

IZVJEŠTAJ O RADU
INSTITUTA ZA FIZIKU SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAGREB

1.I - 31.XII 1974.

S A D R Ž A J

	Strana
ORGANI UPRAVLJANJA	3
Zbor radnika	3
Radnički savjet	3
Vijeće pročelnika	3
IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA	5
ODJEL FIZIKE METALA I	5
Pregled istraživačkog rada	6
Popis radova	10
ODJEL FIZIKE METALA II	12
Pregled istraživačkog rada	13
Popis radova	23
ODJEL OPTIČKA SVOJSTVA KRISTALA	25
Pregled istraživačkog rada	25
ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLYNOVA	31
Pregled istraživačkog rada	31
Popis radova	34
ODJEL FIZIKE POLUVODIČA	37
Pregled istraživačkog rada	37
Popis radova	40
ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA	41
Pregled istraživačkog rada	42
Popis radova	43
ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU	45
Pregled istraživačkog rada	45
Popis radova	51
TAJNIŠTVO	54

II. ORGANI UPRAVLJANJA INSTITUTA

ZBOR RADNIKA

Predsjednik Zbora radnika

HACEK BRANKO, voditelj radionice Instituta

RADNIČKI SAVJET

Predsjednik Radničkog savjeta

Dr. KATARINA KRANJC, viši naučni suradnik u Odjelu fizike metala I

Članovi Radničkog savjeta:

1. Dr. EMIL BABIĆ, asistent u Odjelu fizike metala II
2. KOZINA LJUBICA, referent općih poslova u tajništvu
3. SERTIĆ MILAN, sam. tehnički suradnik u Odjelu fiz. metala II
4. STIPČIĆ STJEPAN, KV radnik u mehaničkoj radionici Instituta
5. Dr. ANTON TONEJC, asistent u Odjelu fizike metala I
6. Dr. VELJKO ZLATIĆ, asistent u Odjelu teorijske fizike

Zamjenici članova Radničkog savjeta:

1. SUBAŠIĆ DAMIR, magistar fizike, asistent u Odjelu optička svojstva kristala
2. KRSNIK RUDOLF, magistar fizike, asistent u Odjelu fiz. met. II

VIJEĆE PROČELNIKA

Članovi Vijeća pročelnika:

1. Dr. SLAVEN BARIŠIĆ, naučni suradnik - pročelnik Odjela teorijske fizike
2. Dr. ANTUN BONEFAČIĆ, viši naučni suradnik - pročelnik Odjela fizike metala I

3. Dr. BORAN LEONTIĆ, naučni savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala II i direktor Instituta
4. Dr. ZVONIMIR OGORELEC, viši naučni suradnik i pročelnik Odjela fizike poluvodiča
5. Dr. MLADEN PAIĆ, naučni savjetnik i pročelnik Odjela optička svojstva kristala
6. Dr. VLADIS VUJNOVIĆ, viši naučni suradnik i pročelnik Odjela fizike ioniziranih plinova

DIREKTOR INSTITUTA

Dr. BORAN LEONTIĆ, naučni savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala II

III. IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA

ODJEL FIZIKE METALA I

Pročelnik Odjela:

ANTUN BONEFAČIĆ, doktor fiz.nauka, izv.profesor PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - viši naučni suradnik

Naučni suradnici:

KATARINA KRANJC, doktor fiz.nauka, izv.profesor PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - viši nauč.suradnik

ANKICA KIRIN, doktor fiz.nauka, asistent Medicinskog
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - asistent

ANTON TONEJC, doktor fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta
u Zagrebu - asistent

DAVOR DUŽEVIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

DRAGAN KUNSTELJ, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - asistent

MIRKO STUBIČAR, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - asistent

ANDJELKA TONEJC, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - asistent

VJEKOSLAV FRANETIĆ, dipl.ing.fiz., asistent Farmaceutskog
fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - asistent

OGNJEN MILAT, dipl.ing.fiz., asistent-postd.

Tehnički suradnici:

LEPČIN VILIM, viši tehn.suradnik

ŠTOKIĆ DARINKA, tehn.suradnik

1. Pregled istraživanja

1.1. Ispitivanje neravnotežnih faza i faznih prijelaza

U 1974. godini nastavljen je rad na proučavanju dodatka treće komponente na kinetiku rasta GP zona u brzo kaljenoj slitini aluminij-srebro. Privodi se kraju analiza podataka dobivenih metodom raspršenja rendgenskih zraka pod malim kutem u tijeku dozrijevanja slitina Al-Ag dobivenih kako klasičnim tako i brzim kaljenjem iz tekuće faze. Pomoću Hilliard-Rudmanove analize dobivene su vrijednosti koje opisuju difuzione procese u tijeku početnog stadija raspada čvrstih otopina, koji je spinodalnog karaktera. Izračunati koeficijent interdifuzije je za klasično kaljenu slitinu za red veličina veći u odnosu na brzo kaljenu slitinu, što još treba provjeriti na drugim uzorcima.

Metodama difrakcije rendgenskih zraka proučavani su uzorci slitine srebro-kositar. Dosad su analizirane pogreške slaganja nastale u toj slitini pri hladnoj obradi, pa je od interesa da se ispita iznos i karakter pogrešaka u slaganju kod klasično i brzo kaljenih slitina. Analiza eksperimentalno izmjerenih difrakcijskih profila vršena je na UNIVAC računskom stroju. Stokesovom metodom razvoja difrakcijskih profila u Fourierove redove dobiveni su Fourierovi koeficijenti čistog difrakcijskog profila, koji ovise o veličini kristalita, distorziji unutar kristalita i o pogreškama u slaganju. Preliminarni računi pokazuju prisutnost pogrešaka u slaganju, što je potvrđeno i elektronsko-mikroskopskim ispitivanjima koja se odvijaju paralelno. Analogna ispitivanja započeta su i u sistemu srebro-indij. Ta će se ispitivanja nastaviti u 1975. godini.

Proučavan je intenzitet raspršenja rendgenskih zraka pri malim kutevima na aluminij-nikal i aluminij-kositar čvrstim otopinama, dobivenim brzim kaljenjem, da bi se utvrdio stupanj disperzije otopljenih atoma. Paralelno su vršena i elektronsko-mikroskopska ispitivanja na istim sistemima. Utvrđeno je da ne postoje savršeno homogene čvrste otopine, već su detektirane

nakupine otopljenih atoma. Ispitan je razvoj tih nakupina u procesu dozrijevanja kao i njihov doprinos tvrdoći i mikrona-petostima koje se javljaju u kristalnoj rešetki.

Slitini Ag-52tež.% Cd ispitana je promjena dimenzije elementarne ćelije i atomskog volumena s temperaturom. Pokazano je da atomski volumen diskontinuirano prelazi iz uređene bcc (B2) faze u hcp (A3) fazu, ali da je prijelaz kontinuiran od hcp (A3) u nesredjenu bcc (A2) fazu. Time je pokazano da se u toj slitini, u pogledu atomskog volumena, prijelaz zbiva na isti način kao i u čistim metalima.

U suradnji s članovima Odjela fizike poluvodiča ispitivana su kristalografska svojstva bakar selenida. Mjereni su parametri rešetke i linearni koeficijent termičke dilatacije u određenom području nestehiometrijskog sastava u temperaturnom području od 22°C do 330°C. Ponovno je određen ravnotežni fazni dijagram Cu-Se sistema u području nestehiometrijskog Cu_{2-x}Se spoja, koji se razlikuje od ranije objavljenih. Ispitana je ovisnost termičkog koeficijenta ekspanzije o koncentraciji i temperaturi.

1.2. Teorijska obrada raspršenja rendgenskih zraka

Guinier-Prestonove zone, koje se javljaju kao prvi stadij dekompozicije čvrstih otopina nekih slitina, raspršuju rendgenske zrake u području malih kutova. Raspršenje ovisi o obliku čestice (zone), ali i o raspodjeli elektronske gustoće unutar čestice. Teorijski je razmatrano raspršenje na sfernim česticama, za različite modele raspodjele elektronske gustoće unutar čestice. Računati su: a) radij giracije, b) krivulja raspršenja (ovisnost intenziteta o kutu), c) asimptotsko vladanje kod većih kutova, a u nekim slučajevima i d) krivulje raspršenja na skupu čestica različitih dimenzija.

Prošle godine je razmatran slučaj kontinuiranog prelaza elektronske gustoće od centra čestice do ruba, pretpostavivši dvije analitičke krivulje za taj pad (cosinus i Gaussova raspodjela elektronske gustoće). Ove godine razmatran je i pad elektronske gustoće po linearnom zakonu. Pokazalo se da u sva tri slučaja intenzitet strmije pada s povećanjem kuta nego kod

homogenih čestica, dakle da ne vrijedi Porodov zakon po kojem je intenzitet proporcionalan $s(2\theta)^{-4}$.

Dalje su razmatrani modeli kod kojih je centralni dio čestica homogen, a zatim elektronska gustoća kontinuirano pada. Problem je razmatran za ista tri tipa krivulja za pad elektronske gustoće, i za različite strmine pada gustoće. Ovo je općenitiji model od prethodnog i sadrži prethodne modele kao specijalne slučajeve. Ni kod ovih modela asimptotsko vladanje krivulja raspršenja nije u skladu s Porodovim zakonom, a jednako je kao kod odgovarajućih prethodnih modela.

U posljednje vrijeme istraživani su modeli kod kojih postoji oštar djelomičan pad elektronske gustoće u nekoj udaljenosti od centra čestice. Za sve modele koji su dosad razmatrani, bio ovaj oštar prelaz unutar čestice ili na rubu, bio on mali ili veliki, bio centralni dio čestice homogen ili ne, uvijek vrijedi za krivulju raspršenja Porodov zakon. Prema tome, ako se eksperimentalno ustanovi da je krivulja raspršenja nekog sistema u skladu s Porodovim zakonom, to još ne znači da se sistem sastoji od dvije faze s dobro definiranim elektronskim gustoćama obiju faza. Pitanje je također što bi zapravo predstavljala veličina koja bi se dobila analizom krivulje raspršenja koja normalno vodi do specifične površine. Ovaj se rad nastavlja.

Proučavane su krivulje raspršenja koje se dobivaju Levelut-Guinierovom komorom u slučaju kada je upadni snop rendgenskih zraka konvergentan, odnosno divergentan s obzirom na obasjani uzorak. Utvrđeno je da je distorzija Gaussovih krivulja jače izražena u slučaju konvergentnog snopa, no s^{-4} ovisnost intenziteta kod većih kuteva (Porodov zakon) jasnije se ispoljava u slučaju konvergentnog snopa. Ta prednost konvergentnog snopa u praksi nema velikog značenja, jer je konstrukcija dobrog, dvostruko svinutog monohromatora u tom slučaju teža zbog veće reflektirajuće površine kristala, koja je u tom slučaju potrebna, da bi se ostvarila ista osjetljivost kao i u slučaju divergentnog upadnog snopa.

1.3. Superplastični metali i slitine

Započeta su preliminarna ispitivanja problematike superplastičnog ponašanja slitina, koja su se uglavnom sastojala u proučavanju literature i podataka za dopunu aparatura koje su u tu svrhu potrebne. Jedan član odjela (Dr.A.Tonejc) upućen je na specijalizaciju iz područja superplastičnosti u Saclay (Francuska).

Usprkos znatnoj primjeni superplastičnih slitina u industriji razvijenih zemalja, još uvijek se ne zna točno koji mehanizam je odgovoran za superplastično ponašanje slitina. Postoje dvije teorije i obje tumače mehanizam superplastičnosti klizanjem zrna uzduž granica, uz nepromijenjeni oblik zrna. Jedna teorija smatra plastično prilagodjavanje glavnim razlogom koji spriječava pojavu pukotina u točkama gdje se sastaju tri zrna, dok druga smatra da je tome razlog difuzija bez sudjelovanja plastične deformacije.

Da bi se proučavanje superplastičnosti u Institutu moglo eksperimentalno razviti potrebno je nabaviti nove uređaje za ispitivanja plastične deformacije metala, što zbog deficitarnog financiranja vjerojatno neće biti moguće u 1975.godini. Usprkos velike primjene superplastičnosti u svjetskoj metalnoj industriji, Institut nije dosad uspio naći interesenta za to područje istraživanja u našoj metalnoj industriji.

