi njihova sredina. Merenjem tragova najbližeg konusa i nalaženjem njegove sredine. Ukoliko se to uradi na oba otvora, onda rastojanje medju tim otvorima predstavlja vrednost 90° Bragovih a znano da svakom stepenu odgovara 1 mm.

Merenje rastojanja x je vršeno pomoću optičkog negatoskopa sa mikrometrom, čija je vrednost podeoka 0,002.

Rastojanje AB treba da predstavlja rastojanje od ulaza do izlaza $x = z \cdot \text{faka}$. Faktor srazmere između dužine koju merimo i uglova se može napisati kao:

$$K = \frac{90}{AB}$$

Ukoliko smo izmerili neko rastojanje x linije od izlazne tačke B onda će vrednost ugla koja odgovara tom rastojanju biti:

$$\Theta = K \cdot x$$

Faktor srazmere u idealnom slučaju kada nema skraćenja filma treba kod kamere od 180 mm da bude $1^\circ/\text{mm}$, međutim pošto se u većini slučajeva film pri obradi skraćuje, onda ga određujemo prema gore navedenim formulama.

I-3.a. Određivanje medjuravanskog rastojanja

Na osnovu Bragove jednačine za difrakciju:

$$2d \sin \Theta = n\lambda$$

vidimo da svakom rastojanju (uglu) koje smo izmerili odgovara jedno medjuravansko rastojanje. Kada znamo talasnu dužinu monohromatskog zračenja, lako se određuje koliko je d :

$$d(\lambda) = \frac{n\lambda}{2 \sin \Theta}$$

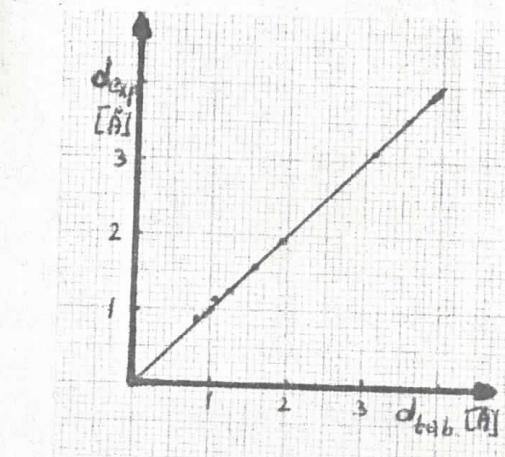
Debye-Schererogram Sfalerita (ZnS)



Sfalerit

$$K = 1,00309$$

R_h	$x_i [mm]$	$\theta = Kx_i$	$\sin \theta$	$d [\text{\AA}]$
1	14,25	14,292	0,246878	3,12
2	23,71	23,781	0,403247	1,91
3	28,11	28,194	0,472467	1,63
4	38,29	38,405	0,621219	1,24
5	43,99	44,122	0,696193	1,11
6	47,63	47,773	0,740492	1,04
7	57,21	57,382	0,842284	0,91
8	63,99	64,182	0,900186	0,86
9	68,73	68,936	0,933185	0,83
10	79,63	79,869	0,984410	0,78

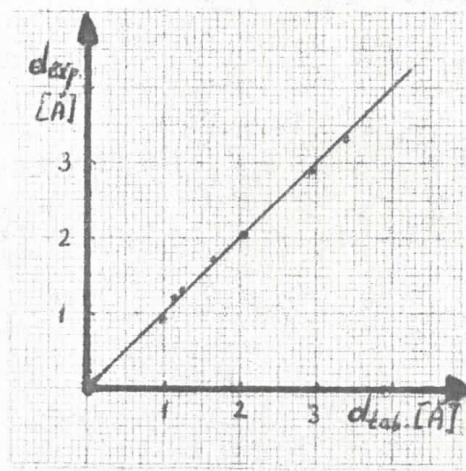


$d_{\text{exp.}}$	$d_{\text{obs.}}$	Odstup. %.
3,12	3,12	0
1,91	1,91	0
1,63	1,63	0
1,24	1,24	0
1,11	1,10	+1
1,04	1,04	0
0,91	0,91	0
0,86	0,85	+1
0,83	0,82	+1
0,78		

Debye-Scherer-ogram Cinobarita (HgS)



Cinobarit

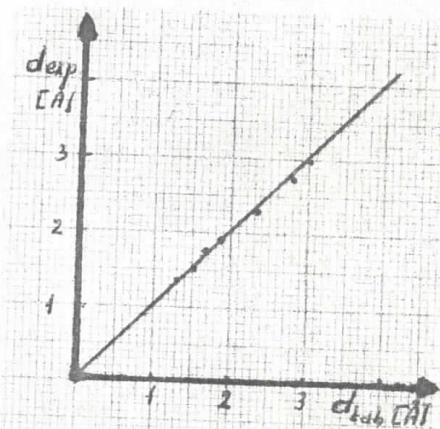


$$K = 0,9995557$$

R.L.	X_i [mm]	$\Theta = K \cdot X$	$\sin \Theta$	d [\AA]
1	13,26	13,254	0,22937	3,36
2	15,36	15,353	0,26488	2,91
3	21,84	21,830	0,37201	2,07
4	25,84	25,828	0,43586	1,77
5	35,76	35,744	0,58439	1,32
6	39,66	39,642	0,63823	1,21
7	51,66	51,637	0,78434	0,98
8	68,46	68,429	0,93016	0,83
9	69,86	69,828	0,93885	0,82
10	76,74	76,705	0,97334	0,79

$d_{\text{exp.}}$	$d_{\text{tabl.}}$	$\text{Ost} \frac{\text{p}}{\text{o}}$
3,36	3,38	- 2
2,91	2,93	- 2
2,07	2,07	0
1,77	1,76	+ 1
1,32	1,31	+ 1
1,21	1,19	+ 2
0,98	0,99	- 1
0,83		
0,82		
0,79		

Debye-Schererogram Kovelita (d_{us})



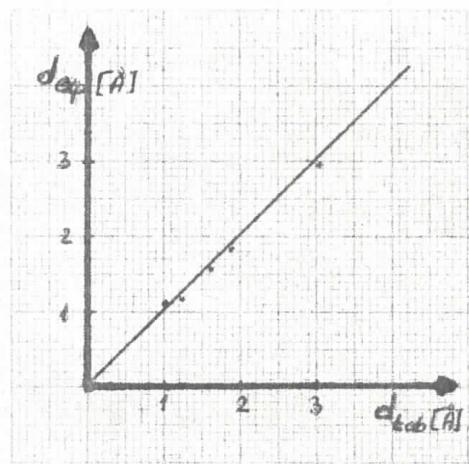
Hovelit

$$K = 1,0016694$$

R.hk	λ_i [nm]	$\Theta = K\lambda$	$\sin \Theta$	d [\AA]
1	14,60	14,624	0,252481	3,05
2	16,08	16,106	0,277429	2,78
3	19,52	19,552	0,334672	2,30
4	23,88	23,919	0,405458	1,90
5	26,26	26,303	0,443118	1,74
6	29,54	29,589	0,493779	1,56
7	33,40	33,455	0,551293	1,40

$d_{\text{exp.}}$	$d_{\text{theor.}}$	Odstup $\delta \cdot \%$
3,05	3,05	0
2,78	2,81	-3
2,30	2,32	-2
1,90	1,90	0
1,74	1,73	+1
1,56	1,56	0
1,40	1,39	+1

Debye-Schererogramm halkopirita (CuFeS_2)



halkopirit

$$K = 1,0033444$$

R.i	$\lambda_i [\text{mm}]$	$\Theta = K \lambda_i$	$\sin \Theta$	$d [\text{\AA}]$
1	14,94	14,989	0,25865	2,98
2	24,36	24,441	0,413763	1,86
3	28,74	28,836	0,482306	1,60
4	38,80	38,929	0,628367	1,23
5	43,72	43,866	0,692977	1,11
6	48,16	48,321	0,746883	1,03
7	57,76	57,953	0,847615	0,91
8	64,46	64,675	0,90380	0,85
9	69,16	69,391	0,936006	0,82
10	80,34	80,608	0,986597	0,78

$d_{\text{exp.}}$	$d_{\text{tabl.}}$	Odst. %
2,98	3,03	-5
1,86	1,86	0
1,60	1,59	+1
1,23	1,21	+2
1,11	1,08	+3
1,03		
0,91		
0,85		
0,82		
0,78		

