

IZVJEŠTAJ O RADU
INSTITUTA ZA FIZIKU SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAGREB
1.I - 31.XII 1975.

P R E D G O V O R

Ova prošla 1975. godina bila je i za Institut za fiziku Sveučilišta godina velikih promjena organizacionog karaktera posebno obzirom na reorganizaciju sistema financiranja i planiranja znanstvenog rada. U vezi s time mnogi znanstveni radnici Instituta, pored svojih dužnosti u vezi sa kreativnim znanstvenim radom i postdiplomskom nastavom, suočili su se s dodatnim zadacima oko reorganizacije znanstvenog rada u Republici. Njihova aktivna pomoć i angažiranost pokazala je spremnost ove organizacije da konstruktivno pristupi rješavanju problema oko organizacije znanstvenog rada na samoupravnim principima i na osnovu shvaćanja da znanstveni rad služi u prvom redu razvoju našeg društva u svakom pogledu te da znanstvenici treba da budu u stalnom dodiru sa proizvođačem u privredi.

Tokom naših napora da se uspostavi uža veza između proizvođača i znanstvenika ostvareni su značajni rezultati te je uvelike savladana nekadašnja međusobna izoliranost. Znanstvenici su počeli shvaćati probleme proizvođača a i proizvođači su došli do zaključaka koliko pomoć mogu dobiti od znanstvenika u pogledu primjene znanstvene metode u industrijskim istraživanjima i u korištenju tehnološkog "know-how".

No uz novo nastali "entuzijazam" oko mogućnosti korištenja znatnih znanstvenih kapaciteta u Republici pojavljuju se (na sreću samo izolirani) primjeri tendencija da se zanemaruje podrška "čistoj" znanosti i to na osnovu pogrešnog shvaćanja da je ona "bezkorisna". (Sjetimo se da je otkriće tranzistora i nuklearne energije proizvod čiste nauke). Ne samo da je daljnji razvitak "čiste" znanosti bitan za razvoj "primijenjene" znanosti i tehnologije (jedna i druga su direktni produkt one prve) već institucije kao što je ova, gdje se uz primijenjena istraživanja vrše i fundamentalna i gdje se vrši nastava III stupnja, predstavljaju ustanove bitne za proširenu reprodukciju znanosti.

Svaki napor da se sredstva namijenjena za razvitak takvih ustanova divertiraju za neke kratkoročne uske i lokalne projekte čiji je značaj za razvoj privrede u najboljem slučaju marginalan, doveo bi do nenadoknadive

štete znanosti u našoj zemlji koja bi ostala kao vidni ožiljak u našem društvu za dugi niz godina.

Smatramo dakle da svi dosadašnji viabilni projekti fundamentalnih istraživanja treba da budu i dalje podržavani i prošireni. Uz to potrebno je otvarati nova polja primijenjenih istraživanja dodatnim sredstvima. Poznato je da naša zemlja relativno vrlo malo ulaže u znanost u usporedbi s ostalim zemljama koje se s nama dadu uspješno uporediti na drugim poljima.

U okviru društvenog plana za naredni period naš Institut dao je vjerujemo konstruktivan prijedlog ekspanzije projekata dosadašnjih istraživanja u primijenjena polja u domeni metalurgije, brodogradnje, mašingradnje, telekomunikacija, elektronike, kompjutorskih nauka, ispitivanja materijala i medicine. Ovaj plan dajemo ovdje kao dio ovog uvoda jer smatramo da svaki progresivni radnik u privredi može u njemu naći nešto zanimljivo. Ovaj plan nije nerealan. Imamo i kapacitete i kadrove da na njegovoj realizaciji započnemo danas.

B.Leontić

P r i j e d l o z i

za definiranje ciljeva i potreba za znanstvenim radom u SRH za razdoblje
1976 - 1980.

1. a) Fizika metala

Razvoj novih amorfnih metastabilnih i ostalih metala i materijala s naročitim električnim, magnetskim i mehaničkim svojstvima. Proučavanje transportnih svojstava vodiča s kontroliranim primjesama. Rad na teoriji stabilnosti i transportnim svojstvima. Razvoj posebnih metala i materijala od interesa za direktnu konverziju energije. Razvoj tehnika ultrabrzog kaljenja i izvlačenja profila direktno iz taljevine.

Vidi Appendix I

b) Tekući kristali i sl.

Rad na raznim aspektima faznih prijelaza posebno rad na tekućim kristalima. Razvoj indikatorskih sistema s tekućim kristalima za elektro- ničku i električnu industriju. Razvoj kalorimetrijskih tehnika.

Vidi Appendix II

c) Fizika poluvodiča

Istraživanja osebina poluvodiča posebno u vezi s njihovim električnim svojstvima i svojstvima koja su relevantna za proizvodnju poluvodičkih elemenata. U vezi s tim od naročitog interesa je proizvodnja amorfnih poluvodiča. Naročita pažnja treba biti usmjerena na poluvodiče od interesa za direktnu konverziju energije.

Vidi Appendix III

d) Fizika površina

Potrebno je otvoriti i proširiti polje rada na fizici površina koja je od bitnog značaja za teoriju rada katalizatora u kemijskog industriji kao i za direktnu konverziju energije. Predviđa se rad na teoriji površina i zatim i eksperimentalni rad.

Vidi Appendix IV

e) Optička svojstva

Razvoj optičkih sredstava za usmjeravanje energije radijacije. Od posebnog interesa su optički filteri koji omogućavaju hvatanje sunčeve energije u termičku zamku.

Od posebnog je interesa razvoj radijatora koji isijavaju niskotemperaturnu radijaciju u svemir. Ovakav način hlađenja mogao bi povećati vrlo drastično efikasnost termodinamičkih strojeva budući da je termodinamička temperatura svemira nešto iznad 3 K. Ovo je važno da bi se reduciralo "termalno onečišćenje" okoline.

Vidi Appendix V

f) Atomska fizika

Rad na proučavanju atomskih procesa u vrućim plinovima i plazmi. Istraživanja na laserima i laserskim materijalima te upotreba lasera u interferometriji od posebnog interesa za nedestruktivno ispitivanje materijala i struktura. Ovo posljednje naročito je važno u metalnoj industriji, brodogradnji, mašingradnji i sl.

Vidi Appendix VI

g) Primijenjena fizika

Iako pojedine grane primijenjene fizike postoje u svim gore navedenim grupama treba naglasiti da će Odjel primijenjene fizike trebati poduzimati sve tehnološke operacije u vezi s problemima transfera tehnologije te će u uskoj suradnji s onim privrednim organizacijama kojima je to od interesa poduzimati pilotnu proizvodnju i izradu dokumentacije potrebne za transfer tehnologije.

Vidi Appendix VII

2) U cilju ostvarenja gore navedenih programa potrebno je ostvariti uvjete dobivanja vrlo niskih temperatura (do 30 mK), uvjete dobivanja metastabilnih poluvodiča, te istražiti transportna svojstva amornih poluvodiča.

Potrebno je dalje razradjivati teoriju kvazi jedno-dimenzionalnih vodiča, te ostale aspekte elektron-fonon interakcije.

Treba izgraditi niz uređaja za kontinuirano superkalfjenje iz rastopine i istražiti uvjete za formiranje pojedinih metastabilnih metalnih sistema.

Kužno je stvoriti uvjete za ostvarenje većih površina snimanja holografskih slika za analizu deformacija većih struktura.

3) Trebalo bi stvoriti uvjete za proizvodnju manjih prototipova supervodljivih motora i generatora te supervodljivih magneta. Za to izvjesni vrlo skućeni kapaciteti već postoje. Međutim trebalo bi proširiti te kapacitete dodatkom radionice za izradu dewara i za razvoj superizolacije. Takodjer bi trebalo proširiti kapacitete za proizvodnju tekućeg helija od postojeće koja je jedina koja postoji u SR Hrvatskoj.

4) Sve je definirano pod 3).

5) a) Fizika metala - Fizika čvrstog stanja "Istraživanje metalnih sistema u binarnim i ternarnim čvrstim otopinama"

Nastavit će se istraživanje strukturnih svojstava neravnotežnih i amornih faza dobivenih brzim kaljenjem. Ispitivat će se procesi koji se zbivaju pri plastičnoj deformaciji metala i slitina. Istraživat će se transportna svojstva sistema s anomalnim raspršenjem. Razvijat će se eksperimentalna tehnika mjerenje specifičnih termičkih kapaciteta na niskim temperaturama. Prići će se realizaciji "hladnog" superkalfjenja s nadom da se dobiju amorfne i primitivne strukture, i nadalje će biti eksplorirane mogućnosti plasmana u privredi svih produkata istraživačke tehnologije. Nastavit će se istraživanja na anizotropnim vodičima, na faznim prijelazima u nisko-dimenzionalnim sistemima, na vodljivosti u prisustvu magnetskih momenata.

b) "Optička svojstva materije -- spektroskopska i optička ispitivanja sredstva"

Početak će se istraživanjem spektara difuzne refleksije CdS-MnS kod 4.2K. U tu svrhu trebat će učiniti sve aparativne pripreme za rad s tekućim He. Proučavat će se difuzne refleksije MnS kod 293K, 77K i eventualno 4.2K. Istraživat će se fazni prijelazi MnS iz nestabilne, ružičaste faze, u stabilnu zelenu fazu, izohronim grijanjem i snimanjem spektara difuzne refleksije. Osposobiti će se jedan spektrograf za studij spektara difuzne refleksije u infracrvenom području, napose za proučavanje CdS-MnS sistema kao i za poluvodiče dobivene ultrabrzim kaljenjem. Korelirat će se dobiveni rezultati iz već prije učinjenih mjerenja i nastojat će se naći njihovo teorijsko tumačenje. Spektroskopsko određivanje parametara atoma ekscitiranih u visoko-temperaturnom luku, te proučavanje sudara u nisko-tlačnim parama koje se radijativno pobudjuju laserom.

c) "Istraživanje faznih prijelaza u poluvodičima i drugim čvrstim tijelima"

Tema je logički nastavak istraživanja fizičkih svojstava binarnih poluvodičkih spojeva i njihovih čvrstih otopina. Fazni prijelazi predstavljaju danas velik interes u osnovnim i primijenjenim disciplinama i njihovim se istraživanjem bave mnoge institucije u svijetu. U sljedećem razdoblju predviđa se istraživanje prijelaza metal-nemetal u različitim poluvodičkim sistemima. Istraživanja će se postepeno proširiti i na amorfne materijale.

d) Istraživanje na području elektroničke tehnologije

"Programiranje, dobivanje i ispitivanje Si-Si i Si-X struktura dobivenih depozicijom iz parne faze"

Tema je nastavak preliminarnih istraživanja na polju planarne tehnologije poluvodičkih elemenata. U sljedećem periodu se predviđa projektiranje povoljnih parametara te verifikacija pokusom dinamičke zavisnosti dopiranog epi profila o brzini rasta, nivou dopiranja i dinamičkom odzivu na promjenu nivoa dopiranja.

c) Astrofizika - Fizika Sunca

Praćenje (snimanje) pojava na Suncu, u fotosferi i kromosferi, s posebnim interesom u razvoju grupa pjega i aktivnih oblasti. Proučavat će se pravilnosti i fizičke veze, utjecaj koji na dijagnostiku stanja Sunca imaju laboratorijski određena svojstva visoko-temperaturnog plina, te fizički procesi i spektri protuberanci.

APPENDIX I

Fizika metala

1. Amorfni metali

Već je u ovoj fazi razvoja fizike metala jasno da amorfni materijali pružaju neke nove i do sada nevidjene mogućnosti primjene. Evo nekih:

a) Amorfni magnetski materijali mogu se proizvoditi u vrpčama (Institut za fiziku Sveučilišta bio je prvi u svijetu koji je konstruirao aparaturu za kontinuirano ultrabrzo kalenje iz otopine) i na taj način omogućuju direktni finalni proizvod iz otopine jednom jedinom operacijom uz ogromnu energetska uštedu. Konstrukcija napr. transformatorskih jezgara biva pojednostavljena jer se jezgra može naprosto namotati natopljena u epoksidu i prerezati te polirati za montažu. (Ta metoda se i danas upotrebljava za trake od FeSi željeza ali u ograničenim količinama).

b) Amorfni materijali su u principu imuni od korozivne frakture (corrosion cracking) jer se ne kalaju kao kristalični materijali.

c) Amorfni materijali već zbog prirode njihove proizvodnje mogu odlično poslužiti kao materijal za kompozitne strukture.

d) Amorfni supervodiči predstavljaju novi izazov u fizici poluvodiča i veliki potencijal za primjenu supervodljivosti.

2. Ultrabrzo kalenje i izvlačenje metalnih profila direktno iz taljevine

Institut za fiziku je pionir tehnike izvlačenja krutog materijala direktno iz otopine (v.Konf.u Brelina 1970). U SAD ova tehnika je primijenjena u metalurškim laboratorijama. Sada se tamo pomoću metode "pendant drop" izvlače konci od metala, minijaturni "ingoti" (1x0.05 mm) za sinteriranje, te žica. Pomoću jedne druge metode izvlačenja taljevine kroz neki "posebni" fluid (General Electric to kaže ali se vjerojatno radi o tzv. FC75 fluidu) izvlači se žica vrlo velike čvrstoće.

Mi smo u Institutu za fiziku i opet jedan korak ispred ostalih u toliko da imamo mogućnosti izvlačenja profila naročito supljih direktno iz taljevine. Ovaj proces trebalo bi realizirati na većoj skali i

ostvariti pilotnu proizvodnju te tehničku dokumentaciju. Postoje ogromne mogućnosti uštede energije ako bi se veliki dio profila napr. S.M. čelika i aluminija mogao izvlačiti direktno iz taljevine.

3. Kvazijednodimenzionalni vodiči i mogućnost razvoja visokotemperaturnih supervodiča

Već dulje vremena poznato je da neki organski materijali pokazuju fenomenno povećane vodljivosti u jednom smjeru. Ova povećana vodljivost popraćena faznim prelazom (distorzijom kristalne rešetke) analogno kao kod supervodiča. Iako se ne radi o supervodljivosti treba naglasiti da se ovdje javlja jedan mehanizam koji bi mogao dovesti do visokotemperaturne supervodljivosti a time do tehnološkog prodora prvog reda. Supervodiči mogu da posluže za uskladištenje energije. Supervodljivi toroidni magneti predstavljaju skladišta energije ogromne gustoće gdje se električna energija može i pohraniti i koristiti po volji brzo.