1.4. Razvoj eksperimentalnih uređaja

U 1974.godini konstruiran je uređaj za kaljenje metodom levitacije. Sastavni dijelovi, izradjeni u radionici Instituta, prilagodjeni su visokofrekventnom 15 kW generatoru "Radyne". Tim je uređajem do sada omogućeno brzo kaljenje metodom lebdenja aluminijska, nikla i njihovih slitina. Prolaz metalne užarene kapi između klipova, uz istovremeno okidanje klipova, podešen je upotrebom vremenskog relea koji sinhronizira prekid struje u visokofrekventnoj zavojnici s pokretanjem klipova. Izradjuje se i drugi okidački sistem na principu fotoefekta.

U rendgenskom laboratoriju nabavljen je uređaj za hlađenje rendgenske cijevi s vodom u zatvorenom krugu, što će uz predviđenu stabilizaciju sobne temperature omogućiti rendgenska snimanja pri stabilnijim uvjetima. Usavršena je Levelut-Guini-erova komora, koja služi za raspršenje rendgenskih zraka pod malim kutem. Izradjena je mikropeć koja se ugrađuje u tu komoru i omogućava zagrijavanje uzorka brzinom 10°C/s do temperature od 600°C , te održavanje konstantne temperature uzorka u duljem vremenskom periodu. Izvršene preinake komore omogućuju i hlađenje uzoraka do -180°C uz simultano mjerenje električnog otpora.

2. Popis radova

- 1) A.M.Tonejc, A.Tonejc and A.Bonefačić, Nonequilibrium Phases in Al-rich Al-Pt Alloys, Journ.Mat.Sci.9(1974), 523-526.
- 2) A.Kirin and A.Bonefačić, X-ray line broadening study of splat cooled aluminium and aluminium-tin and aluminium-nickel solid solutions, J.Phys.F: Metal Phys., 4, 1974, 1608-1617.
- 3) K.Kranjc, Small-Angle X-ray scattering from spherical particles of non-uniform electron density, Journ.Appl.Cryst. (1974), 7, 211-218.
- 4) K.Kranjc and A.Bonefačić, Distortion of X-ray small angle scattering curves measured by a Levelut-Guinier camera, J.Appl.Cryst. (1974), 7, 259-267.
- 5) K.Kranjc, Distortion of X-ray small-angle scattering curves measured by a Levelut-Guinier camera when the primary beam converges at a point on the counter, J.Appl.Cryst. (1974) 7, 498-501.
- 6) D.Dužević and T.Gaćeša, X-ray spectrometry of Al-Ni powder compacts and alloy thin films, X-ray Spectrometry, (1974) 3, 143-148.

- 7) A.Tonejc, A.M.Tonejc and A.Bonefačić, Atomic volume expansion of Ag-52wt%Cd alloy, Phys.Lett. 49A, 1974, 145.
- 8) A.Bonefačić, M.Kerenović, A.Kirin and D.Kunstelj, Segregation of solutes in Al-Ni and Al-Sn alloys, J.Mat.Sci. u tisku.
- 9) D.Kunstelj and A.Bonefačić, Phase Transitions in an annealed, liquisol quenched Al-3.6at% Ni alloy, Microstructural Science, Vol.3, u tisku.
- 10) A.Tonejc, Z.Ogorelec and B.Mestnik, X-ray investigation of the copper selenides $Cu_{2-x}Se$, poslano u J.Appl.Cryst.
- 11) A.Tonejc, and J.P.Poirter, Mechanical equation of state and superplastic materials, Scripta Met., u tisku.

Radovi iznijeti na konferencijama

- 1) A.Tonejc, A.M.Tonejc, A.Bonefačić, Odredjivanje linearnog koeficijenta promjene dimenzije parametra rešetke aluminjskog volumena slitine Ag+52t.% Cd u intervalu 20° - $550^{\circ}C$, IV Jugosl.simp. o fizici kondenz.materije, Portorož, 24-27.VI 1974.
- 2) D.Kunstelj i A.Bonefačić, Mikrostrukturna ispitivanja faznih transformacija u brzo kaljenim Al-Ni slitinama, IV Jugosl. simp. o fizici kondenzirane materije, Portorož, 24-27 VI 1974.
- 3) K.Kranjc, Utjecaj nehomogenosti elektronske gustoće čestica u dvofaznim sistemima na centralno raspršenje rendgenskih zraka, IV Jugosl.simp. o fizici kondenzirane materije, Portorož, 24-27 VI 1974.
- 4) K.Kranjc, Usporedba različitih mogućnosti korištenja monokromatora uz Levelut-Guinierovu komoru, IX Konf.Jug.centra za kristalografiju, Portorož, X 1974.

ODJEL FIZIKE METALA II

Pročelnik odjela:

BORAN LEONTIĆ, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - naučni savjetnik
i direktor Instituta

Naučni suradnici:

RUDOLF KRSNIK, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

JOHN COOPER, doktor fiz.nauka - nauč.suradnik

EMIL BABIĆ, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent

DANIJEL DJUREK, magistar fiz.nauka - asistent

ZLATKO VUČIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

JASNA B.-RUBČIĆ, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - naučni suradnik

JAGODA L.-SOKOLOVIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

AMIR HAMZIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

MARKO MILJAK, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

OČKO MIROSLAV, dipl.ing.fiz. - asistent

KATICA FRANULOVIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

Tehnički suradnik:

MILAN SERTIĆ, sam.tehn.suradnik

Pregled istraživačkog rada

1. Proučavanje transportnih svojstava sistema s anomalnim raspršenjem na primjesama

a) Devijacije od Mathiessenovog pravila (D.M.P.)

U protekloj godini rad se odvijao uglavnom na proučavanju sistema Al i Zn s primjesama 3-d prelaznih metala. Dosadašnji eksperimentalni rezultati prikazivani su u obliku $\rho_T - \rho_0 = \Delta + \rho_{ph} = f[T, \rho_0(T)]$ gdje je $\rho_T - \rho_0$ eksperimentalno dobivena veličina, a Δ je vrijednost DMP. Za Al legure eksperimentalno je dobivena relacija $\rho_T - \rho_0 = A(\log \rho_0) T^n$, gdje je $n \approx (3-3.5)$ i donekle ovisi o T. Isto tako ni A nije sasvim konstantan, već lagano ovisi o T. Obzirom da među mnoštvom različitih teorija neke daju T^3 ovisnost, dok druge predviđaju promjenu eksponenta n, to diskriminiranje među različitim teorijama nije bilo lako. Vrlo preciznim mjerenjima uspjelo se razlučiti Δ od ρ_{ph} , tj. napraviti signifikantan fit $\rho_T - \rho_0 = A \cdot T^3 + B \cdot T^5$. Tu je A koeficijent od Δ , a B koeficijent čistog fononskog el. otpora (uzrokovan N elektron-fonon raspršenjem). Rezultati daju za sve uzorke $B = (2.3 \pm 0.1) 10^{-16} \frac{\Omega \cdot \text{cm}}{\text{deg}^5}$. Dobivena vrijednost se slaže sa prije dobivenom za "pure limit", a isto tako i s teoretskim predviđanjima za N procese raspršenja. Vrijednost za A izlazi reda $\sim 3 \cdot 10^{-13} \frac{\Omega \cdot \text{cm}}{\text{deg}^3}$ i ne ovisi o T. Ovi su rezultati dobiveni u temperaturnom području (4-20)K. Time je nedvojbeno utvrđeno, da u tom temperaturnom području i za $\rho_0 \approx 400 \text{ n}\Omega \cdot \text{cm}$ imaju čistu T^3 ovisnost.

Za $\rho_0 \lesssim 2000 \text{ n}\Omega \cdot \text{cm}$ A blago raste s ρ_0 (odnosno $A \propto \log \rho_0$) kao što su pokazivali i raniji rezultati. Za $\rho_0 > 2000 \text{ n}\Omega \cdot \text{cm}$ nije sasvim jasno da li se A i dalje mijenja s ρ_0 po istom zakonu, ili postepeno ide prema zasićenju. Razlog toj neodređenosti je nešto veća greška u određivanju ρ_0 u tom području.

Naša metoda fitovanja omogućila nam je ujedno i lakše pronalaženje "neispravnih" uzoraka, tj. uzoraka s precipitacijama i slično, koje treba odbaciti, tako da su ovi rezultati znatno pouzdaniji od ranije postojećih.

Kao što se vidi iz izraza za A, on u 1. aproksimaciji ovisi samo o ρ_0 , a ne i o koncentraciji primjesa c (kako se mijenja vrsta primjese). Medjutim, izgleda da se u našim rezultatima uočio i efekt drugog reda. Naime, izgleda da uzorci Al-Ti imaju za oko 5-10% veći A od uzoraka Al-V istog ρ_0 . Iz ranijih naših rezultata znamo, da je $\frac{\rho_e}{\rho_0}$ kod Al-V veći za oko 25%, dakle uzorak Al-Ti ima 25% veću koncentraciju primjesa za isti ρ_0 . No, da bi se navedeni efekt mogao sa sigurnošću ustvrditi, potrebna su daljnja precizna mjerenja i na Al-Ti sistemu i na legurama Al s drugim metalima (Co, Ni, Sc, Ag itd.).

b) Proučavanje električnih svojstava ZnFe

Ranija mjerenja električnog otpora razrijeđenih legura ZnFe pokazuju:

- T^2 ponašanje na najnižim temperaturama ($T < 2K$) karakteristična temperatura u tom području iznosi $\theta = 85 \pm 10K$
- odstupanje od tog zakona na nešto višim temperaturama, koje ima nešto sporiju ovisnost
- detaljno ponašanje otpora primjesa na višim temperaturama nije poznato zbog snažnog doprinosa fonona, koji potpuno maskira ponašanje otpora primjesa već na 3-5K.

Pretpostavljajući da će jasniju sliku tog sistema dati mjerenje otpora koncentriranijih legura ZnFe, ultra brzim kaljenjem metodom rotirajućih valjaka pripremljena je serija uzoraka sa koncentracijama od 0.04 do 0.4at% željeza u cinku. Mjerenja otpora vršena su u širokom području temperatura od 0.5 do 300 K.

Naša nova mjerenja pokazuju da:

- do prilično visokih koncentracija nova mjerenja su konsistentna s ranijima time da je otpor fonona potisnut na više temperature

- T^2 ovisnost je malo modificirana do otprilike 2 K
- otpor fonona ide sa otprilike T^5 .

Simultanim mjerenjem ZnFe sa normalnom legurom cinka (npr. ZnAg ili ZnCo) otprilike istog rezidualnog otpora u cilju oduzimanja otpora fonona dobiven je čisti otpor primjese u sistemu ZnFe. Taj otpor primjese pokazuje još jednu T^2 ovisnost na temperaturama većim od 20 K.

Ekstrahirana karakteristična temperatura na niskim temperaturama iz naših mjerenja je $\theta \approx 90$ K, a visokotemperaturna $\theta = 350 \pm 50$ K. Smatramo da $\theta = 350$ K bolje odgovara sistemu ZnFe, tj. pokazuje da je taj sistem slabo magnetičan. Takav rezultat je u skladu sa mjerenjima susceptibilnosti i termoelektrične struje, koje su izvršene na tom sistemu. Niskotemperaturni θ , smatramo, da pripada interakciji parova željeza, koja postoji kod najnižih koncentracija.

c) Sistemi Al-4f-prelazni metala

Tokom 1974. godine započeto je proučavanje sistema Al4F prelazni metali. Zbog djelomično popunjene f elektronske ljuske rijetke zemlje u legurama s normalnim metalima često pokazuju ponašanje slično ponašanju legura 3d prelaznih metala u normalnim metalima. Medjutim, tu postoje i znatne razlike uvjetovane prvenstveno većom lokaliziranošću f elektrona. U tom smislu svakako je interesantno proučavanje legura normalnih metala s rijetkim zemljama, jer omogućava dublje sagledavanje problema formiranja lokalnih magnetskih momenata u čvrstim otopinama.