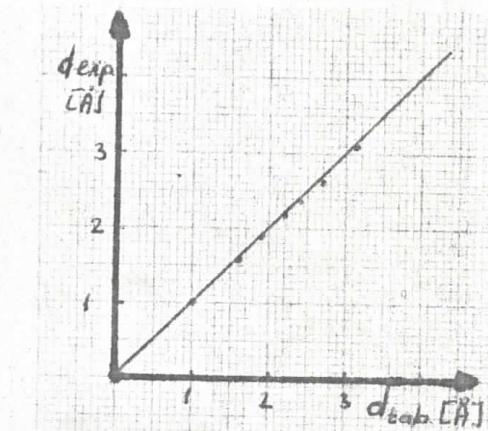
Debye-Schererogrammpirita (FeS_2)



Pirit

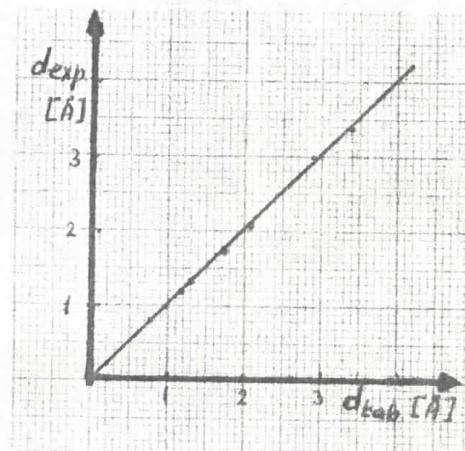
$K = 1,001123$

R _k	$X_i [\text{mm}]$	Θ_{KX}	$\sin \Theta$	$d [\text{\AA}]$
1	14,35	14,366	0,248114	3,11
2	16,73	16,748	0,288173	2,68
3	18,75	18,770	0,321784	2,40
4	20,45	20,472	0,349762	2,20
5	23,95	23,976	0,406364	1,90
6	28,39	28,416	0,475870	1,62
7	47,95	48,003	0,743184	1,04
8	53,85	53,909	0,808092	0,95
9	69,25	69,327	0,935611	0,82
10	72,31	72,390	0,353140	0,81



$d_{\text{exp.}}$	$d_{\text{tabl.}}$	Ost. %
3,11	3,12	-1
2,68	2,70	-2
2,40	2,42	-2
2,20	2,21	-1
1,90	1,91	-1
1,62	1,63	-1
1,04	1,041	-0,1
0,95		
0,82		
0,81		

Debye-Schererogram galenita (PbS)



Galenit

$$K = 1,010101$$

R.h.	λ_i [nm]	$\Theta = K \cdot X$	$\sin \Theta$	d [\AA]
1	12,98	13,11	0,22682	3,40
2	14,84	14,99	0,25865	2,98
3	21,42	21,64	0,368773	2,09
4	25,38	25,64	0,43271	1,78
5	35,16	35,52	0,58098	1,33
6	39,12	39,52	0,63634	1,21
7	50,88	51,39	0,78141	0,99
8	67,30	67,98	0,92705	0,83
9	75,70	76,46	0,97220	0,79

d_{exp}	$d_{\text{zahl.}}$	$O_{\text{dst.}}$ [%]
3,40	3,43	-3
2,98	2,97	+1
2,09	2,10	-1
1,78	1,79	-1
1,33	1,33	0
1,21	1,21	0
0,99	0,99	0
0,83	0,83	0
0,79		

I-4. DISKUSIJE EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Pregledom eksperimentalnih rezultata (koji su tabellarno dati na prethodnim stranicama) može se ustanoviti da su ispitivani minerali uglavnom čisti (bes primesa). Ipak, na filmovima (Deby - Scherer-ogramima) nekih uzoraka (halkopirita, cinobarita) nadjene su linije koje ne pripadaju dotičnom mineralu. Nameće se zaključak da one potiču od primesa. Koje su to primese i koliko je njihovokvantitativno (procentualno) učešće u uzorku su pitanja u koje se nismo upuštali u okviru ovog rada. Možemo utvrditi izvanredno slaganje eksperimentalnih rezultata sa tabličnim vrednostima.



II G L A V A

ODREDJIVANJE GUSTINE KRISTALA

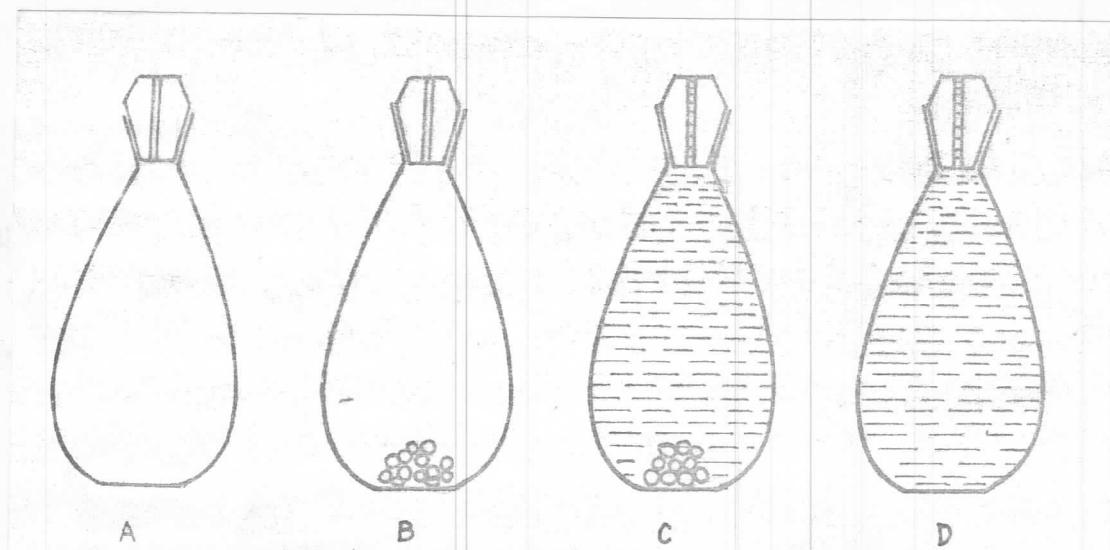
Gustina kristala se definiše kao masa jedinice zapremine:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ g/cm}^3$$

gde je ρ - gustina, m - masa, a V zapremina.

Odredjivanje gustine se svodi na odredjivanje mase i zapremine uzorka, na osnovu čega se može izračunati gustina pomoću gore navedene formule. Odredjivanje gustine se može svesti i na odredjivanje gustine tečnosti koja je identična sa gustinom kristala. Postoji nekoliko metoda za odredjivanje gustine kristala i one se podešavaju i odabiraju prema veličini uzorka čija se gustina određuje.

Gustina uzoraka, čije su dimenzije reda milimetra, najlakše se može odrediti PIKNOMETRISKOM METODOM. Ova metoda je u radu i korišćena pa ćemo je nešto detaljnije opisati. Da bi se mogla odrediti gustina potrebno je izvršiti četiri merenja:



sl. II-1.

- A - masa praznog piknometra
- B - masa piknometra sa kristalnim uzorkom u njemu
- C - masa piknometra sa kristalnim uzorkom i tečnošću gustine
- D - masa piknometra napunjenoj tečnošću bez kristalnog uzorka

Masa uzorka je odredjena sa B - A, a zapremina sa:

$$V = \frac{(D - A) - (C - B)}{\rho_0}$$

Redosled operacija je najbolje izvoditi onako, kako je to dato na slici II-1.. Merenje mase kristalnog uzorka se ne preporučuje van piknometra, jer u tom slučaju nemožemo biti sigurni da su sva zrnca uzorka ubačena u piknometar, pogotovu ako su ona manja. Izmedju stanja C i D potrebno je piknometar ispraviti. Za određivanje gustine kristalnih uzoraka postoje i druge metode, mi ćemo ih samo nabrojati pošto ih u radu nismo koristili.

- metoda hidrostatičkih terazija
- metoda lebdenja (metoda izospecifičnih tečnosti) itd.
Možemo reći da se sa krupnijim uzorcima, koji imaju lepo formirani habitus, dobijaju bolji rezultati nego sa manjim lomljenim uzorcima.

Pregled eksperimentalnih rezultata:

R.br.	Naziv Kristala	$\rho_{\text{exp.}} [\text{g/cm}^3]$	$\rho_{\text{tabele}} [\text{g/cm}^3]$
1	Pirit (FeS_2)	4,724	4,80
2	Halkopirit (CuFeS_2)	4,48	4,3
3	Sfalerit (ZnS)	4,014	4,083
4	Cinobarit (HgS)	7,439	7,65
5	Galenit (PbS)	7,351	7,58
6	Kovelit (CuS)	4,602	4,671

Tabela II-1.