Na našem Institutu radi se intenzivno na kvazijednodimenzionalnim materijalima i taj program treba nastaviti i proširiti.

4. Materijali iznimne čvrstoće

Već je odavno poznato da materijali u obliku tankih vlakana imaju iznimnu čvrstoću. Tako napr. vlakna od grafita ("whiskors") imaju čvrstoću mnogo veću od kvarcnog vlakna koje je i samo mnogo čvršće od staklanog.

Trebalo bi ispitati do koje mjere su vlakna od amorfnih metala čvrsta i kako su otporna na koroziju.

S druge strane razvoju novih kompozitnih struktura treba posvetiti posebnu pažnju jer novi čvrsti kompozitni materijali mogu da posluže za konstrukciju rotora za inercijalno uskladištenje energije. Već danas postignuti su rezultati uskladištenja energije na ovaj način i to do gustoća ("kólogram" za kilogram) većih od kemijskih goriva.

APPENDIX - II

Tekućí kristali kao medij vizuelne informacije

Već duže vremena upotrebljavaju se vizuelni indikatori zasnovani na električnim svojstvima tekućih kristala. Napomenimo da mnogi ručni električni satovi, džepni kalkulatori, instrumenti itd. upotrebljavaju ovu vrstu indikatora.

Prednost ovih indikatora leži u tome da za razliku od L.E.D. dioda, i plazma indikatora troše toliko malo energije da se u većini električnih krugova njihova realna impedancija zanemaruje. Do sada međutim nema usvojene tehnologije za proizvodnju ovih naprava kod nas. K tome još treba pridoneti činjenicu da je potrebno uložiti još dosta istraživačkog rada da bi se kontrast, vidljivost i brzina ovih naprava poboljšala.

Mi posjedujemo svo znanje i tehnološke mogućnosti za ostvarenje transfera tehnologije za proizvodnju indikatora. Rad na ograničenoj (demonstrativnoj) proizvodnji istih započeti će tokom 1976. bez obzira na vrlo skućena sredstva.

APPENDIX III

Amorfni poluvodiči

Jedna od najvećih teškoća oko proizvodnje poluvodičkih elemenata, naročito onih velikih dimenzija sastoji se u tome da osim velike čistoće sam poluvodički "chip" treba biti dio monokristala. Kod proizvodnje tranzistora tehnologija rezanja "wafers" ili proizvodnja "webb" kristala već je uhodana i obzirom na male dimenzije elektronskih elemenata ne predstavlja danas bitan problem u proizvodnji izuzev da znatno utječe na visoku cijenu proizvoda.

Ako međutim počnemo razmišljati o proizvodnji velikih solarnih ćelija za direktnu konverziju sukobljavamo se s dvije činjenice: Prvo, efikasnost konverzije sadašnjih elemenata je mala i, drugo, cijena elemenata je prohibitivno visoka ako bismo ozbiljno mislili na masovnu primjenu istih.

Amorfni poluvodiči obećavaju da riješe oba problema naročito ovaj drugi koji je imperativan ukoliko se želi govoriti o masovnoj upotrebi direktne konverzije. I ovdje mi smo prvi u svijetu uspjeli proizvesti amorfni germanij u miligramskim količinama* a imamo mogućnosti da ga proizvedemo u mnogo većim količinama. Stoga je važno da se i ovdje krene putem istraživanja mogućnosti proizvodnje velikih količina amornih poluvodiča čija će karakteristike odgovarati svrsi. Ovo posljednja je opet predmet istraživanja čiste fizike poluvodiča.

* "Bulk" za razliku od filma

APPENDIX IV

Fizika površina

Ovo je "najnovija" i najmanje sistematski istražena grana fizike kondenzirane materije. Obzirom na njezinu širu primjenu ona je jedna od najvažnijih.

Fizika površina bavi se fundamentalnim procesima koji se odvijaju na granici između dva medija od kojih je jedan fluid ili plin. Teorijski formalizam je složen a eksperimentalni rad zahtijeva složene uređaje i kontrolirane uslove.

Ako se međjutim sjetimo da je upotreba ovih katalizatora u industriji (i drugdje) zasnovana na procesima koje proučava ova grana fizike, onda je nemoguće precijeniti njezin značaj. Napomenimo da je već danas ostvaren proces direktne konverzije kemijske energije u električnu s efikasnošću od 80%(1) Ako se nadalje sjetimo da bi konverzija sunčeve energije u kemijsku potencijalnu energiju (biljke, alge itd) mogla da daje velike količine metana ili alkohola onda vidimo da bi proces sunčeva energija → biljke → metan (alkohol) → električna struja ostvario praktičan put korištenja razrijeđene sunčeve energije i to s efikasnošću koja ne zaostaje za onom ostvarivim kraćim (i ne uvijek stabilnim) putem.

Praktični rad na gorivnim ćelijama dakle predstavlja dio istraživanja bez kojih moderna zajednica ne može biti. I ovdje je potrebno dugoročno planiranje, izgradnja kadrova, započinjanje i kasnija ekspanzija projekta.

APPENDIX V

Optičke stupice za direktnu konverziju energije

Već je odavno fizičarima poznato da ako se neki predmet presvuče optičkim filtrom koji je proziran na visokofrekventnu radijaciju a neproziran za dalju infracrvenu radijaciju te ako se ovakav predmet podvrgne sunčevoj radijaciji u adijabatskim uslovima predmet dosegne temperaturu crvenog žara (1) Radi se o radijacionoj stupici. Analogan proces u mnogo radimentarnijem obliku (bez adijabatskih uslova) koristi se u staklenicima gdje se i zimi mogu na taj način ostvariti uvjeti za rast biljaka koje ne podnose studen. Na "malo" većoj skali dimenzija ovi uvjeti postoje i na planeti Veneri (s adijabatskim uslovima) gdje je temperatura površine oko 400°C.

Činjenica je da se ovi uslovi adijabatskih generatora mogu ostvariti i na zemlji (na tome se mnogo sada radi) a time i omogućiti mnogo efikasniju konverziju sunčeve energije u termalnu. Budući da Sunce u prosjeku donosi na svaki četvorni metar zemlje energije reda 1-2 kW to je očito da bi se razvojem optičkih stupica moglo riješiti mnoštvo problema koji se sada rješavaju gomajem fosilnih (i dragocjenih) goriva.

Postoji nedjotim i jedan drugi aspekt ovog problema i mogućnosti koje fizika optičkih slojeva može da ostvari. Već je danas poznato da ako usmjerimo u svemir paraboličko zrcalo u čijem se žarištu nalazi neki predmet koji je prekriven optičkim filtrom koji je proziran u dalekom infracrvenom dijelu spektra a neproziran u bližem I.C. i vidljivom dijelu spektra, te ako je čitavo infracrveno zrcalo izolirano na blizu infracrvenu i vidljivu radijaciju (materijali za ovo postoje: napr. polidefini) a predmet se nalazi u vakuumu onda se taj predmet može u principu ohladiti na temperaturu svemira (koja je 3K). Do sada su na taj način u praksi u laboratoriju postignute temperature od oko -40°C.

Ove naprave su od naročito značaja kao potencijalni niskotemperaturni spremnici ("sink") za termodinamičke mašine, jer, kako svaki fizičar i termodinamičar zna, efikasnost termodinamičkih strojeva ovisi o razlici apsolutnih temperatura između kojih stroj radi. No, ne samo da ovakovi radijatori mogu povećati termodinamičku efikasnost strojeva, oni također drastično smanjuju tzv. termalno onečišćenje okoline što je od neprocjenjive važnosti za ekologiju.

Iako su naši Odjeli fizike joniziranih plinova i Fizike optičkih svojstava u stanju da započnu rad na ovakovom projektu, manjak sredstava i sufinancijera do sada je spriječio početak rada na ovom problemu. I ovdje bi trebalo stvoriti nove kadrove i započeti projekt.

APPENDIX VI

1. Laseri i laserska interferometrija

Već dulje vremena aktivno kod nas rade fizičari na problemima lasera i laserske interferometrije.

U novije vrijeme načinili smo velik korak u smislu ostvarivanja laserskih holograma velikih dimenzija za nedestruktivno ispitivanje dijelova mašina. Napominjemo da se ovdje radi o metodama koje su toliko precizna i tako osjetljive da se često puta može sa sigurnošću proricati sudbina pojedinih dijelova mašina i brodova (napr. košuljice velikih Diesel motora) obzirom na njihovu trajnost koja ovisi o raznim većim ili manjim "felerima".

Međutim i ovaj uređaj ostvaren je posudbom argonskog lasera od strane firme koja ga proizvodi i ne postoji nikakva garancija da će bilo koja privredna organizacija (usprkos velikom interesu) moći ili htjeti sufinancirati kupnju istog. Stoga je važno napomenuti da se i ovdje mora pričati financiranju projekta "per se" u kojem će zainteresirani participirati financijskom odgovornošću.

2. Rasvjeta

Fizičari koji se bave atomskom spektroskopijom i fizikom plazme mogu da mnogo doprinesu povećanju efikasnosti rasvjetnih sredstava pomažući industriji zaraditi da upotrebljava efikasnije materijale i da efikasnije koristi postojeće.

3. Datiranje termoluminiscencijom

Na Institutu za fiziku razvijena je metoda datiranja arheoloških predmeta pomoću metode termoluminiscencije.

APPENDIX VII

Primijenjena fizika (Tehnologija i sl.)

Sve što smo do sada spomenuli o potencijalitetima fizičkih istraživanja ostaju i dalje samo mogućnosti ukoliko ne formiramo odjel primijenjene fizike u kojem ćemo imati znatan broj kadrova koji su u stanju:

a) duboko shvatiti fundamentalne fizikalne principe na kojima se zasnivaju pojedini procesi, b) znati implementirati te principe i time realizirati naprave koje će demonstrirati ispravnost prilaza rješenjima tehničke prirode, c) vršiti transfer tehnologije i sastavljati tehničku dokumentaciju koju privredne organizacije mogu koristiti. U isto vrijeme trebaju savjetom i direktnim angažiranjem pomoći tehničkim kadrovima u privredi da savladaju inicijalne teškoće.

Ovdje se ne može dovoljno naglasiti da je potrebno poduzeti dugoročno planiranje da bi se izgradili kadrovi za ovu vrstu istraživačkog rada, da bi se ostvarile radionice za izradu prototipova te pogodi za pilotnu proizvodnju.

Napominjemo da u prethodnom tekstu nismo naveli neke istraživačke projekte koji prirodno moraju da slijede ili prate glavni istraživački rad. To su napr. a) Projekti uskladištenja termalne energije razvojem napr. eutektičkih sistema ili sistema s drugim faznim prijelazima visoke latentne topline (fizika faznih prijelaza). b) Razvoj metoda elektrolize i korištenja tako nastalih plinova za direktnu katalitičku konverziju (v. Appendix IV). Ovo je naročito važno za razvoj metoda korištenja energije vjetera i ostalih nestalnih izvora energije. c) Razvoj novih geometrija električnih motora i generatora da bi se isti adaptirali za upotrebu amorfnih magneta (v. Appendix I). d) Razvoj supravodljivih prototipova (motora, generatora, transformatora, transmisionih linija itd.). e) Stvaranje novih uređaja za kontroliranu kontinuiranu proizvodnju materijala direktno iz taljevine (kontinuirane peći, mašine za nanatanje itd) i ostali problemi u vezi s filozofijom proizvodnje. f) Ispitivanje adaptabilnosti novih materijala za konstrukciju uređaja gdje su do sada upotrebljavani konvencionalni materijali (napr. da li bi se metalna vlakna mogla koristiti kao sirovina umjesto staklenih za "fiberglass" proizvoda; da li bi cijevi vučene iz taljevine bile bolje ili gore od sadašnjih bezšavnih; da li bi vrpce od amorfnog magneta mogle zamijeniti jezgre transformatora i motora i kako fabricirati nove uređaje; da li bi profili i cijevi vučeni iz taljevine i ultrakaljeni u amorfno stanje bili bolji konstrukcioni materijal od kristalinih materijala itd, itd).

Mo ne samo da je potrebno ove projekte usvojiti i dugoročno planirati već je neophodno da se u okviru SIZ-a ili RIZ-a ili pak na nivou Republičkog savjeta za znanstveni rad obrazuju stalne radne grupe ili komisije koje bi služile kao most komunikacije između proizvodnih privrednih organizacija te njihovog marketing sistema i ustanova gdje se avangardna znanstvena istraživanja vrše. Na taj način privreda i društvo imati će uvijek gotov odgovor na pitanja i gotova rješenja problema kad se ovi pojave.

Primijenjena fizika (medicina, biologija i sl.)

Vidi Appendix VII-a

APPENDIX VII-a

Primijenjena fizika (medicina i sl.)

a) Kriokirurgija

U Institutu su se do sada vršili eksplorativni pokusi s krioprobama manjih i većih dimenzija u svrhu kriokirurških zahvata. Načinjeni su opiti na tkivu, a jedan tip krioprobe upotrebljen je u Središnjem Institutu za tumore i srodne bolesti na realnoj operaciji melanoma. Rezultati su bili pozitivni. Načinjena je i manja krioproba koja čeka na opite u Zavodu za eksperimentalnu kirurgiju u Zagrebu.

Smatrano da bi dalji razvoj ove važne grane medicinske fizike bio uvjetovan stvaranjem posebnog projekta na kojemu bi radile ekipe iz više institucija.

b) Pacemakeri

U suradnji s Klinikom za plućne bolesti i TBC, poduzeta je inicijativa da se stvori nova vrsta pacemakera za srčane bolesnike koja bi se implantirala u tijelo permanentno (sadašnji tipovi moraju se mijenjati otprilike svake tri godine radi ograničenosti trajanja baterija) a izvor napajanja bi bile kvalitetne sekundarne ćelije koje bi se povremeno punile električnom energijom izvana i to pomoću mikrovalova. Princip je potpuno dostupan realizaciji s postojećom tehnologijom.

Nažalost i ovdje, manjak zainteresiranih sufinancijera, kao i nemogućnost Instituta da odvoji posebne kadrove isključivo za ovaj projekt priječilo je brzo napredovanje ka realizaciji ovog dragocjenog pomagala u medicini. I ovdje treba energično pokrenuti akciju ka realizaciji programa.

