

IZVJEŠTAJ O RADU  
INSTITUTA ZA FIZIKU SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAGREB  
1.I - 31.XII 1971.

## S A D R Ź A J

Strana

I	U V O D	1
II	ORGANI UPRAVLJANJA I IZVRŠNI ORGANI INSTITUTA	3
	Radna zajednica	3
	Upravni odbor	3
	Naučno vijeće	4
III	IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA	5
	ODJEL FIZIKE METALA I	5
	Pregled istraživačkog programa	5
	Rezultati istraživačkog rada	6
	Popis radova	9
	ODJEL FIZIKE METALA II	11
	Pregled istraživačkog programa	11
	Rezultati istraživačkog rada	12
	Zaključak	14
	Popis radova	15
	ODJEL OPTIČKIH SVOJSTAVA KRISTALA	17
	Pregled istraživačkog programa	17
	Popis radova	18
	ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA	19
	Pregled istraživačkog programa	19
	Rezultati istraživačkog rada	20
	Popis radova	23
	ODJEL FIZIKE POLUVODIČA	25
	Pregled istraživačkog programa	25
	Rezultati istraživačkog rada	25
	Popis radova	28
	ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA	30
	Pregled istraživačkog programa	30
	Rezultati istraživačkog rada	31
	Popis radova	38
	ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU	39
	Pregled istraživačkog programa	39
	TAJNIŠTVO	44

## I U V O D

Institut za fiziku Sveučilišta bavi se istraživanjima na području fizike čvrstog stanja i jednim manjim dijelom fizike ioniziranih plinova. U njemu rade naučni radnici od kojih neki vrše također dužnost nastavnika iz fizike na nekoliko fakulteta našeg Sveučilišta i jednoj visokoj školi. Nekoliko suradnika stalno su namješteni kao istraživački radnici u industriji, a ima suradnika koji rade i žive izvan Zagreba. Institut je otvoren, dakle svim naučnim radnicima koji su kompetentni da vrše naučni rad prema usvojenim standardima i kriterijima. Ovi kriteriji su ekvivalentni onima koji vladaju u ostalim sličnim institutima u svijetu. Naš cilj je da ove kriterije podržavamo i da stalno poboljšavamo kvalitetu i količinu naučnih rezultata.

No naučni rezultati korisni su društvu samo onda ako postoji mehanizam kojim se osigurava dostupnost ovih naučnih tekovina privredi i društvu uopće. Jedan od Odjela našeg instituta, Odjel primijenjene fizike poluvodiča, ima baš tu svrhu da tekovine istraživanja u fizici čvrstog stanja realizira u obliku praktičnih elemenata koji služe u suvremenoj elektronici. Rezultati ovog rada pokazali su se do sada vrlo dobri i biti će, nadamo se, sve bolji.

Rezultati naših napora u protekloj godini govore sami za sebe što se može vidjeti iz sadržaja ovog izvještaja. Institut se koristio posjetama brojnih stručnjaka iz nekoliko svjetskih ustanova da proširi naučnu i stručnu informiranost svojih članova, te da ostvari suradnju s matičnim ustanovama posjetilaca. Aktivna suradnja u naučnom radu ostvarena je sa institutima u zemlji; Beogradu, Ljubljani i Sarajevu, kao i ustanovama izvan zemlje, naročito onima u Genovi, Londonu, Budimpešti, Nottinghamu i Rochesteru (SAD). Neke naučne publikacije ostvarene su u zajednici s ovim ustanovama.

Da bi se istraživački rad mogao održati na razini koja mu osigurava naučnu aktuelnost potrebna su izvjesna finansijska sredstva koja se ne mogu reducirati ispod određenog iznosa. Budući da su sredstva koje naše društvo može odvojiti za naučni rad ograničena, bitno je da također i ograničimo i područje naših aktivnosti, ali da onda na tom odabranom području budemo dobri. Ograničenost sredstava, dakle, ne opravdava loš rad ona samo uslovljava redukciju područja naučne aktivnosti. Baš zbog toga i naš Institut ograničio je svoje područje rada gotovo isključivo na fiziku čvrstog stanja, jer smatramo da je ona vrlo relevantna za tehnološki razvitak našeg društva.

Ovo međutim ne znači da smo zadovoljni količinom sredstava koja su namijenjena naučnom radu. Naprotiv, poznato je da većina zemalja odvajaju daleko veći procenat svog nacionalnog dohotka nego što je praksa kod nas. Ova pojava nepovoljno djeluje na naš tehnološki razvoj, stoga moramo svi kolektivno nastojati da se to stanje poboljša.

## II. ORGAN UPRAVLJANJA I IZVRŠNI ORGANI INSTITUTA

Organ upravljanja u Institutu je Radna zajednica, a izvršni organi su: Upravni odbor, Naučno vijeće i direktor.

### RADNA ZAJEDNICA

#### Predsjednik Radne zajednice:

SAFTIĆ BRANIMIR, dipl.ing.fiz. - viši stručni suradnik.

#### Imenovani članovi Radne zajednice:

Dr. GAJO ALAGA, redovni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - predstavnik Sveučilišta u Zagrebu.

Dr KSENOFONT ILAKOVAC, redovni profesor Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu - predstavnik Sveučilišta u Zagrebu.

Dr JANKO HERAK, naučni suradnik Instituta "Ruđer Bošković" - predstavnik Sveučilišta u Zagrebu.

Dr VLADIMIR MATKOVIĆ, redovni profesor Saobraćajnog studija pri Građevinskom fakultetu u Zagrebu - predstavnik Sveučilišta u Zagrebu.

### UPRAVNI ODBOR

Sastav Upravnog odbora do 24.III 1971.

#### Predsjednik Upravnog odbora

BRANIMIR SAFTIĆ, dipl.ing.fizike - viši stručni suradnik u Odjelu primijenjene fizike poluvodiča.

#### Članovi Upravnog odbora:

1. KREŠIMIR ACINGER, magistar fizike - stručni suradnik u Odjelu fizike ioniziranih plinova.
2. EMIL BABIĆ, dipl.ing.fizike - asistent u Odjelu fizike metala II.
3. Dr ANTUN BONEFAČIĆ, viši naučni suradnik - pročelnik Odjela fizike metala I
4. ANKICA KIRIN, magister fizike, asistent u Odjelu fizike metala I
5. Dr BORAN LEONTIĆ, naučni savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala II i direktor Instituta

Sastav Upravnog odbora od 25.III 1971.Predsjednik Upravnog odbora:

Dr JASNA BATURIĆ-RUBČIĆ, viši asistent u Odjelu primijenjene fizike poluvodiča

Članovi Upravnog odbora:

1. Dr DRAGUTIN MILER, viši asistent u Odjelu fizike ioniziranih plinova
2. TOMISLAV NOVAK, rukovodilac nabave i skladišta
3. ANKICA KIRIN, magistar fizike, asistent u Odjelu fizike metala I
4. RUDOLF KRSNIK, magistar fizike, asistent u Odjelu fizike metala II
5. Dr BORAN LEONTIĆ, naučni savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala II i direktor Instituta

Zamjenici članova Upravnog odbora:

1. Dr KATARINA KRANJC, viši naučni suradnik u Odjelu fizike metala I
2. ANTON TONEJC, magistar fizike, asistent u Odjelu fizike metala I

## NAUČNO VIJEĆE INSTITUTA

Članovi naučnog vijeća:

1. Dr SLAVEN BARIŠIĆ, naučni suradnik - pročelnik Odjela teorijske fizike
2. ZDRAVKO BENDEKOVIĆ, dipl.ing.elektrotehn. viši stručni suradnik i pročelnik Odjela primijenjene fizike poluvodiča
3. Dr ANTUN BONEFAČIĆ, viši naučni suradnik i pročelnik Odjela fizike metala I
4. Dr BORAN LEONTIĆ, naučni savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala II i direktor Instituta
5. Dr ZVONIMIR OGORELEC, naučni suradnik i pročelnik Odjela fizike poluvodiča
6. Dr MLADEN PAIĆ, naučni savjetnik i pročelnik Odjela optička svojstva kristala
7. Dr VLADIS VUJNOVIĆ, naučni suradnik i pročelnik Odjela fizike ioniziranih plinova

### 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 naučni surad.

DAVOR DUŽEVIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

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

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

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

ANTON TONEJC, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveuči-  
lišta u Zagrebu - asistent

VJEKOSLAV FRANETOVIĆ, dipl.ing.fiz., asistent-postdiplomand  
od 15.XI 1971.

DUBRAVKA ROČAK, dipl.ing.fiz., asistent Medicinskog fakul-  
teta u Zagrebu - asistent

##### Tehnički suradnici:

VILIM LEPČIN, viši tehničar

DARINKA ŠTOKIĆ, tehničar

#### 1. Pregled istraživačkog programa

Tijekom 1971.godine vršena su u Odjelu za fiziku metala I  
istraživanja kristalografskih svojstava metastabilnih slitina.

Istraživanja se mogu podijeliti na ova uža područja:

- a) strukturna svojstva metastabilnih slitina
- b) morfološka svojstva metastabilnih slitina
- c) uspoređivanje fizičkih svojstava klasično kaljenih  
i ultrabrzo kaljenih slitina

## 2. Rezultati istraživačkog rada

### 2.1. Istraživanje strukturnih svojstava metastabilnih slitina

Nastavljen je rad na istraživanju topivosti prijelaznih metala u aluminiju, specijalno na sistemima Al-Fe, Al-Ni te Al-W brzo kaljenim iz taljevine. Posebna pažnja posvećena je proučavanju stabilnosti faza u tim sistemima, te faznim promjenama. Utvrđeno je da se raspad tih čvrstih otopina odvija preko metastabilnih faza. Tako se u sistemu Al-Fe javlja metastabilna  $Al_6Fe$  faza, u sistemu Al-Ni  $\gamma$  faza i u sistemu Al-W metastabilne  $\beta'$  i  $\beta$  faze. Za  $\gamma$ ,  $\beta'$  i  $\beta$  faze, koje dosad nisu bile poznate, podređeni su parametri rešetki. Utvrđeno je da  $\gamma$ -faza ima ortorompsku,  $\beta'$  kubičnu a  $\beta$  heksagonsku rešetku.