Malene topivosti rijetkih zemalja u aluminiju spriječile su ranija istraživanja tog sistema. Do sada je proučavan sistem Al-Ce. Ultrabrzim kaljenjem načinjeni su uzorci s koncentracijama: 0,01, 0,03, 0,06, 0,1, 0,2, 0,3 atomskih postotaka. Mjerenje rezidualnog otpora ρ_R pokazuje linearnu ovisnost. ρ_R o koncentraciji do 0,1%, a kasnije nagli porast. Ista je situacija i kod mjerenja mikrotvrdoće, što indicira da su do 0,1 at% cerija u aluminiju pretežno svi atomi u čvrstoj otopini. Medjutim, elektronskim mikroskopom ustanovljene su nakupine druge faze već i na nižim koncentracijama. Snažno smanjenje temperature supravodljivog prijelaza vjerojatno ukazuje na relativno usko virtuelno vezano stanje, dok oblik ovisnosti sniženja supravodljivog prijelaza ukazuje na magnetsko stanje primjesa. Alternativni opis ovakovog ponašanja uključivao bi postojanje

"dviije vrste" Ce-atoma ili dva moguća "spinska" stanja tih atoma.

Ova "nečista" situacija navela nas je na to da ponovo pokušamo dobiti čvrstu otopinu sistema AlCe. No i uzorci s dispergiranom fazom veoma su interesantni sa stanovišta mehaničkih mjerenja budući da veoma male koncentracije cerija u aluminiju daju veliku mikrotvrdoću ($H_v \approx 150 \text{ kpm}^{-2}$) za AlCe (0,3). Rad je u toku.

2. Rad na susceptibilnosti

U protekloj godini aparatura za mjerenje susceptibilnosti bila je operativna gotovo cijelo vrijeme pa je i rad na njoj bio plodonosan.

Kao dio proučavanja metastabilnih Al-3d legura mjerena je magnetska susceptibilnost AlMn i AlCr legura u dosta širokom području koncentracija. Od 0,3 do 2at% za AlMn i od 0,17 do 2at% za AlCr. Za koncentriranije AlMn legure u temperaturnom području od 2-200°K postoji brzi porast susceptibilnosti što sugerira na postojanje interakcija medju Mn atomima. Doprinos susceptibilnosti od interakcija u spomenutom području temperature vrlo dobro slijedi Curie-Weissov zakon s karakterističnom temperaturom $T = 3^\circ\text{K}$. Analizirajući koncentracijsku ovisnost $\Delta\chi$ pokazalo se da postoji doprinos susceptibilnosti proporcionalna s c^3 (c = koncentracija) koji ukazuje na postojanje tripleta. Uz pretpostavku da su triplete sastavljeni od najbližih susjeda dobiva se efektivni magnetski moment od $1,5/\mu_B \mu_0$ tripletu. Postoji nadalje i doprinos proporcionalan sa c^2 u istom temperaturnom području što odgovara postojanju parova za koje bi karakteristična temperatura bila $T_k \approx 200^\circ\text{K}$. Ako se uzme $T_k = 200^\circ\text{K}$ za parove dobiva se efektivni magnetski moment $1,5/\mu_B$. Odbivši doprinose parova i tripleta od ukupne susceptibilnosti ostaje još doprinos od pojedinačnih primjesa koji slijedi T^2 ovisnost do približno 250°K, a dolazi zbog lokalne

promjene gustoće stanja na mjestu atoma primjese. Efektivni magnetski moment za pojedinačne primjese sa $T_k = 600^\circ\text{K}$ je $1,5 \mu_B$ što je jednako magnetskom momentu za triplete i parove. Koliko je nama poznato to je prvi put da su takove interakcije opažene za Mn kao primjesu. Analiza AlCr sistema nije tako jednostavna budući izgleda da Cr mijenja susceptibilnost aluminija. Zbog toga je bilo potrebno izmjeriti i izmjerena je susceptibilnost razrijeđenih legura: AlV, AlCu i AlZn a analiza rezultata je u toku.

Nadalje mjerena je susceptibilnost jednodimenzionalnih organskih spojeva za koje danas vlada veliki interes. Mjerenje je izvršeno na Q_n (TCNQ)₂ i NM_eQ (TCNQ)₂ spojevima, tj. spojevima na bazi TCNQ (Tetracyanoquinodimethane) molekule. Ova molekula zbog vrlo velikog elektronskog afiniteta je odličan akceptor elektrona, koja može uzeti elektron od praktički bilo kojeg donora prelazeći u (TCNQ)⁻ union radikal. Ovim načinom moguće je stvoriti bezbroj TCNQ soli sa organskim i anorganskim donorima. Po fizikalnim svojstvima TCNQ soli se mogu podijeliti u tri klase: jako, srednje vodljive i izolatore. Sol Q_n (TCNQ)₂ spada u jako vodljive soli.

Upoređujući naše rezultate i rezultate drugih autora pokazalo se da u slučaju Q_n (TCNQ)₂ soli da susceptibilnosti na 300°K padaju na istu vrijednost dok idući prema nižim temperaturama nastaje neslaganje. Ovo "neslaganje" ne mora biti uvjetovano eksperimentalnim uvjetima nego može značiti da postoji doprinos susceptibilnosti koji ovisi o uzorku (tj. načinu pripremanja - dužina lanca, koji mogu biti različiti za svako pripremanje) i doprinosa koji je isti za istu strukturu jednodimenzionalnog lanca. Takodjer mjerena je i magnetska anizotropija za Q_n (TCNQ)₂. Medjutim da bi se dobio potpun odgovor o postojanju ili ne postojanju anizotropije potrebno je ova mjerenja kombinirati sa podacima o dijamagnetskom doprinosu susceptibilnosti. Rad je u toku.

3. Rad na magnetootporu

U jednostavnom modelu s-d raspršenja električnom otporu bez magnetskog polja doprinose dva procesa: spin-flip raspršenje, te raspršenje izmjenom. Jako magnetsko polje dovodi do smanjivanja odnosno "zamrzavanja" spin-flip raspršenja vodljivih elektrona na nečistoćama, što se manifestira u pojavi anomalnog magnetootpora.

Totalno izmjereni magnetootpor može biti pozitivan ili negativan, zavisno o koncentraciji primjesa. Normalni pozitivni dio raste s padom koncentracije, dok negativni doprinos raste s porastom koncentracije nečistoća.

Mjerenja su vršena u polju supervodljivog magneta od 3,5T. Istraživanje je započeto na sistemu AlMn , koji ima $T_K = 530$ K. Bilo je očigledno da je potrebno proučavati koncentrirane legure AlMn i koje je za ovaj sistem moguće dobiti u metastabilnom stanju do visokih koncentracija Mn.

Mjerenja magnetske susceptibilnosti AlMn (no samo do 2% Mn) pokazala su da dolazi do formiranja tripleta Mn (kod koncentriranih legura, vidi 2) sa karakterističnom temperaturom od 3 K. Mjerenja magnetootpora su to potvrdila i za više koncentracije. Uzorci su imali 1,9, 3, i 4 at%Mn, a dobiven je izraziti negativni transverzalni magnetootpor (na temperaturama, 1,6 i 4,2K) proporcionalan sa H^2 . Opažena negativna komponenta magnetootpora je devijacija od Kohlerovog pravila.

U slučaju male koncentracije magnetskih primjesa utjecaj negativne komponente može biti manji od preciznosti mjerenja i dobiveni rezultati predstavljaju normalni magnetootpor baze danog sistema (što je upravo bilo opaženo za leguru Al-0,55% Mn, koja zadovoljava Kohlerovo pravilo). Povećanjem koncentracije dolazi do devijacija od Kohlerovog pravila i prava vrijednost negativnog magnetootpora dobiva se jednim iterativnim postupkom (koji uzima u obzir činjenicu da relaksaciona vremena za pozitivni i negativni dio otpora nisu ista).

Tako određeni nagib negativne komponente magnetootpora proporcionalan je sa c^3 (c = koncentracija primjese) za obje temperature na kojima su izvršena mjerenja. Osim ovog, slaganje sa mjerenjima susceptibilnosti bilo je i da magnetizacija raste s padom temperature. Ipak, ovisnost o c^3 nije potpuna za leguru s 4% Mn. Nažalost, rezultati ponovnih mjerenja ove koncentracije nisu bili u skladu s očekivanim. Rentgenska analiza uzoraka sa 4% i 6% Mn pokazala je postojanje faze u ovim legurama. Zbog toga su trenutno u toku ispitivanja o kojoj se fazi radi (Al_6Mn ili Al_4Mn), ovisnost rezidualnog otpora ρ_R o postojanju faze, kao i električnog otpora o temperaturi za obje koncentracije, koji pokazuje pojavu relativno snažnog pozitivnog doprinosa el. otpora za $T > 20K$.

Izračunavši koncentracije tripleta za pojedine $AlMn$ legure, određena je vrijednost energije izmjene J (koja je točna na red veličine) od 0,15 eV i koja je komparabilna sa vrijednostima za napr. $CuMn$ (0,24 eV) i $AuMn$ (0,18 eV).

Izvršeni su takodjer eksperimenti kojima se pokušala vidjeti veza između devijacija od Matthiessenovog pravila i magnetootpora, odnosno devijacija od Kohlerovog pravila. Teoretska razmatranja, naime, pokazuju da se u jakim magnetskim poljima temperaturno ovisni otpor približava otporu (za $H = 0$) u tzv. "dirty limit". Legura AlV (0,083%V) je do 20K slijedila Kohlerovo pravilo, dok se kod čistog Al na 20K javlja devijacija od Kohlerovog pravila zbog fonona. Tek daljnje proučavanje ovog efekta treba dati tačniju koncentracijsku ovisnost, te ovisnost o tipu nečistoće.

4. Rad na faznim prelazima

a) Početkom ove godine mjerena je specifična toplina na uzorku tekućeg kristala CBOOA (p-cyano-benzyliden-amino-p-n-octyloxybenzene) u okolini nematik-smektik A prijelaza kalorimetrijskim metodama koje su razvijene u našem laboratoriju. Nadjeno je kritično ponašanje u okolini spomenutog prijelaza i metodom χ^2 -testa su izračunati kritični eksponenti d i d' , $d = d' = 0,16 \pm 0,02$. Iz relacije razmjera $\frac{K}{T} \sim \nu d = 2 - d$ izračunat je kritični eksponent

za divergenciju "bend" elastične konstante u okolini nematik-smektik A prijelaza. Dobiven je rezultat $\frac{d^2}{2} \nu = 0,62 \pm 0,03$ i uspoređen s de Gennesovim računom za kritične eksponente osnovanom na analogiji dijamagnetske susceptibilnosti kod supervodljivog prijelaza i nematičkih elastičnih konstanti (bend i twist). Upotrebom Wilsonovog računa kritičnih eksponenata dobiveno je na taj način $\frac{d^2}{2} \nu \approx 0,65$ što se dobro slaže s našim mjerenjima. Također je mjerena latentna toplina na gornjem prijelazu i nađeno je da entropija prijelaza iznosi $(0,017 \pm 0,002)R_0$ na osnovu spomenute analogije Halperin, Lubensky i Ma su predvidjeli da nematik-smektik A prijelaz mora uvijek biti slabo prvog reda, što naš rezultat na primjeru CBOOA potvrđuje.

b) Uz isto mjerenje, tj. na primjeru CBOOA koji pokazuje slabi prijelaz prvog reda u okolini nematik-smektik A prijelazne temperature T_{NA} (prijelazna entropija $0,017 R_0$) izvedena je statistička obrada (χ^2 -test) da se odredi kritična temperatura T_C^x , koja bi odgovarala idealnom prijelazu drugog reda. S druge strane, slijedeći fizikalnu interpretaciju problema upotrijebljena je jednostavna tehnika određivanja T_C^x . Tim se postupkom latentna toplina tretira kao dio unutrašnje energije sistema koji nije potpuno razvijen u obliku fluktuacija i njihovih interakcija u okolini prijelaza. Ekstrapolacijom na doprinos energije fluktuacija za iznos latentne topline može se odrediti $T_C^x - T_{NA}$, što se dobro slaže (na primjeru CBOOA) s rezultatima dobivenim primjenom općenito prihvaćenog χ^2 -testa. Koristeći Landauovu teoriju primijenjenu na fazne prijelaze prvog reda diskutirani su uvjeti u kojima navedena ekstrapolacija vrijedi.