II ORGANI UPRAVLJANJA INSTITUTA

ZBOR RADNIKA

Predsjednik Zbora radnika

HACEK BRANKO, voditelj meh.radionice Instituta

RADNIČKI SAVJET

Predsjednik Radničkog savjeta

Dr KATARINA KRANJC, znanstveni savjetnik u Odjelu fizike metala I

Članovi Radničkog savjeta:

1. Dr EMIL BABIĆ, znan.suradnik u Odjelu fizike metala II
2. KOZINA LJUBICA, v.ref.općih poslova u tajništvu
3. SERTIĆ MILAN, v.tehn.suradnik u Odjelu fizike metala II
4. STIPČIĆ STJEPAN, KV radnik u meh.radionici Instituta
5. mr SUBAŠIĆ DAMIR, asistent u Odjelu fizike poluvodiča
6. Dr VELJKO ZLATIC, asistent u Odjelu teorijske fizike
7. Dr IVAN ILIĆ, doc.Elektrot.fakulteta - pred.Sveučilišta
8. Dr MLADEN MARTINIĆ, viši znan.sur.IRB-a, pred.Sveučilišta

Zamjenici članova Radničkog savjeta

mr RUDOLF KRŠNIK, asistent u Odjelu fizike metala II

VIJEĆE PROČELNIKA

Članovi Vijeća pročelnika:

1. Dr SLAVEN BARIŠIĆ, znan.suradnik - pročelnik Odjela teorijske fizike
2. Dr ANTUN BONEFAČIĆ, znan.savjetnik - pročelnik Odjela fizike metala I
3. Dr BORAN LEONTIĆ, znan.savjetnik - pročelnik Odjela fiz.metala II
4. Dr ZVONIMIR OGORELEC, viši znan.suradnik - pročelnik Odjela fiz.poluvodiča
5. Dr MLADEN PAIĆ, znan.savjetnik - pročelnik Odjela optička svojstva kristala
6. Dr VLADIS VUJNOVIĆ, v.znan.suradnik - pročelnik Odjela fiz.ioniz.plinova

DIREKTOR INSTITUTA

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

III IZVJEŠTAJ ORGANIZACIONIH JEDINICA

ODJEL FIZIKE METALA I

Pročelnik Odjela:

ANTUN BONEFAČIĆ, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - znanstveni savjetnik

Znanstveni suradnici:

KATARINA KRANJC, doktor fiz.nauka, red.profesor PMF-a Sveučilišta u Zagrebu - znanstveni savjetnik

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 FRANETOVIĆ, 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 istraživačkog rada

1.1. Ispitivanje strukturnih i mehaničkih karakteristika slitina

1.1.1. Ispitivanje kristalnih faza i faznih prijelaza

U 1975. godini nastavljen je rad na ispitivanju neravnotežnih faza dobivenih brzim kaljenjem iz taljevine. Završena su detaljna ispitivanja stupnja disperzije otopljenih atoma u čvrstim otopinama aluminij-nikal i aluminij-kositar. Ispitan je razvoj nakupina otopljenih atoma u procesu dozrijevanja kao i kinetika precipitacije. Pritom su primijenjene metode raspršenja rendgenskih zraka pod malim kutem, analizirani su profili linija difraktiranih pod velikim kutem, primijenjene metode elektronske mikroskopije i mjerenja mikrotvrdoće. Sve te različite metode, međusobno korelirane, poslužile su karakterizaciji slitina aluminij-nikal i aluminij-kositar. Postoje mogućnosti šire primjene spomenutih tehnika ispitivanja na procese korozije, karakterizaciju metalnih stakala i razvoja novih slitina.

U slitini aluminij-srebro kaljenjem iz tekuće faze ostvarena je idealnija čvrsta otopina u odnosu na čvrstu otopinu dobivenu konvencionalnim kaljenjem. To nam je pružilo mogućnost istraživanja početnog stadija raspada, koji se ne može ispitivati na konvencionalno kaljenoj slitini, budući da se u toj slitini početni dio raspada već zbilo tijekom samog kaljenja. Potpun uspjeh metode kaljenja iz tekućine na slitini aluminij-srebro bit će ostvaren tek onda kada se utvrdi spinodalna temperatura za različite koncentracije srebra u aluminiju, što će omogućiti konstrukciju spinodalne krivulje za sistem aluminij-srebro. Ta je krivulja značajna za teorijska termodinamička razmatranja. Istraživanje spinodalne dekompozicije slitine aluminij-srebro, kao i utjecaj dodatka treće komponente na raspad te slitine, započeto je u ovoj i nastaviti će se u idućoj godini.

Nastavljaju se ispitivanja sistema srebro-kositar i srebro-indij. Defekti struktura u sistemima srebro-kositar i srebro-indij proučavaju se rendgenskim i elektronsko-mikroskopskim metodama. Dosad su u tim sistemima uz unutarnje napetosti detektirane i pogreške slaganja (stacking faults), te mjerena energija pogrešaka u slaganju i ispitivana njihova koncentracija

u raznim uzorcima. Mjerenje energije pogrešaka u slaganju vršilo se kako metodama rendgenske difrakcije tako i direktnim promatranjem konfiguracije dislokacija pomoću elektronskog mikroskopa, s ciljem da se utvrdi zbiva li se prijelaz iz heksagonske guste slagaline u kubičnu plošno-centriranu rešetku posredstvom pogrešaka u slaganju. Taj se rad nastavlja.

Započeta su ispitivanja alotropskih transformacija slitina s bazom kobalta. Nisu reproducirani literaturni navodi o kaljenju navodne visokotemperaturne heksagonske γ -faze čistog kobalta, kao ni smjese kobalta s 6% volframa, klasičnim načinom kaljenja, jer se u kaljenom uzorku uvijek ponavljao isti omjer ξ (hcp) i α (fcc) faza kao i u polaznom uzorku. Sinterizirane kuglice čistog kobaltnog praha levitirane su zatim u radiofrekventnom elektromagnetskom polju i kaljene u vodi, tekućem dušiku i medju klipovima (okidanim pomoću infracrvene fotoćelije). U svim varijantama kaljenja dobivena je smjesa podjednakih udjela plošno-centrirano kubičnog i heksagonski gusto slagalog kobalta. Ova se istraživanja nastavljaju.

U suradnji s Central Research Institute for Physics, Budapest, ispitivane su strukturne transformacije u kvazijednodimenzionalnim sistemima (vodiči-poluvodiči). U suradnji s Institutom "Rudjer Bošković" ispitivana su svojstva ternarnih poluvodičkih filmova.

1.1.2. Istraživanje amorfnih tvari

Poznato je da slitina $Pd_{80}Si_{20}$ lako očvršćuje u amorfnom stanju kaljenjem iz tekućeg. Zato je slitina izabrana za uvodno ispitivanje kako bi se steklo izvjesno iskustvo za budući rad koji se planira na ispitivanju slitina s bazom cirkonija, odnosno titana, i dodacima željeza, koje bi prema nekim indikacijama također mogle očvršćavati u amorfnom stanju.

Difraktogram, dobiven metodom skaniranja, brzo kaljene slitine $Pd_{80}Si_{20}$ ima sve karakteristike koje odgovaraju difraktogramu amorfne slitine. Adaptira se program koji će služiti za dobivanje funkcije interferencije, krivulje radijalne raspodjele i funkcije korelacije parova.

Pripremljene su matične slitine $Zr_{76}Fe_{24}$ i $Ti_{71}Fe_{29}$ koje će se pokušati ukaliti u amorfno stanje. Zbog visokih temperatura taljenja, kaljenje će se provesti levitacionim uređajem za brzo kaljenje (vidi dio 1.3.1).

U suradnji s Odjelom fizike poluvodiča ispitivane su karakteristike staklenog germanija.

1.1.3. Plastične deformacije metala i slitina

Sposobnost metala i slitina da se plastično deformiraju ovisi o mnogo faktora, koji se uglavnom ispituju pomoću mehaničkih pokusa, kod kojih se materijal podvrgava određenom naprezanju. No makroskopsko ponašanje je u stvari odraz onog što se dešava unutar materijala, u mikroskopskim razmjerima, i poznavanje tih mikroskopskih pojava neophodno je da bi se moglo rastumačiti makroskopsko ponašanje.

U novije vrijeme mnogo se ispituju metalne slitine s vrlo malim zrnima (oko 1, μ m) koje se ponašaju superplastično, pa se pri određenim uvjetima mogu dobiti produženja i do 2000%. Takvi materijali su vrlo pogodni za obradu jer, suprotno običnim slitinama, ne očvršćuju za vrijeme deformacije, pa je potrošnja energije za njihovu obradu manja. Osim toga, kod superplastične obrade ne javlja se tekstura, pa superplastično formirani metali imaju podjednaka svojstva u svim smjerovima, a zbog zadržavanja sitnozrnate strukture poboljšavaju se mnoga mehanička svojstva.

Da bi se našlo najbolje uvjete pri kojim se neki materijal superplastično ponaša, potrebno je povezati makroskopska i mikroskopska svojstva, te točno odrediti ulogu i utjecaj pojedinih veličina i njihovo zajedničko djelovanje, jer se jedino na taj način mogu predvidjeti i dobiti novi i bolji superplastični materijali koji se mogu koristiti u primjeni.

U ovom Odjelu započeto je ispitivanje superplastičnog ponašanja slitina aluminij-cink i kositar-olovo eutektoidnog sastava, u okviru mogućnosti kojima raspolažemo. Istražuje se mikrotvrdoća uzoraka na različitim temperaturama s konstantnim vremenima opterećenja, što omogućuje procjenu parametara koji se odnose na puzanje materijala, kao što su aktivaciona energija i eksponent naprezanja. Paralelno se istražuje i mikrostruktura uzoraka.

Dosadašnji rad na eutektiku cink-kadmij pokazao je da se taj materijal ponaša superplastično u dosta velikom intervalu brzina deformacije $\dot{\epsilon}$ (10^{-6}s^{-1} do 10^{-3}s^{-1}), u području temperature 180 do 230°C te za veličinu zrna eutektika d 1 do 15μ . Eksperimentalno je nadjeno da je veličina m , s kojom se karakterizira superplastičnost nekog materijala jednaka 0.5 što je i najčešće citirana vrijednost za bilo koju drugu superplastičnu slitinu.

Osim toga nadjeno je da veličina m u eutektiku Zn-Cd ne ovisi ni o deformaciji $\dot{\epsilon}$, ni o vremenskoj trajanju deformacije, što ujedno znači potvrda ranije pretpostavke (A. Tonejc, J.P. Poirier, Scripta Met. 9(1975)555) da se u odredjenim uvjetima veličina zrna može poistovjetiti sa mehaničkom varijablom stanja.

Superplastično ponašanje nekog materijala je dano sa semi-empiričkom relacijom

$$\dot{\epsilon} = K \dot{\sigma}^m d^p \exp(-Q/kT) \quad (1)$$

za čiju konstrukciju je potrebno izvršiti veliki niz mjerenja, radi utvrđivanja indeksa m i p . Sada se radi na eksperimentalnoj provjeri empiričke relacije, koja je nadjena u prošlom periodu, i koja povezuje indekse p i m preko relacije

$$p = (m - n) M \quad (2)$$

gdje je m indeks iz relacije (1), n je indeks koji se dobiva kada se slitina deformira u nesuperplastičnom području, a M je konstanta za koju je nadjeno da je karakteristična za superplastične materijale.

Sada je u toku rad na ispitivanju svojstava dvofaznih sistema kod kojih komponente nisu medjusobno topive ni u čvrstom ni u tekućem stanju (npr. Zn-W, Fe-Ag itd). Eventualno superplastično ponašanje tih materijala pojednostavnilo bi pronalaženje mehanizma superplastičnih deformacija, jer se u tim slitinama smanjuje broj parametara koji mogu utjecati na brzinu deformacije (napr. nema defuzije između faza, deformacija jedne faze može se zanemariti (plastičnost $\text{Zn} \gg \text{W}$) itd). Smatra se da će ta ispitivanja doprinijeti boljem poznavanju procesa koji se zbivaju kod deformacije, jer te vrste eksperimenata, koliko se može zaključiti iz literature, nisu dosad bile radjene.

Smatramo da će se rad na istraživanju plastičnih svojstava metala intenzivnije razviti nakon povratka suradnika Odjela Dr A. Tonejca, koji će uskoro završiti dvogodišnje usavršavanje na tom području u Orsay-u (Francuska). Uvjet razvitka tog područja ispitivanja je nadopuna opreme za mehanička ispitivanja uzoraka, dok su uvjeti za ispitivanja strukturnih svojstava relativno povoljni.

1.2. Teorijsko istraživanje raspršenja rendgenskih zraka na nehomogenim sfernim česticama

Nastavljeno je teorijsko istraživanje raspršenja rendgenskih zraka na sfernim česticama koje su nehomogene obzirom na elektronsku gustoću. Prošle godine bili su nadjeni analitički izrazi za kutnu raspodjelu intenziteta i za neke parametre koji opisuju česticu, za modele s kontinuiranim padom elektronske gustoće, i s oštrim padom dijela elektronske gustoće. Razmatrane su tri funkcije koje predstavljaju raspodjelu elektronske gustoće u čestici: linearni pad, sinus i Gaussova funkcija. Ove godine izradjeni su programi za računanje krivulja raspršenja, za računski stroj Univac i za stolni kalkulator HP9820A; izračunate su i crtane krivulje raspršenja za različite varijante koje su obuhvaćene spomenutim modelima. Primijećeno je da analitički izrazi za "asimptote", tj. za krivulje koje predstavljaju srednju vrijednost intenziteta oscilirajućih krivulja raspršenja kod većih kutova, ne odgovaraju stvarnim asimptotama za neke modele. Stvarne su asimptote valovite krivulje koje se tek kod velikih kutova vladaju po jednostavnom zakonu, tj. intenzitet je proporcionalan s recipročnom vrijednosti n -te potencije kuta raspršenja gdje je n parni broj. Za linearni pad elektronske gustoće $n=6$, za Gaussov i sinus pad $n=8$, a svaki nagli skok uvodi $n=4$.

Teorijska a i grafička analiza krivulja raspršenja za modele s djelomičnim skokom u padu elektronske gustoće, za koje vrijedi Porodov zakon, tj. $n=4$, pokazala je da se iz asimptotskog vladanja može odrediti produkt površine sferne čestice na čijem rubu dolazi do skoka, i visine tog skoka, a taj se podatak može mnogo razlikovati od onog koji bi se morao dobiti da je čestica homogena, odnosno sistem dvofazni.

Pokazano je da krivulje raspršenja dobijene za sve varijante modela, imaju ista općenita svojstva kao i krivulje raspršenja za homogene čestice: 1) one imaju kod vrlo malih kutova oblik Gaussove krivulje (Guinierova aproksimacija), i 2) ukupno raspršenja (invarijanta) u recipročnom prostoru proporcionalno je srednjem kvadratu elektronske gustoće i volumenu čestice.