Mjerena je mikrotvrdoća na Al-Ni, Al-Fe i Al-Sn sistemima. Mjerenja mikrotvrdoće praćena su rendgenskim mjerenjima i mjerenjima na elektronskom mikroskopu. Po uočenim transformacijama zaključeno je da postoji jaka veza atoma kositra i praznina. Ustanovljena je i jaka interakcija dislokacija s precipitatima Sn, što je, kvalitativno, povezano s promjenom mikrotvrdoće u procesu raspadanja čvrste otopine Al-Sn. Nastavlja se rad na povezivanju povećanja tvrdoće s mjerenjima distorzije rešetke prouzrokovane kaljenjem, te segregacije otopljenih atoma tijekom popuštanja.

Raspad čvrstih otopina je kvantitativno povezan s procesom difuzije. Izračunate su aktivacione energije volumne difuzije atoma željeza i nikla u aluminiju na temelju vremena potrebnog da se parametar rešetki čvrstih otopina promijeni u odnosu na zakaljenu vrijednost.

### 2.2. Istraživanje morfoloških svojstava metastabilnih slitina

Nastavljen je rad na proučavanju proširenja difrakcijskog profila linija čistog aluminija, te slitina Al-Ni i Al-Sn, kaljenih metodom "dvaju klipova" iz taljevine. Difrakcijski maksimumi snimani su scintilacionim brojačem, a "instrumentalno širenje" korigirano je Stokesovom metodom. Kod uzoraka čistog



aluminija zaključeno je analizom Fourierovih koeficijenata da je širenje prouzrokovano distorzijom rešetke, a ne veličinom zrna niti pogreškama u slaganju.

Elektronski mikroskop (Philips EM 300 G) je opremljen za kvantitativna mjerenja. Izvršena su složena baždarenja koja omogućavaju primjenu kvantitativne elektronske mikroskopije. U sklopu kompleksnijeg istraživanja ispitana je priroda dislokacijskih petlji u čistom aluminiju kaljenom iz taljevine. Naime, dislokacijske petlje mogu ali ne moraju sadržavati pogreške u slaganju, što se odražava na mehanička i električna svojstva uzoraka. Kako su, nakon kaljenja te petlje vrlo male (cca  $50 \text{ \AA}$  u promjeru) nije moguće direktno vidjeti da li sadržavaju pogrešku slaganja ili ne (zbog ograničenog razlučivanja defekata), tako da je moguća samo indirektna metoda razlikovanja, prema smjeru Burgersovog vektora petlje. Prema izvršenim mjerenjima petlje ne bi smjele sadržavati pogreške slaganja, što je u skladu s ispitivanjima metodom rendgenske difrakcije. Rezidualne napetosti prouzrokovane dislokacijama izračunane na temelju elektronsko-mikroskopskih mjerenja istog su reda veličine, kao i one dobivene rendgenskim mjerenjima.

Transmisionom elektronskom mikroskopijom ustanovljeno je da je distribucija veličine zrna približno ista kod svih brzo kaljenih uzoraka čistog aluminija, da zadovoljava Poissonovu razdiobu, te da prosječni dijametar zrna iznosi  $0,25 \mu\text{m}$ . Zrna na rubu uzoraka su manja u odnosu na zrna bliže centru, vjerojatno zbog toga što su bolje hlađena, jer je uzorak na krajevima tanji nego u sredini.

Elektronskim mikroskopom vršena su također ispitivanja slitine Al-Ni, koja je dobivena napanjanjem na hladnu podlogu. Tijekom popuštanja te slitine utvrđene su neke fazne promjene, koje se još ispituju.

### 2.3. Uspoređivanje fizičkih svojstava klasično kaljenih i ultrabrzo kaljenih slitina

Nastavljeno je istraživanje procesa dozrijevanja prezasićenih čvrstih otopina srebra u aluminiju, dobivenih kalje-

njem iz čvrstog i tekućeg stanja.

Daljnje snimanje uzoraka tijekom popuštanja metodom Debye-Scherrera, uz jako duge ekspozicije i pažljivo mjerenje položaja linija, pokazalo je da je prva faza koja se javlja u ultrabrzo kaljenim uzorcima stabilna  $\beta$  faza, a ne  $\beta'$  faza, kako se očekivalo na osnovi podataka o normalno kaljenim uzorcima. Količina stabilne faze raste tijekom popuštanja i  $\beta$  faza je posve jasno izražena u rendgenogramima kad se jave prvi tragovi metastabilne  $\beta'$  faze. Pretpostavljamo da se rana pojava  $\beta'$  faze može pripisati činjenici da u sitno-zrnatim, ultrabrzo kaljenim, uzorcima postoji velika površina granica zrna koja je povoljna za izlučivanje nekoherentnog stabilnog precipitata.

Metastabilna  $\beta'$  faza javlja se s oštrim hk.0 linijama i difuznim hk.l linijama, što ukazuje na oblik vrlo tankih pločica. U planu je elektronsko-mikroskopsko istraživanje uzoraka, da bi se neovisnom direktnom metodom potvrdili nađeni rezultati.

Posljednjih godina izgrađena je teorija spinodalne dekompozicije u nekim čvrstim otopinama i pokazane su mogućnosti istraživanja tog procesa metodom centralnog raspršenja rendgenskih zraka. Dosadašnja istraživanja sistema Al-Ag nisu još dala određen odgovor da li zone rastu tim mehanizmom. Stoga smo izvršili analizu naših rendgenograma, na kojima smo već imali registrirano raspršenje na zonama. Rezultati dobiveni na dva uzorka, izotermički popuštanja kod  $140^{\circ}\text{C}$ , konzistentni su utoliko što pokazuju da eksperiment ne odgovara teoriji o spinodalnoj dekompoziciji u početnim stadijima. Vjerojatno su zone, već u prvom satu popuštanja, dospjele u stadij daljnjeg rasta koalescencijom, a ne spinodalno. Trebalo je preći na kraće vrijeme grijanja, što dovodi i do manje promjene intenziteta raspršenih rendgenskih zraka, a u takvom slučaju registriranje intenziteta filmskom tehnikom nije dovoljno točno. Zbog toga smo prešli na mjerenje intenziteta brojačkom tehnikom, upotrijebivši Guinier-Lavelut komoru. Izvršeno je mjerenje intenziteta kod različitih kuteva na sistemu Al-4,5 at.%Ag <sup>tijekom</sup> izotermičkog dozrijevanja kod  $100^{\circ}\text{C}$ , na ultrabrzo kaljenim uzorcima.

Ovim eksperimentom utvrdili smo da interdifuzijski koeficijent za sistem aluminij-srebro iznosi  $8,6 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Dublja interpretacija ovog i drugih dosad dobivenih podataka bit će moguća tek nakon više eksperimenata, koji su prekinuti zbog podešavanja nove Guinier-Levelut komore s boljim svojstvima.

### 3. Popis radova

#### 3.1. Publicirani radovi

1. A.Tonejo, D.Ročak and A.Bonefađić, Mechanical and structural properties of Al-Ni alloys rapidly quenched from the melt, Acta Met.(1971) 19,311.
2. A.Tonejo, X-ray study of the decomposition of metastable Al-rich Al-Fe solid solutions, Met.Trans.(1971) 2,437.

#### 3.2. Radovi primljeni za štampu

1. K.Kranjc and T.Tisak, Crystallographic features of lead dendrites grown by electrolysis, J.Appl.Cryst.
2. A.Tonejo, Phase Transformations in Al-rich Al-W Alloys rapidly quenched from the Melt., J.Mat.Sci.

#### 3.3. Radovi iznijeti na konferencijama

1. A.Bonefađić, A.Kirin and D.Kunstelj, X-ray and electron microscopic study of aluminium quenched from the liquid state, First European Conf.on the Phys.of Condensed Matter, Florence, 14-17.Sept.1971.
2. K.Kranjc and M.Stubičar, X-ray diffraction study of ageing of aluminium silver alloys quenched from the liquid state, First European Conf.on the Phys.of Condensed Matter, Florence, 14-17 Sept.1971.

3. A.Tonejo, Phase transformation in Al-W alloys very rapidly quenched from the melt, First European Conf.on the Phys. of Condensed Matter, Florence, 14-17 Sept.1971.
4. A.Bonefađić, Kristalogradska svojstva metala i slitina kaljenih iz taljevine (uvodno predavanje), VI.Konf.Jugosl.centra za kristalografiju, Zenica, 4. i 5.XI 1971.
5. K.Kranjc i M.Stubičar, Rendgensko istraživanje spinodalne dekompozicije u ultrabrzo kaljenom sistemu Al-16 tež.% Ag., VI.Konf.Jugosl.centra za kristal.,Zenica, 4. i 5.XI 1971.
6. M.Stubičar i K.Kranjc, Istraživanje kinetike rasta GP zona u toku dozrijevanja slitine Al-16 tež.% Ag dobivene kaljenjem iz tekućeg stanja, VI.Konf.Jugosl.centra za kristalografiju, Zenica, 4. i 5.XI 1971.
7. A.Tonejo, Nove faze u sistemu Al-W, VI.Konf.Jugosl.centra za kristalografiju, Zenica, 4. i 5.XI 1971.
8. D.Kunstelj, D.Pivao i M.Stubičar, Ispitivanje mikrostrukture superzasićene čvrste otopine Al-0.26 at% Sn u procesu izohronog popuštanja, Ljetna Škola, Herceg Novi 30.VIII - 4.IX 1971.
9. M.Stubičar i K.Kranjc, Istraživanja procesa dozrijevanja u slitinama Al-Ag kaljenim iz čvrstog i tekućeg stanja, Ljetna škola, Herceg Novi, 30.VIII do 4.IX 1971.

## ODJEL FIZIKE METALA II

Pročelnik odjela:

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

Naučni suradnici:

RUDOLF KRŠNIK, magistar fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent  
EMIL BABIĆ, dipl.ing.fizike, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent  
DANIJEL ĐUREK, magistar fiz.nauka - asistent  
IGOR ZORIĆ, dipl.ing.fizike, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - asistent postdipl.  
ZLATKO VUČIĆ, dipl.ing.fizike - asistent postdipl.  
SREBRENKA MARČIĆ, dipl.ing.fiz.- asistent postdipl.  
MIROSLAV OČKO, dipl.ing.fiz. - asistent postdipl.  
EGVIN GIRT, magister fiz.nauka - asistent volonter  
JAGODA LUKATELA, dipl.ing.fiz. - asistent postdipl.