Iz priložene tabele se može videti da je gustina ispitivanih uzoraka - sulfida relativno velika, skoro kod svih je $\rho > 4,5 \text{ g/cm}^3$, tako da se u radu nije mogla koristiti metoda lebdenja. Gustina uzoraka je merena piknometriskom metodom. Poredjenjem dobijenih rezultata sa tabličnim vrednostima može se ustanoviti vrlo dobro slaganje. Nešto veće odstupanje od tablične vrednosti ustanovljeno je samo kod halkopirita (CuFeS_2) i to 4,18%. Ovo se objašnjava time što su u halkopiritu vrlo često prisutne primeće i to: Ag, Au, Se, Tl, In. Ove primeće povećavaju gustinu halkopiritu, pa smo zahvaljujući tome dobili nešto veću vrednost gustine od tablične vrednosti. Potrebno je na kraju napomenuti da gustina u mnogome zavisi od nalazišta minerala, jer se po pravilu u mineralima sa različitim nalazišta nalaze različite primeće. Pošto se retko sreće potpuno čist uzorak, to je potrebno izraziti izvesnu sumnju u absolutnu tačnost tabličnih vrednosti.

II-2. ODREĐIVANJE TVRDOĆE KRISTALA

Pod pojmom tvrdoće podrazumevamo stepen otpora materijala spoljašnjem mehaničkom dejstvu. Prema tipu mehaničkog dejstva metode za određivanje tvrdoće možemo podeliti u tri grupe:

1. Metode kod kojih se tvrdoća određuje utiskivanjem kuglice ili piramide od dijamanta ili specijalnog čelika u materijal koji se ispituje. To su metode po Brinell-u i Rockwell-u. Ovakve metode se najčešće koriste za određivanje tvrdoće metala i u njihovoj osnovi leži osobina plastičnosti kristala.
2. Metoda brušenja (po Rosivalu) spada u metode određivanja tvrdoće krtim kidanjem. Ova metoda se zasniva na brušenju kristala određenom količinom abrazivnog sredstva (to je najčešće prah karborunduma), do njegove potpune istrošenoštiti. Tvrdoća kristala se određuje prema gubitku mase koje je ovakvo brušenje izazvalo na kristalu.
3. Metoda paranjem je jedna od najstarijih i najjednostavnijih metoda. Zasniva se na pojavi da tvrdji kristal para meksi, a da meksi kristal ne može parati tvrdji. Skalu za određivanje tvrdoće ovakvom metodom je uveo Mohs, koja po njemu i nosi ime. On je odredio skalu od 10 prirodnih minerala čije tvrdoće na paranje čine stepene Mosove skale. Stepeni Mosove skale nisu ravnomerno rasporedjeni po absolutnim iznosima. To se može videti ako uporedimo rezultate dobijene Mosovom metodom i metodom brušenja (po Rosivalu), koja je proporcionalnija absolutnim iznosima, tj. energiji koja je potrebna da se odredjena količina kristala otkine. Još jedan nedostatak Mosove skale je u tome što kristali kao anizotropna tela nemaju istu tvrdoću po svim pljosnima i pravcima. Anizotropija tvrdoće može znatno varirati merena čak i po tako gruboj skali kao što je Mosova. Bez obzira na ove nedostatke, Mosova skala i metod određivanja tvrdoće se najčešće primenjuje i najrašireniji je kao pojam o veličini tvrdoće kristala. Zbog toga je ova metoda u radu i korišćena.

Postupak pri merenju

Za određivanje tvrdoće kristala po Mosu izradjuje se kolekcija pisaljki, i to najčešće u obliku olovke na čijem

vrhu se nalazi odgovarajući kristal izbrušen i orjentisan tako da para onim pravcem koji ima najveću tvrdoću. Postupak se sprovodi tako što se kristal para prvo olovkom čija je tvrdoća u sredini sklae (apatit ili ortoplas). Ako olovka ne zapara kristal prelazi se na veću tvrdoću, a ako para ide se ka mekšim olovkama. Na taj način se štede olovke sa najmekšim kristalima od oštećenja. U praksi se ovaj postupak najčešće započinje sa kvarcom, jer se on nalazi na granici relativno mekih i vrlo tvrdih kristala. Ako jedan kristal u Mosovoj skali ne para, a sledeći tvrdji para ispitivani mineral, onda se njegova tvrdoća određuje kao sredina izmedju ove dve. Na primer ako kvarc ne para, a topaz para, tvrdoća ispitivanog minerala je 7,5. Može se sprovesti i obrnuti postupak tj. mogu se mineralom čija se tvrdoća određuje parati drugi minerali čija je tvrdoća poznata, pa se vrednost utvrdjuje na isti način kao i u prethodnom postupku.

Pregled eksperimentalnih rezultata

Rbr.	Naziv Kristala	Tvrdoća
1	Pirit (FeS_2)	6,5
2	Halkopirit ($CuFeS_2$)	3,5-4
3	Sfalerit (ZnS)	3,5-4
4	Cinobarit (HgS)	3
5	Galenit (PbS)	2,5
6	Kovelit (CuS)	1,5-2

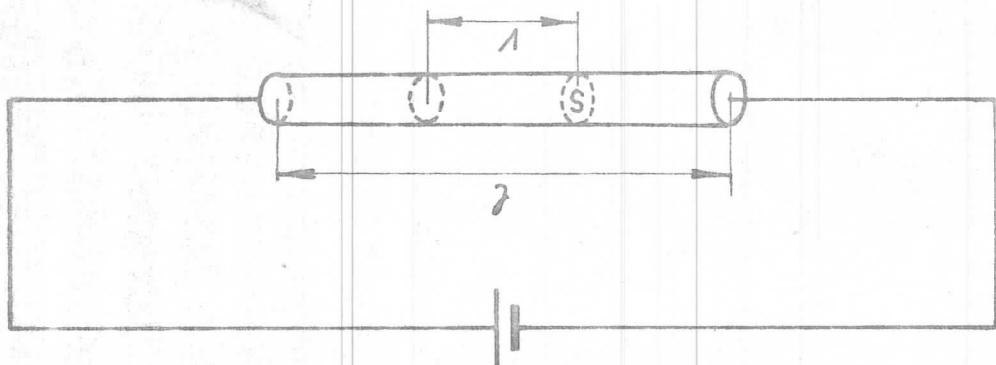
tabela II-2.

Iz priložene tabele se može videti da je tvrdoća ispitivanih uzoraka - sulfida veoma mala. Dakle, možemo ih svrstati u meke kristale, izuzimajući pirit (FeS_2), koji ima tvrdoću 6,5, a to je gornja polovina Mosove skale. Isto tako, može se ustanoviti veoma dobro slaganje izmedju eksperimentalnih rezultata i tabličnih vrednosti.

III G L A V A

ELEKTRIČNA PROVODNOST SULFIDA

Istraživanju električne provodnosti čvrstih materijala, rastvora ili razredjenih gasova posvećivala se u fizici uvek značajna pažnja. S jedne strane, saznavale su se tako osnovne električne konstante raznih materijala, a z druge strane skupljali su se podaci koji su pomogli shvaćanju opštih fizičkih zakona strukture materije iz samog mehanizama električne provodnosti. Električna provodnost se i danas intenzivno istražuje. Objekt modernih eksperimenata pretežno je čvrsto stanje materije, dakle kristali. Zato ćemo u daljem tekstu govoriti isključivo o električnoj provodnosti kristala. Pod pojmom električne provodnosti smatramo transport naelektrisanja pod uticajem električnog polja. Kod toga količinu naelektrisanja prenesenu u jedinici vremena nazivamo električnom strujom. Izvedimo matematičke izraze za te veličine.



sl. III-1.

Ako na neki provodnik preseka S i dužine l priključimo izvor struje napona V , kroz njega će teći struja I . U jedinici zapremeine tog provodnika nalazi se N čestica koje prenose naelektrisanje. To mogu biti elektroni, joni ili druge čestice pa ih za sada nazivamo opštim imenom nosioci naelektrisanja. Veličina N naziva se još i koncentracija nosilaca naelektrisanja u jedinici zapremeine. Tokom prolaska kroz provodnik nosioci prelaze u jedinici vremena put upravo jednak brzini v njihovog kretanja. Zapremina tog dela provodnika jednaka je proizvodu Sv i u njoj se nalazi NSv nosilaca naelektrisanja. Ako svaki nosilac ima naelektrisanje e ukupno naelektrisanje u toj zapremini iznosi