Takodjer je razmatran model čestice koja se sastoji od dva sferno simetrična dijela različitih elektronskih gustoća, ali oba dijela su homogena. Pri tom jedan dio može imati negativnu elektronsku gustoću, tj. manju od elektronske gustoće sredstva u koje je čestica uronjena. Upravo u ovom slučaju krivulja raspršenja može imati posve drukčiji oblik od krivulja tipičnih za čestice u kojima je elektronska gustoća svuda veća (ili manja) od gustoće okolnog sredstva.

Glavne osobine krivulja raspršenja za sve modele bile su prikazane na 10. Internacionalnom kristalografskom kongresu u Amsterdamu. Potrebno je još daljnje sistematsko istraživanje samih krivulja raspršenja za različite varijante modela da bi se uočio utjecaj pojedinih parametara na oblik krivulje.

1.3. Razvoj eksperimentalnih metoda i uređaja

1.3.1. Poboljšanje efikasnosti brzog kaljenja

Tijekom 1975.god. usavršavan je uređaj za kaljenje metodom levitacije. Uređaj je osposobljen za kaljenje uzoraka s deset puta manjom masom u odnosu na uzorke kaljene u 1974.godini.

Osim levitacije slitina s bazom aluminijska i nikla, koje su u prethodnoj godini jedine kaljene metodom levitacije, u ovoj je godini podešavanjem uređaja za kaljenje postignuta levitacija kobalta, željeza, tvrdog metala, te slitina željeza s cirkonijem i titanom. Kaljenjem se dobivaju uzorci oblika diska s promjerom do 5 cm i debljine cca 30 μm za slitine s bazom aluminijska i između 50 i 100 μm s bazom kobalta. Nastavlja se rad na usavršavanju uređaja u cilju dobivanja što tanjih i što efikasnije kaljenih uzoraka. Usavršavan je i testiran takodjer uređaj za brzo kaljenje pištolj-metodom.

1.3.2. Poboljšanje efikasnosti snimanja krivulja raspršenja

U nastojanju da se poboljša efikasnost snimanja krivulja raspršenja rendgenskih zraka pod malim kutem pomoću Kratkyeve komore, primijenjena je rendgenska cijev veće snage. Izvršeno je konkretno istraživanje jednog dvofaznog sistema (vodena suspenzija kalcij-hidroksiapatita) sa ciljem da se odredi specifična površina. Ovaj podatak bio je potreban grupi suradnika IRB pri istraživanju površinskih svojstava. Naš interes na tom problemu bio je 1) uvođenje metode mjerenja apsolutnih intenziteta pomoću kalibracionog uzorka lupolena, i 2) primjena generalnog Vonkovog programa za analizu krivulja raspršenja. Pokazalo se da je ova metoda mjerenja apsolutnih intenziteta pogodna uz neke uvjete koje mora ispunjavati sam uzorak. Vonkov program, koji omogućuje ostvarivanje mnogo operacija (29 subrutina i mnogo opcija) uhodan je, provjeren i pohranjen u SRCU. Da bi se mogle ostvariti neke mogućnosti koje pružaju novije teorije raspršenja pod malim kutom, dopunjen je nekim programima za stolni kalkulator u IFS-u.

Pokazalo se da je osjetljivost našeg uređaja premala. Izvanredno dugo vrijeme potrebno za mjerenje slabih intenziteta pokazalo je nestabilnost uređaja. Da bi se poboljšala osjetljivost, treba pokušati koristiti drugu geometriju fokusa iste rendgenske cijevi (na račun mogućnosti direktne primjene teorijskih izraza koji vrijede za beskonačnu pukotinu) ili drugu rendgensku cijev kad bude na raspoloženju. Što se tiče nestabilnosti uređaja, očito stabilizacija napona i struje rendgenske cijevi nije dovoljna. Prvenstveno treba stabilizirati temperaturu sobe. Stabilizacija temperature vode za hladjenje se već ostvaruje. Idealno rješenje bila bi upotreba monitora što zacijelo spada u dugoročniji plan zbog velikih izdataka.

Premda naša Kratkyeva komora ima mehanički uređaj za automatsko mijenjanje kuta raspršenja, on nije mogao biti korišten jer manjka elektronički dio koji ga pokreće i "printer" broja impulsa. Tako je za sada snimanje krivulja intenziteta vrlo mučan posao.

Popis radova

1. A. Bonefačić, M. Kerenović, A. Kirin and D. Kunstelj, Segregation of solutes in Al-Ni and Al-Sn alloys, *J. Mat. Sci.*, 10(1975)243.
2. A. Tonejc, Z. Ogorelec and B. Mestnik, X-ray Investigation of the copper selenides $Cu_{2-x}Se$, *J. Appl. Cryst.* 8(1975),375.
3. A. Tonejc and J.P. Poirier, Mechanical equation of state and superplastic materials, *Scripta Met.*, 9(1975)555-558.
4. D. Dužević, Vapor-quenched Al-Ni alloy thin films in concentration range 12,5 to 75.4at% Ni, *Scripta Met.* 9(1974)543.
5. D. Kunstelj and A. Bonefačić, Phase transitions in an annealed, liquid quenched Al-3.6at% Ni alloy, *Microstructural Science*, Vol.3, pp207-215(1975)
6. D. Kunstelj, D. Pivac, D. Ročak, M. Stubičar and A. Bonefačić, Structure and microhardness changes of aluminium-tin supersaturated solution during annealing, *Phil. Mag* (u tisku).
7. Z. Vučić, B. Etlinger and D. Kunstelj, Preparation of pure glassy germanium, *Journal of Noncrystalline Solids*, 1975., u tisku.

Radovi iznijeti na konferencijama

1. M. Stubičar and K. Kranjc, Small ^{-Angle}X-ray Scattering Study of Quenched Al-Ag Alloy During Isothermal Heat Treatment, X Int. Kongres Krist. Amsterdam, 7-15.8.1975.
2. K. Kranjc, Small-Angle X-ray Scattering from Spherical Particles of Non-Uniform Electron Density, X Int. Congres Krist. Amsterdam 7-15.8.1975.
3. K. Kranjc and A. Kirin, Small-angle X-ray Scattering study of calcium hydroxy-apatit, X Konf. Jug. Centra za kristalografiju, Kumrovec 2-4. VI 1975.
4. D. Kunstelj and A. Bonefačić, Investigation of stacking faults in Ag-Sn system by transmission electron microscopy, X Konf. Jug. centra za kristalografiju, Kumrovec, 2-4. VI 1975.
5. V. Franetović and D. Kunstelj, Measurement of stacking fault energy in Ag-In system, X Konf. Jug. centra za kristal., Kumrovec, 2-4.6.1975.
6. A. Bonefačić and A. M. Tonejc, X-ray line broadening study of splat-cooled Ag-Sn solid solution, X Konf. Jug. centra za kristal., Kumrovec, 2-4.6.1975.
7. M. Peršin (IRB), D. Kunstelj (IFS), A. Peršin i H. Zorc, Memory conductivity switching in $As_{16}Te_{83}$ thin films, III Intern. Conf. on thin films (ICTF-3) Budapest, 25-29. 8., Proc. "Thin films"-Basic problems, applications and trends, u tisku.

ODJEL FIZIKE METALA II

Pročelnik odjela:

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

Znanstveni suradnici:

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

DANIJEL DJUREK, magistar fiz.nauka - asistent (u JNA do 10.11.1975)

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

AMIR HAMZIĆ, dipl.ing.fizike - asistent

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

JAGODA LUKATELA-S., magistar fiz.nauka - asistent

MIROSLAV OČKO, dipl.ing.fiz. - asistent

MARKO MILJAK, magistar fiz.nauka - asistent

ANTUN RUBČIĆ, doktor fiz.nauka - asistent PMF-a Sveučilišta
u Zagrebu - asistent

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

Tehnički suradnik:

MILAN SERTIĆ, v.tehn.suradnik

Pregled istraživačkog rada

1. Proučavanje transportnih svojstava sistema s anomalnim raspršenjem na primjesama

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

U 1975. nastavljena su istraživanja na mehanizmu D.M.P. Osnovna svrha istraživanja je doprinijeti odgovoru na slijedeće pitanje: Kako se na niskim temperaturama ponaša električni otpor čistih metala, te kako se ponašanje električnog otpora mijenja kad se čistom metalu dodaju primjese drugih metala (u čvrstoj otopini). To je pitanje od fundamentalnog značenja za transportnu teoriju metala, a isto tako od velikog praktičnog značenja. Rješavanje tog problema omogućilo bi pravljenje legura s unaprijed točno odredjenim električnim svojstvima (što je danas moguće samo ako zahtjevi nisu jako strogi), kao i eventualno sniženje električnog otpora čistih metala. Svaka primjena supravodiča zahtijeva potpuno poznavanje ponašanja električnih svojstava na niskim temperaturama metala, kao što su napr. bakar i aluminij.

Raniji rezultati pokazali su, da na niskim temperaturama ($T \ll \frac{\theta_D}{10}$) električni otpor nekih čistih metala ne ovisi o temperaturi kao $\rho \propto T^5$, već da ima slabiju temperaturnu ovisnost. Isto se tako pokazalo, da ne vrijedi Matthiessenovo pravilo, koje kaže da je električni otpor legure jednak sumi električnih otpora čistog metala i primjesa. Medjutim, postojeći rezultati nisu dovoljno sistematski i precizni, da bi se moglo diskriminirati medju raznim teoretskim pristupima i rezultatima.

Kao osnovni sistem naših istraživanja odabran je aluminij, koji je za tu svrhu vrlo pogodan. Raniji rezultati za Al približno su bili opisivani relacijom $\rho_T - \rho_0 = A T^n \log \rho_0$, gdje je $3 < n < 4$ čak i za najčišće mjerene uzorke. Ovisnost o koncentraciji primjesa dana je

isključivo preko rezidualnog otpora ϱ_0 . Rezultati nisu bili dovoljno sistematski, da bi se mogli razlučiti različiti fizikalni mehanizmi, koji uzrokuju takvo ponašanje.

Vršena su sistematska mjerenja električnog otpora Al s primjesama V, Ti, Fe u području $1,5 < T < 30$ K, s točnošću mjerenja $3 : 10^6$, što je otprilike maksimalna rezolucija koju danas možemo postići klasičnim sistemima. Koncentracija primjesa (odn. φ_0) išla je i do desetak puta većih vrijednosti od ranije postignutih, što je omogućeno originalno razvijenom metodom ultrabrzog kaljenja.

Naši rezultati pokazuju simultano postojanje T^3 i T^5 komponenata u električnom otporu. Dobiva se izraz $\varrho_T - \varrho_0 = A \cdot T^3 + B \cdot T^5$. Pri tome je $B = 2,3 \cdot 10^{-16} \frac{\Omega \text{ cm}}{\text{K}^5}$ što se slaže s koeficijentom kojeg daje teorija za normalni fononski otpor, dok član $A \cdot T^3$ predočuje devijaciju od Matthiessenovog pravila. Koeficijent A se vrlo lagano logaritamski mijenja s φ_0 i ne zasićuje se sve do najvećih mjerenih koncentracija.

Ti rezultati omogućuju, da od različitih fizikalnih mehanizama i teoretskih pristupa tom problemu odvojimo dva bitna, koji se približno slažu s našim rezultatima. Prvi je teorija o gubitku translacione simetrije kristala uslijed dodavanja primjesa, što u krajnjoj liniji dovodi do T^3 člana u električnom otporu s gotovo istim koeficijentom kao i kod nas. Drugi je pristup preko tzv. umklapp elektron-fonon raspršenja (tj. raspršenja u kojem kristalni impuls nije sačuvan) uzrokovanog anizotropijom funkcije distribucije elektrona i fononskog spektra. Teorije bazirane na tim mehanizmima dosta dobro opisuju naše rezultate i kvalitativno i kvantitativno, ali još uvijek problem nije do kraja riješen. Postoje naime neki detalji, u kojima ima neslaganja. Pored toga ti bi modeli trebali biti univerzalni, tj. primjenljivi i na većinu drugih metala. No eksperimentalni rezultati na većini drugih metala za sada još nisu dovoljno sistematski, pa problem postaje otvoren.

b) Proučavanje električnih svojstava nekih specifičnih sistema

I Sistemi ZnFe, AlMn, AlCr, ThLa, ThCe

Znatan dio aktivnosti odnosi se na proučavanje formiranja lokaliziranih magnetskih momenata (LMM) u razrijedjenim legurama normalnih metala sa "magnetskim" primjesama (3 d prelaznim metalima, rijetkim zemljama i aktinidima). Ta pojava se započela intenzivnije istraživati tek u novije vrijeme a njeno razumijevanje doprinosi razumijevanju magnetizma uopće. Nedavno su postignuti značajniji uspjesi u tumačenju te pojave a od ne manje važnosti su i -usputne koristi koje su proizišle iz istraživanja te pojave kao npr. nalaženje novih tehnologija pripremanja legura i super-čistih metala i razvoj i poboljšanje uređaja za mjerenje električnih, magnetskih i toplinskih mjerenja sa izuzetnom točnošću. Takodjer je i teorijski opis spomenute pojave zahtijevao razvoj i primjenu novih teorijskih modela i metoda računanja neophodnih za točniji opis metalnih legura no koji se mogu primijeniti i u drugim područjima fizike (kataliza, površine) a kao što se vidi u kasnijem dijelu izvještaja i na strukturna i mehanička svojstva legura.

Upravo razvoj nove metode pripremanja legura te primjena i razvoj danas najpreciznijih uređaja za mjerenje transportnih (supravodljivih, električnih i termoelektričnih) i magnetskih svojstava omogućila su nam detaljno istraživanje legura na bazi aluminija sa prelaznim metalima prvog niza, koje ranije nije bilo moguće zbog slabe topljivosti prelaznih elemenata u aluminiju kao i vrlo malenih promjena u mjerenim veličinama. Naša mjerenja "slabo- magnetskih" sistema AlMn i AlCr bila su baza za izvodjenje dalekosežnih zaključaka o svojstvima legura sa magnetskim primjesama i rezultirala su u pronalaženju univerzalnog ponašanja velikog broja različitih razrijedjenih legura sa magnetskim primjesama. Ta univerzalnost manifestira se u sličnom ponašanju termoelektričnih sila i električnih otpora različitih legura ako se promatraju u reduciranoj temperaturnoj skali tj. skali kojoj je jedinica karakteristična temperatura koja je osnovni parametar pojedinog sistema (neovisan o koncentraciji primjesa za razrijedjene legure) i određuje se direktno

iz eksperimentalnih podataka ($\rho \sim T^2$ ovisnost električnog otpora na niskim temperaturama ili Curie-Weiss ovisnost magnetske susceptibilnosti na višim temperaturama). Ta karakteristična temperatura je i donekle mjera "magnetičnosti" nekog sistema tj. sistema sa permanentnijim LMM odgovara niža karakteristična temperatura (T_K) i obrnuto. Spomenimo i to da se na osnovu ranijih teorijskih modela ta univerzalnost nije mogla predvidjeti i da su tek paralelno a dijelom i nakon naših istraživanja dobiveni potpuniji teorijski računi koji su potvrdili naše zaključke.