Tehnički suradnik:

MILAN SERTIĆ, samostalni tehničar

1. Pregled istraživačkog programa

Odjel se bavi istraživanjem električnih i magnetskih svojstava metala i legura na niskim i normalnim temperaturama. Posebno u okviru ovog istraživačkog programa Odjel je bio aktivan na ovim područjima rada:

- a) Rezistometrijska mjerenja faznih prelaza metastabilnih legura aluminijska s 3-d prelaznim metalima
- b) Proučavanje mikrotvrdoće sistema Al- (3d prelazni metali)
- c) Proučavanje električnih i supervodljivih svojstava Al i Zn (3d - prelazni metali) sistema naročito onih koji pokazuju svojstva na granici između magnetskih i nemagnetskih
- d) Mjerenje termostruja na sistemima Al i Zn - (3d prelazni metali)
- e) Ispitivanje supervodljivih svojstava sistema metal - vodik
- f) Daljnje razvijanje tehnike ultrabrzog kalenja pomoću rotirajućih površina
- g) Razvijanje tehnike mjerenja specifičnog termičkog kapaciteta vrlo malih uzoraka na niskim temperaturama pomoću izotermne kalorimetrije
- h) Razvijanje tehnike niskih temperatura posebno konstrukcije He<sub>3</sub> - kriostata.

## 2. Rezultati istraživačkog rada

Veliki interes u teoriji metala predstavljaju relativno razrijeđene legure prelaznih metala u matrici tzv. plemenitih metala. Od naročitog interesa su oni sistemi koji po svojim svojstvima leže negdje između magnetskih i nemagnetskih legura. Ovo područje se naziva područjem lokaliziranih spinskih fluktuacija. Zbog svojih posebnih elektronskih svojstava legure aluminijska s 3d- prelaznim metalima tvore baš ovakove sisteme.

No topivost prelaznih metala u aluminiju je vrlo slaba pa su baš ovakovi sistemi do sada bili relativno slabo istraženi. Međutim razvojem tehnike ultrabrzog kalenja pomoću rotirajućih površina koje je ovaj odjel razvio, stvorile su se mogućnosti dobivanja pomenutih sistema u metastabilnom obliku kao prave otopine. Dobiveni su uzorci relativno visokih koncentracija.

Već prva mjerenja sistema Al-Mn pokazala su postojanje stanja koje je bilo slično magnetskome no koje se u mnogim detaljima

od tog stanja razlikovalo. Posebno pokazalo se da otpor na nižim temperaturama pada s temperaturom ali linearno što se razlikuje od tzv. Kondovog ponašanja tipičnih magnetskih sistema. Brojna daljnja mjerenja na raznim sistemima Al- (3d prelazni metali) pokazala su da ovdje imamo ponašanje koje se najbolje daje opisati modelom lokaliziranih spinskih fluktuacija, što je doprinijelo mnogo široj aktivnosti teorijskih fizičara na tom polju. Šira analiza ponašanja ovih sistema pokazala je da se oni ponašaju na višim temperaturama slično kao što se plemeniti metali s 3d-nečistoćama (npr. Cu - (3d prelazni metali) ponašaju na niskim temperaturama. Mjerenja supervodljivih svojstava ovih sistema omogućila su usporedbu s postojećim teoretskim modelima i doprinijela razjašnjenju mnogih pitanja na ovom polju.

Budući da mjerenje termostruja predstavlja još jednu metodu istraživanja elektronskih osobina legure i utjecaja nečistoća na te osobine prišlo se izradi uređaja za mjerenje termostruja i započet je obimni program na tom sektoru. I ovdje kao i na gore pomenutom sektoru rad se nastavlja.

Koncem godine odjel je također započeo proučavanje devijacija od Matthiessenovog pravila kod pomenutih sistema. Ovo proučavanje daje nam, između ostalog i uvid u neelastične procese raspršenja elektrona što je od velikog interesa za detaljno razumijevanje elektronskih procesa u metalima.

Rad na sistemu Ta-H nastavljen je i završena je prva serija mjerenja. Dobiveni rezultati pokazali su da za vrlo male koncentracije vodika dolazi do povećanja kritične temperature supervodljivog prelaza dok kod većih koncentracija dolazi do pada ove kritične temperature uslijed promjene kristalne strukture sistema. Načinjene su pripreme za tačnija mjerenja no zbog pomanjkanja termometrijskih elemenata koji tokom 1971. nisu još bili stigli nije bilo moguće realizirati ova novija mjerenja.

Koncem godine započeto je sistematsko proučavanje mikrotvrdoće cijelog područja legura Al- (3d-tranzicioni metali). Prvi rezultati su pokazali sistematsku ovisnost mikrotvrdoće o topivosti prelaznog metala u aluminiju. I ovaj rad se nastavlja.

Znatan napredak postignut je u radu na izotermnoj kalorimetriji. Uspješno su izvršena mjerenja specifičnih toplina nekih malih uzoraka poznatih osebina u svrhu kalibracije i iskušavanja aparature. Koncem godine vršene su pripreme da se ova aparatura i principi mjerenja upotrebe za mjerenje topline faznih prelaza.

Rad na novom mlinu za kalenje počeo je krajem godine i do kraja decembra izrađeni su gotovo svi elementi. Glavno poboljšanje obzirom na stari sistem trebalo bi biti brže kalenje zbog upotrebe bakrenih površina.

Rad na He-3 kriostatu nastavljen je no zbog tehničkih poteškoća ovdje je došlo do povremenih zastoja. Ovaj projekt treba biti završen u 1972. godini.

### 3. Zaključak

Kao najvažnije među naučnim rezultatima možemo spomenuti one dobivene rezistometrijskom analizom sistema Al- (3d tranzicijski metalni) gdje je pojava lokaliziranih spinskih fluktuacija proučena i kvantitativno obrađena. Ovi eksperimentalni rezultati dobiveni po prvi put izazvali su velik interes kod teorijskih fizičara te doveli do mnogih novih teorijskih radova.

Pokazalo se između ostalog da tradicionalni Kondo efekt i pojava L.S.F. moraju biti opisani jedinstvenim mehanizmom. No u isto vrijeme postalo je očito i to da je objašnjenje mehanizama lokaliziranih magnetskih momenata i spinskih fluktuacija zahtjeva znatno kompleksnije i abstraktnije modele. Ovaj rad se nastavlja i teško je u ovom času reći kakvi će biti konačni zaključci. Mjerenja termostruja i rad na devijaciji od Matthiessenovog pravila predstavljaju samo komplement onog napora da se opisani problemi riješe. U godini 1972. biti će realizirani uvjeti za daljnje proširenje ovog rada uvođenjem metode mjerenja magnetske susceptibilnosti pomoću Cahn-ove vage.

Rad na mikrotvrdoći doveo je do spoznaje da ova makroskopska metoda ima potencijalnu primjenu u istraživanjima mikroskopskih osebina sistema, no potrebno je realizirati uređaje za mjerenja na niskim temperaturama što se sada razmatra.



Rezultati rada na izotermnoj kalorimetriji vrlo su ohrabrujući i postoje uvjeti da se ovom metodom postignu važni prodori na polju vrlo osjetljivih pojava.

Suradnja grupe s drugim laboratorijima naročito s onim u Genovi, u Londonu (Imperial College) i u Budimpešti nastavljena je i urodila je vrlo korisnim rezultatima. Posebno je od interesa napomenuti da je s Genovom publicirano ili dato u štampu pet radova.

Grupa je učestvovala na dvije internacionalne konferencije i jednoj ljetnoj školi što se vidi iz priloženog spiska referata.

#### 4. Popis radova

##### 4.1. Publicirani radovi

1. E.Babić, C.Rizzuto, E.Salamoni, Superconducting transition measurement on supersaturated alloys of iron in aluminium, Journal of Phys.F.1, 13(1971).
2. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić and I.Zorić and C.Rizzuto, High temperature Spin Fluctuation Resistivity in Al Mn, Phys.Rev.Letters, 27, No.12(1971).
3. E.Babić, B.Leontić and M.Vukelić, A Thyristor Device for Pulse Spot-Welding of thin Wires and Foils, Journal of Physics E, Vol.4, p.382(1970).
4. E.Babić, R.Krsnik, D.Kunstelj, B.Leontić, M.Miljak and I.Zorić, Annealing Studies of vapour Quenched AlSn Films, Fizika Vol.3, No.3, 147(1971).

##### 4.2. Radovi iznijeti na konferencijama

1. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić, I.Zorić and C.Rizzuto, Spin Resistivity in AlMn Alloys, Conference on the Electric and Magnetic Properties of Dilute Alloys, Sept.20-24.1971, Tihany (Mađarska).
2. B.Leontić: Metalni sistemi dobiveni kaljenjem iz rastopa, njihova električna svojstva. Ljetna škola 71. Teorija i

praksa ojačavanja metala, Herceg Novi 30.8.-4.9.1971.

3. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić, I.Zorić and C.Rizzuto, Resistivity due to Localized Spin Fluctuations in Supersaturated AlMn and AlAr Alloys, First European Conf. on the Physics of Condensed Matter, 14-17 Sept.1971, p.36.
4. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić and I.Zorić and E.Girt, Residual Resistivity of Supersaturated Aluminium Based Transition Metal Alloys. First European Conf.on the Physics of Condensed Matter 14-17 sept.1971, p.77.
5. E.Babić, P.J.Ford, C.Rizzuto and E.Salamoni, Superconductivity in Rapidly Quenched AlV, AlCr and AlFe Alloys First European Conf.on the Physics of Condensed Matter 14-17 Sept.1971. p.88.
6. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić, I.Zorić and J.R.Cooper, P.J.Ford, C.Rizzuto, E.Salamoni and E.Girt, Residual Resistivity and Thermal Power Measurements on Rapidly Quenched Al-based Transition Metal Alloys, Conf.on the Electric and Magnetic Properties of Dilute Alloys, Sept.20-24, 1971, Tihany, Mađarska.

#### 4.3. Radovi primljeni u štampu

1. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, Z.Vučić and I.Zorić, Temperature Dependent Impurity Resistivity in Al-Based 3-d transition Metal Alloys. Submitted to Solid State Commun.(Dec.1971.).
2. D.Đurek and J.Baturić-Rubčić, A Simple device for specific Heat Measurements at low temperatures (Submitted to Journal of Physics E, Dec.1971).