Radovi pod (a) i (b) izneseni su na Konferenciji o tekućim kristalima koja je održana u mjesecu lipnju 1974. u Stockholmu, kao i na 4. Jugoslavenskom simpoziju o fizici kondenzirane materije u Portorožu. Osim toga rad (a) objavljen je u istom obliku pod naslovom "Specific Heat Critical Exponents near the Nematic-Smectic A Phase Transition" (Phys.Rev.Lett, vol.33(1974) od autora D.Djurek, J.Baturić-Rubčić, K.Franulović.

c) Sličnom metodom korištenom pod (a), odnosno (b) izvršena su mjerenja specifične topline kvazi-jednodimenzionalnog vodiča $K_2Pt(CN)_4Br_{0.3} \cdot 3H_2O$ (KCP) koja pokazuju anomaliju u specifičnoj toplini u temperaturnom području oko 123 K, zbog faznog prijelaza

uzrokovanog fononima. Prije izvedena mjerenja raspršenja neutrona i X-zraka drugih autora pokazala su omekšavanje grupe fonona u blizini točke $\left/ \frac{\pi}{a}, \frac{\pi}{a}, 2K_E \right/$ Brillouinove zone snižavanjem temperature do reda veličine 100 K. Vrh u specifičnoj toplini iznosi oko 7% ukupne specifične topline, koja iznosi oko $3 R_0$, što je maksimalna specifična toplina akustičkog moda. Naši rezultati su konzistentni s rezultatima neutronske raspršenja, koji se opet slažu s teorijskim crossover računima.

5. Strukturna svojstva uzoraka legura na bazi cinka dobivenih ultrabrzim kaljenjem metodom rotirajućih valjaka

U cilju što točnijeg određivanja otpornih karakteristika legura na bazi cinka ispitivana su i strukturna svojstva tih uzoraka dobivenih ultrabrzim kaljenjem (metodom rotirajućih valjaka). Proučavanjem tih svojstava rendgenskim metodama pokazalo se da:

- orijentacija kristalita u legurama cinka sa "malim postotkom primjesa je takova da je ravnina (0001) paralelna sa ravninom hladjenja, tj. sa površinom uzorka, kao i kod čistog ultrabrzo kaljenog cinka;

- u legurama sa visokim postotkom primjesa je takova da osim navedenog postoji i određen broj ravnina (1010) paralelnih sa ravninom hladjenja uzorka;

- nikakva preferirana orijentacija u smjeru "valjanja" uzorka nije zamjećena.

"Visoka" i "niska" koncentracija primjese odnose se na svaku pojedinu primjesu i njenu ravnotežnu topivost u cinku. Strukturna svojstva kaljenih uzoraka pomoću rotirajućih valjaka na bazi cinka pokazala su se veoma interesantna budući da bi se na tim uzorcima mogla vršiti mjerenja Mössbauerovog efekta i magnetske susceptibilnosti s obzirom na kristalne osi heksagonske rešetke, što je od velike važnosti za neravnotežne otopine, budući je nemoguće dobiti monokristal

koji sadrži neravnotežnu koncentraciju primjesa u čvrstoj otopini. U tu svrhu potrebno je riješiti problem određivanja postotka broja kristalita u nekoj određenoj orijentaciji. Rad je u toku.

6. Razvoj eksperimentalnih metoda i tehnika

a) Modifikacija Seeman-Bohlinove komore

Seeman-Bohlin-Ova komora za mjerenja s X-zrakama modificirana je u suradnji s Institutom za fiziku u Sarajevu tako da se pomoću nje može mjeriti ovisnost parametra rešetke o temperaturi.

Modificirana komora je upotrebiva kod niskih (do 2K) temperatura.

b) Aparatura za kombinirana mjerenja superkaljenih uzoraka

U suradnji sa Institutom za fiziku u Sarajevu razvijena je aparatura u kojoj se mogu vršiti simultano rezistometrijska mjerenja i mjerenja raspršenja X-zraka dok se temperatura kontinuirano mijenja. U tu svrhu modificirana je Guinier-Leǎne-ova komora i kombinirana sa osjetljivom aparaturom za rezistometrijska mjerenja pomoću metode "četiri točke".

c) Argonska lučna peć

Završena je izrada argonske lučne peći za dobivanje master legura. Nakon eliminiranja eksperimentalnih poteškoća, dobiveni su čisti uzorci sa temperaturama taljenja do 2000°C (Ag, AlMn, Ti itd). Rentgenska analiza provedena na čistom aluminiju taljenjem 4 puta pokazala je da se u uzorku ne javljaju neželjene primjese. Također je uspješno izvršeno usisavanje rastaljene legure u za to određeni kalup. Na taj način se ubuduće može eliminirati valjanje uzorka (nakon taljenja) na dimenzije potrebne za plin, te susceptibilna (ili neka druga) mjerenja. Ipak, biti će potrebno donekle modificirati držač pokretne volframove elektrode (radi lakšeg rukovanja), kao i montirati kolonu za pročišćavanje argona.

- d) Uredjaj za mjerenje specifično-termičkog kapaciteta vrlo malih uzoraka

Tokom godine razvijan je uredjaj za mjerenje termičkog kapaciteta i latentnih toplina vrlo malih uzoraka pomoću kombiniranih tehnika AC i DC metode. Načinjeni su svi dijelovi za kalorimetar kao i specijalni generator impulsa. Nabavljena su pojačala a očekuje se i pristizanje ostalih dijelova elektronike.

7. Primijenjena fizika

Usprkos potpunom pomanjkanju financijske podrške ispitivana su električna i toplinska svojstva papostora. Izrađeni su nelinearni pasivni elementi i na njima izvršena mjerenja. U temperaturnom području od 20-80°C električni otpor je porastao za pet redova veličina.

Za neke određene elemente utvrđivala se ovisnost otpora o električnom polju. Ustanovljeno je da za vrijednosti polja od 16V/cm vrijedi približno Ohmov zakon dok za polja od 250V/cm otpor pada na četvrtinu prvobitne vrijednosti. Rad je u toku, no već sada se s određenim optimizmom može pretpostaviti široka primjena papostora pa su uspostavljeni i neki kontakti sa privredom.

Popis radova

- 1) J.R.Cooper, Z.Vučić and E.Babić, The thermoelectric power AlMn Alloys, J.Phys.F: Metal Phys.Vol.4, 1974.
- 2) P.Salvadori, E.Babić, R.Krsnik, C.Rizzuto, Phonon resistivity in zinc alloys, J.Phys.F: Metal Phys.Vol.3, 1973.
- 3) J.R.Cooper, Electrical resistivity of an Einstein solid, Physical Review B, Vol.9, No.6, 1974.
- 4) M.Miljak and J.R.Cooper, A Faraday Magnetometer for the Measurement of Small Liquid-Quenched Alloy Samples, Phys. Abstracts Class.

- 5) E.Girt, E.Babić, Z.Catalo, A.Kuršumović and B.Leontić, Modifications of Seeman-Bohlin X-ray camera for the study of metastable states of ultrarapidly quenched samples, Journ.of Phys.E: Scientific Instrum.1974.
- 6) E.Girt, B.Leontić and A.Kuršumović, An apparatus for the combined investigation of ultrarapidly quenched samples, Journ.of Phys.E: Scientific Instrum.1974, Vol.7.
- 7) D.Djurek, J.Baturić-Rubčić, K.Franulović, Specific Heat Critical Exponents near the Nematic-Smectic A Phase Transition, Phys.Rev.Lett. Vol.33, 1974.

ODJEL OPTIČKA SVOJSTVA KRISTALA

Pročelnik odjela:

MLADEN PAIĆ, doktor fiz. nauka, red. profesor PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - naučni savjetnik

Naučni suradnici:

VALERIJA PAIĆ, doktor medic. nauka, naučni suradnik PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - naučni suradnik

DAMIR SUBAŠIĆ, magistar fiz. nauka - asistent

Tehnički suradnik:

VILKO PETROVIĆ, viši tehn. suradnik

Pregled istraživačkog rada

- 1) Odnos alfa i beta faze u koprecipitiranim
CdS-MnS sistemima

Razradjena je metoda za određivanje odnosa alfa i beta faze u koprecipitiranim sistemima (M. Paić i V. Paić, referirano na Kongresu fizike čvrstog stanja, Portorož, 1974). Metoda se sastoji u upotrebi difraktograma CdS-MnS sistema. Debye-Scherrer linije koje su bile upotrijebljene jesu 002 alfa CdS + 111 beta

CdS i 010 alfa CdS. U našem slučaju prva linija je uvijek bila prominentna no djelomično joj je superponirana 010 linija. Pomnijom upotrebom simetrije linija mogli smo odijeliti dio koji odgovara prvoj a koji drugoj liniji. Upotrebom uzoraka koji se sastoje iz čiste alfa faze, našli smo da je integrirana površina linije 002 alfa faze jednaka 0,75 puta integrirana površina 010 linije te iste faze. Mogli smo zato prikazati procentualnu količinu alfa faze u uzorku, formulom

$$p_{\alpha} = 100 \frac{0,75 S_{(010\alpha)}}{S_{(002\alpha+111\beta)}} \quad (\text{mol}\%)$$

Pokazalo se da ne postoji neka jednostavna ovisnost između sadržaja uzoraka na MnS i količine alfa faze. Naprotiv, u aproksimaciji pogrešaka mjerenja, koje su znatne zbog naravi upotrijebljenih metoda, moglo se prikazati procentualni sadržaj na alfa fazi kao funkciju kvadrata srednje veličine kristalita $\langle L^2 \rangle$, formulom

$$p_{\alpha} = 100 \left[1 - \exp \left(- \frac{\langle L^2 \rangle}{500} \right) \right] \quad \text{mol}\%$$

2. Kriostat za optička mjerenja

Kriostat firme Andonian (SAD) opremili smo svim popratnim uređjajima i osposobili za određivanje spektara difuzne refleksije praškastih uzoraka kod temperature od 80 K do 293 K.

3. Spektri difuzne refleksije sistema CdS-MnS

3.1. Metoda. Upotrijebivši, u 1973.g. razradjenu metodu za dobivanje spektara difuzne refleksije, određeni su spektri sistema CdS-MnS. Kao standard refleksije služio je poseban BaSO₄ preparat (kodak).

Relativna reflektancija, $(R'_{\infty})_{\sigma}$, prema BaSO_4 mjerena je kod 80K i 293 K. Iz $(R'_{\infty})_{\sigma}$ izračunata je Kubelka-Munk funkcija

$$F(R'_{\infty})_{\sigma} = (1 - R'_{\infty})^2 / 2 R'_{\infty}$$

i funkcija

$$d_{\sigma} = 1 - \exp \left[- F (R'_{\infty})_{\sigma} \right]$$

koja odgovara približno apsorptanciji, ako smatramo $F(R'_{\infty})_{\sigma}$ ekstinkcijom. Računi su učinjeni i grafički prikazani pomoću računskog stroja SRCE uz pomoć Dr.K.Kranjc.

U području ruba apsorpcije apsorptancija naglo raste, pa je moguća ekstrapolacija na vrijednost nula, što daje energiju zabranjene zone u valnom broju $\tilde{\nu}_g$ ili, kao E_g u elektron voltima.

3.1.1. Kratka diskusija metode određivanja energije zabranjene zone.

Da bismo vidjeli u kojoj mjeri upotrijebljena metoda određivanja $\tilde{\nu}_g$ (cm^{-1}) odnosno E_g (eV) daje rezultate koji odgovaraju poznatim vrijednostima, dobivenim za čiste CdS monokristale, mjerenjem apsorpcije, radili smo mjerenja sa zdrobljenim, sublimacijom u vakuumu, dobivenim monokristalima CdS (preparacija B.Mestnik). Dobiveni su ovi rezultati:

T/K	E_g /eV
293	2,23
293	2,23
80	2,23
80	2,24

Oni su veoma reproducibilni, no s obzirom na poznatu vrijednost $E_g = 2,42$ eV kod 300 K za CdS, preniski su za 8,5%. Možemo stoga očekivati prvenstveno upotrebljivost

metode u svrhu komparacije rezultata dobivenih s različitim uzorcima, a manje u svrhu određivanja prave vrijednosti E_g . S obzirom na veoma zaobilazni put kojim smo odredili E_g smatramo metodu veoma zadovoljavajućom.