Pošto su se naši prvotni zaključci zasnivali, uz naše, na rezultatima drugih autora bilo je neophodno nastaviti sa istraživanjima na drugim sistemima tj. i na onima koji nisu na bazi aluminija. Od tih sistema posebno su interesantne legure na bazi cinka i torija.

Od legura na bazi cinka u vezi istraživanja formiranje LMM posebna pažnja je posvećena ZnFe sistemu, koji je u pogledu karakteristične temperature (T_K) nalik AlMn legurama. Nakon što su odvojeni doprinosi električnom otporu od vibracija rešetke (na višim temperaturama) i međudjelovanja medju primjesama (na najnižim temperaturama) dobiven je otpor primjesa koji u potpunosti potvrđuje naš raniji zaključak o jednakom ponašanju otporu kod legura sa različitom bazom a istom primjesom (prelaznim metalom) tj. željezom. Naime u reduciranoj temperaturnoj skali ($\frac{T}{T_K}$) dobili smo potpuno preklapanje ranijih mjerenja na CuFe legurama sa našim rezultatima. Nadalje mjerenja termoelektromotornih sila u istom sistemu takodjer potvrđuju sliku o sličnom ponašanju sistema sa različitim karakterističnim temperaturama. Takodjer su u kolaboraciji sa Univerzitetom u Sheffieldu (U.K.) mjereni i Mössbauerovi spektri ZnFe legura (no sa željezom obogaćenim izotopom Fe^{57}) koji u potpunosti potvrđuju sliku slabomagnetskog sistema ($T_K \sim 300$ K) a omogućuju i ocjenu unutarnjeg polja na primjesi željeza $H_i \sim 7$ T. To polje je znatno manje nego ono na Fe^{57} u vlastitoj matrici. Daljnja istraživanja tog sistema uključivala bi proširenje mjerenja na šire područje temperatura kao i detaljnije istraživanje problema interakcija medju primjesama o čemu će kasnije biti govora.

Preliminarna istraživanja električnih otpora legura na bazi torija sa aktinidima (ThU) i rijetkim zemljama (ThLa, ThCe) pokazuju da uran u toriju ima otprilike jednaka svojstva kao i 3d prelazni metali u normalnim metalima. To bi naravno značilo da bi se naša slika "magnetskih" legura mogla proširiti na još veći broj sistema.

Mjerenja električnih otpora ThCe legura za koje se predviđjalo nemagnet-sko ponašanje pokazuju ponašanje koje opovrgava mišljenje da se radi o leguri dvaju izoelektronskih elemenata. Obzirom da su mjerljivi efekti ovdje veoma mali a znatnu smetnju predstavlja nedovoljna čistoća čistog torija odlučeno je da se pristupi pročišćavanju torija po pose-bno razvijenoj metodi te da se prethodno dobiju točniji podaci o utjecaju vibracije rešetke na otpor torija mjerenjem ThHf legura. To bi omogućilo uspješan nastavak ovih vrlo interesantnih istraživanja.

U planu je takodjer nastavak istraživanja elektronskih svojstava legura aluminija sa rijetkim zemljama koja imaju izuzetno interesantna mehanička svojstva. U tom smislu već su izvršena neka istraživanja AlCe a u planu su i istraživanja Al-4 legura.

Kod svih ovih istraživanja opažena je pojava interakcija medju magnetskim primjesama kod većih koncentracija i odlučeno je da se posveti veća pažnja tom fenomenu jer je on u krajnjoj liniji i odgovoran za po-javu magnetizma. Prethodna analiza naših podataka za AlMn , AlCu i Fe legure te podataka drugih autora za neke druge sisteme ukazuju da je i taj proces u osnovi jedinstven za razliku od predviđjanja nekih teorijskih modela te da bi se ovisnost promjene karakteristične temperature o koncentraciji za različite sisteme mogla opisati jedin-stvenom formulom. U toku je rad na ispitivanju teorijskog opravdanja te pojave a takodjer je neophodan i daljnji eksperimentalni rad na nekim sistemima (ZnFe , AlMn) kod visokih koncentracija primjesa. Obzirom da su efekti tih interakcija najznačajniji na vrlo niskim temperaturama rezul-tati toga rada uvelike su povezani sa razvojem tehnike postizanja vrlo niskih temperatura koja su u toku na ovom Institutu (He^3 - He^4 kriostat za dostizanje temperatura 0.03°K).

Prije spomenuta tehnika dobivanja uzoraka omogućuje nam takodjer proučavanje za praksu važnih supravodiča sa visokim kritičnim tempera-turama i poljima (strujama) te amorfnih materijala, prvenstveno magneta. Ta proučavanja bi dijelom započela već u idućoj godini.

II Sistemi Al-Sc i Al-4f

Od sistema legura Al-3d prijelazni elementi do sada gotovo nije bio ispitivan sistem Al-Sc. Kao i kod ostalih legura toga sistema problem je bila mala ravnotežna topivost, no ultrabrzim kaljenjem metodom rotirajućih valjaka smatramo da smo otopili 3,28 at% skandija u aluminiju. Mjerenja promjene parametra rešetke u ovisnosti o koncentraciji otopljenog skandija pokazuju da je ta promjena linearna i pozitivna $\frac{1}{a} \frac{da}{dc} = (0.122 \pm 0.011)$ za razliku od ostalih sistema Al-3d legura. To ukazuje da na promjenu parametra rešetke u sistemu Al-3d utječu podjednako dva faktora: efekt razlike atomskih volumena otopine i otapala i formiranje virtuelno vezanog stanja oko primjese. član, koji odgovara virtuelno vezanom stanju, može se izračunati iz Friedelove teorije formiranja virtuelno vezanog stanja. Efekt atomskih volumena može se procijeniti korištenjem interpolacione metode bazirane na razlikama atomskih volumena najbližih neprelaznih metala i aluminija. Oduzimanjem člana, koji odgovara efektu atomskih volumena, od mjerenih vrijednosti promjene parametra rešetke za pojedini sistem, tj. prijelazni element, dobiva se "eksperimentalni" član, koji odgovara virtuelno vezanom stanju i on je u dobrom slaganju sa Friedelovom teorijom, osim za sisteme AlCr i AlFe gdje ostaje faktor oko 2 razlike, što se pripisuje supresiji naboja oko nečistoće zbog polupopunjenosti ljuske. Teorijski se mogu proračunati te prigušene oscilacije naboja i može se dobiti njihova temperaturna ovisnost. Zbog toga bi bilo interesantno mjeriti temperaturnu ovisnost promjene parametra rešetke u ovisnosti o koncentraciji otopljene primjese za te sisteme, što bi se moglo raditi u suradnji sa Institutom za fiziku i hemiju u Sarajevu. Na taj način moglo bi se mnogo doznati i o elastičnim konstantama, koje su veoma važne za razumijevanje mehaničkih svojstava.

Nadalje, bilo bi veoma interesantno naći neki sistem sličan Al-3d sistemu na kojem bi se provjerila ispravnost interpolacione metode, koja je služila za odvajanje efekta razlike u volumenima, a koja se pokazala veoma uspješna u sistemu Al-3d.

Mjerenja rezidualnog otpora u ovisnosti o koncentraciji otopljenog skandija daju pravac nagiba $\rho_0/c = 3,5 \pm 0,5$ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$), što je u skladu sa Friedelovom slikom virtuelno vezanog stanja.

I mjerenja mikrotvrdoće u skladu su sa prije nadjenom vezom izmedju relativne promjene mikrotvrdoće i devijacije od Vegardesovog zakona.

Do sada je proučen sistem AlCe. Ultrabrzim kaljenjem metodom rotirajućih valjaka načinjeni su uzorci sa koncentracijama do 0.3 at% cerija. Mjerenja rezidualnog otpora ρ_{RRR} pokazuje linearnu ovisnost ρ_{RRR} 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 pretežno svi atomi u čvrstoj otopini. Medjutim elektronski mikroskop pokazuje nakupine faze već i na nižim koncentracijama.

Snažno sniženje temperature supravodljivog prijelaza ukazuje na usko v.b.s., dok oblik ovisnosti sniženja supravodljivog prijelaza u ovisnosti o koncentraciji primjesa ukazuje na nemagnetsko stanje primjesa. Alternativni opis ovakovog ponašanja uključivao bi postojanje "dvije vrste" Ce-atoma, ili dva moguća "spinska stanja" tih atoma. No ovakovi uzorci sa dispergiranom fazom su veoma interesantni sa stanovišta mehaničkih svojstava, budući da veoma male koncentracije cerija u aluminiju daju veliku mikrotvrdoću. $H_V = 150$ (kpm^{-2}) za AlCe 0.3, što je dvostruko veća nego što bi dao AlCo iste koncentracije, a koji ima najveće povećanje mikrotvrdoće od svih Al-3d legura.

Nadalje, u svrhu ispitivanja mehaničkih svojstava, kao i ostalih svojstava važnih za primjenu bilo bi veoma korisno ispitivanje otpornosti prema oksidaciji naših uzoraka.

2) Interakcije medju primjesama

U istraživanjima fizikalnih svojstava legura s prelaznim elementima, najveći dio pažnje bio je do sada usmjeren na ispitivanja razrijeđenih sistema, tj. ispitivani efekti su bili proporcionalni s koncentracijom. Tek u posljednje vrijeme počelo se posvećivati više pažnje i na efekte koji su izazvani prisustvom interakcija izmedju primjesnih atoma.

Interakcije mogu biti dvojake: a) dugodosežne interakcije, koje se javljaju između atoma nečistoća koji su sačuvali svoj magnetski moment i koje se manifestiraju preko spinske polarizacije vodljivih elektrona (tzv. RKKY interakcija), b) kratkodosežne interakcije, koje se javljaju pri povišenju koncentracije primjesa iznad granične vrijednosti, što dovodi do međusobnog približavanja atoma nečistoće. Na taj se način neke nečistoće ponašaju različito od izoliranih (imaju različitu karakterističnu temperaturu) i to se manifestira u promjeni nekih fizikalnih svojstava promatranog sistema.

U toku 1975. u velikoj su mjeri završena ispitivanja efekata kratkodosežnih interakcija na rezidualni otpor, električni otpor na niskim temperaturama i magnetootpor $\underline{\text{AlMn}}$ sistema, te rezidualni otpor $\underline{\text{AlCr}}$ sistema.

Ranija istraživanja rezidualnih otpora $\underline{\text{AlMn}}$ i $\underline{\text{AlCr}}$ proširena su novim mjerenjima na uzorcima sa koncentracijama koje se maksimalno mogu dobiti UBK metodom (6 at% Mn i 7 at% Cr). U cijelom intervalu koncentracija dobivena je linearna ovisnost rezidualnog otpora o koncentraciji i time korigirani neki prijašnji rezultati koji su ukazivali da je ta ovisnost strmija. Dobivene vrijednosti za $\rho(\rho)/c$ su $8.2 \pm 0.3 \mu\Omega \text{ cm/at\%}$ za $\underline{\text{AlMn}}$ i $8.4 \pm 0.3 \mu\Omega \text{ cm/at\%}$ za $\underline{\text{AlCr}}$.

U ispitivanim uzorcima $\underline{\text{AlMn}}$ je u nekim slučajevima pronađena i faza $\text{Al}_{11}\text{Mn}_4$ (niskotemperaturna modifikacija) što je bilo donekle neočekivano. No to prisustvo iniciralo je ideju o dobivanju jednofaznih intermetalika metodom ultrabrzog kaljenja i rad na tome je u toku.

Prisustvo interakcija u koncentriranim $\underline{\text{AlMn}}$ legurama bilo je već ustanovljeno mjerenjima magnetske susceptibilnosti. Električna mjerenja (sa i bez magnetskog polja) su te rezultate potvrdila i nadopunila. Električni otpor prezasićenih $\underline{\text{AlMn}}$ legura pokazuje snažan porast na niskim temperaturama koji dolazi od prisustva interakcija i koji nadvladava $-T^2$ ponašanje jedne nečistoće. Za koncentracije Mn veće od 0.5 at% dolazi do formiranja tripleta mangana, čija karakteristična temperatura je određena mjerenjem električnog otpora $\text{Al} - 6\text{at\% Mn}$ uzorka u temperaturnom intervalu od 80 mK do 1.1 K i koja iznosi $3.0 \pm 0.5 \text{ K}$.

Magnetski moment takvog tripleta je $1.5 \mu_B$.

Magnetooppor je mjereno pomoću supravodljivog magneta (izradjenog na našem Institutu) u magnetskim poljima do 35 kG i na temperaturama 1.6 i 4.2 K. Dobiveno je anomalno ponašanje, tj. magnetooppor je manji nego bez prisustva polja, a njegova proporcionalnost sa H^2 je u skladu s teoretskim rezultatima analize s-d raspršenja, gdje se takvo ponašanje objašnjava efektom zamrzavanja spin flip procesa. Direktna ovisnost nagiba negativne komponente magnetooppora o c^3 (tj. verifikacija postojanja magnetskih tripleta mangana) može se provesti do oko 3 at% Mn, dok se za više koncentracije vjerojatno moraju uzeti u obzir i nakupine sa više od 3 Mn atoma. Problem interakcija medju primjesama (na kojem se radilo) je veoma kompliciran i za sada ne postoji detaljni fizikalni model koji bi ukazao da li će ponašanje primjesa biti više ili manje magnetično u usporedbi s izoliranim primjesama. Neki rezultati već postoje (utjecaj parova nečistoća na tzv. Kondo tip ponašanja električnog otpora, jedinstvena veza karakteristične temperature danog sistema s koncentracijom primjesa, ponašanje otpora feromagnetskih legura Pt-Ni za koncentracije Ni veće od 43% kvalitativno je analogno ponašanju električnog otpora veoma razrijeđenih paramagnetskih legura CuMn itd). Jasno je da povećanje interakcijskih efekata vodi na pojavu magnetizma, i potrebno je tom problemu posvetiti još pažnje. U tome će sigurno pomoći i nabavka novog supravodljivog magneta (100 kG) jer se već kod ispitivanja AlMn pokazalo u nekim slučajevima da raspoloživo polje nije dovoljno. Pripreme za korištenje novog magneta su već započele, izgradnjom neophodnih popratnih uređaja (elektronski sweep generator i 100 A izvor struje). Novi magnet će se takodjer moći veoma korisno koristiti i za druga magnetska mjerenja.