## 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, dipl. ing. fiz. - asistent-postdipl.

Tehnički suradnici:

VILKO PETROVIĆ, viši tehničar

1. Pregled istraživačkog programa

Moderna elektronika zasnovana je na upotrebi tankih slojeva poluvodičkih monokristala. Tehnologija tih tankih slojeva polazi gotovo uvijek od velikih monokristala koji se režu u tanke kriške. Ovaj postupak, sam po sebi, nije jednostavan a obim toga je ograničen na one tvari koje se u obliku velikih monokristala mogu dobiti. Postoji čitav niz poluvodičkih slitina s veoma interesantnim električkim svojstvima od kojih je nemoguće načiniti monokristal takovih dimenzija koje bi dozvoljavale navedenu tehnologiju. Danas se stoga nastoji dobiti tanke monokristalne slojeve pomoću epitaksiskog rasta. U saradnji sa Solid State Electronics Laboratory (University of Pennsylvania, Philadelphia, PE, USA) proučavana je mogućnost dobivanja poluvodičkih monokristalnih slojeva olovo-sulfida, rastom na kalijum-kloridu i to gotovo ravnotežno iz parovite faze. Eksperimenti su bili

uspješni, pokazalo se da dobiveni slojevi imaju dobra optička i električka svojstva, no ujedno je nađeno stvaranje kapljica olova na površini. Ovo je pripisano prisustvu kisika, koji najvjerojatnije dolazi iz kremenog stakla iz kojeg je aparatura bila načinjena.

Radovi na ispitivanju termoluminiscencije CdS-MnS uzoraka, pokazali su da postojeći uređaj nije dovoljno osjetljiv, te određivanje termoluminiscentnih parametara praktički nije moguće. Zbog toga je na uređaju izvršeno niz promjena u smislu povećanja osjetljivosti, a također i u načinu držanja uzoraka u kriostatu. Ovo posljednje je bilo potrebno da bi mogli pratiti promjene u signalu sa termičkom obradom.

Izvršene promjene u elektroničkom dijelu uređaja, te bitne promjene u optičkom dijelu, dovele su do toga da granica u osjetljivosti više nije u mogućnosti pojačanja nego u šumu (uglavnom fotomultiplikatora). Osjetljivost uređaja je sada oko  $10^{-13}$  Lumena, što preko fotomultiplikatora znači  $10^{-11}$  A.

Također je zamjenjen način računanja termoluminiscentnih parametara iz dobivenih krivulja. Ovo je učinjeno da bi se dobilo što više poštaka o procesima termoluminiscencije.

Uporedo sa ovim promjenama vršeno je ispitivanje termoluminiscencije CdS:Cu uzoraka. Pronađena je ovisnost signala o nestehimetrijskim odstupanjima uzorka.

## 2. Popis radova

1. M.Paić, V.Paić, K.Duh and J.N.Zemel, Quasi Static Growth of PbS Epitaxial Films, Intern.Conf.of Thin Films, Venice, Italy, 1972
2. M.Paić and V.Paić, Formation of Pb During Epitaxial Growth of PbS on KCl in a Vitreous Silica Hot Wall System, J.Mater. Sci.(Primljeno za publikaciju).
3. D.Subašić and V.Čerić: Thermoluminescence Investigation of Two Types of Traps in Cadmium Sulphide, Physica Status Solidi (a), 9, K65, 1971.

## ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA

Pročelnik odjela:

VLADIS VUJNOVIĆ, doktor fiz.nauka - naučni suradnik

Naučni suradnici:

DRAGUTIN MILER, doktor fiz.nauka, asistent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - viši asistent

KREŠIMIR ACINGER, magistar fiz.nauka - stručni suradnik

GORAN PICHLER, magistar fiz.nauka - asistent

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

DALIBOR VUKIĆEVIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postdipl.  
(od 1.IX 1971).

Tehnički suradnik:

IVICA BOROŠAK, tehničar

1. Pregled istraživanja

Područje istraživanja ulazi u fiziku atoma i iona. Nastavlja se problematika spektroskopskih ispitivanja ioniziranog plina. Izvršena je dalja koncentracija na jedan objekt ispitivanja, električni zidom stabilizirani luk. Ispituje se termičko stanje plina koji je električkom strujom zagrijan na više od 10.000 K, a nalazi se pri atmosferskom tlaku. Određuju se profili spektralnih linija interferometrijskom tehnikom, mjere se apsolutni i relativni intenziteti linija argona s ciljem da se odrede točne vrijednosti jakosti oscilatora i da se eliminira utjecaj neravnotežnih procesa.

Posebno se ispituje spektar u području ultraljubičastom i vakuum ultraljubičastog.

Također, razvija se instrumentacija i pojačavaju se izvori istosmjerne struje.

## 2. Rezultati istraživanja

### 2.1. Ispitivanje poluširina linija argona

Ispitivani su profili spektralnih linija argona koje su emitirane iz sredstva koje nije optički tanko. To su spektralne linije argona u crvenom području spektra. Mjerenja su izvršena u području struja od 20-70 A, s temperaturom od 10100-12500 K i s elektronskom koncentracijom od  $(1.9 - 8.8) \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Širina profila bitno ovisi o elektronskoj koncentraciji preko adijabatičnih sudara atom-elektron. Zato je koncentracija određena s najvećom mogućom točnošću pomoću kalibrirane širine jedne spektralne linije vodika. Teoretska kalibracija te spektralne linije neizvjesna je 5%, pa uz eksperimentalnu pogrešku određivanja relativnih intenziteta profila od 5%, maksimalna moguća pogreška iznosi 12,5%.

Profili onih linija koje su pokazivale izrazitu apsorpciju rektificirani su na slučaj optički tankog sredstva. Metoda rektifikacije koristi se koeficijentom apsorpcije koji se mjeri pomoću tri iskušana postupka sa stvarnim ili optičkim produženjem izvora. Da bi se izbjegla eventualna nekontrolirana apsorpcija u nehomogenim dijelovima izvora, uveden je sloj dušika u prikatodni kraj izboja. Radi gorenja luka i hidrodinamskih odnosa plinova koji istječu, taj se postupak nije mogao provesti istodobno i u prikladnom dijelu izboja. Usporedbom rezultata dobivenih različitim postupcima nije uočen nesklad što potvrđuje da nema utjecaja prikladnih nehomogenosti.

Između tridesetak spektralnih linija koje leže u području od 6965-10000 Å, ispitani su profili spektralnih linija 7147, 7273, 7067 i 6965 Å. Usporedba rektificiranih profila ovih linija s postojećim teoretskim proračunima pokazuje suglasnost u promatranom intervalu koncentracija elektrona. Teorija predviđa 25% veće poluširine jedino za liniju 7067 Å. Potvrđena je linearna ovisnost poluširina o koncentraciji elektrona, s ekstrapolacijom u ishodište koordinatnog sistema.

## 2.2 Provjera metoda određivanja jakosti oscilatora

Analizirane su tri metode određivanja jakosti oscilatora. Prva i druga metoda koriste krivulju rasta proračunatu za Voigtove profile spektralnih linija. Prva se metoda sastoji u mjerenju apsolutnih ukupnih intenziteta spektralnih linija i u određivanju optičke dubine pomoću poznate krivulje rasta i poznate udarne poluširine. To je inverzija dobro poznate metode određivanja udarnih poluširina iz poznatih jakosti oscilatora. Metoda postaje efektivna kod većih optičkih dubina. Da bi se izvela računaska pogreška mjerenih jakosti oscilatora, nađen je analitički izraz za upotrebljavano područje krivulje rasta, te analitički izraz za pogrešku. Usporedbom eksperimentalnih rezultata dobivenih ne za jedno stanje plazme, već uz promjenu struje, pokazuje se da se pogreška mjerenja znatno smanjuje. Metoda je primijenjena za mjerenje jakosti oscilatora linija argona u crvenom području spektra i nađene jakosti oscilatora sistematski su niže od literaturnih. Traže se razlozi ovih sistematskih odstupanja.

Druga metoda predstavlja novitet i sastoji se u mjerenju relativnih intenziteta spektralnih linija emitiranih iz jednostrukog i dvostrukog sloja plazme. Metoda je ograničena samo na jedno usko područje krivulje rasta i pogreška jako varira s optičkom dubinom linije. Nađen je analitički izraz za pogrešku. Metoda je iskušana na istim linijama na kojima i prva metoda i daje zadovoljavajuće slaganje. Metoda je interesantna jer zahtjeva samo relativna mjerenja intenziteta koja su sama po sebi veoma točna, a rezultira u apsolutnim vrijednostima jakosti oscilatora.

Treća metoda također predstavlja relativno mjerenje, a daje apsolutne vrijednosti jakosti oscilatora. Sastoji se u interferometrijskom mjerenju koeficijenta apsorpcije u centru profila spektralne linije, za koji se pretpostavlja da je Veigtov. Za testiranje metode iskorišćena su mjerenja vršena Fabry-Perotovim interferometrom. Iako krivulja izmjerene koeficijenta apsorpcije s temperaturom, savršeno vjerno sli-

jedi proračunatu krivulju naseljenosti donjeg nivoa, izračunate su jakosti oscilatora dva put manje od poznatih vrijednosti. Ispituju se razlozi ovog sistematskog nesuglasja.

### 2.3. Istraživanja u VUV

Vakuum-ultravioletna spektroskopija (VUV), zahvalno je područje istraživanja, obzirom da se vrlo malo laboratorija u svijetu bavi spektroskopskim istraživanjima u tom području, a posebno mjerenjima atomskih parametara u termičkoj plazmi. Od fizikalnog je interesa mjerenje jakosti oscilatora, profila spektralnih linija i odstupanja od termičke ravnoteže. Jakosti oscilatora u ovom spektralnom području nisu poznate u dovoljnom broju niti dovoljno točno, da bi se mogle pratiti zakonitosti u serijama prijelaza pojedinog elementa i u analognim prijelazima različitih elemenata. Profili spektralnih linija predstavljaju u tom području posebno kamen kušnje za teoretski pristup, pa neposredna usporedba mjerenih profila i proračunatih, unapređuje razumijevanje relevantnih fizičkih procesa.