NSve. To nanelektrisanje prolazi kroz presek uzorka u jedinici vremena, pa je po definiciji električna struja:

$$I = NSve \dots \text{č} \dots \dots \quad (1)$$

Da bi došli do izraza za specifičnu provodnost moramo se poslužiti Omovim zakonom $I = V/R$, gde je R električni otpor provodnika.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Ako su poznate dimenzije i otpor provodnika, specifična provodnost možemo izračunati po sledećoj formuli:

$$\sigma = \frac{1}{R \cdot S}$$

Isto tako se napon na provodniku može izraziti pomoću dužine l i električnog polja E, tj. $V = E \cdot l$. Ove dve poslednje formule nam omogućuju da Omov zakon izrazimo formulom $I = \sigma E \cdot S$. Ako se sada ovako izražena struja izjednači sa onom iz formule (1), za specifičnu provodnost dobijamo:

$$\sigma = N_e \frac{V}{E} \dots \dots \dots \dots \quad (2)$$

Ovde odnos brzine i električnog polja nazivamo pokretnost nosilaca nanelektrisanja i označavamo je sa ; dakle:

$$\sigma = N_e \mu \dots \dots \dots \dots \quad (3)$$

To je izraz za specifičnu električnu provodnost bilo kojeg provodnika. Međutim, kod izvodjenja ove jednačine pretpostavljenje je da u provodniku postoji samo jedna vrsta nosilaca nanelektrisanja, na primer elektroni. To nije uvek tako. Naime, svu raznolikost i zanimljivost mehanizma električne provodnosti u kristalima daje upravo činjenica, da u procesu provodnosti može učestvovati i više vrsta nosilaca nanelektrisanja. Ti nosioci mogu imati različite koncentracije, nanelektrisanje i pokretnost, ali uvek važi zakon da je ukupna električna provodnost kristala jednaka sumi provodnosti, koje dolaze od svake pojedine vrste nosilaca. Možemo to izraziti:

$$\sigma = N_1 e_1 + N_2 e_2 + N_3 e_3 + \dots$$

Posle ovog uvida predjemo na razmatranje procesa provodnosti u čvrstom telu. Ono se javlja u velikom mnoštvu raznih struktura, oblika i svojstava i nužno je zbog toga izvršiti neku sistemati-

zaciju kristala. Najpre ćemo razmotriti mehanizam provodnosti kod velike grupe kristala nazvane zajedničkim imenom metali i legure.

Nosioci naelektrisanja u metalima su elektroni. Oni se u kristalnoj rešetci metala kreću gotovo slobodno i dok nema priključenog električnog polja, to kretanje je potpuno haotično. Spoljašnje polje usmerava kretanje elektrona u jednom pravcu i tako nastaje tok elektrona ili električna struja. Električna provodnost metala može se izraziti pomoću relacije (4). Ona se obično redukuje na jedan član:

$$G = N_e e \mu_e$$

Sve veličine u toj relaciji odnose se na elektrone. Za primer uzmim jednovalentne metale prve grupe periodnog sistema elemenata. To su natrijum, kalijum, bakar, srebro itd.. U jednom molu metala nalazi se broj atoma jednak Avogadrovom broju tj. $6,02 \cdot 10^{23}$. To znači da u jednom kubnom centimetru metala ima zavisno od njegove gustine oko 10^{22} atoma. Kako zbog jednovalentnosti svaki atom daje jedan elektron, u toj zapremini nalazi se i isti broj elektrona. Prema tome je elektronska koncentracija N_e u metalima reda veličine 10^{22} cm^{-3} . Važno je napomenuti da ona ne zavisi od temperature. Kako pokretnost elektrona u metalima iznosi oko $100 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ sec}^{-1}$, a naelektrisanje elektrona $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kulona to provodnost metala poprima red veličine $10^5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Merene vrednosti daju: srebro $6,2 \cdot 10^5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, bakar $5,8 \cdot 10^5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, za natrijum $2,1 \cdot 10^5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Vidi se izvanredno slaganje.

Razmatranje električne provodnosti poluprovodnika nije tako jednostavno kao kod metala. Uzrok tome je neobično raznolika zavisnost koncentracije nosilaca naelektrisanja u raznim uslovima. Ona zavisi od temperature, količine i vrste hemiskih primesa u poluprovodniku, od savršenosti njegove kristalne rešetke itd. Drugim rečima, koncentracija naelektrisanja može se namerno povolji menjati, što se kod metala nije moglo. Ograničimo se za sada na tzv. sopstveni tim poluprovodnika. To je poluprovodnik savršene kristalne strukture, bez ikakvih hemiskih primesa, koje bi uticale na osnovnu koncentraciju nosilaca naelektrisanja. Za primer se može uzeti monokristal potpuno čistog germanijuma. Atomi tog elementa vezani su u kristal posebnom vrstom veze, koju nazivamo kovalentna hemiska veza. Ona se ostvaruje medju

delovanjem valentnih elektrona pojedinih atoma. Zahvaljujući takvom načinu vezivanja u potpuno savršenom kristalu ne bi uopšte bilo slobodnih nosilaca naelektrisanja jer su svi valentni elektroni zauzeti izgradnjom hemiske veze. Takav kristal bi morao biti izolator. Međutim termičko oscilovanje kristalne rešetke narušava tu savršenost. Pojedine veze između atoma se kidaaju. Tim procesom oslobođaju se elektroni i bivaju sposobni za vodjenje struje. Što je viša temperatura veći je i broj prekida veze, tj. veći je broj slobodnih elektrona. Fizika poluprovodnika nam kazuje da koncentracija elektrona raste sa temperaturom po eksponencijalnom zakonu. Na mestu prekinute veze ostao je manjak jednog elektrona ili takozvana šupljina. U nju može uskočiti elektron iz susedne hemiske veze, ostavljajući iza sebe ponovo jednu šupljinu. Ovo se može kontinuirano ponavljati, pa izgleda kao da šupljina putuje kroz kristal. Fizika poluprovodnika smatra šupljine pravim nosiocima naelektrisanja. Njima se pride luje pozitivno naelektrisanje i masa ekvivalentna elektronskoj masi. Iz svega ovoga proizilazi da u poluprovodnicima postoji dve vrste nosilaca naelektrisanja, elektroni i šupljine. Koncentracija elektrona u sopstvenom tipu poluprovodnika jednak je koncentraciji šupljina, jer je svaki slobodni elektron ostavio u hemiskoj vezi po jednu šupljinu. Električna provodnost čistog germanijuma $\sigma = 2 \cdot 10^{-2} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Kao što se vidi to je za nekoliko redova veličine manja specifična provodnost od metala. Električna provodnost poluprovodnika raste sa temperaturom. Na apsolutnoj nuli, koncentracija nosilaca naelektrisanja bi potpuno isčezla provodnost bi bila jednak 0 i poluprovodnik bi postao savršen izolator.

Važno je spomenuti električnu provodnost jonskih kristala. Razlika u mehanizmu električne provodnosti jonskih kristala i metala odnosno poluprovodnika je u prvom redu u prirodi nosilaca naelektrisanja. Naelektrisanje ne prenose više elektroni ili šupljine već joni, tj. sastavni delovi jonske kristalne rešetke. Tako se kod najpoznatijeg jonskog kristala kuhinjske soli NaCl, transport naelektrisanja vrši pozitivnim jonima natrijuma i negativnim jonima (Cl^-) hlorata. Ono što treba naročito napomenuti je činjenica da se u jonskim kristalima osim transporta naelektrisanja opaža i istovremeni transport mase. Kod metala je za svaki elektron koji je kod vodjenja struje ušao u kristal postojao i jedan elektron koji je iz njega izašao i nikakva promena

u rasporedu mase kristala nije uočeno. U jonskim kristalima putuju joni. Oni se na kontaktima neutrališu i bivaju izlučeni iz kristala. Kod vodjenja struje u jonskom kristalu zbiva se dakle elektroliza. Očito će neki zakoni elektrolize rastvora, koji su nam poznati važiti približno i za elektrolizu jonskih kristala. Razlike ipak postoje. U rastvorima se kod vodjenja struje pokreću uvek pozitivni i negativni joni. Takvu provodnost nazivamo Hipolarnom. Kristali, nasuprot tome, mogu biti i unipolarni jonski provodnici tj. nanelektrisanje se može prenositi samo jednom vrstom jona. Tako na primer u kristalu srebro - hlorida postoji u temperaturnom intervalu izmedju 20° C i 350° C samo katjonska električna provodnost. Nosioci nanelektrisanja su pozitivni joni srebra. Ipak, većina jonskih kristala pokazuje bipolarnu električnu provodnost. Slično kao i poluprovodnici, jonski kristali na vrlo niskim temperaturama postaju izolatori. Opisali smo ukratko tri glavna mehanizam električne provodnosti u kristalima. Treba još napomenuti da se u realnim kristalima nikad ne javlja pojedini mehanizam u savršeno čistom obliku. Redovno susrećemo mešanu jonsko - elektroonsku ili jonsko - šupljinsku provodnost.