Potrebno je takodjer nastaviti razvoj tehnike dobivanja novih uzoraka. Jedan od njih je dobivanje intermetalnih spojeva. UBK metodom, na čemu se već radi. S druge strane je korištenje argonske peći i metoda kaljenja uzoraka direktno u njoj, kao i dobivanje legura Al-4f rijetkih zemalja, jer bi njihovo ispitivanje dalo nove podatke o efektima kristalnog polja.

Ispitivanja raspršenja elektrona (na magnetskim nečistoćama) sa lijevo-desno asimetrijom (tzv. SKEW scattering) takodjer je interesantno i njegova varijacija u 4f seriji omogućava razdvajanje doprinosa koji dolaze od k-f i k-d interakcija.

3. Električne osobine materijala pod visokim tlakom

U suradnji s Univerzitetom u Parizu (Paris-Sud) vršena su ispitivanja na kvazi-jednodimenzionalnim vodičima.

Električna vodljivost ovih materijala može da dosegne do $10^4 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ u jednom kristalografskom smjeru na sobnoj temperaturi. Na niskim temperaturama obično nastaje tranzicija u poluvodič.

Rad na raspršenju X-zraka i neutrona pokazao je da je ova tranzicija popraćena distorzijom rešetke i otvaranjem energetskog procjepa na Fermijevom nivou.

Upotrebom visokog pritiska ovi materijali bi trebali postati više trodimenzionalni. Ova hipoteza provjerena je na Pt kompleksu KCP do 32 kilobara, a na tipu materijala TTF - TCNQ i TSeF - TCNQ do 9 kilobara. Opaženo veliko povećanje vodljivosti na sobnoj temperaturi kao funkcija tlaka dok je sama ovisnost tranzicionih parametara složenija.

4. Rad na magnetskoj susceptibilnosti

Izradjen je uređjaj za mjerenje statičke magnetske susceptibilnosti, Faradayevom metodom, za temperaturno područje od 1,5 do 300⁰K. Osjetljivost ovog uređjaja za mase uzoraka od $20 \cdot 10^{-3} \text{g}$ je $2 \cdot 10^{-7} \text{emj/g}$. Za usporedbu susceptibilnost nemagnetičnog aluminija je $6 \cdot 10^{-7} \text{emj/g}$. Ovako velika osjetljivost je u bitnom rezultat uklanjanja mehaničkih vibracija na vagu postignut posebnom konstrukcijom teškog nosača vage. Apsolutni iznos susceptibilnosti se može odredjivati bolje od 1%.

Uređjaj se do sada koristio za proučavanje razrijednih aluminijskih legura sa ciljem da se razumiju uvjeti kod kojih će neka legura biti "magnetična" ili "nemagnetična". Kriterij "magnetičnosti" ovdje znači pojavu Curie-Weissovog ponašanja susceptibilnosti (ne misli se na Curie-Weissova ponašanja koje dolazi zbog interakcija). Veliki broj legura koje su proučavane bile su uglavnom aluminij, kao baza, sa relativno malim postocima (do 2at%) prelaznih elemenata kao primjesama.

Kod onih legura nakon neke koncentracije, približno 1at%, javlja se efekt interakcija na niskim temperaturama. Ovaj efekt se očituje u jakom porastu susceptibilnosti s opadanjem temperature koja je dobro opisana Curie-Weiss zakonom. Budući da nas interesira ponašanje izoliranih primjesa ovaj doprinos ukupnoj susceptibilnosti se odbija.

Nadalje naša mjerenja ukazuju da se legiranjem aluminijske miješine mijenja njegova susceptibilnost. Mijenja se iznos susceptibilnosti i temperaturna ovisnost. Zbog toga ovo treba uzeti u obzir budući da nas zanima ponašanje izoliranih primjesa u aluminiju. Promjena susceptibilnosti aluminijske sugerira zaključak da temperaturna ovisnost susceptibilnosti (paramagnetske) nije povezana sa gustoćom stanja na Fermijevoj površini kao što se do sada mislilo u literaturi. Uzimajući u obzir ovu promjenu kod analize rezultata izlazi da se doprinos susceptibilnosti od primjesa daje za sve ispitivane legure opisati zakonom jednostavnih eksponenata koji vrijedi za sve legure sa virtuelno vezanim stanjem za temperature puno manje od karakteristične temperature T_k . Karakteristična temperatura legure je određena i primjesom i bazom.

Dobiveni rezultati su u skladu i sa NMR mjerenjima i mjerenjima transportnih svojstava.

Nadalje mjerena je susceptibilnost organskih jednodimenzionalnih spojeva, u suradnji s fizičarima iz Budimpešte. Interes za istraživanje ovakvih sistema počeo je u svijetu vjerovanjem nekih fizičara da bi se ovdje mogao učiniti bitan napredak u problemu supervodljivosti, posebno traženjem sistema sa visokom temperaturom supervodljivog prelaza. Do sada se takvo vjerovanje pokazalo iluzornim. Međutim ovakvi sistemi su interesantni zbog čisto fundamentalnih istraživanja, jer je za očekivati kvalitativno i kvantitativne promjene u fizikalnim svojstvima prelazeći od trodimenzionalnih na nižedimenzionalne sisteme.

Organski jednodimenzionalni spojevi se u literaturi obično razvrstavaju u grubo u tri grupe prema električnim svojstvima: izolatori, slabi vodiči i dobri vodiči. Ovdje ispitivani spojevi su kristalizirani

tako da postoji lanac izgradjen od deceptora i do njega paralelno lanac izgradjen od donora, gradeći tako naizmjenice makroskopsko velik uzorak, u obliku iglice. Akseptori su smješteni regularno duž lanca i čine regularnu jednodimenzionalnu rešetku, čiji čvorovi (tj. akseptori) nose "vodljive" elektrone koji mogu skakati od jednog akseptorskog mjesta na drugi duž ovakovog lanca. Broj elektrona po akseptoru ovisi o donorskoj molekuli a o tome onda ovisi i gore spomenuto klasifikacija.

Lanci akseptora su u iglici relativno daleko jedan od drugog i time je njihova veza (bilo koje prirode) slaba pa otuda i potiče njihova jednodimenzionalnost.

Organski spojevi koje smo mjerili su spojeni na bazi TCNQ (tetracianoquinodimetan) molekule koja je vrlo snažan akseptor i vrlo je lako načiniti mnoštvo spojeva s praktički bilo kojim donorom.

Naša mjerenja već učinjena, su početak sistematskog ispitivanja ovakovih spojeva u kojima će se postupno mijenjati donorska grupa (tj. molekula).

Mjerili smo susceptibilnost spoja $Q_n(\text{TCNQ})_2$. Postoji već niz autora koji su mjerili susceptibilnost ovog spoja i sva se ova mjerenja uključujući i naše dobro slažu. Ono što je karakteristično za sva mjerenja je postojanje velikog porasta susceptibilnosti na niskim temperaturama. Medjutim, sada se pojavljuje problem kako iz ovako ukupno mjerene susceptibilnosti separirati doprinos susceptibilnosti koji dolazi samo od gore spomenutih "vodljivih" elektrona u akseptorskom lancu, što bi dakle trebalo predstavljati karakteristično ponašanje dotičnog jednodimenzionalnog lanca. Spomenuti jaki porast susceptibilnosti na niskim temperaturama je podijelio mišljenje u literaturi. Neki autori sugeriraju da se radi o onečišćenjima i da taj dio treba jednostavno odbiti od ukupno mjerene susceptibilnosti. Drugi pak tvrde da se rado o pojavi neregularnog varirajućeg potencijala duž vodljivog lanca uzrokovanog neuredjenošću donorskog lanca, pa je taj dio susceptibilnosti pridjeljen neizbježno karakterističnom ponašanju vodljivog lanca.

Naša pak mjerenja pokušavaju potvrditi hipotezu da taj nisko-temperaturni porast susceptibilnosti potiče od krajeva lanaca, gdje

su elektronska stanja lokalizirana. Prema tome da se dobije karakteristično ponašanje jednodimenzionalnog vodljivog lanca ovaj dio treba odbiti. U tom smislu mrvljenjem ovakvih igličastih uzoraka trebao bi se povećati broj krajeva lanaca a time i dobiti i odgovarajuća promjena (preciznije, povećanje) u susceptibilnosti. Za sada su učinjena mjerenja sa ovako mrvljenim uzorcima i svi su izgledi da se ova posljednja hipoteza potvrdi. Predstoji daljnji rad na tome da se kvantitativno poveže promjena susceptibilnosti mrvljenjem uzorka sa finoćom mrvljenja.

Osim toga predstoji takodjer daljnji rad sa razrijeđenim legurama da se usklade rezultati susceptibilnosti sa drugim mjerenim svojstvima takodjer učinjena u našoj grupi. I na kraju još treba spomenuti da se korištenje uređaja za mjerenje susceptibilnosti tako dobre osjetljivosti može još koristiti za metalurška ispitivanja ultrabrzokaljenih uzoraka i za ispitivanje svojstava tankih metalnih slojeva.

5. Rad na faznim prijelazima

Nastavljeno je ispitivanje tekućih kristala sa smektičkim mezofazama. Od posebnog je interesa terephthal-bis-butylanilin (TBBA) koji posjeduje čitav niz smektičkih mezofaza (H_g , H_2 , H, C, A), koje su u svijetu već ispitane deuteronskom magnetskom rezonancijom, rendgenskim raspršenjem, Ramanovom spektralnom analizom, DS kalorimetrijom itd. U više radova se zaključuje da je prijelaz smektik C - smektik A drugog reda, što uostalom predskazuju i nezavisne teorije McMillana i De Gennesa.

Mi smo mjerili latentne topline. Ustanovljeno je postojanje dvije smektik H faze. Proces grijanja i hladjenja uzorka TBBA nije reverzibilan i prisutno je podhladjivanje smektik H faze. Naime, grijanjem se dobija samo jedna smektik H faza u temperaturnom području od 114°C - 144°C . Hladjenjem se dobijaju dvije smektik H faze, jedna u području od 144°C - 86.5°C i druga od 86.5°C do 53°C . Osim toga, postoji vrlo velika anomalija u specifičnoj toplini (ostale kalorimetrijske metode ne mogu razlučiti latentnu toplinu od anomalije u specifičnoj toplini) smektik H faze neposredno prije prijelaza smektik H - smektik C, tako da se samo mali dio apsorbirane topline troši na latentnu toplinu prijelaza.

Postoje indikacije da je prijelaz smektik C - smektik A prvog reda iako se to sa sigurnošću ne može tvrditi, jer nije postignut dovoljan stupanj stabilnosti sistema. Postojeći kalorimetar ne zadovoljava na relativno visokim temperaturama faznih prijelaza TBBA i potrebna je izrada drugog kalorimetra kao i korištenje sistema za linearno grijanje.

Ispitujući fazne prijelaze tekućih kristala posebna pažnja posvećena je poboljšanju točnosti naših kalorimetrijskih metoda. Slaba termička difuzivnost svojstvena tekućim kristalima unosi naime znatne probleme pri određivanju latentne topline uzorka kao i njegovog toplinskog kapaciteta. Zbog njegovog konačnog termičkog otpora obje veličine izlaze povećane. Bitno je bilo dakle što točnije odrediti korekzione faktore, posebno za male uzorke, što je kod nas slučaj. U tu svrhu provedena je detaljna teorijska analiza električkog analognog kruga u kojem je uzorak ekvivalentan nizu odgovarajuće porazdjeljenih otporno-kapacitivnih elemenata. Proučen je utjecaj raznih geometrija sistema (linearna, cilindrična i dr) s različitim parazitnim kapacitivnostima i pripadnim prelaznim otporima na uzorak, da bi se odredili najpovoljniji uvjeti eksperimenta. Izračunati su numerički izrazi korekcija za određivanje latentne topline. Saopćenje o tome dano je na VI Kongresu MFSJ, Novi Sad 1975.

Za određivanje toplinskog kapaciteta uzorka iz njegovog odziva na pravokutni impuls topline problem se sveo na rješavanje nehomogene diferencijalne jednačbe n -tog reda uz $n \gg 1$, odnosno polinoma n -tog stupnja i sistema n nezavisnih linearnih jednačbi. Iz dobivenih numeričkih rezultata izveden je jedinstven analitički korekcionni izraz na bazi mjerenih parametara. Određjena je najpovoljnija geometrija sistema uzorka s grijačem i termočlankom. Teorijska mogućnost točnosti izračunavanja toplinskog kapaciteta je reda 0/00. Stvarni eksperimentalni uvjeti, koje ćemo u budućnosti nastojati poboljšati, za sad ograničavaju točnost apsolutnih mjerenja na 1 do 2%. Medjutim kod mjerenja relativnih promjena napr. u okolini faznih prijelaza visoka točnost naše metode dolazi do punog izražaja.

Nastavit će se ispitivanje TBBA-a mjerenjem njegovog toplinskog kapaciteta, čime će se sa sigurnošću moći utvrditi priroda faznih prijelaza smektik H - smektik C te smektik C - smektik A, kao i eventualno postojanje još jedne smektik H faze. Rad bi mogao dati niz veoma korisnih podataka u teoriji smektika.

3. Proučavanje transformacija monovakancija u veće grupe u čistom aluminiju

Zajedno sa dvojicom fizičara Instituta za fiziku PMF-a u Sarajevu poduzeto je proučavanje migracije monovakancija u čistom aluminiju.

Konstruirana je posebna aparatura pomoću koje se ultrabrzo kaljeni uzorci ubacuju u tečni dušik odmah nakon (~ 10 msek) formiranja. Ovakovim uzorcima mjereno je električni otpor (posebno uvedenom eksperimentalnom tehnikom) kontinuirano od temperature tečnog dušika do sobne temperature. Uzorak je zatim ponovno ohlađen i isti proces ponavljan. Mjerenja pokazuju da u intervalu od $77\text{K} - (170 \pm 5)\text{K}$ dolazi do kombinacije gotovo svih monovakancija u bivačkanije ili neke veće grupe, tako da iznad ove temperature (tj. $170 \pm 5\text{K}$) gotovo nestaju sve monovakancije. Ovo je mnogo niža temperatura od one koju su do sada navodili stariji autori.