Pri razradi eksperimentalne tehnike korišćena su iskustva Max-Planck instituta u Münchenu. Za promatranje rezonantnih linija, koje su podvrgnute jakoj apsorpciji u nehomogenim dijelovima električnog izboja, izvedena je naročita konstrukcija anodnog dijela izbojne komore. Novina izvedbe je u tome, što se vrući plinovi evakuiraju direktno kroz uzak otvor u anodi, kroz koji ujedno prolazi i svjetlost prije no što uđe u spektroskop-monokromator. Nakon prve komore za evakuiranje slijedi druga povezana s ulaznom pukotinom monokromatora. Već u prvoj komori iza anode tlak padne od atmosferskog na 10 tora, čime je put kroz hladnije dijelove plina skraćen na minimum. U spektru se opažaju rezonantne linije argona kod 106,7 i 104,8 nm s vlastitom apsorpcijom u središtu profila. U prijašnjim izvedbama komore, ove se argonove linije nisu uopće vidjele, već je na njihov položaj ukazivalo udubljenje u kontinuiranoj pozadini spektra.



### 3. Razvoj eksperimentalnih uređaja

Načinjen je ispravljač 520V, 200A za napajanje električnog luka. Ispravljač je trofazni punovalni, bez transformatora; to je rješenje znatno ekonomičnije i olakšava konstrukciju, ali se zahtijeva poseban oprez kod rukovanja jer se nijedan dio strujnog kruga ne može uzemljiti. Ispravljač se za sada nalazi u eksploataciji bez filtera (valovitost od vrha do vrha iznosi  $\pm 5,5\%$ ), no nabavljena je prigušnica za filter, a još nedostaju kondenzatori.

Specijalni vodom hlađeni otpori (do 250 A) za električni krug u kojemu se nalazi ispravljač i potrošač, luk, nalaze se u upotrebi. Bilo je potrebno preurediti vodovodne instalacije i ugraditi filtre; zagađenost vode, tj. krupnija zrnca prljavštine, stvaraju znatne poteškoće u radu. Svako začepljenje vodova za hlađenje dovelo bi do pregrijavanja i uništavanje instalacije eksperimenta.

Uređena je priručna radionica s preciznim tokarskim strojem za izradu dijelova komore za luk, koji se troše i izmjenjuju. Adaptiran je jedan spektroskop s tri prizme od stakla za fotoelektričku registraciju.

Radi potpunije dijagnostike termičkog stanja, projektiran je uređaj za određivanje elektronske koncentracije laserskom interferometrijom. Koncentracija elektrona se određuje iz ukupne promjene indeksa loma električnog izboja prilikom njegovog gašenja. Izvršena je izolacija optičke klupe od vibracija tla i adaptacija nosača zrcala i lasera koji se nalaze u optičkom rezonatoru. Usporedno je konstruiran elektronski sklop za gašenje istosmjernog luka u roku od par mikrosekundi. Sklop se ispituje.

### 4. Popis radova

#### 4.1 Publicirani radovi

1. V. Vujnović, Use of the Saha equation for the simultaneous determination of temperature and electron concentration, Fizika 3(1961) 105-108.

#### 4.2. Radovi primljeni za štampu

1. G.Pichler, V.Vujnović, A.M.Tonejo and K.Acinger, A study of excitation conditions in a free-burning arc between Cu electrodes with currents from 1 to 15 amperes (Spectrochimica Acta B).
2. D.Miler, Č.Vadla and V.Vujnović, Observation of argon lines in vacuum ultraviolet at normal pressure (Space Sci.Rev.).

#### 4.3. Radovi iznijeti na konferencijama

1. A.M.Tonejo and K.Acinger, Measurements of half-widths of 6965, 7067, 7147 and 7272 argon lines in a wall stabilized cascade arc, 3rd Conference on Atomic Spectroscopy, Reading, July 6—9, 1971.
2. D.Miler, Č.Vadla and V.Vujnović, Observation of argon lines at normal pressure in vacuum ultraviolet, 3rd Symposium on XUV Spectroscopy of astrophysical and laboratory plasmas, Utrecht 24-26.August 1971.

## ODJEL FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

ZVONIMIR OGORELEC, doktor fiz.nauka, docent PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - naučni suradnik

Naučni suradnici:

VLATKO ČERIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent postdipl.

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

LIDIJA NONVEILLER, dipl.ing.fiz. - asistent postdipl.  
(od 4.XI 1971).

RUDOLF ROČAK, magistar fiz.nauka - asistent  
(od 28.II 1971. u JNA)

Tehnički suradnik:

JOSIP DUMBOVIĆ, viši tehničar (s Instituta "Ruder Bošković")

1. Pregled istraživačkog programa

Istraživački rad Odjela za fiziku poluvodiča obuhvaća općenito dobivanje binarnih poluvodičkih i polumetalnih spojeva, te ispitivanje njihovih električkih, optičkih i termoelektričnih svojstava.

2. Rezultati istraživačkog rada2.1. Električna svojstva  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$ 

Kao i ostali spojevi opće formule  $\text{A}_{2-x}^{\text{I}}\text{B}^{\text{VI}}$ , bakar selenid je vrlo pogodan sistem za proučavanje utjecaja stehiometrijskih devijacija na poluvodička odnosno polumetalna svojstva. On ima široko područje homogenosti, a sastav mu se može varirati na vrlo lagan način, selektivnim isparavanjem selena.

Istraživanje je bilo koncentrirano na uzorke s vrlo velikim stehiometrijskim devijacijama tj. na uzorke čiji je sastav varirao između  $\text{Cu}_{1,75}\text{Se}$  i  $\text{Cu}_{1,82}\text{Se}$ . U tom području sastava bakar selenid se na sobnoj temperaturi nalazi u kubičnoj fazi. Cilj istraživanja bilo je iznalaženje korelacije između veličine stehiometrijske devijacije i koncentracije šupljina. Bakar selenid je naime poluvodič, p-tipa. Mjerila se električna vodljivost i termoelektromotorna sila u temperaturnom intervalu  $20^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$  i na uzorcima različitog sastava.

Rezultati mjerenja su pokazali da je vodljivost jednostavna eksponentna funkcija temperature, što znači da promjena vodljivosti dolazi zbog promjene pokretljivosti nosilaca naboja. Njihova koncentracija je linearna funkcija sastava uzoraka. Raspršenje je gotovo čisto fononsko.

Usporedba mjerenih vrijednosti termoelektromotorne sile sa vrijednostima proračunatim na osnovu teorije degeneriranih poluvodiča dala je vrlo dobro slaganje. Iz toga se moglo zaključiti da Fermijev nivo leži relativno duboko u valentnoj zoni ( $E_V - E_F > 0$ ), što znači da se nestehiometrijski bakar selenid treba ista tretirati kao jako degenerirani poluvodič p-tipa. Koncentracija šupljina ima red veličine  $10^{21}\text{cm}^{-3}$ . Linearni odnos između stehiometrijskih devijacija i koncentracije šupljina omogućuje postaviti vrlo jednostavan model samodopiranja bakar selenida: svaki deficitarni bakarni atom u kristalnoj rešetci  $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$  uzrokuje pojavu jedne šupljine u valentnoj zoni tog spoja. Velike stehiometrijske devijacije ne narušavaju, dakle ovu jednostavnu simetriju utvrđenu već prije u blizini idealno stehiometrijskog sastava.

## 2.2. Istraživanje elektroluminiscencije CdS:Cu praška u dielektriku

U nastavku istraživanja na ovom području poboljšana je metoda za dobivanje elektroluminiscentnih (EL) CdS:Cu prašaka i prošireno je ispitivanje karakteristika tog materijala. Osim toga, mjerenjem termoluminiscentnih krivulja dobiveni su i podaci o stupicama u materijalu.

Novi postupak dobivanja EL CdS:Cu praška teče ovim redom. CdS prašak se stavi u, s jedne strane zatvorenu, kvaronu cijev, evakuira na  $10^{-3}$  torra, grije 0-20 minuta na  $750^{\circ}\text{C}$  uz neprestano evakuiranje i zatim ohladi. Dobiveni materijal izmiješa se zatim sa  $(1-6)\times 10^{-3}$  atomskih dijelova bakra, stavi u kvaronu cijev, evakuira na  $10^{-3}$  torra, a cijev se zatvori. Taj se sistem grije jedan sat na  $950^{\circ}\text{C}$  i ohladi u hladnoj vodi. Na ovaj je način EL materijal dobiven u potpuno kontroliranim uvjetima. Metoda je reproducibilna.

Izmjerene su kvantna efikasnost i efikasnost snage za EL CdS:Cu prašaka. Kvantna efikasnost definirana je kao broj fotona koju EL ćelija emitira kad jedan elektron prođe kroz nju, a efikasnost snage kao svjetlosna snaga emitirana po jediničnoj električnoj snazi koju ćelija apsorbira. Mjerenja su vršena sa naponom pobuđenja od 1200 V i to na uzorcima sa najjačim EL sjajem. Kvantna efikasnost EL iznosi oko  $10^{-2}$  u izmjeničnom, a oko  $10^{-3}$  u istosmjernom električnom polju. Efikasnost snage EL iznosi oko  $10^{-5}$  watt/watt u izmjeničnom, a oko  $10^{-6}$  watt/watt u istosmjernom električnom polju.

Izmjeren je i EL spektar u istosmjernom električnom polju. Nađena su dva maksimuma: u narandžastom dijelu (610 nm) i crvenom dijelu (735 nm) spektra. Zanimljivo je da se EL spektri CdS:Cu prašaka sa izmjeničnim i istosmjernim pobuđenjem dosta razlikuju, vjerojatno zbog različitog mehanizma pobuđenja EL.

Ispitivanje termoluminiscencije (TL) pokazala je da u EL CdS:Cu prašcima postoji dva tipa stupica; i to sa aktivacionom energijama od oko 0.09 eV i 0.41 eV. Rezultati ispitivanja pokazuju da bi stupice aktivacione energije od 0.09 eV mogle biti povezane sa prazninama kadmija. Stupice aktivacione energije od 0.41 eV imaju veoma velik udarni presjek za elektrone, što sugerira da su one u stvari kompleksi defekata. TL ispitivanja izvedena su u suradnji sa D. Subašićem, iz Odjela optičkih svojstava kristala na našem Institutu.