3.2. E_g kao funkcija od p_{MnS} . Jedina korelacija vrijednosti E_g dobivenih u 3.1. spomenutom metodom učinjena je sa količinom, p_{MnS} (mol%), mangan sulfida u uzorcima. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 1. Krivulja $E_g = F(p_{MnS})$ kod 293 K polazi od niskih vrijednosti E_g preko prvog maksimuma, u kritičnoj zoni, koji odgovara maksimumu srednje vrijednosti, $\langle L \rangle$, veličine kristalita (red veličine 10^0 nm) i maksimumu količine alfa CdS. Naprotiv, kod 80K krivulja $E_g = g(p_{MnS})$ polazi od visokih vrijednosti E_g preko minimuma, koji odgovara minimumu specifične površine uzoraka.

Očito je da interpretacija ovih krivulja iziskuje dublju analizu koja dosad nije mogla biti učinjena.

4. Dobivanje MnS u odsutnosti kisika.

U izvještaju za 1973.g. opisana aparatura za dobivanje čistog MnS, bez kisika, sastavljena je i učinjena je jedna preparacija.

Ustanovljeni su ovi nedostaci:

Reakciona posuda je premala (400 cm^3)

Sušenje pomoću P_2O_5 je neefikasno zbog preuskih dovodnih cijevi

Prevelik je broj dovoda i spojeva što omogućuje produžnost i ulaz atmosferskog kisika u aparaturu.

Poteškoće oko vadjanja gotovog preparata su prevelike. Stog razloga morat će se pristupiti izgradnji bolje i jednostavnije aparature.

5. Termoluminiscencija

Proučavanje uzoraka kadmij sulfida metodom termoluminiscencije nastavljeno je snimanjem spektara ekscitacije. Korišten je Bausch & Lomb high intensity grating monochromator 200-700 nm sa linearnom disperzijom $7,4 \text{ nm/mm}$ i otvorom pukotine $0,75 \text{ mm}$. Da bi prekrili cijelo područje koje nam

omogućava monokromator i da bi imali dovoljan intenzitet koristili smo Hg lampu i W lampu. Intenzitet izlazne monokromatske svjetlosti kojom su uzorci ekscitirani mjereno je sa Kipp & Zonen thermopile CA 1 i Keithley DVM. Da bi imali ekscitaciju uzorka istom dozom po svim valnim dužinama mijenjali smo vrijeme ekscitacije ovisno o valnoj dužini.

Ovisnost intenziteta termoluminiscencije o valnoj dužini ekscitacije (ekscitacioni spektar), gdje intenzitet termoluminiscencije predstavlja površina ispod termoluminiscentne krivulje, dana je na slici za CdS_M uzorak. To je uzorak dobiven iz plinovite faze u obliku iglica i pločica, koji je smravljen i zapakiran u kvarcne ampule po istom postupku kao i drugi proučavani uzorci. Radi usporedbe na istoj slici dan je i koeficijent apsorpcije. Pokazalo se da se termoluminiscentna krivulja ovog uzorka sastoji od tri termoluminiscentna vrha koji se jasno pojavljuju tek kod ekscitacije malim dozama i određenim valnim duljinama. Na slici 2 prikazana je termoluminiscentna krivulja ovog uzorka za ekscitaciju sa $\lambda = 532 \text{ nm}$ i brzinu grijanja $0,13 \text{ K/s}$. Označene su i aktivacione energije dobivene aproksimativnim računom. Detaljna analiza De Muer metodom dala je ove vrijednosti parametara. Za vrh I: aktivaciona energija $E = 0,125 \text{ eV}$, frekventni faktor $1/\tau_0 = 2,3 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$, udarni presjek zamke $\sigma_2 = 1 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$, udarni presjek centra $\sigma_1 = 4 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$. Za vrh II: $E = 0,223 \text{ eV}$, $1/\tau = 8,0 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$, $\sigma_2 = 2 \times 10^{-21} \text{ cm}^2$, $\sigma_1 = 5 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$. Za vrh III: $E = 0,281 \text{ eV}$, $1/\tau_0 = 2,0 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$, $\sigma_2 = 2 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$, $\sigma_1 = 8 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$. Kada je jedanput bio određen oblik i položaj tih vrhova mogao se izdvojiti svaki od njih i kod ekscitacije svim drugim valnim duljinama. Na slici 3 prikazan je ekscitacioni spektar za svaki od tri vrha odvojeno. Vidi se da postoji razlika u efikasnosti pobude pojedinih vrhova. Za vrhove I i II efikasnost pobude je veća u UV dijelu spektra od efikasnosti ekscitacije u vidljivom dijelu dok za vrh III vrijedi obrnuto. Oblik ekscitacionog spektra u vidljivom dijelu za sva tri vrha ukazuje na prijelaze u zabranjenoj vrpci koji izazivaju ekscitaciju termoluminiscencije.

Ekscitacioni spektar praškastog uzorka dobivenog od firme Fluka prikazan je zajedno sa koeficijentom apsorpcije na slici 4. Ako ekscitaciju vršimo manjim dozama termoluminiscentne krivulja pokazuje dva vrha. Analiza ova dva vrha prikazana na slici 5 dala je ove vrijednosti. Za vrh I:

$$E = 0,123\text{eV}, \quad 1/\tau_0 = 4,7 \times 10^3 \text{ s}^{-1}, \quad \sigma_2 = 2 \times 10^{-22} \text{ cm}^2, \quad \sigma_1 = 2 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$$

Za vrh II: $E = 0,220\text{eV}, \quad 1/\tau_0 = 6,0 \times 10^4 \text{ s}^{-1}, \quad \sigma_2 = 1 \times 10^{-21} \text{ cm}^2, \quad \sigma_1 = 4 \times 10^{-22} \text{ cm}^2$. Ekscitacioni spektar svakog od ova dva vrha ima isti oblik kao i ekscitaciono spektar za termoluminiscentnu krivulju prikazan na slici 4. Efikasnost pobude je maksimalna u vidljivom dijelu spektra i opada prema UV dijelu.

Ekscitacioni spektar praškastog uzorka dobivenog od firme Koch Light sastoji se samo od jednog oštrog maksimuma u vidljivom dijelu spektra, kao što se vidi na slici 6 zajedno sa apsorpcionim koeficijentom. Efikasnost pobude ovog uzorka je u UV dijelu slaba i praktički jednaka u cijelom ispitivanom području osim u pomenutom maksimumu. Termoluminiscentna krivulja se sastoji od jednog vrha. Analiza ovog vrha daje rezultate vrlo slične rezultatima za vrh I uzoraka CdS_M i CdS_F .

Prikazani ekscitacioni spektri pokazuju dva područja efikasne ekscitacije uzoraka CdS -a, jedno u UV dijelu i drugo u vidljivom dijelu spektra. Područje efikasne ekscitacije u vidljivom dijelu javlja se na dugovalnoj strani jake apsorpcije osnovnog kristala. Maksimumi u ovom području (slike 1 i 3) nam govore o postojanju nivoa u zabranjenoj vrpci i o prijelazima između tih nivoa koji vode do ekscitacije termoluminiscencije. Razlike u ekscitacionim spektrima u ovom području potječu od razlika u energetskej strukturi zabranjene vrpce ispitivanih uzoraka CdS -a. Upravo ovaj dio ekscitacionih spektara omogućuje da se postavi model za termoluminiscenciju za CdS uzorke (D. Subašić i M. Pačić, Portorož, jula 1974). Razlike u efikasnosti pobude u UV dijelu ekscitacionih spektara povezujemo sa morfološkom razlikom samih uzoraka. Postoji veza između efikasnosti pobude u UV dijelu spektra i veličine kristalita odnosno omjera volumena prema površini kristalita. Kao što se vidi efikasnost pobude je najveća u UV dijelu za CdS_M uzorak a najmanje za CdS_{KL} . Upravo takav je međusobni odnos ovih uzoraka po veličini kristalita. Određivanje uzroka veze između veličine kristalita i efikasnosti ekscitacije u UV dijelu spektra biti će jedan od naših slijedećih zadataka.

OBJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA

Pročelnik odjela:

VLADIS VUJNOVIĆ, doktor fiz.nauka - viši nauč.suradnik

Naučni suradnici:

DRAGUTIN MILER, doktor fiz.nauka - asist.I (do 20.4.1974.)

GORAN PICHLER, magistar fiz.nauka - asistent

MLADEN MOVRE, dipl.ing.fiz. - asistent postd. (od 1.X 1974)

VLADIMIR RUŽDJAK, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

ČEDOMIL VADLA, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

DALIBOR VUKIČEVIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postd.

Tehnički suradnik:

IVICA BOROŠAK, ing.elektrostroy. - viši tehn.sur.

1. Pregled istraživanja

Istraživanja su bila koncentrirana na određivanje atomskih parametara spektralnih linija ugljika i fosfora, od 100 - 800 nm, pobudjenih u termičkom izvoru - električnom luku (1 at, 10000-15000 K), te u obradi međuatomskih potencijala cezija i Balmerove granice.

Dio istraživanja odnosio se na niskostrujni luk i holografsku tehniku.

2. Mjerenja

Mjereni su profili singuletnih i multipletnih spektralnih linija ugljika u bližem vakuum-ultraljubičastom području, u uvjetima konstantne temperature ($T = 12500 \text{ K}$) i koncentracije elektrona ($N_e = 1,1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$), a promjenljive koncentracije atoma ugljika. Time je bila omogućeno korišćenje metode krivulje rasta. Mjerene su ekvivalentne širine spektralnih linija. U nadjenim fizičkim uvjetima, komponente multiplleta nisu se mogle separirati, iako su bile optički tanke. Zbog toga je bilo potrebno izračunati krivulju rasta posebno za svaki multiplet, uz pretpostavku da komponente imaju koeficijent apsorpcije s Voigtovom funkcijom. Proračuni su izvršeni pomoću računara UNIVAC 1106. Usporedbom mjerenih apsolutnih totalnih intenziteta spektralnih linija i krivulje rasta, određeni su parametri širenja za 5 singuleta i 2 multiplleta (rad 11, 13 i 14).

Mjereni su spektri fosfora - neutralnog i ioniziranog, u mješavini argona i fosfornog pentafluorida, u vidljivom području spektra. Kao detektor korišćen je fotoelektrički monokromator Mc Pherson, Model 2051 s optičkom rešetkom, normalnim upadom i duljinom od 1 m, te razlučivanjem od 0.01 nm. Usavršen je sistem za evakuiranje i punjenje plinom, s posebnom pažnjom: zbog uvjeta rada s otrovnim sastojcima. Relativni intenzitet spektra (određen uz pomoć svjetlosnih standarda, volframovom svjetiljkom i ugljenim lukom) mjeren je u komori električnog luka Maeckerova tipa promjera 7 mm kod struje od 60 A, te luka promjera 3 mm kod struje od 28-33 A. Izmjerena temperatura u osi luka, gdje su promatranja vršena, kretala se u ovisnosti o jakosti struje i promjeru luka, od 10500 do 11500 K u čistom argonu. Provjereno je da su mjerene linije fosfora optički tanke. Za dijagnostiku korišćene su četiri spektralne linije argona. Tablica pokazuje prve rezultate izmjerenih relativnih intenziteta vjerojatnosti prijelaza (rad 16) s time da je za početak skale relativnih vrijednosti iskorišćena teoretska vrijednost linije PI 547,7 nm:

SPEKTRALNA LINIJA		VJEROJATNOST PRIJELAZA
(nm)		$A(10^8 \text{ s}^{-1})$
PI		
619,9		0,025
609,7		0,022
547,7		0,0057
507,9		0,026
PII		
515,2		0,014
529,6		0,120
531,6		0,076
540,9		0,501

U niskotemperaturnim parama cezija, izmjerene su metodom apsorpcije, vjerojatnosti prijelaza 12 spektralnih dubleta iz glavne serije (rad 10).

Nastavljeno je s holografskom dijagnostikom sredstva. Metodom holografške interferometrije, snimljen je osno simetrični niskostrujni luk, te je Abelovom metodom na 12 prereza određeno radijalno vladanje indeksa loma (rad 15). Također, razvija se eksperimentalni holografski uređaj za dijagnostiku mikroskopskih devijacija objekata podvrgnutih mehaničkim naprezanjima ("real-time" holografija i holografija s dvostrukom ekspozicijom).

3. Teorijska obrada

Obradjivana su mjerenja apsorpcijskih profila spektralnih linija alkalija, širenih mehanizmom tzv. "vlastitog" širenja. Pokazalo se da osim središnjih dijelova koeficijenata apsorpcije koji je Lorentzova funkcija, postoji asimetrija krila, sa jačim intenzitetom crvenog krila. Pojave na krilima pokušane su protumačiti kvazistatičkom teorijom uz pomoć interatomske potencijala. Nadjeno je da se i dalji tok krila može prikazati Lorentzovom funkcijom. Profil dalekog crvenog krila suglasan je s van der Waalsovom interakcijom, dok modro krilo pokazuje široki satelit.