III-1. Obrada i pripremanje uzorka

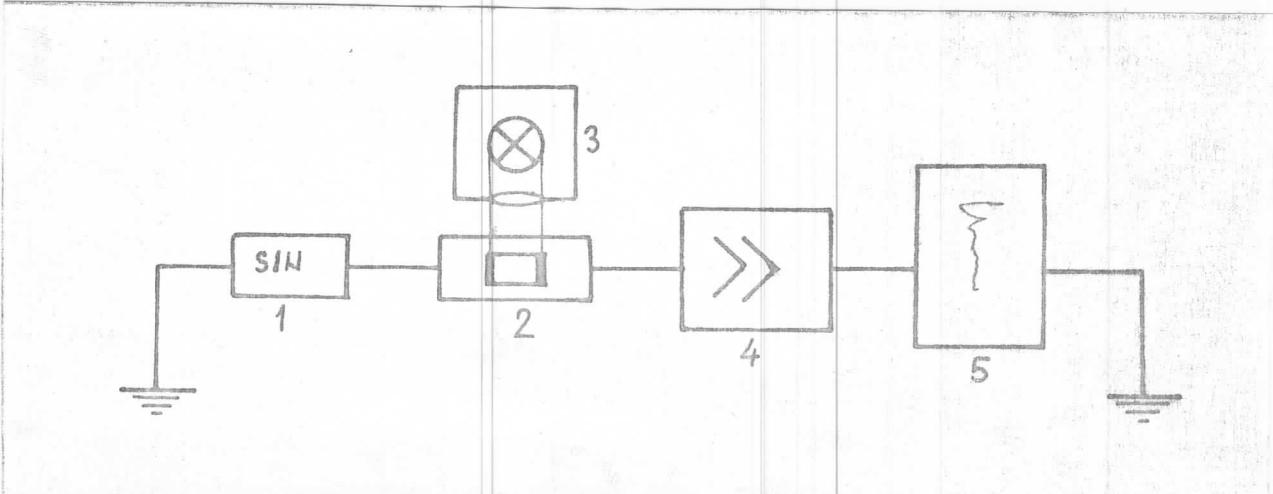
Da bi smo mogli meriti električnu provodnost, kristal je potrebno iseći u tanke pločice i obraditi. Dimenziije pločica su bile uslovljene razmakom izmedju elektroda koji iznosi 8,2 mm. Dakle dužina je morala biti veća od 8,2 mm, dok za širinu nije postojao neki oštreni uslov. Mi smo pravili pločice sledećih (približnih) dimenzija: 10•10•2 mm. Pošto su sulfidi uglavnom krti, nije ih bilo lako obradjavati. Postupak obrade je sledeći: finim dletom se otcepi parče kristala, vodeći računa pri tom da pljosan sa koje se uzima ploča bude lepo razvijena i po mogućству glatka. Isto tako se vodi računa o debeljini otkinutog parčeta. Zatim se uzorak seče, da bi mu dužina i širina bile u granicama gore navedenih dimenzija. Potom se pristupa glačanju pločica. Ovo se izvodi Šmirgl-papirom C-600, C-400 i filcom. Kada je pločica dovoljno izglačana, operemo je u alkoholu da bi se otstranile nečistoće i ona je spremna za merenje.

III-2. Aparatura za merenje elektroprovodnosti

Principijelna šema za merenje provodnosti daje jedno prosto kolo u koje su seriski vezani dobro stabilisan izvor napona, držač uzorka, sigurnosni otpornik i pojačalo sa mernim instrumentom. Daćemo na ovom mestu ukratko njihove karakteristike:

- Stabilisani izvor istosmernog napona firme Berton, tip BA 205 - 0₁ N sa finoćom regulacije 0,2 V i stabilnošću 0,1% pri maksimalnom opterećenju. Opseg instrumenta je od 0 do 2000 V i strujno opterećenje od 0 do 10 mA.
- Za registrovanje struje korišćen je univerzalni instrument firme "PHILIPS", a za foto struju pisač sa pojačalom tipa Zeiss G1B1. Strujna osetljivost pisača je od $0,2 \cdot 10^{-8}$ A - $0,1 \cdot 10^{-9}$ A po podeoku.
- Svi instrumenti su bili povezani zaštićenim kablovima zbog stabilizacije strujnog kola od eventualnog statickog elektriciteta.
- Za osvetljavanje uzorka korišćena je Leitz-ova sijalica sa vlaknom od volframa snage 30 W sa kućištem i matiranim sočivom koje daje difuzione i uniformno osvetljavanje svog uzorka.
- Prilikom merenja uzorak se nalazio u pleksiglasnom ležištu sa ugradjenim pozlaćenim elektrodama na koje je direktno nalegao uzorak.

Šema uredjaja za merenje električne provodnosti kao i foto provodnosti data je na slici III2-1.



sl. III2-1

1- stabilisan izvor visokog napona, 2- držač sa uzorkom, 3- sijalica, 4- amplifikator, 5- pisač.

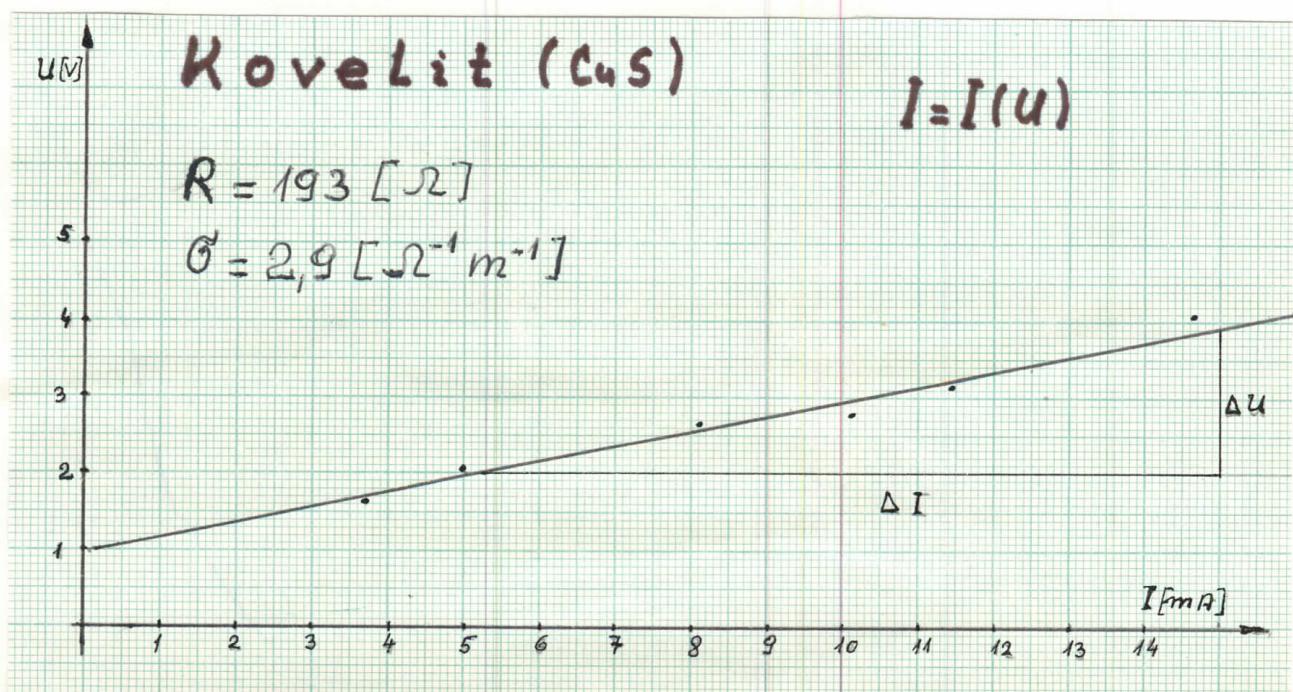
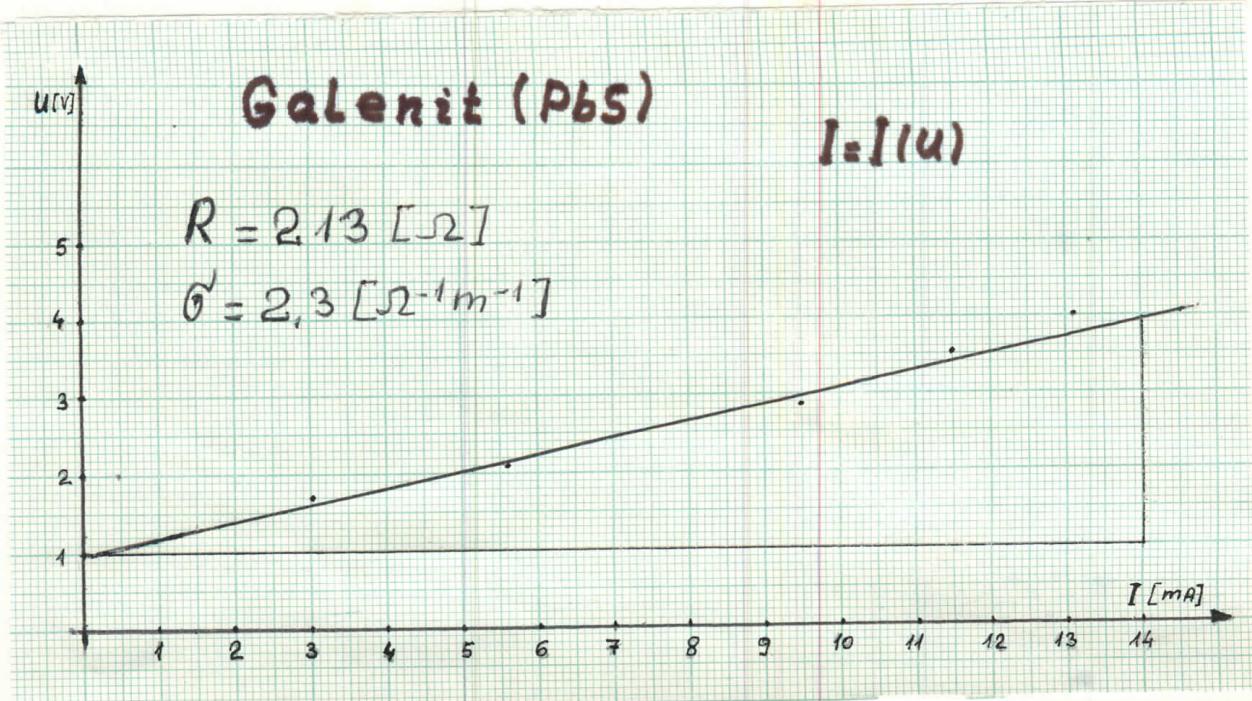
Prilikom merenja napon je menjan u intervalu od 0 - 220 V, korak 10 V. Pisač je radio brzinom 12 cm/min. U kolu je takođe postojao sigurnosni otpor od $1,03 \text{ M}\Omega$.