### 2.3. Ispitivanje ispravljačkog efekta na kontaktu CuSe-Mg i CuSe-Al

Kao što je vidljivo iz prošlogodišnjeg izvještaja, ispravljački efekt koji se javlja na kontaktu između bakara selenida i magnezija ili aluminijsa može se objasniti stvaranjem barijere u obliku tankog visokootpornog sloja MgSe ili  $Al_2Se_3$ . Primjenom poznatih zakonitosti za tzv. "tarnishing" reakcije na međudjelovanje CuSe sa Mg ili Al, dobile su se relacije za vremensku ovisnost struje kroz diodu i njenu strujno naponsku karakteristiku. Te relacije su u potpunom slaganju s izmjerenim karakteristikama. U nastavku istraživanja se pokazalo da izvedene relacije uz neka dodatna mjerenja mogu dati i osnovne podatke o fizičkim svojstvima barijernih slojeva. To se u prvom redu odnosi na elektronsku i ionsku vodljivost slojeva, te na njihovu maksimalnu debljinu. U slučaju diode CuSe-Mg je dobiveno da maksimalna debljina sloja MgSe iznosi  $1,4 \cdot 10^{-6}$  cm, da on ima zanemarivo malu elektronsku vodljivost i da mu ionska vodljivost iznosi  $2,3 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ . Kod diode CuSe-Al su dobiveni ovi rezultati: debljina sloja  $Al_2Se_3$  bila je  $5 \cdot 10^{-6}$  cm, njegova elektronska vodljivost bila je zanemarivo mala, a ionska vodljivost je imala vrijednost  $2,4 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ . To su prvi poznati podaci o vodljivostima ovih nestabilnih i teško postiživih spojeva. Istraživanje treba smatrati završenim.

### 3. Popis radova

#### 3.1. Objavljeni radovi

1. Z.Ogorelec, R.Ročak and J.Ivić: The Influence of Stoichiometric Deviations on the Microhardness of Cuprous Selenide Phys.Stat.Solidi(a)6(1971) K29
2. Z.Ogorelec, Mixed Conduction in Cuprous Selenide at Strong Currents Fizika 3(1971) 41.

3. B.Čelustka and Z.Ogorelec: Evaluation of Some Physical Quantities in the Two-phase Region in Cuprous Selenide, J.Phys.Chem.Solids 32 (1971) 1449.
4. Z.Ogorelec and D.Selinger, Some Electrical Properties of Synthetic Klockmannite, CuSe, J.Mater.Sci.6 (1971) 136
5. Z.Ogorelec i D.Selinger: Mjerenje disocijacionog tlaka CuSe Kundsenvom metodom, Zbornik radova 5.vakuumskog kongresa, Portorož 1971, p.35.

### 3.2. Radovi primljeni u štampu

1. D.Subašić and V.Čerić: Thermoluminescence Investigation of Two Types of Traps in Cadmium Sulphide (Phys.Stat.Solidi(a))
2. V.Čerić and Z.Ogorelec, Evidence for A.C. and D.C.Electroluminescence of CdS:Cu Powder Phosphors (J.Mater.Sci)
3. B.Mestnik, Z.Ogorelec and Ž.Ambrožić, Electrical Properties of Cubic  $Cu_{2-x}Se$  Stable at Room Temperature. (Phys.Stat. Solidi (a))
4. Z.Ogorelec and N.Farago: Formation and Rectifying Properties of a Barrier at Contact Between CuSe and Mg (Fizika).

## ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

ZDRAVKO BENDEKOVIĆ, dipl.ing.elektrotehn. - viši stručni  
suradnik

Naučni suradnici:

JASNA BATURIĆ-RUBČIĆ, doktor fiz.nauka, asistent PMF-a  
Sveučilišta u Zagreb - viši asistent  
BRANIMIR SAFTIĆ, dipl.ing.fizike - viši stručni suradnik  
VLATKA RADIĆ, dipl.ing.kemije - struč.suradnik  
BRANKA PETRIĆ, dipl.ing.fiz. - struč.suradnik  
BRANKA ŠMALCELJ, dipl.ing.kemije - struč.suradnik  
STANKA RIHNOVSKI, magister farmacije - struč.suradnik  
ŽELJKO LATKOVIĆ, dipl.ing.elektrotehnike - struč.sur.

Tehnički suradnici:

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

1. Pregled istraživačkog programa

Osnovni zadatak ovog odjela jest razvijati poluvodičke tehnološke procese i elemente. Većinu istraživanja treba provesti do forme industrijskog procesa, jer rezultate rada odjela koristi RIZ-Tvornica poluvodiča, Zagreb (TPZ) za masovnu serijsku proizvodnju poluvodičkih elemenata.



Rad odjela odvija se u slijedećim pravcima:

1. Razvoj osnovnih procesa
2. Razvoj elemenata
3. Razvoj uređaja i pomoćnih procesa
4. Projektni zadaci

## 2. Rezultati istraživačkog rada

### 2.1 Razvoj osnovnih procesa

- 2.1.1 Oksidacija silicija kontroliranom sintezom vodene pare u difuzionoj cijevi.
- 2.1.2 Skidanje foto-resista plazmom  $C_2$ .
- 2.1.3 Stabilizacija MIS struktura

### 2.2 Razvoj poluvodičkih elemenata

- 2.2.1 N-P-N tranzistor opće namjene
- 2.2.2 N-P-N tranzistor struje do 1A
- 2.2.3 N-P-N tranzistor struje do 3A
- 2.2.4 P-N-P univerzalni tranzistor
- 2.2.5 Zener dioda 7-12V
- 2.2.6 Signalna dioda 150V

### 2.3 Razvoj uređaja i rad na pomoćnim procesima

- 2.3.1 Uređaj za oksidaciju
- 2.3.2 Uređaj za difuziju bora
- 2.3.3 Uređaj za sušenje plinova
- 2.3.4 Proces izrade radnih maski s titanom

## 2.4 Projektne zadaci

### 2.4.1 Projektiranje procesa proizvodnje za TPZ

#### 2.1.1 Oksidacija silicija kontroliranom sintezom $H_2$ i $O_2$ u difuzionoj cijevi

Termalno narašten  $SiO_2$  na površinu silicija je jedan od osnovnih faktora planarne poluvodičke tehnologije.

Usvojena je metoda termalne oksidacije u vodenoj pari, koja se sintetizira iz  $H_2$  i  $O_2$  u samoj difuzionoj cijevi. Tako dobivena para je veoma čista, a proces oksidacije se dađe kontrolirati mijenjanjem odnosa  $H_2$  i  $O_2$  uvođenih u cijev. Na taj način se može atmosfera oksidacije varirati od suhog  $O_2$  do 100% vodene pare. Uobičajena je oksidacija, gdje se suhi  $O_2$  zasićuje vodenom parom, a kontrola se vrši temperaturom vode kroz koju prolazi  $O_2$ . Taj način je dobar, ako ne treba mijenjati uvjete oksidacije. Novi način omogućuje promjenu uvjeta za nekoliko sekundi, pa je moguće kontrolirati difuzioni profil promjenom uvjeta oksidacije u toku procesa.

#### 2.1.2 Skidanje foto-rezista u plazmi $O_2$

U procesu fotolitografije poluvodičkih elemenata sa silicijem, foto-rezisti su organski fotoosjetljivi lakovi, kojima se selektivno zaštićuje površina  $SiO_2$ , te vrši jetkanje. Nakon jetkanja oksidnog sloja, potrebno je odstraniti foto-rezist, koji je preostao na površini. Do sada se je to vršilo kuhanjem u određenim kemikalijama.

U novom procesu upotrebljava se za skidanje foto-rezista plazma  $O_2$ . Pločice s foto-rezistom stavljaju se u vakuumski reaktor, gdje se  $O_2$  drži na pritisku 0.1 - 1 torr, a

visokofrekventno se uzbudi do stvaranja plazme. Foto-rezist oksidira i odlazi s površine silicija. Proces je reproducibilan i pogodan za serijsku proizvodnju. Provedeno je dovoljno pokusa i postavljanje procesa je završeno.

### 2.1.3 Stabilizacija MIS struktura

U nastavku rada na MOS (metal-oksid-poluvodič) strukturama standardizirano je dobivanje čistog oksida primjenom predoksidacije na  $1200^{\circ}\text{C}$  u pari (20 min) ili u suhom kisiku (30 min). Bez predoksidacije dobivala se gustoća pokretnih naboja  $Q_0/q$  od  $10^{11}\text{cm}^{-2}$  do  $10^{12}\text{cm}^{-2}$  kao posljedica nereproducibilnog onečišćenja oksida. Odjetkavanjem prvog oksida i ponovnim naraštanjem tzv. "gate" oksida na  $1200^{\circ}\text{C}$  u suhom kisiku uz završno ispitivanje dušikom, gustoća pokretnih naboja pada na oko  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  za debljine oksida između  $1000\text{ \AA}$  i  $2000\text{ \AA}$ . To unutar točnosti korištene C-V metode mjerenja odgovara stabilnoj strukturi (mjerenja su vršena uz pomoć zlatne kuglice kao elektrode). Zadovoljavajući reproducibilni rezultati dobiveni su međutim samo za oksidacije u novoj kvarnoj cijevi. Kasnije je nereproducibilnost sve više rasla uz sve onečišćeniji oksid (i do  $4 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ ), s nestabilnošću od par volti nakon temperaturno naponskog tretmana strukture. Zbog mijenjanja temperature peći, koja se morala koristiti i za druge procese planarne tehnologije (što se po pravilima MOS tehnike ne bi smjelo), došlo je vjerovatno do djelomične rekristalizacije kvarone cijevi i njene povećane propusnosti za  $\text{Na}^+$  ione, koji mogu difundirati iz izolacionih prstena grijača peći. U daljnjem radu to će se izbjeći alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) omotačem oko cijevi i bitnim nemijenjanjem temperature peći.

Problem koji još nije riješen, je spriječiti onečišćenje oksida tokom završnog koraka metalizacije strukture. Pokušalo se naporiti aluminij, koji se koristi specijalno za MOS strukture (uzorak dobiven od General Electric Co. USA).

Aluminij se naparavao iz vrlo intenzivno izžarene volframeve niti na znatno nižoj temperaturi od temperature izžaranja, kao i pomoću elektronskog topa. Dodatno onečišćenje oksida ostalo je između  $10^{11}$  i  $10^{12}$   $\text{qcm}^{-2}$  i to vrlo nereproducibilno.