4. Razvoj eksperimentalnih metoda i tehnika

a) Uredjaj za mjerenje specifičnog termičkog kapaciteta vrlo malih uzoraka

Nastavljen je rad na razvoju jedne nove AC-metode mjerenja specifičnih termičkih kapaciteta vrlo malih uzoraka. Tehnika se sastoji u tome da se na uzorak dovode pulsevi naročitog oblika kako bi temperaturni odziv bio linearan.

Dovršen je jedan prototip kalorimetra i sastavljena elektronička logika. Načinjena su pokusna mjerenja koja su u potpunosti potvrdila ispravnost koncepcije ove metode. Dobivene su vrijednosti specifičnih toplina nekoliko naročito odabranih uzoraka. U isto vrijeme razvijena je jedna nova metoda izrade senzora za mjerenje malih temperaturnih fluktuacija. Ovi senzori imaju veoma male mase ($0.1 - 0.2\text{ mg}$) tako da je njihov doprinos parazitnom kapacitetu oko 10% ukupnog termičkog kapaciteta uzorka. Na isti način razvijena je metoda izrade grijačkih elemenata pomoću kompozicije od materijala s vrlo malim temperaturnim koeficijentom.

b) Razvoj "Hladnog mlina" za ultrabrzo kalenje

Tokom godine otpočet je rad na razvoju mlina za ultrabrzo kalenje na hladnim (~ 77 K) valjcima. Načinjeni su i predani u rad nacrti za dijelove. Očekuju se rezultati kaljenja za faktor od 5 bolji od dosadašnjih.

c) Aparatura za kombinirana mjerenja superkaljenih uzoraka

Zajedno sa stručnjacima Instituta za fiziku u Sarajevu nastavljen je rad na uređjaju za simultano obavljanje rezistometrijskih mjerenja i onih pomoću raspršenja X-zraka. Uz razvoj i rezultate postignute tokom 1974. aparatura je u toku 1975.g. potpuno automatizirana i isprobana. Dobiveni su vrlo dobri rezultati.

Objavljeni radovi

1. E.Babić, R.Krsnik, M.Očko, Low temperature resistivity of Al V alloys, Proceedings of the 14th Intern.Conference on Low Temperature Physics, Helsinki 14-20.aug.1975.,vol.3,102;6.
2. E.Babić, R.Krsnik, M.Očko, The Low temperature Resistivity of AlV and AlTi Alloys, J.Phys.F (Metal Phys.),Dec.1975.(u štampi).
3. E.Babić, R.Krsnik, B.Leontić, M.Očko, Low Temperature Deviations from Matthiessen's Rule in Rapidly Quenched Alloys, Proc.of 2nd Conf.of Metastable Materials, MIT,Boston,1975.
4. E.Babić, M.Očko and C.Rizzuto, The Impurity Resistivity of ZnFe Alloys, J.Low-Temp.Phys.21,243,1975.
5. E.Babić, J.Cooper, M.Očko and B.Leontić, Interactions and isolated impurities in supersaturated ZnFe Alloys, Proc.of 2nd Intern.Conf.on Ultra rapid Quenching,MIT,Cambridge,Mass.USA,16-19.11.1975.
6. E.Babić, G.Grüner, The impurity interactions in dilute alloys, Sol.St.Comm.1975. to be published.
7. A.Hamzić, E.Babić and B.Leontić, The Impurity Resistivity and Interactions in Supersaturated AlMn and AlCr Alloys, 2nd Intern.Conf.on Metastable Alloys Cambridge,Mass.1975.
8. J.M.Williams, J.B.Dunlop and B.Leontić, Mossbauer Effect Study of ZnFe, Proc.of 2nd Conf.of Metastable Materials MIT,Boston 1975.
9. E.Girt, B.Leontić and A.Kursumović, X-ray Scattering Camera for High precision measurements of the lattice parameter at three temperatures, Journal of Physics E, 59, 8,1975.
10. Očko M., Babić E., Zlatić V., Changes of lattice parameters in Al-3d Alloys due to the virtual bound state, Solid St.Communications (u štampi)
11. Očko M, Babić E, Krsnik R, Girt E, Leontić B, Some properties of AlSc solid solutions", Journal Physics F, (u štampi).

12. M.Miljak, J.R.Cooper, A Faraday magnetometer for the measurement of small liquid-quenched alloy samples, *Fizika* 7(1975)49-61.
 13. G.Mihaly, K.Holczer, K.Pinter, A.Janossy, G.Grüner, M.Miljak, Magnetic and electric properties of $\text{NMeQ}(\text{TCNQ})_2$, *Solid State Comm.* (u štampi).
 14. K.Franulović and D.Djurek, Calorimetric Study of the Phonon Induced Phase Transition in $\text{K}_2\text{Pt}(\text{CN})\text{Br}_{0.3}\cdot\text{H}_2\text{O}$, *Physics Letters*, Vol.51A, No.2, 1975.
 15. A.Rubčić and G.Zerbi, Dynamics of Structurally Disordered Poly(Vinyl Chloride), *Chem.Phys.Letters*, Vol.34, No2, 1975.
 16. Z.B.Maksić, A.Rubčić, Geometry of Molecules III, Iterative Maximum Overlap Calculation of Bond Lengths in Some Conjugated Polyenes and Their Derivatives, *J.Amer.Chem.Soc.*, u štampi.
 17. J.Baturić-Rubčić, D.Djurek, A.Rubčić, Accurate Specific Heat Measurements of Samples with Low Thermal Diffusivity, *J.Phys.E:Sci Instrum.* (posl.u štampu).
 18. E.Girt, B.Leontić, A.Kuršumović, The Transformation of Monovacancies into Bivacancies in Pure Fast-Quenched Aluminium, u štampi.
- Radovi iznijeti na konferencijama

1. 12th Annual Solid State Conference, Manchester 6-8 Jan.1975., E.Babić, R.Krsnik, M.Očko, The Phonon Resistivity of Aluminium Alloys.
2. E.Babić, R.Krsnik, M.Očko, Niskotemperaturni električni otpor nemagnetskih aluminijevih legura, VI Kongres matem., fizičara i astronoma Jugoslavije, Novi Sad 28.8.-2.9.1975.
3. A.Hamzić i E.Babić, Interakcije u AlMn legurama: ovisnost o temperaturi i magnetskom polju, VI Kongres MFAJ, Novi Sad 1975.
4. E.Babić, A.Hamzić, M.Miljak, Z.Vučić, Električni otpor ThU legura, VI Kongres MFAJ, Novi Sad 1975.
5. E.Babić, M.Očko and C.Rizzuto, The Resistivity of ZnFe Alloys, 11th Annual Conference on Solid State Physic, Manchester, 5-8. Jan. 1975.
6. E.Babić, M.Očko i R.Krsnik, Spinski i fononski otpor ZnFe legura, VI Kongres MFAJ, Novi Sad 1975.
7. J.Lukatela, B.Leontić, Nova metoda niskotemperaturne kalorimetrije, 6. Kongres MFAJ, Novi Sad, 1975.
8. B.Leontić, J.Lukatela, Prilog tehnici niskotemperaturne termometrije, 6. Kongres MFAJ, Novi Sad 1975.
9. J.B.-Rubčić i D.Djurek, O točnosti odredjivanja latentnih toplina tekućih kristala, 6. Kongres MFAJ, Novi Sad, 1975.

ODJEL OPTIČKA SVOJSTVA KRISTALA

Pročelnik odjela:

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

Znanstveni 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. Količine alfa i beta faze u koprecipitiranim CdS-MnS sistemima

U izvještaju za 1974.naveli smo pokušaj određivanja sadržaja alfa CdS i beta CdS faza u koprecipitiranim sistemima CdS-MnS,pomoću subjektivnog razlučivanja Debye-Scherrer linija. Zbog važnosti koju pridajemo ovoj analizi prišli smo razlučivanju tih linija pomoću računskog stroja SRCE. Prof.Dr K.Kranjc je našla i prilagodila našim prilikama potrební program. Stroju su dati ovi parametri: ordinate zacrnjenja u jednakim, dovoljno blizim razmacima, približna širina na polovici visine svake linije, čemu su poslužila prije učinjena subjektivna mjerenja,

točan položaj maksimuma pojedine linije, poznat iz kristalografskih podataka. Stroj je našao najpovoljnije rješenje kao i integrale ispod svake linije. Jedan primjer dan je na slici 1. Radi se o sistemu F-20-7-1, koji sadrži 100 mol% CdS i kojemu je veličina kristalita 3,9 (nm). Sadržaj sistema na alfa CdS dobiven je formulom $p = 85 S_1/S_2$ (mol%) (alfa)

U ovoj relaciji je $S_1=448$ integral ispod krivulje 1, $S_2=2670$ integral je ispod krivulje 2, 85 je eksperimentalno nadjeni faktor na čistom alfa CdS, $p=14,2$ mol% alfa CdS. Ovaj rezultat, kao i ostali rezultati znatno se razlikuju od prije nadjenih vrijednosti. Količina alfa faze, nadjene pomoću računskog stroja, jesu u gotovo svim sistemima oko dva puta veće, a u dva sistema su jednaka nuli. Između dvadesetak rezultata, nadjeno je četiri koji nisu konsistentni. Stoga razloga odlučeno je još jednom ponoviti sva mjerenja, polazeći od prije dobivenih difraktograma, obrativši posebnu pažnju visini vrhova i širini na polovici visine.

2. Kriostat za optička mjerenja firme Andonian (SAD), opremili smo sa mnogobrojnim uređjajima za mjerenja kod 4.2K. Radi se o dodatnim manometrima, termometrima za mjerenje nivoa helija u kriostatu, održavanja pritiska helija u eksperimentalnom prostoru, adaptacije transfer cijevi za tekući helij za potrebe našeg kriostata i drugo. Međutim, uz sva naša nastojanja, koristeći iskustva drugih znanstvenih radnika koji rade s niskim temperaturama, nije nam uspjelo zadržati tekući helij u kriostatu dulje od jedne do dvije minute. Tekući helij, zbog svojih osebnih svojstava ponaša se na nepredvidivi način kad se promijeni geometrija uređjaja. Imamo u vidu tražiti savjet proizvođača kriostata i posjetiti Laboratorij za fiziku niskih temperatura, Eötvös Universiteta u Búdimešti u nadi da ćemo tako najbrže riješiti ovaj problem.

3. Dobivena je ružičasta faza MnS, u odsutnosti kisika, u atmosferi N_2 i H_2S . Metoda se sastojala u tome da se u reaktor (Erlenmeyer od 2000 cm^3) unose pod hidrostatskim tlakom N_2 vodene otopine koje međusobno reagiraju (NH_4OH , $MnSO_4$, tioacetamid). Precipitacija se vrši kod 373 K. Dekantacija i pranje precipitata pomoću 10 litara vode zasićene

sumpor-vodikom, izvode se opet pomoću pretlaka N_2 . Sušenje, koje je najdelikatnija operacija, vršeno je infracrvenom svjetlošću, u neprestanoj struji sumpor-vodika. Konačno je dobiven preparat ružičaste boje, mikrokristaliničan i stabilan na atmosferi. Spremljen je u zataljene kvarcne cjevčice za daljnja istraživanja.

4. Kao prvu karakteristiku preparirane ružičaste MnS faze, dajemo spektre apsorpcije kod 293 K i 80K, dobivene iz spektara difuzne refleksije.

To su dosad nepoznati spektri. Oni pokazuju vrhove apsorpcije: kod 293K σ/cm^{-1} 19200 21200 23800 25000

80K σ/cm^{-1} 19200 20400 21800 23800 26000

Ima više vrhova u spektru načinjenom kod 80K negoli kod 293K. Ujedno su užeg intervala valnog broja sigma.

Daljnja istraživanja usmjerit će se na dobivanje ovalnih spektara kod 4.2K, asignaciju pojedinim vrhovima apsorpcije, određivanje tipa kristalne rešetke i veličinu kristalita.

Termoluminiscencija CdS

Proučavanje termoluminiscencije CdS-a nastavljeno je u smislu boljeg definiranja predloženog modela termoluminiscentnih procesa. U tu svrhu proučavana je ovisnost intenziteta termoluminiscentnih vrhova u ovisnosti o dozi svjetlosti sa kojom je termoluminiscencija ekscitirana. Pokazalo se da intenzitet jednog od termoluminiscentnih vrhova u ispitivanom području doza ne prelazi u zasićenje kao što se to događa sa druga dva vrha. Analiza ovih rezultata pokazala je da ovakvo vladanje ne može biti posljedica uhvata nosilaca naboja sa jedne vrste zamki od druge vrste zamki, kao što bi se to u prvi mah činilo. Pretpostavlja se da se punjenjem jedne vrste zamki, sa manjom aktivacijom energijom, stvara druga vrsta zamki sa većom aktivacijom energijom. Zbog toga nije moguće da se zamke sa većom aktivacijom energijom napune do zasićenja jer se istim procesom punjenja i stvaraju nove. Takodjer je bilo pokušano snimiti spektar termoluminiscentne emisije ekscitirane svjetlošću iz vidljivog dijela spektra, te ekscitirane na Anti-Stoksov način. Ovako

ekscitirana termoluminiscentna emisija je slabog intenziteta te je sa postojećim eksperimentalnim mogućnostima nemoguće dobiti ove spektre. Takodjer je bilo pokušano dobiti spektar Anti-Stoksovski ekscitirane fotoluminiscencije ali iz istih razloga nije bilo moguće dobiti niti taj spektar. Ovim spektrima bilo bi moguće dokazati dio procesa uključenih u termoluminiscenciju a koji su predloženim modelom pretpostavljeni.

ODJEL FIZIKE IONIZIRANIH PLINOVA

Pročelnik odjela

VLADIS VUJNOVIĆ, doktor fiz.nauka - viši znanstveni suradnik

Znanstveni suradnici:

GORAN PICHLER, doktor fiz.nauka - asistent

VLADIMIR RUZDJAK, magistar fiz.nauka - asistent

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

MLADEN MOVRE, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

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

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

Tehnički suradnik:

IVICA BOROŠAK, v.tehn.suradnik

1. Pregled istraživanja

Ove se godine, uz već tradicionalno ispitivanje električnog luka i njegova korišćenja za određivanje atomskih parametara (jakosti oscilatora i konstanti širenja), sve više pažnje posvećuje procesima u alkalijским parama, te laserskoj i holografskoj instrumentaciji kako radi primjene, tako i radi proširenja dijagnostičkih metoda. Ujedno, započelo se radom na opažačkom i teoretskom istraživanju Sunčeve plazme.