Pojava satelita protumačena je kao statistička posljedica maksimuma u potencijalnoj krivulji. Izmjerene van der Waalsove konstante razmjerne su četvrtoj potenciji efektivnog kvantnog broja spektralne linije, u potpunom suglasju s teorijom (radovi 1-4, 6-9).

Obrada procesa prijelaza spektralnih linija Balmera u kontinuirani spektar, nastavlja se i ove godine (rad 12). Nadjeno je da se bez disolucije spektralnih linija, odnosno sume intenziteta pojedinačnih profila spektralnih linija - procesa kojemu se do sada poklanjala mala pažnja - ne može postići zadovoljavajuće slaganje eksperimenta i teorije. S najbolje odabranim parametrima, razlika eksperimentalnih podataka za $N_e = 5,7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ i $T = 12000 \text{ K}$, iznosila je najviše 4%, s time da teoretski proračun daje sistematski niže vrijednosti, ali se nalazi unutar granice eksperimentalnih netočnosti; za $N_e = 1,8 \times 10^{16}$, $T = 9900 \text{ K}$, maksimalno odstupanje iznosi 7%. Sada se obrađuju podaci eksperimenta za $N_e = 2,2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $T = 10600 \text{ K}$, te za $N_e = 9,3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $T = 13000 \text{ K}$.

Obradjuvana su mjerenja koeficijenata apsorpcije s interferometrom Fabry-Perot, za 4 spektralne linije argona. Iz mjerenog centralnog koeficijenta apsorpcije, uz pretpostavku da je profil koeficijenta apsorpcije dan Voigtovom funkcijom, te uz teoretske parametre širenja, određene su vjerojatnosti prijelaza (rad 5). Dobivene vrijednosti u skladu su s jednom skalom apsolutnih vjerojatnosti prijelaza.

Popis radova

- 1) K.Niemax and G.Pichler, Asymmetric self-broadening of Cs principal lines, J.Phys.B 7, 1204-1212, 1974.
- 2) K.Niemax and G.Pichler, Asymmetric self-broadening of Cs resonance lines, J.Phys.B 7, 1974. (u štampi)
- 3) K.Neimax and G.Pichler, New aspects in the self-broadening of alkali resonance lines, J.Phys.B 7, 1974 (u štampi).

Radovi iznijeti na konferencijama i diplomski radovi

- 4) K.Niemax und G.Pichler, Unsymmetrische Eigendruckverbreiterung von Cs-Linien Frühjahrstagung Stuttgart 1974, p.476,4-9.Marz.
- 5) V.Vujnović and A.M.Tonejc, Line oscillator strengths derived from measurements of the absorption coefficient at the line center, Contribut, papers p.183-186,Fourth International Conference on Atomic Physics, Heidelberg 22-26,1974.
- 6) K.Niemax and G.Pichler, Self-broadening of alkali resonance lines, Second inter.conf.on spectral lines, Oregon, August 26-30,1974.
- 7) K.Niemax and G.Pichler, Far line wings of self-broadened Cs principal series lines, Second inter.conf.on spectral lines, Oregon August 26-30, 1974, p.M.6
- 8) K.Niemax and G.Pichler, Determination of Cs interaction potentials from wings of self-broadened principal series lines, Contributed papers p.253-256, 7.Simp. i ljetna škola iz fizike ioniziranih plinova, Rovinj 16-21, 1974 (kraće: SPIG 1974)
- 9) K.Niemax and G.Pichler, New aspects of the self-broadening of alkali resonance lines, Contribut, papers p.257-260, SPIG 74.
- 10) G.Pichler, Measurements of oscillator strengths of caesium principal spectral lines, Contribut, papers p.261-264, SPIG 74.
- 11) Č.Vadla, V.Čerić, V.Vujnović and O.Vujović, Determination of broadening parameters for the CI lines and multiplets in vacuum UV, Contributed papers p.265-268, SPIG 74.
- 12) V.Ruždjak, V.Vujnović and V.Čerić, Statistically extended recombination continuum and line dissolution in an analysis of hydrogen spectrum in the line merging region, Contribut,papers p.269-272, SPIG 74.
- 13) I.Grekšić, Odredjivanje temperature argonske plazme Richterovom metodom, Dipl.rad, PMF Zagreb,1974.
- 14) O.Vujović, Proračun krivulje rasta za multiplete ugljika, Dipl.rad, PMF Zagreb, 1974.

- 15) M. Sekulić, Odredjivanje radijalne raspodjele u luku metodom holografske interferometrije, Dipl.rad, PMF Zagreb, 1974.
- 16) V. Lokner, Relativne vjerojatnosti prijelaza i jakosti oscilatora za P I i P II u vidljivom dijelu spektra, Dipl.rad, PMF Zagreb (u štampi).

ODJEL FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

ZVONIMIR OGORELEC, doktor fiz. nauka, izv. profesor PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - viši nauč. suradnik

Naučni suradnik:

BRIGITA MESTNIK, magistar fiz. nauka, asistent PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu - asistent

Pregled istraživačkog rada1. Ionski "switching"

Preliminarna istraživanja, opisana u prošlogodišnjem izvještaju, pokazala su po prvi puta da se "switching" efekt može očekivati i kod materijala s isključivo ionskom vodljivošću, što je provjereno eksperimentom na srebro jodidu, AgI. Formulirani su zatim kriteriji za pojavu ionskog "switchinga" i u drugim materijalima s ionskim transportom naboja. Oni zahtijevaju da vodljivost materijala bude rastuća funkcija temperature, da njena inicijalna vrijednost bude relativno visoka i da u materijalu može nastati neka reverzibilna strukturna ili kompoziciona transformacija praćena naglim skokom u specifičnoj vodljivosti. Prema tim kriterijima za "switching" u AgI odgovoran je heksagonalno kubični fazni prijelaz na 146°C .

Spomenuti kriteriji nude još barem dvije vrste transformacija koje bi kao posljedicu mogle imati ionski "switching". To su taljenje ionskog vodiča i dehidratacija materijala s kristalnom vodom. Ove pretpostavke su provjerene na $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (taljenje) i $\text{NaBr} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dehidratacija). U oba eksperimenta nadjen je "switching" koji ima karakteristike vrlo slične karakteristikama elektronskog "switchinga" u poluvodičkim materijalima. Rad je publiciran u časopisu Solid State Communications.

2. Ispravljanja na antimon triselenidu, Sb_2Se_3

Antimon triselenid je za fiziku poluvodiča zanimljiv u prvom redu zbog vrlo izraženog prijelaza metal-nemetal koji se može izazvati malim promjenama u sastavu kristala u blizini stehiometrijskog odnosa. Pokazalo se da spoj s vrlo malim viškom selena ima gotovo izolatorska svojstva, dok se spoj s malim viškom antimona ponaša kao metal. Na samom prijelazu opaža se skok u specifičnoj vodljivosti od oko pet redova veličine. Skok je toliko strm da se nije uspjelo prirediti uzorke s nekom srednjom vodljivošću, zato i studiranje tog efekta u homogenim uzorcima ima samo ograničen domet.

Efekt bi se, u principu, mogao bolje istražiti u nehomogenim uzorcima, npr. u uzorcima u kojima se koncentracija dopirajućih antimonovih atoma mijenja linearno s jednom od dimenzija. Takve uzorke obično daje reaktivna difuzija, konkretno, difuzija selena u kristal antimona. Pritom se može očekivati da će nastati uzorak s tri sloja: sloj $\text{Sb}_2\text{Se}_3 + \text{Se}$ tik uz rezervoar selenskih para, zatim sloj intrisičnog Sb_2Se_3 i na kraju, sloj $\text{Sb}_2\text{Se}_3 + \text{Sb}$ tik uz kristal antimona. Uspjeh studiranja prijelaza metal-nemetal, tj. uspjeh snimanja kompozicione ovisnosti vodljivosti, ovisit će očito o tome koliku debljinu ima nastali sloj $\text{Sb}_2\text{Se}_3 + \text{Sb}$ jer se negdje u njemu prijelaz i javlja.

U ovom su radu priredjeni uzorci antimon triselenida reaktivnom difuzijom iz plinske faze i ispitana je raspodjela spomenutih slojeva u njima. Ispitivanje je provedeno mjerenjem ispravljačkih karakteristika dioda Sb-Sb₂Se - Metal (Ga, Ag, C) koje su priredjene nakon postupka difuzije. I-V i C-V karakteristike tih dioda, te parametri koji se iz njih mogu izračunati pokazuju da difuzija daje uvijek slojeve u kojima dominiraju područja intrisičnog Sb₂Se₃ i područja Sb₂Se₃+Se. Sloj Sb₂Se₃+Sb je, bez obzira na vrijeme difuzije, vrlo tanak i tako nepogodan za istraživanje prijelaza metal-nemetal. Radi provjere ovih zaključaka provedeno je ispitivanje sastava duž uzorka pomoću elektronske sonde. Ono je kvalitativno potvrdilo rezultate električnih mjerenja. Kvantitativni rezultati se nisu mogli dobiti jer elektronski snop izaziva djelomičnu dekompoziciju uzoraka. Rad je referiran na 4. Jugoslavenskom simpoziju o fizici kondenzirane materije, Portorož, 24-28.6.1974.

3. Svojstva neuredjene podreštke bakar selenida

U suradnji s Odjelom fizike metala I nastavljeno je rendgensko istraživanje kontinuiranog faznog prijelaza kubičnog bakar selenida, započeto u prethodnom radnom periodu. Kao što je već navedeno, bakar selenid je jedan od spojeva s neuredjenom podrešetkom bakarnih iona, što znači da se oni mogu smještavati u velik broj kristalografski neekvivalentnih položaja. Raspored iona po različitim položajima mijenja se kontinuirano s temperaturom uzrokujući "anomalno" ponašanje nekih fizičkih svojstava.

U ovom je radu osobita pažnja posvećena "anomalnom" termičkom širenju rešetke za koje je definitivno utvrđeno da potiče od normalnog anharmonijskog efekta i od termičke populacije bakarnih iona u položaje manjeg efektivnog volumena. Opsežan rad o tom problemu, pod naslovom "X-ray Investigation of Copper Selenides Cu_{2-x} (2,00 ≥ 2-x ≥ 1,72) (A. Tonejc, Z. Ogorelec and B. Mestnik) predan je na ocjenu časopisu Journal

of Applied Crystallography. Rad predstavlja novi doprinos poznavanju predstavnika neuredjenih kristala s vrlo visokom kationskom difuzionom konstantom. Osim toga rad sadrži i nekoliko relevantnih podataka za konstrukciju faznog dijagrama Cu-Se sistema. Za nastavak istraživanja osposobljen je precizni dilatometar S.A.D.A.M.E.L. za rad u vakuumu i u atmosferi inertnih plinova.

Popis objavljenih radova

1. Z.Ogorelec, Ionic Switching, Solid State Comm. 14 (1974) 65-67
2. Z.Ogorelec: Ispravljanje na antimon triselenidu,
4.Jug.simpozij o fizici kondenzirane materije,
Portorož, 24-27.6.1974.

ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

ZDRAVKO BENDEKOVIĆ, dipl.ing.elekt. -viši str.sur.

Naučni suradnici:

VLATKA RADIĆ, dipl.ing.kemije - struč.suradnik
BRANKA PETRIĆ, dipl.ing.fiz. - struč.suradnik
BRANKA ŠMALJCELJ, dipl.ing.kemije - struč.suradnik
SREBRENKA URSIĆ-LOVREK, dipl.ing.elekt.-struč.sur.
MILIVOJ TURČEC, dipl.ing.elekt. - struč.sur.
ŽELJKO LATKOVIĆ, dipl.ing.elekt. - struč.sur.

Tehnički suradnici:

MILAN VUKELIĆ, viši tehničar
TOMO TELEBUH, samostalni konstruktor
MIRA RUŠNOV, kem.tehničar

Pregled istraživačkog rada

Izradjeni su diskretni tranzistori komercijalnog tipa BF 1078 tehnologijom s niskim sadržajem fosfora. Vršena su sistematika ispitivanja mjerenjem šuma uporedno na transistorima istog tipa s normalnim i niskim sadržajem fosfora. Tipične uporedne rezultate vidimo na tab.1.