Paralelno su nastavljena ispitivanja sa silica (Emulstone Co.USA) filmovima s malom koncentracijom fosfora za stabilizaciju MIS (metal-izolator-poluvodič) struktura. Ustanovljeno je, da je nužna velika brzina okretanja Si-pločice kod nanašanja filma (iz tekuće otopine) i nakon toga visoka temperatura na puštanja na  $1200^{\circ}\text{C}$  u protoku dušika, da bi se struktura stabilizirala. Inače se dobije suviše debeli sloj, koji smanjuje osjetljivost strukture na napon, uzrokuje porast negativnog napona kod kojeg dolazi do inverzije n-tipa površine poluvodiča, bitnog u radu unipolarnog MIS tranzistora s efektom polja, kao i nestabilnost zbog polarizacije, čiji efekt je to veći, što je omjer debljine filma prema debljini oksida veći. Od te vrste stabilizacije kasnije se odustalo zbog problema njihove redovite nabave s obzirom na vrlo kratak rok upotrebe, a nisu se pokazali najprikladniji ni za predepoziciju bora i fosfora.

Općenito je opseg eksperimentalnih ispitivanja MIS struktura znatno smanjen zbog ograničene opreme, a povećane proizvodnje bipolarnih tranzistora u našem odjelu prema zahtjevima Tvornice poluvodiča.

Nove peći (s alumina zaštitnim omotačem oko kvarone cijevi) i posebno nova vakuumska stanica sa snažijim elektronskim snopom omogućit će intenzivnije ispitivanje mogućnosti proizvodnje MIS integriranih krugova, za koje je već izrađen postupak i osigurane maske. U svakom slučaju nadamo se postići maksimalnu nestabilnost unutar  $2\text{V}$  ( $2-3 \times 10^{11} \text{qcm}^{-2}$ ) što bi još uvijek bilo zadovoljavajuće za MOSFET-ove s p-tipom kanala, jer se u radu koriste uvijek negativni naponi, pa pokretni  $\text{Na}^+$  ioni ostaju u oksidu pretežno lokalizirani uz metalnu elektrodu, pa ne utječu na rad unipolarnog tranzistora.

### 2.2.1 N-P-N tranzistor opće namjene

Definitivno je završen razvoj dvaju tipova:

a) tranzistor geometrije  $450 \times 450 \mu$

$$\begin{aligned} I_c \text{ max} &= 100 \text{ mA} \\ \beta &= 60 - 900 \\ BV_{ceo} &= 35 - 120 \text{ V} \end{aligned}$$

b) Tranzistor geometrije 550 x 550  $\mu$

$$\begin{aligned} I_o \text{ max} &= 250 \text{ mA} \\ \beta &= 60 - 900 \\ BV_{ceo} &= 35 - 120 \text{ V} \end{aligned}$$

Oba tipa tranzistora su predana u proizvodnju i u 1971. su postali standardni proizvod TPZ.

### 2.2.2 N-P-N tranzistor struje do 1A

Kao i ranija dva tipa i ovaj tranzistor je predan 1971. godine u proizvodnju. Osnovni parametri:

$$\begin{aligned} \text{geometrija} & 610 \times 610 \mu \\ I_o \text{ max} &= 1A \\ \beta &= 30 - 300 \\ BV_{ceo} &= 40 - 120 \text{ V} \end{aligned}$$

Razvijena je i varijanta tog tipa tranzistora s istom geometrijom, no uz različit proces difuzije, tako da su osnovni parametri:

$$\begin{aligned} I_c \text{ max} &= 250 \text{ mA} \\ \beta &> 30 \\ f_T &> 100 \text{ MHz} \\ BV_{ceo} &> 150 \text{ V} \end{aligned}$$

Taj tranzistor će ući u serijsku proizvodnju u 1972.god.

### 2.2.3 N-P-N tranzistor struje do 3A

Razvijen je tranzistor geometrije 1650 x 1650  $\mu$ . Izrađeni su uzorci. 1972.godine treba dovršiti tipska ispitivanja. Osnovni parametri:

$$\begin{aligned}
 I_{c \text{ max}} &= 3A \\
 \beta &> 20 \\
 BV_{ceo} &= 30 - 120 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Ovaj tip tranzistora je prelazni tip do tranzistora s  $I_{c \text{ max}}$  10 A, čiji se razvoj predviđa u 1972. godini.

#### 2.2.4 Univerzalni P-N-P tranzistor

Razvijen je P-N-P tranzistor geometrije 550-550  $\mu$ . Izrađeni su uzorci i u 1972. godini treba taj tip predati u proizvodnju. Osnovni podaci:

$$\begin{aligned}
 I_{c \text{ max}} &= 250 \text{ mA} \\
 \beta &= 30 - 500 \\
 BV_{ceo} &= 25 - 85 \text{ V}
 \end{aligned}$$

#### 2.2.5 Zener dioda 7 - 12V

Postavljen je proces i izrađeni uzorci Zener diode sa slijedećim osnovnim parametrima:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{max}} &= 250 \text{ mW} \\
 R_z \text{ din} &< 15 \Omega \\
 V_z &= 7 - 12 \text{ V}
 \end{aligned}$$

U 1972. godini će biti dovršen razvoj tog elementa.

#### 2.2.6 Signalna dioda 150 V

Dovršen je razvoj i predana u proizvodnju dioda za univerzalnu primjenu. Podaci:

$$\begin{aligned}
 BV &> 150 \text{ V} \\
 I_F &> 50 \text{ mA (1V)} \\
 C_0 &< 3 \text{ pF (10V)}
 \end{aligned}$$

Geometrija je 450 x 450  $\mu$

## 2.3. RAZVOJ UREĐAJA I POMOĆNIH PROCESA

### 2.3.1 Uređaj za oksidaciju

Povezano s 2.2.1. Izrađeni su uređaji za oksidaciju koji su tako koncipirani u konstrukciji, da je moguće programirati njihov rad i varirati oksidaciju upravljanjem sa centralnog upravljačkog mjesta.

### 2.3.2 Uređaj za difuziju bora

Konstruiran i izrađen je uređaj za depoziciju i difuziju s  $BCl_3$  kao dopantom. Uređaj je u ispitivanju i 1972. godine treba dati definitivnu verziju.

### 2.3.3 Uređaj za sušenje plinova

Konstruiran je i izrađen uređaj za sušenje svih plinova, koji se rabe u difuziji. Upotrebljen je "Molecular Sieve" firme Union Carbide. Uređaj je u fazi ispitivanja i prvi rezultati pokazuju da će biti moguće ostvariti čišćenje od vlage reda veličine 1 ppm.

### 2.3.4 Proces izrade radnih maski s naparenim Ti

Da bi se u procesu proizvodnje povećala trajnost upotrebljenih maski, razvijen je postupak izrade maski s naparenim titanom umjesto uobičajenih emulzionih maski. Ispitivanja su pokazala da je trajnost titanovih maski oko 10x veća od emulzionih.

## 2.4. PROJEKTIRANJE SERIJSKE PROIZVODNJE

Odjel je preuzeo projektni zadatak od RIZ Tvornice poluvodiča, serijske procesne proizvodnje u novoj tvornici. Projekt sa specifikacijom opreme predan je tvornici, a odjel je preuzeo nadzor nad instalacijom i puštanje u pogon procesa.

### 3. Popis radova

#### 3.1 Publicirani radovi

1. Z.Bendeković, Procesni dio proizvodnje tvornice poluvodiča RIZ Zagreb, Elektrotehnika 3 (1971) 171.
2. I.Šmalcelj, Tehnološka baza procesa proizvodnje u RIZ-ovoj tvornici poluvodiča i njezine razvojne perspektive 3 (1971)167.
3. J.Baturić-Rubčić i B.Saftić, MIS struktura kao aktivni element unipolarnih tranzistora, Elektrotehnika 3 (1971) 180.
4. S.Ursić, Oblikovanje integriranih sklopova elektroničkim računalom, 3 (1971) 188.
5. J.Baturić-Rubčić, The influence of electrodes upon the determination of equipotential surfaces in an electrolytic tank, Elektrotehnika, 1 (1971) 19.

#### 4.2 Kolokviji

1. J.Baturić-Rubčić, Površinski naboji MIS struktura, 12.V 1971. Prirodno-matematički fakultet u Sarajevu.



## ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU

Pročelnik odjela:

SLAVEN BARIŠIĆ, doktor fiz.nauka - naučni suradnik

Naučni suradnici:

ALEKSA BJELIŠ, dipl.ing.fiz. - asistent-postdipl.

TOMISLAV IVEZIĆ, dipl.ing.fiz.- asistent

STJEPAN MARČELJA, doktor fiz.nauka, docent PMF-a  
Sveučilišta u Zagrebu - nauč.suradnik

KREŠIMIR ŠAUB, dipl.ing.fiz. - asistent

VELJKO ZLATIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent-postdipl.

1. Pregled istraživačkog programa

U naznačenom periodu počela je organiziranija suradnja među teoretičarima IFS-a. Zajedničkim su istraživanjima prišli početkom godine Barišić i Šaub, a nešto kasnije Marčelja i Bjeliš. Pored toga nastojalo se da se svaki član grupe bar donekle upozna s radom ostalih te da tako stekne širu naučnu kulturu i mobilnost. Time i grupa počinje živjeti svojim životom.

Obzirom na svoju malobrojnost i mladost grupa ima širok spektar interesa, koji obuhvaća magnetske fenomene srodne Kondo-efektu, opću teoriju faznih prijelaza druge vrste, fazne prijelaze prve vrste u piezo-električnim feroelektricima, supravodljivost i elastičnost prijelaznih metala te nekih njihovih legura i konačno primjenu Bogoljubovljeva transformacija na probleme vezanih stanja u ferimagnetu i u spinskom modelu feroelektrika.

Unutar tih odrednica djelovanja pojedinih istraživača bilo je slijedeće:

S. Barišić je zaokružio svoja istraživanja supravodljivosti i elastičnosti prijelaznih metala i legura tipa  $V_3Si$ . Ta su istraživanja provedena u suradnji s laboratorijem Prof. Friedela u Orsayu, Francuska. Po prvi put je nedvojbeno pokazano da je za supravodljivost te važne klase materijala odgovorna uska d-vrpca. Otkriven je i istražen konceptualno novi mehanizam elektron-fonon interakcije u d-vrpci. Pokazano je da takva interakcija raste u hidrostatski stlačenim kristalima. Time je bar kvalitativno objašnjeno zašto kritična temperatura supravodljivosti raste stlačivanjem nekih prijelaznih metala, dok naprotiv u svim normalnim metalima pada takvim postupkom.