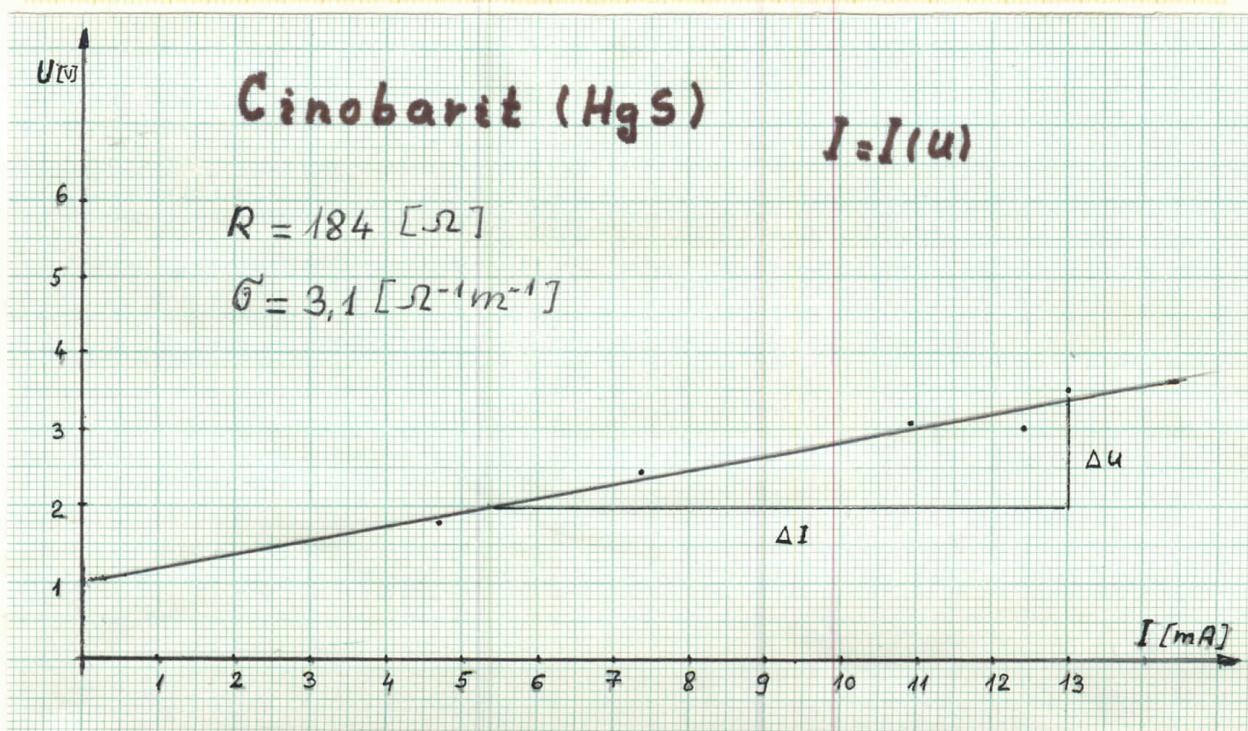
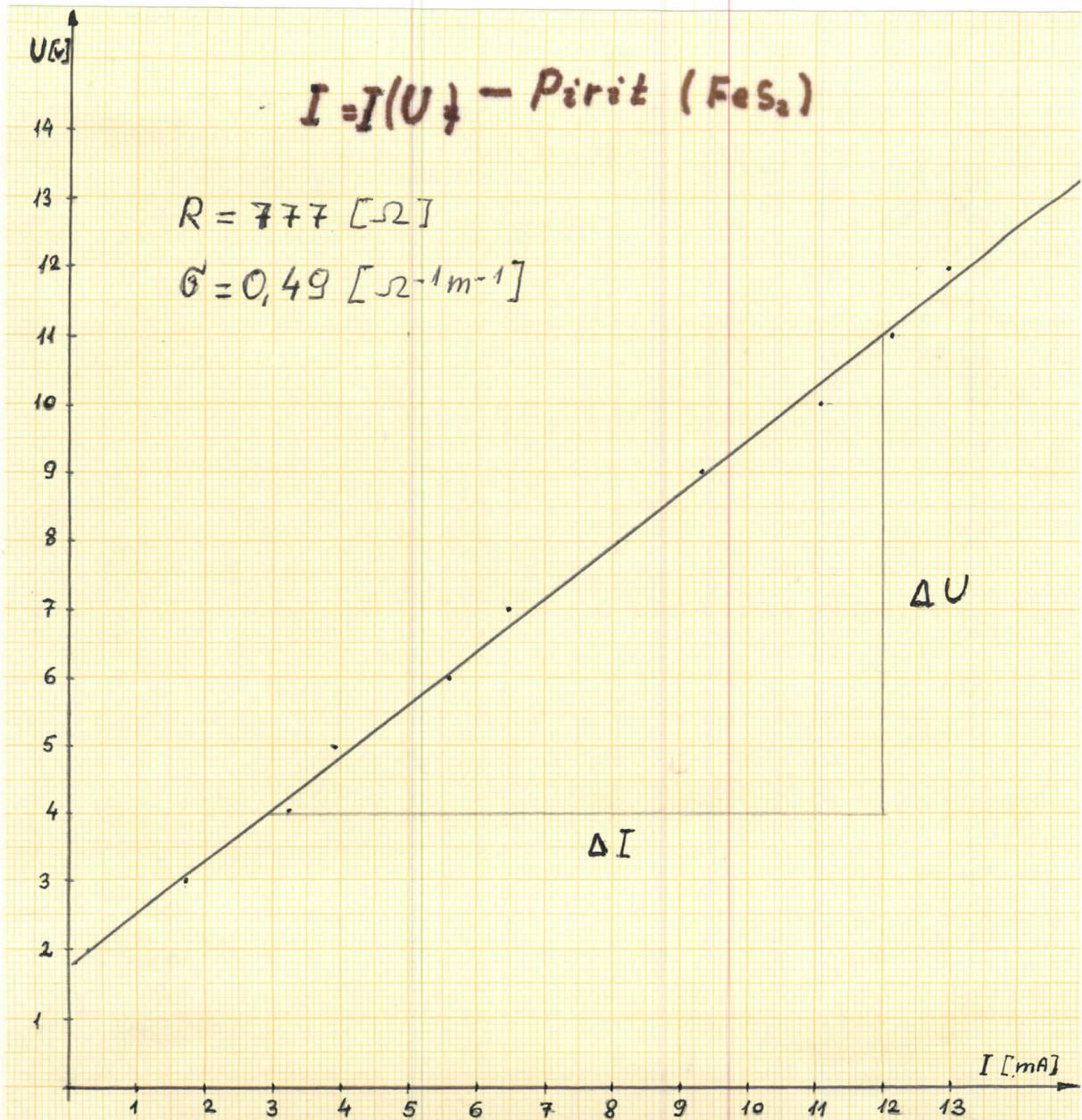
Jedan od uzoraka (CuFeS_2) je pokazao foto provodnost, pa bi bilo interesantno, pre nego što predjemo na iznošenje i diskusiju eksperimentalnih rezultata reći nešto o fenomenu foto provodnosti.