Uzorak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	sred.vr.
Norm.	5,0	5,0	3,2	6,2	7,0	3,5	1,8	4,2	9,5	2,3	<u>4,67</u> dB
Niski P	1,0	1,5	1,0	1,3	2,0	1,4	1,6	1,7	1,2	1,0	<u>1,37</u> dB

Uvjeti mjerenja: $U_{CE} = 5 \text{ V}$

$R_S = 10 \text{ k ohma}$

$I_C = 0,2 \text{ mA}$

$f = 10-10000 \text{ Hz}$

Mjerni uređaj: Quantech Noise Meter

Razlika u vlastitom šumu više je nego uvjerljiva. Proces s niskim sadržajem P počeo se prije pet mjeseci primjenjivati u redovnoj proizvodnji sufinansiera zadatka RIZ-Tvornica poluvodiča. Poboljšanje šuma je toliko da se napr. navedeni tip tranzistora za koji se je ranije vršilo individualno mjerenje šuma i biranje (granica dozv.šuma $\leq 5 \text{ dB}$) sada vrši samo statističko ispitivanje proizvodne grupe. Na taj način može se garantirati uvjete s AQL manjim od 0,5%. Individualno ispitivanje šuma traje oko 20 sek/kom a oko 30% trans. je zadovoljavalo uvjete. Tako je ukupno ispitivanje iznosilo oko 60 sek. a to je više od ukupnog vremena izrade.

Radovi u 1974. bili su skoncentrirani na anizotropnom jetkanju mesa struktura na p^+ -n i n^+ -p prelazima radi izolacije elemenata. Dobiveni su dobri rezultati u selektivnom jetkanju s KOH i hidrazinom. U daljem radu u 1975. raditi će se samo s hidrazinom radi lakše kontrole homogenosti jetkanja i činjenice da hidrazin ne jetka Al, pa maska može biti bilo SiO_2 bilo Al. Slični radovi opisani su u literaturi no samo za jetkanja do dubine od cca 10 μ . Za naše svrhe potrebne dubine su od 50 do 150 μ . Pri tako dubokom selektivnom jetkanju dolazi do znatnog jetkanja po osi 211 na vrhovima mnogokuta (tupi kut površinske konture izlaže 211 ravninu).

U radovima na anizotropnom jetkanju pošlo se je od pretpostavke da se štetno jetkanje po 211 osi može smanjiti povoljnim izborom koncentracije kupke odnosno uvjeta jetkanja. Sistemska ispitivanja pokazala su da se štetno jetkanje može smanjiti u maloj mjeri povoljnijim uvjetima no da to neće biti dovoljno ako se radi o jetkanjima dubljim od cca 15 do 20 μ .

Zbog toga se je pokušalo problem riješiti na drugi način. Namjesto sprječavanja jetkanja po osi 211 pokušali smo konstruirati kompenzacionu konturu koja bi omogućila jetkanje na programiranu dubinu bez jetkanja uglova.

Prvi rezultati pokazuju da je kompenzacija moguća. Konstruirana je maska za dubinu jetkanja od 85 μ i rezultati su zadovoljavajući. U 1975. nastaviti će se radovi. Slični pristup nije opisan u literaturi koliko nam je poznato. Očekujemo da bi uspješno rješenje moglo dati velike mogućnosti u masa izolaciji elemenata snage.

Popis radova

1. V. Radić, M. Arbanas, Nova tehnologija izrade chipova za hibridne integrirane sklopove.

ETAN - SSOSD - Zbornik referata (Integrirana vezja"
Zagreb 1974, str. 241

2. B. Šmalcelj, Z. Bendeković, Problemi homogene depozicije i difuzije bora u silicij

ETAN - SSOSD - Zbornik ref. "Integrirana vezja" Zagreb,
1974, str. 241

3. E.Hasanbašić, B.Šmalcelj, Z.Bendeković, Usporedbe difuzionih profila bora i fosfora u siliciju dobivenih difuzijom iz borne i fosforne staklene faze.

ETAN - SSOSD - Referat na "Sodobna elektronika"
Ljubljana 1974.,str.211

4. Z.Grgec, Z.Bendeković, Neke prednosti i mane epitaxialnog rasta silicija iz dichlorosilana.

ETAN - SSOSD - Referat na "Sodobna elektronika"
Ljubljana 1974, str.219.

5. S.Petrić, Ispitivanje promjena svojstava uzoraka tokom tehnološkog procesa u cilju poboljšavanja proizvodnje silicijevih tranzistora.

ETAN - SSOSD Referat na "Sodobna elektronika"
Ljubljana 1974, str.19.

ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU

Pročelnik odjela:

SLAVEN BARIŠIĆ, doktor fiz.nauka - naučni suradnik,
docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu

Naučni suradnici:

ALEKSA BJELIŠ, magistar fiz.nauka - asistent
TOMISLAV IVEZIĆ, magistar fiz.nauka - asistent
STJEPAN LUGOMER, doktor fiz.nauka - asistent
STJEPAN MARČELJA, doktor fiz.nauka, docent PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu, nauč.suradnik
VELJKO ZLATIC, doktor fiz.nauka - asistent
KREŠIMIR ŠAUB, dipl.ing.fiz. - asistent
KATARINA UZELAC, dipl.ing.fiz. - asistent postd. (od 1.4.74.)
NIKOLA RADIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postd. (od 1.12.74.)

Pregled istraživačkog rada

Glavni pravci istraživanja i razvoja u toku 1974.godine
bili su:

1. Svojstva kvazi-jedno-dimenzionalnih vodiča. Fazni prijelazi u jako anizotropnim sistemima (Barišić, Bjeliš, Šaub, Uzelac)

2. Fazni prijelazi u tekućim kristalima. Uredjenje polietilenskih lanaca u tekućim kristalima i biološkim membranama. Dinamika faznih prijelaza u tekućim kristalima (Marčelja, Lugomer)

3. Problemi magnetskih nečistoća u normalnim metalima i medjumetalnim izolatorskim barijerama (Zlatic, Ivezić).

1. Jedan od bitnih parametara u modernoj teoriji faznih prijelaza je broj komponenata parametra uređenja. Pokazano je da nestabilnost kristalne rešetke obzirom na periodičnu deformaciju odgovara slučaju $n = 2$, pri čemu se samo faza parametra uređenja mijenja u prostoru⁽¹⁾. Dodatni efekti nastaju kad je valna dužina deformacije sumjerljiva s interatomsom udaljenošću. Diskutiran⁽¹⁾ je slučaj valne dužine koja iznosi dvije interatomske udaljenosti. Tada su se naime očekivali najjači efekti sumjerljivosti. Pokazano je da su dodatni efekti višeg reda, tj. slabiji, nego se dosad mislilo. Vjeruje se da se promatrana situacija odnosi na vrlo zanimljivi slučaj TTF-TCNQ spojeva, gdje odsustvo jakih efekata sumjerljivosti omogućuje visoku vodljivost.

Kvazi-jedno-dimenzionalni sistemi, na koji se odnosi gornja diskusija, sistemi su slaboo vezanih lanaca. Općenito se smatra da u potpuno nezavisnim lancima nema faznog prijelaza na konačnoj temperaturi. Uvede li se vezanje α kritična temperatura za spontanu deformaciju raste od nule. Poznato je da za $n = 1$ ona raste kao $(\ell n \alpha)^{-1}$. Argumentirano⁽²⁾ je da za $n = 2$ ona raste tek kao $\alpha^{1/2}$. K. Uzelac nastavlja razmatrati preostale probleme vezane uz taj način pristupa. Razabiremo da je vrijednost parametra vezanja α odlučna za ponašanje nekog kvazi-jednodimenzionalnog sistema. K. Šaub vrši proračun parametra u okviru modela (3). Sam model (3) potvrđen je mjerenjima na $K_2Pt(CN)_4Br_{0.3} \cdot 3H_2O$ (Renker et al., Phys. Rev. Letters, 32, 836, 1974).

Fononska dinamika u kvazi-jednodimenzionalnim sistemima vrlo je složena⁽³⁾. Međutim, prema dosadašnjim radovima izgledalo je da renormalizirani elektronski spektar ne ovisi o izboru fononske dinamike. Ta je tvrdnja kritički ispitana⁽⁴⁾ i pokazano je da pod određenim, fizički sasvim ostvarljivim uvjetima, elektronski spektar ovisi o dinamici. U radu (4) djelomično je ispitana ovisnost elektronskog spektra o prigušenju fonona. Sasvim nedavno uspjelo je A. Bjelišu naći zatvoren izraz za tu ovisnost, koji će dozvoliti još potpuniju diskusiju tog problema.

K.Uzelac provela je proračun specifične topline kvazi-jednodimenzionalnog $n = 1$ sistema, da bi ih usporedila s rezultatima mjerenja, koja su u ovom Institutu izvršili D.Djurek i K.Franulović. Na ovim će se pravcima nastaviti rad i u idućoj godini.

Treba takodjer spomenuti da je dosta doprinjeto organizaciji 2nd Regional Meeting-a of Solid State and Low Temperature Physicists, Zagreb 1974, koji je uključio i "Meeting on One Dimensional Conductors". Takodjer A.Bjeliš je uspješno obranio lijepi magistarski rad.

2. Tokom 1974. S.Marčelja je završio rad na opisu uređenja alkilnih lanaca u tekućim kristalima. Model je zatim proširen tako da opisuje i uređenje u biološkim membranama.

U nematskoj fazi tekućih kristala izračunato⁽⁵⁾ je uređenje alkilnih lanaca vezanih na kruti dio molekule. Time je napravljen bitan korak u odnosu na dosadašnje teorije, koje su molekule u nematskoj fazi opisivale kao krute štapiće ili elipsoide. Teorija je objasnila niz rezultata sakupljenih u zadnjih desetak godina, od čega je najvažnije ponašanje temperatura i entropija faznog prijelaza između izotropnog i nematskog stanja. Time je objašnjen uzrok za tzv. even-odd efekt, zbog koga temperatura i entropije prijelaza alterniraju između parnih i neparnih članova homolognih serija. Uređenje alkilnih lanaca izračunato u tome radu direktno je izmjereno i nadjeno je vrlo dobro slaganje s teorijom (J.Chavrolin, Proceedings Vth Int.Liquid Cryst.Conf., biti će publicirano u J.Phys.(Paris). Takodjer je mjerenjem provjeren još jedan rezultat teorije: promjene parametra uređenja na temperaturi prijelaza i nadjeno slaganje je vrlo dobro (A.Pines, D.J.Ruben i S.Allison, Phys.Rev.Letters, 33(1974)1002-1005).

U drugom dijelu rada⁽⁶⁾ izračunato je uređenje ugljikovodikovih lanaca koji tvore osnovnu strukturu svih bioloških membrana. Nadjeno je da se svi dosadašnji podaci mogu opisati modelom u kome se javlja nova veličina: lateralni pritisak u ravnini membrane. Lateralni pritisak određen je iz podataka eksperimenata nuklearne magnetske rezonancije, i nadjeno je odlično slaganje s direktnim mjerenjima na monomolekularnim površinskim

slojevima. Teorija uredjenja za membrane takodjer je već provjerenjena (H.Schindler i J.Seelig, Biochemistry, biti će publicirano) NMR mjerenjima na sistemu dipalmitoyl - 3 - sn - phosphatidylcholine. Nadjeno je odlično slaganje s teorijskim rezultatima.

U svom radu S.Lugomer je suradjivao s grupom Prof.R.Blinca Instituta "J.Stefan" u Ljubljani. Njegov centralni teorijski zadatak bio je ekstenzija mikroskopske Maier-Saupe teorije nematske faze na dinamički slučaj i uvodjenje rotaciono invarijantnog Hamiltonijana. Račun je izveden za "quasi-lattice" model u relaksacijskoj aproksimaciji, tj. uz pretpostavku da je imaginarni dio frekvencije normalnih moda veći od realnog, što dobro odgovara stvarnosti. Dobiveno ponašanje slično je onom u čvrstim tijelima, što se ogleda u postojanju nekoliko mekih fonona na prijelazu nematik-izotropik. Rezultati su zorno interpretirani kao dinamika elipsoida anizotropije za kojega je de Gennes pokazao da ima 5 komponenata tenzora parametra uredjenja - čemu odgovara 5 rješenja dinamičkih jednažbi (9,13).