Čitav kompleks problema elektron-fonon vezanja u uskim vrpcaama u bliskoj je vezi s pitanjem mogućnosti postizanja visokih temperatura supravodljivosti. Visoke prijelazne temperature od ogromnog su tehnološkog interesa i predstavljaju jedan od centara napora najpoznatijih svjetskih istraživačkih laboratorija. Stoga je i ovdje posebna pažnja posvećena legurama tipa  $V_3Si$ . Te se legure ističu dosad najvišim poznatim temperaturama supravodljivog prijelaza, do  $21^{\circ}K$ , te visokim kritičnim magnetskim poljima od oko 300 kG. Tako visoke temperature prijelaza mogu u principu rezultirati ili od jake elektron-fonon interakcije, ili od visoke gustoće elektronskih stanja na Fermijevom nivou, ili pak od postojanja mekih fonona. Zaista, legure tipa  $V_3Si$  posjeduju na niskim temperaturama anomalno meke fonone smika. Razmatrajući retardacione efekte u privlačnoj elektron-elektron interakciji, pokazano je međutim da meki fononi ne sudjeluju u supravodljivosti legura tipa  $V_3Si$ . Visoka temperatura supravodljivog prijelaza tih legura objašnjena je anomalno visokom gustoćom elektronskih stanja u vrlo uskom energetsom području oko Fermijevog nivoa.

Pokazano je da je mekšanje fonona smika na niskim temperaturama posljedica istog mehanizma elektron-fonon interakcije kao i supravodljivost prijelaznih metala. Obratno nego u slučaju skoro slobodnih elektrona, fononi smika su generalno uzevši jako vezani s elektronima uskih vrpca, dok su to longitudinalni fononi samo iznimno. Anomalno visoka gustoća stanja tih

elektrona na Fermijevom nivou nekih od tih legura uzrokuje na niskoj temperaturi jaku renormalizaciju frekvencija fonona smika. Elastične konstante izračunate za dugovalne fonone ili homogene deformacije su iste. Ta je ekvivalencija po prvi put pokazana u prisustvu elektrona uske vrpce. Pored kritične temperature nestabilnosti homogenog smika razmatrana je i nestabilnost periodičnog moda smika koji odgovara Kohnovoj anomaliji. Naime, prema sugestiji Džjaloškinskog i Katsa ta bi nestabilnost mogla spriječiti supravodljivost. Stoga je zadovoljavajući teorijski rezultat da je u važnim slučajevima homogena deformacija smika nestabilnija od tog moda.

Publikacije izašle u toku 1971.god.

1. S.Barišić, Phys.Letters 34A, 188 (1971)
2. S.Barišić, Sol.St.Comm.9, (1971)
3. S.Barišić, Proceedings of the Conf.on the d and f-band Superconductors, Rochester (USA)1971.(pozvana predavanja)

Pored toga dvije su publikacije u pripremi u Phys.Review a tekst disertacija kojom je S.B. doktorirao 29.9. u Orsayu bit će objavljen u Ann.Physique.

A.Bjeliš u zajednici sa S.Marčeljom razmotrio je problem kritičnih fluktuacija u jednodimenzionalnom supravodljivom sistemu. Problem međudjelovanja Faurierovih komponenti fluktuacija u parametru supervodljivog uređenja doveden je u korespondenciju s proračunom osnovnog stanja dvodimenzionalnog kvantnog anharmoničnog oscilatora. Nažalost, ni rješenja tog klasičnog problema nije elementarno. Stoga su osnovna energija, a zatim i srednji kvadratični pomak, koji odgovara srednjoj vrijednosti kvadrata parametra uređenja, približno određeni starom, Sommerfeldovom kvantnom mehanikom. Neobjavljeni rezultat u kvalitativnom je slaganju s kasnijim numeričkim rješenjem tog istog problema, koje su dali Gruenberg i Gunther.

T.Ivezić se bavi, u zajednici s grupom Dr.Tošića u Vinči, pokušajem analize vezanih stanja u spinskim i kvazi-spinskim

sistemima preko bozonske reprezentacije spinskih operatora i upotrebe Bogoljubovljeve transformacije.

Pokazano je da uvjet nesačuvanja broja bozona vodi na pojavu dodatnih vezanih stanja u kvazi-spinskom modelu ferroelektrika.

Zatim su sličnom metodom dobivene energije vezanih stanja u ferimagnetu s dvije različite podrešetke pridružene spinovima  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$ . Uz daljnje pojednostavljenje modela dobivena je situacija koju je moguće tretirati analitički, te su na njoj provjerena aproksimativna rješenja.

Dva članka poslana su u Journ.of Phys.C i u Phys.St.Sol.

S.Marčelja. U prvoj polovici 1971. proveden je egzaktni račun statičkih svojstava jednodimenzionalnih supervodiča. Račun koristi egzaktno rješenje C.N.Yanga i C.P.Yanga za sistem bozona s interakcijom opisanom  $\delta$ -funkcijom. Dobiveni su rezultati za gustoću Cooperovih parova  $\rho$ , raspodjelu u  $k$  prostoru  $\rho_k$  i specifičnu toplinu. Klasična verzija računa za 1D supervodiče provedena je vrlo nedavno (L.W.Gruenberg and L. Gunther, preprint 1972) i rezultati ta dva računa se dobro slažu. Egzaktno rješenje u 1D je vrlo interesantno jer se upotrebom toga rješenja može ocijeniti točnost pojedinih aproksimativnih shema i na taj način poboljšati rezultate u dvije i tri dimenzije (gdje ne postoji egzaktno rješenje).

U drugom dijelu godine razmatran je utjecaj interakcije mekih fonona u blizini strukturnih prijelaza, kao napr.  $\alpha - \beta$  prijelaza kod kvara ili  $106^\circ\text{K}$  prijelaza kod  $\text{SrTiO}_3$ . Pokazano je da je mikroskopski proces koji dovodi do faznog prijelaza I.rede interakcija triju mekih fonona. Takova interakcija može potjecati od piezoelektričnog vezanja fonona ili indirektno preko interakcije mekih fonona s akustičkim fononima. Numerički račun daje ovisnost frekvencije mekih fonona o temperaturi; rezultat koji će se moći uporediti s eksperimentom. Taj rad nije još završen.

Publikacija Phys.Letters, 35A, 335 (1971).

K.Šaub je, zajedno sa S.Barišićem, vršio teorijsku analizu termičkog ponašanja spektra fonona smika u legurama  $V_3Si$  tipa. Dokazano je da, pri različitim odnosima parametara, postoje tri kvalitativno različita ponašanja spektra u blizini kritične točke nestabilnosti rešetke. Tako, Kohnova anomalija može uopće ne biti prisutna u spektru; najzanimljivija je situacija kad su svi dugovalni modovi smika sve do Kohn-ovog moda podjednako renormalizirani, a renormalizacija se naglo smanjuje za kraće valove; konačno, moguće je da samo vrlo usko područje oko Kohnovog moda pokazuje jaku temperaturnu ovisnost (omekšanja) dok su oba kraja spektra samo slabo renormalizirani. Taj rad, i usporedba s neutronske mjerenjima na  $Nb_3Sn$ , što su ih proveli, Shirane i Axe, su u toku.

V.Zlatić surađuje s Prof.Rivierom u Imperial Colledge-u u Londonu. Oni su konstruirali model kojim se kontinuirano prelazi iz Andersonovog modela d-stanja ortogonalnog na s-vrpou u Wolff-ov čisti d-model. Diskusija se provodi u funkciji parametra koji mjeri neortogonalnost d-stanja na stanje vrpoe. Razmatrano je ponašanje električne vodljivosti pri kontinuiranom prijelazu od Friedel-Andersonovog na Mills-Lederer rezultat. U toku su usporedbe s mjerenjima vršenim na ovom Institutu. Rad je djelomično iznesen na Konferenciji fizike čvrstog stanja u Manchesteru (siječanj 1972) i spreman je za objavljivanje.

### Zaključak

Rezultati rada u prošloj godini vrlo su zadovoljavajući. Nov i važan prodor učinjen je u odavno stagnirajućem području teorije supravodljivosti prijelaznih metala i njihovih legura. Vjerujemo da je time po prvi put dobiveno kvalitativno ispravno i poimanje te pojave. Postignut je i važan napredak u razumjevanju ponašanja jednodimenzionalnih supravodiča, a time i ostalih, jer rezultati točnog računa služe kao test za razne približne metode upotrebljavane i u više dimenzija. U oba ta područja Institut se nesumnjivo nalazi u prvim redovima svjetske nauke.

## T A J N I Š T V O

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

Tajnik:

KRSTO PERKOVIĆ, dipl. pravnik

Struktura i sastav

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

Brojno stanje na dan 31.XII 1971.

- |                            |       |
|----------------------------|-------|
| - Služba općih poslova     | 6     |
| - Služba računovodstva     | 2     |
| - Nabavno-skladišna služba | 2     |
| - Radionica                | 2 (1) |
| - Knjižnica                | 1 (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 1971. godini financirali su:

- |  |     |                  |
|--|-----|------------------|
| - Republički fond za naučni rad SRH<br>(1 bivši Savezni) | din | 2,493.691,45     |
| - Sveučilište u Zagrebu                                  | "   | 528.336,00       |
| - Republ.fond za nauč.rad - stipendije                   | "   | 180.000,00       |
| - Ostali   |     | <u>95.230,70</u> |
| Ukupno dinara  |     | 3,301.258,15     |

U 1971.godini Institut je ostvario:

Ukupan prihod	dinara	3,301.258,15
Troškovi poslovanja	"	1,826.269,47
Dohodak	"	1,474.988,68

Ostvareni dohodak raspoređen je po Odluci Radne zajednice:

- za osobne dohotke	dinara	1,180.490,80
- za ugovorne obaveze	"	58.764,25
- za zakonske obaveze	"	32.556,85
- za rezervni fond - obavezni dio	"	38.018,00
- za fond zajedniš.potroš.-opća namj.	"	58.287,98
- za fond zajedniške potrošnje - dio za stamb.izgradnju	"	45.567,80
- za fond za naučna istraživanja	"	61.303,00

Za novu opremu Institut je u 1971.godini utrošio dinara 320.060,00.

Institut duguje po osnovi kredita iznos od dinara 1,711.271,95.

Na ime otplate kredita u 1971.godini isplaćeno je dinara 192.978,15.

Anuiteti za 1972.godinu iznose dinara 198.978,15 dinara.