III-3 Foto provodnost

Foto provodnost pretstavlja povećanje električne provodnosti jednog izolatorskog kristala, prouzrokovano ozračavanjem kristala. Veći deo pionirskog rada u ovoj oblasti izvršili su Guden (Gudden), Pol (Pohl) i Rouz (Rose). Foto provodni efekt nalazi primenu kod televiziskih kamera, IC detektora, svetlomera i indirektno kod fotografskog procesa. Neposredna posledica osvetljavanja je povećanje broja pokretnih nosilaca nanelektrisanja u kristalu. Ako je energija upadnog fotona veća od energijskog procepa E_g , tada će svaki foton, apsorbovan u kristalu, proizvesti sloboden par elektron-šupljina. Foton se apsorbuje prelaženjem jednog elektrona iz valentne zone u provodnu zonu. I šupljina u valentnoj zoni i elektron u provodnoj zoni mogu doprineti provodjenju. Šupljina i elektron će se, eventualno, rekombinovati jedan sa drugim, ali oni mogu imati sasvim različite "istorije" pre rekombinovanja. Svaki od njih može provesti različito dugo vreme lokalno zahvaćen klopkom, na primer kod primesa i nesavršenosti u kristalu.

Koncepcija zahvatanja klopama je od centralne važnosti za razumevanje fotoprovodnog odziva kristala. Mehanizmi atomskih procesa, koji se javljaju kod klopki, nisu u svim slučajevima sasvim poznati; međutim, nemožemo razjasniti eksperimentalne činjenice kod fotoprovodnosti, a da se ne pozovemo na prisustvo klopke. Ako je energija upadnog fotona ispod praga za proizvodjenje parova šupljina i elektrona foton može biti u stanju da izazove ionizaciju donorskih i akceptorskih primesnih atoma i da na ovaj način proizvede pokretne elektrone ili šupljine - u saglasnosti sa prirodom primese.





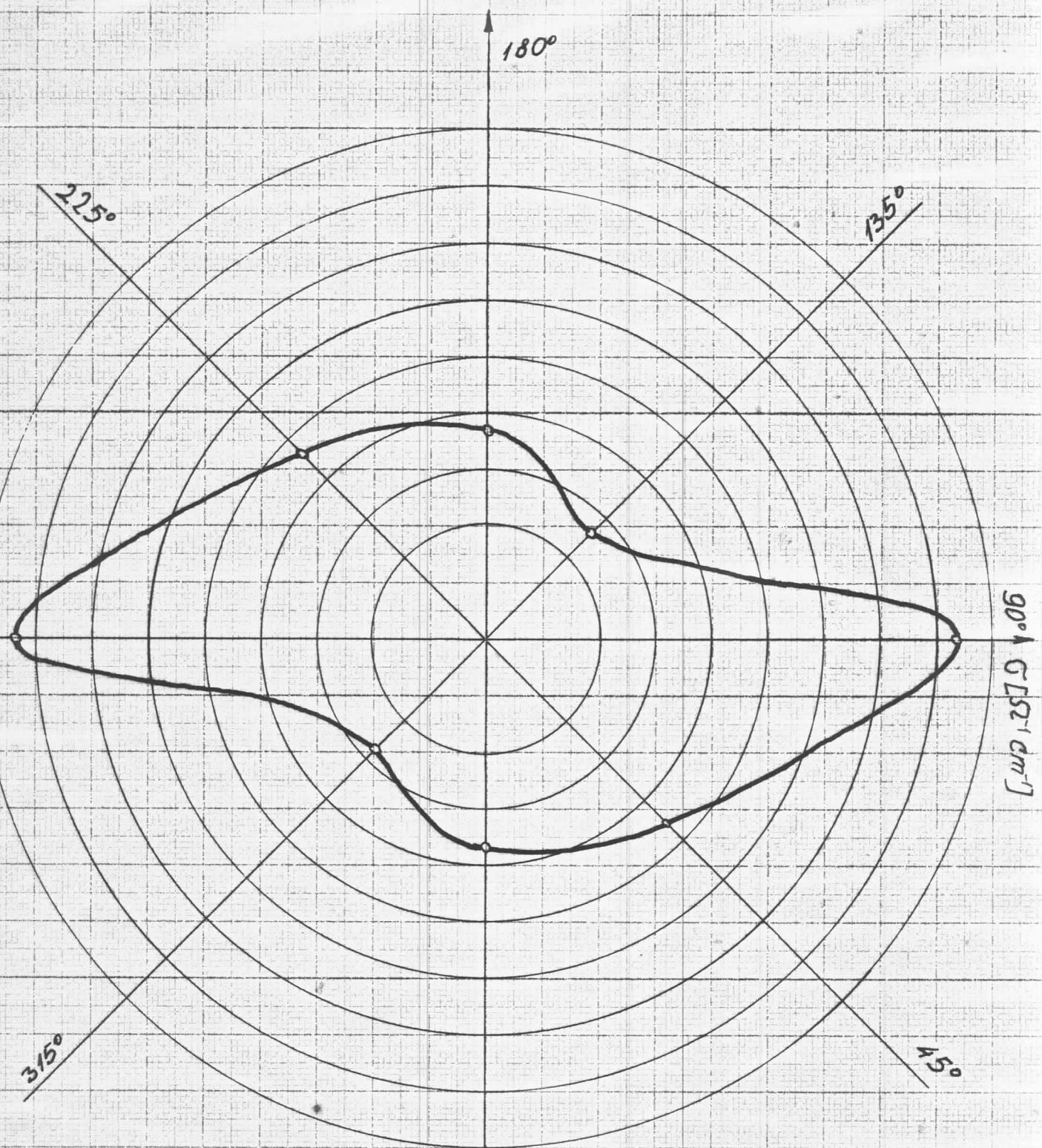
Sfalerit (ZnS)

$U[V]$	$I[\mu A]$ 0°	$I[\mu A]$ 45°	$I[\mu A]$ 90°	$I[\mu A]$ 135°	$I[\mu A]$ 180°	$I[\mu A]$ 225°	$I[\mu A]$ 270°	$I[\mu A]$ 315°
10	7	9	10	5	8	8,5	10	5,5
20	15,5	21	34	12	16	20,5	35	11
30	24,5	32	40	19	25	30,5	41,5	17,5
40	33	44	59	26	33,5	42,5	61	24
50	42	55,5	78	33	43	55	79	31,5
60	51,5	66	98	40	52	64,5	100,5	38
70	61	77,5	119	46,5	62	76,5	120,5	45
80	70	89	139,5	54	71	88	142	52
90	79	100	161	61	79,5	99	161,5	59,5
100	89	111	182	67,5	90,5	110,5	183	66
110	97,5	121	203,5	74,5	98	120	205	73,5
120	107	133	227	81,5	107	132,5	228,5	80
130	116	144	249	87,5	116,5	143	251	85
140	125	154,5	273	94,5	126,5	153,5	274,5	93
150	134,5	166	294,5	101,5	136	165	296	100
160	144	176,5	323	108	145	175	322	107
170	153	187	346	115,5	153,5	185,5	348	114
180	162	198	371,5	122	162,5	197	373,5	120,5
190	171	208,5	397,5	128	172	207	401	127
200	180	219	424	133,5	181,5	217,5	426,5	132,5
210	189,5	229	448	139,5	190,5	227,5	450	138
220	198	240	473	145,5	200,5	238	475,5	144

eLektroanizotropan

Sfalerit (ZnS)