Daljnji korak u teorijskom smislu učinjen je u pokušaju da se izvede i dinamička mikroskopska teorija smektičke faze uzimajući rotaciono i translacionu invarijantnu formu McMillanova hamiltonijana (12,13). Problem je zahvaćen u relaksacijskoj aproksimaciji.

Eksperimentalni rad obuhvaća detaljnu analizu rezultata ramanske i infracrvene spektroskopije, posebnim osvrtom na fazne prijelaze.

Na IC spektre t.kristala HOAB (diheptil-oxy-azoxy-benzen) primijenjena je korelacijska analiza s ciljem da se ustanovi kakvo je rotacijsko gibanje benzenskog prstena u pojedinim fazama t.kristala. Nadjeno je da "free rotor" model dobro odgovara stvarnosti i da benzenski prsten skokovito rotira od po 30° u smektičkoj - c, a po 60° u nematskoj i izotropnoj fazi. Korespondentna vremena rotacije τ su $\sim 10^{-12}$, što je komparabilno s rezultatima za τ benzenskog prstena običnih organskih tekućina (8,10).

Izučavanje ramsnskih spektara t.kristala, pokazalo je da se I_{tot} ponaša analogno kao omjer konstanti elastičnosti $\frac{K_{33}}{K_{11}}$ za članove homologne serije alkoksi-azoksi-benzene (ABB). Učinjena je sistematizacija za tu seriju i pokazano je da se ponašanje optičkih i elastičnih svojstava može reprezentirati jednom univerzalnom krivuljom ⁽⁷⁾.

U daljnjem izučavanju t.kristala i njihovih faznih prijelaza, počelo se je sa Brillouinovom spektroskopijom da se ustanovi kako se ponašaju akustičke eksitacije u hipersoničnom području ($\nu \geq 10^9$ Hz) u blizini prijelaza.

Cilj je da se ustanovi da li postoje anomalije u intenzitetu, širini i frekventnom pomaku Brillouinovog dubleta.

Preliminarni rezultati dobiveni u izotropnoj fazi u blizini N-1 prijelaza ne ukazuju na postojanje anomalije. Eksperimenti su još u toku.

U slijedećem periodu nastavlja se sa teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima t.kristala termotropnog i liotropnog tipa.

S obzirom na sadašnji naglasak na aplikativnom aspektu istraživanja proučavati će se mogućnosti njihove primjene u termografiji i elektronici.

Paralelno s time nastaviti će se sa proučavanjem laserske spektroskopije i njene aplikacije (za dijagnostiku atmosfere ⁽¹¹⁾, za biologiju i biofiziku). Prema mogućnostima proučavati će se propagacija laserske zrake u gustom mediju (važno za optičko komuniciranje), mogućnosti primjene lasera za razne vrste mjerenja i sl.

Svi navedeni rezultati skupljeni su u disertaciji, kojom je S.Lugomer stekao naslov doktora znanosti.

3. V.Zlatić je nastavio raditi na problemima spinskih fluktuacija (LSF) u metalnim otopinama. Izračunao je ⁽¹⁴⁾ promjenu elektronske strukture nastale otapanjem malih količina prijelaznih metala u normalnim metalima. Dobivena spektralna gustoća u skladu je s optičkim mjerenjima (Beaglehole, D. et al, 1972, J.Phys.F2, 42).

Koristeći te rezultate izračunao je transportne koeficijente Kondo sistema ⁽¹⁵⁾. Slaganje s eksperimentima je veoma dobro (Rizzuto C., 1974, Reg.Prog.Phys. 37, 147).

Koncept LSF-a objasnio je i anomalno ponašanje otpora (Coles B.R., 1974, J.Phys. F4, L61) u sistemima "prijelazni metal-prijelazni metali", te vezu transportnih koeficijenata računatih u Wolff-ovom i Andersonovom modelu ⁽¹⁶⁾.

Pojam LSF-a ušao je u modu i kod opisivanja kompliciranih sistema kao što su aktinidi. (Brodsky, 1974, Phys.Rev. B9, 1381) diskutira svoje rezultate na temelju teorije koju su razvili Rivier i Zlatić. Dobivanje strogih kvantitativnih rezultata jedan je od problema na kojima se sada radi.

Početkom godine V.Zlatić je obranio svoju disertaciju na Imperial College-u u Londonu. Tbkom 1974. proveo je tri mjeseca kao gost Instituta za teorijsku fiziku u Genovi.

Najveći dio svog vremena u proteklom periodu T.Ivezić proveo je u "Central Institute of Physics" u Budimpešti, gdje je radio na problemu tuneliranja kroz metal-izolator-metal kontakte. Za to vrijeme završio je glavni dio rada oko primjene Nozieresove opće teorije za metal-izolator-metal kontakte na slučaj kontakata sa magnetskim primjesama u izolatoru ili u metalima. Prvi dio tog rada - opća teorija (perturbacioni račun) je sadržan u članku "The Hopping Model of Zero Bias Tunneling Anomalies" - T.Ivezić, koji će biti poslan u "Journal of Physics C: Solid State Physics. U tom dijelu, primjenom općeg modela koji je razvila Nozieresova grupa, objašnjene su anomalije u I-V karakteristikama metal-metalni oksid-metal tunelnih kontakata sa magnetskim nečistoćama u barijeri ili u elektrodama. Razjašnjena je kontradikcija između ranijih teorija Solyom-Zawadowskog i Appelbauma. Te teorije su različiti granični slučajevi opće teorije koju je konstruirao T.Ivezić. Zapaženo je također da obje teorije koriste tehniku primjenjivu za ravnotežne procese za jedan od samog početka neravnotežni proces. Posebna pažnja posvećena je istraživanju ovisnosti vodljivosti o položaju nečistoće. Rezultati su u saglasnosti s eksperimentalnim podacima.

Ta usporedba s eksperimentalnim rezultatima provedena je u drugom i trećem dijelu ovog rada, koji će pod naslovima "The Hopping Model of Zero Bias Tunneling Anomalies - Magnetic Field" i "The Hopping Model Non-perturbative Calculation", također biti poslani u "Journal of Physics C".

U slijedećem periodu T. Ivezio namjerava primijeniti ovu tehniku na još neke kontakte - posebno kontakte s poluvođičima, a također i na površinske fenomene.

Popis radova

- 1) S. Barišić, Some Aspects of the Electron-Phonon Coupling in Quasi-One-Dimensional Systems, Proceedings of the Meeting on Quasi-One-Dimensional Conductors, Saarbrücken 1974, Springer Ver. (1974)
- 2) S. Barišić and K. Uzelac, $d \rightarrow d'$ Crossover in the Anisotropic Free Bose Gas, Journ. Phys. (Paris), u tisku.
- 3) A. Bjeliš, K. Šaub and S. Barišić, Dynamical Properties of the Quasi-One-Dimensional Electron-Phonon Systems, Il Nuovo Cimento, 23B (1974) 102-123.
- 4) A. Bjeliš and S. Barišić, Electron Spectrum of Quasi-One-Dimensional Electron-Phonon Systems, poslano u Phys. Rev. B.
A. Bjeliš, Dinamičke osobine kvazi-jednodimenzionalnih elektron-fonon sistema, magistarski rad, Zagreb, 1974.
- 5) S. Marčelja, Chain ordering in liquid crystals, I. Even-odd effect, The Journ. of Chemical Phys. 60 (1974) 3599-3604.
- 6) S. Marčelja, Chain Ordering in Liquid Crystals II. Structure of Bilayer Membranes, Biochim, et Biophysics Acta 367 (1974) 165-176.
- 7) S. Lugomer, B. Lavrenčić, Raman Spectroscopy and Elastic Properties of Liquid Crystals, Solid State Comm. 15 (1974), 177-179.
- 8) S. Lugomer, Ir Correlation Function Analysis of Benzene Ring Rotations in Liquid Crystals, Fizika 6 (1974) 1-7.

- 9) R.Blinc, S.Lugomer and B.Žekš, Soft-mode dynamics in nematic liquid crystals, *Physical Review A*, 9, (1974) 2214-2219.
- 10) S.Lugomer, On the Benzene Ring Rotations in Liquid Crystals, *Mol.Cryst.Liquid Crystals*, u tisku.
- 11) S.Lugomer i M.Stipančić, Dijagnostika Atmosfere pomoću laserske spektroskopije, *Elektrotehnika*, u tisku.
- 12) R.B-linc, S.Lugomer and B.Žekš, Order Parameter Dynamics of Smectic a Systems, Vth Intern.Liquid Crystal Conf., June 17-21, 1974. Stockholm.
- 13) S.Lugomer, Dinamička svojstva tekućih kristala, Disertacija Zagreb, 1974.
- 14) V.Zlatic, G.Grüner and N.Rivier, Model Calculation of the Density of States of Dilute Alloys, *Solid State Comm.*, 14, (1974) 639-643.
- 15) V.Zlatic and N.Rivier, Low temperature TEP of Al-3d alloys, *J.Phys.F: Metal Phys.* 4 (1974), 732-40.
- 16) V.Zlatic, Relationship between the transport properties of Kondo and Coles Alloys, poslano u časopis *J.Phys.F*.
- 17) V.Zlatic, Transport properties of dilute alloys, Disertacija, London 1974.

Sudjelovanje na konferencijama

- 1) S.Barišić, Meeting on One-Dimensional Magnetic and Conducting Systems, Grenoble 1974, pozvano predavanje.
- 2) S.Barišić, Rencontre Franco-Sovietique Saclay 1974, pozv. predavanje.
- 3) S.Barišić, Meeting on One-Dimensional Conductors, Saarbrücken 1974, pozvano predavanje.
- 4) S.Barišić, Meeting on One-Dimensional Conductors Zagreb, 1974.

- 5) A.Bjeliš, Meeting on One-Dimensional Conductors Zagreb, 1974.
6. S.Barišić, 4.Jugoslavenski simpozij o fizici kondenzirane materije, Portorož, 1974, uvodno predavanje.
7. A.Bjeliš, 4.Jug.simpozij o fizici kondenzirane materije, Portorož, 1974, uvodno predavanje.
8. S.Marčelja, 4.Jugosl.simp. o fizici kondenz.materije, Portorož, 1974., uvodno predavanje.
9. S.Marčelja, International Summer School on Liquid Crystals, Portorož, 1974. predavanja.
10. S.Marčelja, Jug.škola iz strukturne biofizike, Novi Sad, 1974., predavanja.
11. S.Marčelja, 5th International Liquid Crystal Conference, Stockholm, 1974.
12. S.Lugomer, 4.Jugosl.simp. o fizici kondenzirane materije, Portorož, 1974.
13. V.Zlatić, 4.Jugosl.simp. o fizici kondenzirane materije, Portorož, 1974.

IV TAJNIŠTVO

Tajništvo obavlja sve administrativne, financijske, materijalne, tehničke i razne pomoćne poslove Instituta.

Tajnik:

Dr. JOSIP MAKVIĆ, dipl. pravnik 1 (1)

Struktura i sastav:

- Služba općih poslova
- Služba računovodstva
- Nabavno-skladišna služba
- Radionica
- Knjižnica

Brojno stanje na dan 31.XII 1974.

- | | |
|----------------------------|-------|
| - služba općih poslova | 6 |
| - služba računovodstva | 2 |
| - nabavno-skladišna služba | 2 |
| - radionica | 3 (1) |
| - knjižnica | 1 |

Brojevi u zagradi označuju broj radnika od ukupnog broja koji rade s radnim vremenom kraćim od punog radnog vremena.

Program znanstvenog rada Instituta u 1974. godini financirali su:

a) Financiranje znanstvenog programa od Republičkog fonda za naučni rad SRH za ugovorne znanstv.zadatke i stipendije i 50% za ugov.za rad pod b)	2,948.389,00
b) Za ugovoreni znanstveno istraživački zadatak sa Saveznim zavodom za međjun. tehn.suradnju	304.000,00
c) Financ.učešće RIZ - Tvorn.poluvodiča, za znanstveno istraživački zadatak ugovoren sa Republičkim fondom za naučni rad SRH	185.192,00
d) Sufinanciranje znanstvenog programa od Sveučilišta u Zagrebu	855.988,00
<u>SVEUKUPNO</u>	<u>4,293.569,00</u>