$$\sigma = \sigma(\varphi)$$



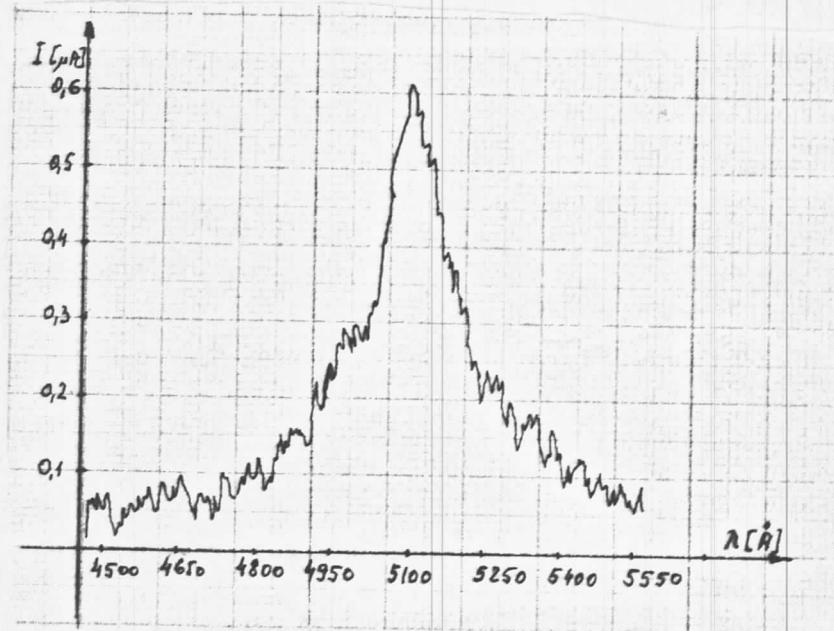
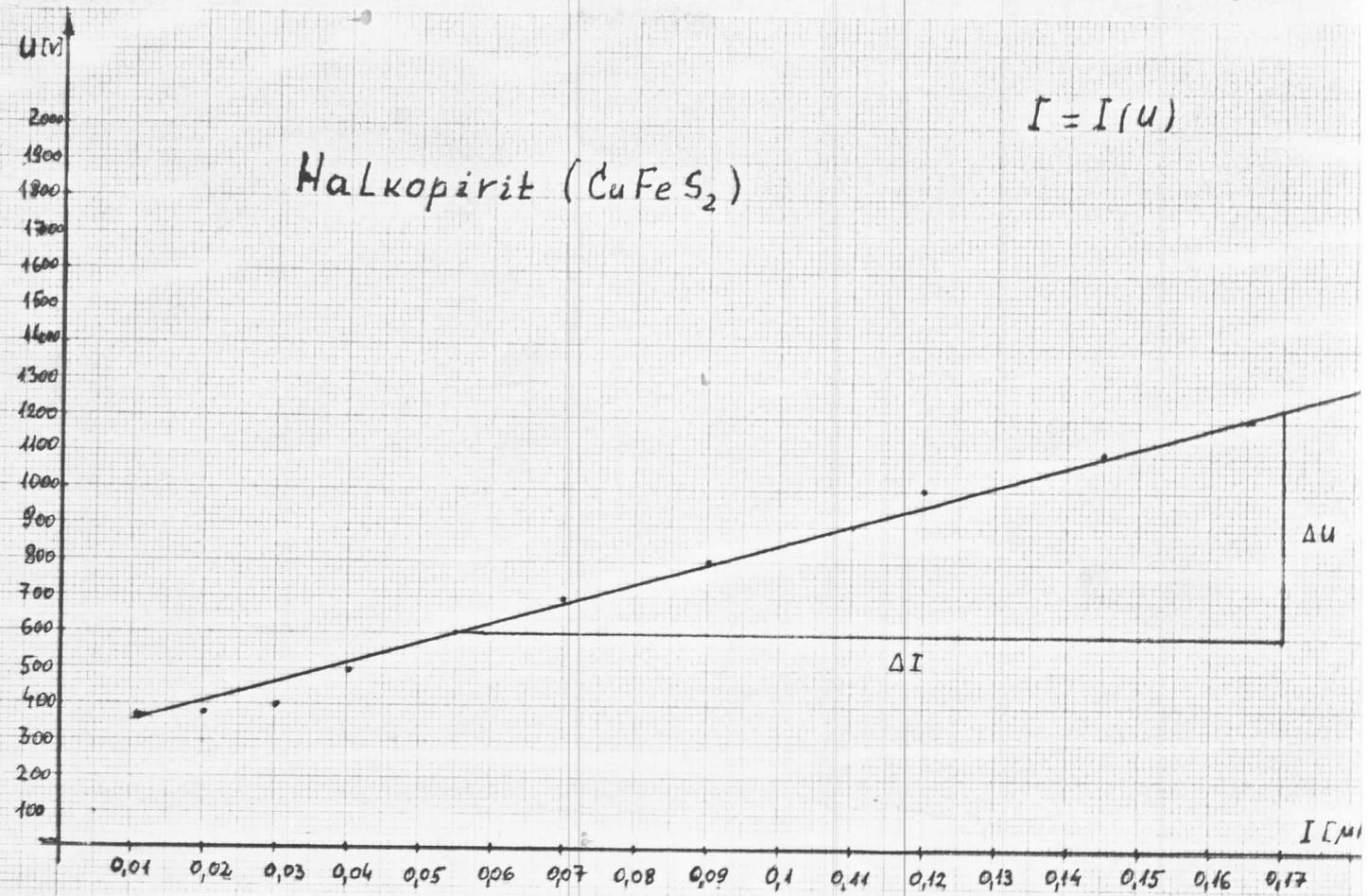
$$0^\circ R = 1,0956 \text{ [MΩ]} \\ \sigma = 3,742 \cdot 10^{-4} \text{ [s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{]}$$

$$45^\circ R = 0,8976 \text{ [MΩ]} \\ \sigma = 4,57 \cdot 10^{-4} \text{ [s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{]}$$

$$90^\circ R = 0,491 \text{ [MΩ]} \\ \sigma = 8,35 \cdot 10^{-4} \text{ [s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{]}$$

$$135^\circ R = 1,486 \text{ [MΩ]} \\ \sigma = 2,759 \text{ [s}^{-1}\text{m}^{-1}\text{]}$$

$$\sigma [S^2 \text{cm}^{-1}]$$



fotopik - $\lambda_m = 5100 \text{ \AA}$

$$R = 5517 \text{ [M\Omega]}$$

$$\sigma = 0,209 \cdot 10^{-6} \text{ [}\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}\text{]}$$

Z A K L J U Č A K

Iz eksperimentalnih podataka, možemo o električnoj provodnosti sulfida izvući sledeći zaključak:

1. Pirit (FeS_2), kovelit (CuS), cinobarit (HgS) i galenit (PbS) pokazuju relativno dobre provodne osobine i izotropni su.
2. Sfalerit (ZnS) se ponaša kao poluprovodnik i pokazuje anizotropiju u provodjenju struje.
3. Halkopirit (CuFeS_2) je veoma loš provodnik električne struje (skoro izolator) ali pokazuje foto provodljivost. Osvetljanjan je kontinuiranim spektrom i osetljiv jena talasnu dužinu od 5100 Å.

Dakle sulfidi imaju veoma interesantne osobine u pogledu električne provodnosti, što ukazuje da mogu naći široku praktičnu primenu. Prema tome pažnja koja se poklanja izučavanju fizičkih osobina sulfida u fizici čvrstog stanja je opravdana i u tom pravcu treba i dalje raditi.

LITERATURA

1. INDEX TO THE X - RAY POWDER DATA FILE
PUBLISHED(BYT) BY THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING
MATERIALS 1916 RACE STREET, PHILADELPHIA 3, Pa.
 2. Dr. Slobodan Carić: "UVOD U FIZIKU ČVRSTOG STANJA I DEO"
Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad 1970.
 3. Dr. Slobodan Carić: "UPUTSTVO ZA VEŽBE IZ FIZIKE ČVRSTOG
STANJA" Univerzitet u Novom Sadu - Novi Sad 1971.
 4. Charles Kittel: "UVOD U FIZIKU ČVRSTOG STANJA"
Savremena administracija - Beograd 1970.
 5. Font - Altaba i A. Makri: "MINERALOGIJA"
Biblioteka atlasi znanja - "Vuk Karadžić" - Beograd.
 6. Dr. Ivan Janić: "EKSPERIMENTALNE VEŽBE IZ ATOMSKE FIZIKE"
Novi Sad 1971 - 1972 god.
 7. Kurtis L. Hemenway, Richard W. Henry, Martin Kaulton:
"FIZIČKA ELEKTRONIKA" "Gradjevinska knjiga"
Beograd 1974.
 8. THE SYSTEM OF MINERALOGY
of James Dwight Dana and Edvard Salisbury Dana
Yale univerzity 1837 - 1892 Volume I
 9. Л. И. МИРКИН . СПРАВОЧНИК ПО РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОМУ
АНАЛИЗУ ПОЛИКРИСТАЛОВ"
РОССИЙСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ФИЗИЧЕСКОЙ - МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ - МОСКВА 1961.
 10. Ф. ЛЕЙТВЕЙН, Ш. ЗОМНЕР - КУЛАЧЕВСКИ: „КРИСТАЛОГРАФИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВЫСШАЯ ШКОЛА“ - МОСКВА 1968
 11. П. С. КИРЕЕВ: „ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ“
ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВЫСШАЯ ШКОЛА“ - МОСКВА 1969.
-