2. Eksperimentalno i teoretsko ispitivanje interakcija alkalijskih atoma

2.1. Studirana je narav interakcija dvaju istovrsnih atoma u parama alkalijskih metala, jedan u osnovnom stanju, a drugi u prvom pobudjenom stanju. Ta je specifična interakcija do sada bila ispitivana tek parcijalno, kako eksperimentalno tako i teoretski. Za eksperimentalno ispitivanje uvedena je apsorpcijska metoda kao komplementarna emisijskoj spektroskopiji. Konstruirana je i izradjena peč s četiri prozora, koja se može koristiti i pri fluorescentnim mjerenjima. Mjerenja su vršena s halogenim lampama kao izvorima kontinuirane svjetlosti, te s monokromatorom srednje moći razlučivanja. Profili apsorpcionih linija cezija analiziraju se u zavisnosti od koncentracije atoma u apsorpcionoj kivetu. Mjerenja predstavljaju nastavak istraživanja opisanih u radovima koji su objavljeni u god. 1975.

Interakcija atoma je dipolnog karaktera, a teoretski proračun je izvodjen pomoću prve aproksimacije računa smetnje. U literaturi su bila obradjivana samo dva krajnja slučaja tj. kada je elektrostatska interakcija atoma mnogo manja ili mnogo veća od spin-orbit interakcija. Sadašnji proračuni koji su izvedeni za cijelo međupodručje, tj. za slučaj kada se cijepanje prvog pobudjenog nivoa spin-orbit interakcijom ne može zanemariti - dobiveno je vrlo dobro slaganje s eksperimentalnim rezultatima objavljenim pod (1). Tamo predloženi model, izveden na temelju eksperimenata, ovim se računima nešto modificirao, ali se konačno potvrdilo da su markantni sateliti i nesimetrije u krilima rezonantnih alkalijskih spektralnih linija posljedica minimuma i maksimuma nekih od interakcionih potencijalnih krivulja.

2.2. Razmatran je proces asocijativne ionizacije s obostrano pobudjenih rezonantnih nivoa alkalijskih atoma i to na primjeru kalija: $2 K^* \rightarrow K_2^+ + e - \Delta E$. Uz selektivnu optičku pobudu para kalija, kod povišenih temperatura mjerenjem populacije pobudjenih atoma metodom totalne linijske apsorpcije, dokazano je da je struja iona razmjerna kvadratu populacija i koeficijentu brzine reakcije, koji slabo ovisi o temperaturi. Izmjereno je da su jakosti oscilatora komponenti dubleta $n^2S_{1/2} - 4^2P_{1/2,3/2}$ ($n = 6$ do 13), jednake unutar pogrešaka mjerenja od 10%. Iz pokazanih ovisnosti proračunat je defekt reakcije $\Delta E \leq 0,1$ eV, prosječni udarni presjek od $(1-5) \times 10^{-17} \text{ cm}^2$, te energija disocijacije molekularnog iona od 1,0-1,1 eV. Eksperiment i analiza proveden je u suradnji s Katedrom

za optiku Univerziteta u Lenjingradu i suradnja se nastavlja, proširena takodjer s odredjivanjem atomskih parametara i proučavanjem elementarnih procesa.

3. Ispitivanje električnog luka

3.1. Sastavljen je uređaj za ispitivanje otvorenog zidom stabiliziranog niskostrujnog luka s aerosolima u argonu. Započeto je s istraživanjima efekta nemiješanja natrijevih i kalijevih atoma pomoću spektralnih linija s poznatim vjerojatnostima prijelaza, te istraživanje efekta jednakog miješanja atoma bakra i srebra u plazmi i mjerenja vjerojatnosti prijelaza nekih spektralnih linija srebra. Na ovim problemima radili su postdiplomanti Jahja Kokaj, asist. Tehničkog fakulteta te Ljutfi Istrefi, predavač Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, s Univerziteta u Prištini.

Kompletiran je prateći uređaj za jakostrujni, visokotemperaturni električni luk, s prvostepenom pažnjom u znatnom poboljšanju sigurnosti na radu - budući se u izboj uvodi fosforni pentafluorid a kasnije još i čisti fluor. Depersonalizirani su postupci počevši od hladjenja luka (koji izdvaja veliku količinu topline i korodira okolinu), paljenja, uvodjenja otrovnih plinova i njihova dekomponiranja. Uz to, dovršena je prigušnica velike snage radi stabiliziranja struje i izradjena je nova, mjedena verzija segmentne komore luka s promjerom od 3 mm i korisnom duljinom od 10 cm.

Uz ove pripremne radove, obradjivani su rezultati mjerenja spektralnih linija ugljika u vakuum-ultraljubičastom.⁶⁾ Na ovoj problematici, kako u razradi eksperimentalnih metoda, tako i u analizi, uspostavljena je suradnja s Nacionalnim uredom za standarde u Washingtonu.

4. Laserska i holografška tehnika

Izradjen je laser s tekućinom (7). Optičko pumpanje rodamina 6 G smještenog u kivetu vršeno je pomoću ksenonske bljeskalice kratkih svjetlosnih bljeskova u trajanju od oko 2 us. Unutar rezonatora lasera sa organskom

bojom nije bio smješten frekventno selektivni element (prizma ili optička rešetka) tako da je pojačanje postignuto u širokom intervalu valnih dužina. Takav nemonokromatski laser s organskim bojama koristit će se u atomskoj apsorpcijskoj spektroskopiji znatno povećane osjetljivosti.

Holografija. Usavršivši eksperimentalni uređaj kojim je prošle godine mjerena radijalna raspodjela koncentracije čestica u luku, razvijena je metoda za holografsko mjerenje relativnih pomaka točaka na objektima (9). Time je ostvarena mogućnost određivanja deformacija odnosno napona u objektima. U suradnji sa Institutom za anatomiju Medicinskog fakulteta u Zagrebu, izmjerena su mehanička svojstva biomehaničkih preparata pod fiziološkim opterećenjem. Posebno, određivane su deformacije proksimalnog kraja bedrene kosti i detaljno ispitivana uloga talusa u skočnom zglobu. Kao preliminaran rad prema suradnji sa ITEN-institutom "Energoinvesta", izmjerena je deformacija čelične ploče prilikom varenja, a izračunavanje raspodjele zaostalih napona je u toku.

Demonstracijski pokusi. U diplomskom radu (8) načinjen je niz pokusa pomoću crvene linije 6328 Å He-Ne lasera snage 1 mW, pokazujući osnovne zakone geometrijske i fizikalne optike. Nešto složeniji pokusi predloženi su kao posebne vježbe u fizičkim praktikumima PMF, Zagreb.

5. Istraživanje Sunčeve plazme

U 1975. godini aktivnost Sunca nalazila se u minimumu, pa se rad koncentrirao na ispitivanje opažačkih i instrumentalnih svojstava i kompletiranje uređaja (Sunčev teleskop na Opservatoriju Hvar), te na teoretsku obradu. Izvršeni su proračuni prijelaza rekombinacijskog kontinuuma vodika u seriju spektralnih linija, kao i disolucije spektralnih linija za elektronske koncentracije od $N_e = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ do $N_e = 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ i temperature u području od 5000 K do 15000 K, s namjerom, da se odredi posljednja vidljiva spektralna linija i metoda primijeni u dijagnostici fizičkih svojstava protuberanci. Pokazalo se je da i u ovim uvjetima elektronskih

koncentracija i temperatura, posljednju primjetljivu liniju određuje širenje linija Stark efektom, dok kontinuiranost intenziteta kod Balmerove granice osiguravaju disolucija linijske sume i statistički prošireni rekombinacijski kontinuum.

Opažački rad u astrofizici predložen je meteorološkim uvjetima. Zato su prikupljeni i obradjivani meteorološki podaci s opažačke stanice na Hvaru (Opservatorij Hvar Geodetskog fakulteta u Zagrebu), i to sa stanovišta kvalitete snimanja. Razmatrajući samo intervale osunčanosti duljeg trajanja od pola sata, podaci skupljeni od oktobra 1974. do septembra 1975. pokazuju da je moguće očekivati dobar kvalitet opažanja u ljetnim mjesecima, te posve neočekivano i u zimskoj sezoni u toku januara i februara. U toku rada uspostavljena je suradnja s institucijama vezanim uz istraživanja na Opservatoriju Hvar - Geodetskim fakultetom u Zagrebu i Opservatorijem Ondrejov, Čehoslovačka. Nastoji se razviti jedna nova prirodosnanstvena disciplina, astrofizika, u uskoj povezanosti sa srodnim istraživanjima koja se već provode, a to su istraživanja u atomskoj spektroskopiji i fizici ioniziranih plinova.

Na kraju treba naglasiti, da su u 1975. godini suradnici Odjela urednički obradili i za tisak pripremili Zbornik uvodnih predavanja sa 7. Jugoslavenskog simpozija i ljetne škole iz fizike ioniziranih plinova (10). U toku rada, podržavali su vezu s predavačima i mnogim učesnicima Simpozija.

Popis radova

- 1) K.Niemax, G.Pichler, New aspects in the self-broadening of alkali resonance lines, J.Phys.B: Atom.Molec.Phys.,8(1975)179-184
- 2) K.Niemax, G.Pichler: Determination of van der Waals constants from the red wings of self-broadened Cs principal series lines, J.Phys.B: Atom.Molec.Phys.8(1975)2718-21
- 3) G.Pichler, Measurements of the oscillator strengths of principal series lines of cesium J.Q.S.R.T.16(1976)147-151.

Radovi iznijeti na konferencijama, magistarski i diplomski

- 4) V.Vujnović, V.Ruždjak, V.čerić, Balmer spectrum profile under the influence of the statistical electric micro-field, 7th EGAS (Europ. Group for Atom.Phys.), Grenoble 8-11 July 1975 (p.89)
- 5) V.Ruždjak, Vodikov spektar kod granice ionizacije, Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 1975.
- 6) Č.Vadla, Određivanje parametara profila singuletnih i multipletnih linija ugljika u vakuum ultraljubičastom području, Magistarski rad (u štampi)
- 7) A.Džubur, Izrada obojenog lasera, Diplomski rad, Zagreb, 1975.
- 8) T.Benko, Upotreba He-Ne lasera u eksperimentima u optici, Diplomski rad, PMF Zagreb, 1975.
- 9) D.Kelenc, Metode holografske interferometrije i analiza deformacija u navarenim uzorcima, Diplomski rad (u štampi)

Edicije:

- 10) V.Vujnović, ed.: Physics of Ionized Gases 1974 (Proceed. of Invited Lectures given at 7th Yug.Symp. and Summer School on the Phys.of Ionized Gases, Rovinj 1974)

ODJEL FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela

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

Znanstveni suradnici:

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

DAMIR SUBAŠIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

ZLATKO VUČIĆ, magistar fiz.nauka - asistent

Pregled istraživačkog rada

1. Switching efekt u Sb_2Se_3 -CuSe heterospoju

Jedan od rezultata prošlogodišnjeg rada na ispravljanju u antimon triselenidu ukazivao je na to da bi se u Sb_2Se_3 mogao javiti i switching efekt, vezan uz vrlo strmi prijelaz metal-nemetal otkriven u tom spoju. Efekt je nadjen u kompleksnoj strukturi heterospoja Sb_2Se_3 -CuSe.

U prvoj jednostavnoj verziji, heterospoj je dobiven direktnim kontaktom visokopoliranih kristala bakar selenida i antimon triselenida, dopiranog s antimonom. Omski kontakti nalazili su se na suprotnim stranama oba kristala.

U uvjetima konstantne istosmjerne struje javlja se u propusnom smjeru (CuSe pozitivan) switching iz stanja većeg u stanje manjeg otpora. On slijedi neposredno iza savinutog, neomskog dijela karakteristike, što je tipično i za druge vrste switching efekta. Dioda zatim ostaje u niskootpornom stanju za vrijeme povisivanja napona do otprilike 0,3V i za vrijeme njegovog snižavanja do nule. Javlja se dakle, memorijski efekt. Medjutim, to memorijsko stanje nije stabilno ako se dioda polarizira u nepropusnom smjeru (CuSe negativan). Kod otprilike 0,2V javlja se ponovno switching, ali ovog puta iz niskootpornog u visokootporno stanje. Napon pritom naglo poraste do oko 1,8V i ostaje na toj vrijednosti u strujnom intervalu od 20 do 200mA. Na kraju, snižavanjem napona, struja pada monotono k nuli i dioda ostaje u visokootpornom stanju.

Oblik strujno naponskih karakteristika snimljenih u AC režimu ovisi jako o frekvenciji. Ipak, kod frekvencija ispod otprilike 50Hz, AC i DC karakteristike se poklapaju svuda osim u područjima gdje nastupa switching. On se sada javlja s izvjesnim zakašnjenjem, što znači da je vrijeme prijelaza u ovom efektu relativno dugo. Variranjem frekvencije procijenjeno je da njegovo trajanje iznosi nekoliko milisekundi.

Switching efekt u heterospoju Sb_2Se_3 - CuSe može se objasniti relativno jednostavno. Antimon triselenid je naime, spoj u kojem se javlja vrlo oštar prijelaz metal-nemetal. Kristal s malim viškom selena ima gotovo izolatorska svojstva, dok već i vrlo mali višak antimona uzrokuje skokovit prijelaz u metalno, dakle vrlo vodljivo stanje. Budući da je uzorak Sb_2Se_3 u ovom eksperimentu dopiran antimonom, on se nalazi u metalnom stanju i ima malen specifični otpor. S druge strane, kristal CuSe ima također metalna svojstva, pa zbog toga i cijela struktura, tj. heterospoj ima vrlo malen početni otpor. Switching iz tog niskootpornog u visokootporno stanje, koji se opaža u nepropusnom smjeru diode, može se tada objasniti tankim slojem izolatorskog Sb_2Se_3 nastalim mikrotransportom (prebacivanjem kemijskih veza) selenskih negativnih iona sa CuSe na metalni Sb_2Se_3 . Switching u propusnom smjeru treba očito pripisati dekompoziciji tog tankog sloja i ponovnom uspostavljanju direktnog kontakta dvaju kristala.

Ovakav zaključak podržava i pojava konstantnog napona kod polarizacije diode u nepropusnom smjeru. Naime, konstantni napon na uzorku nekog spoja sa ionskom ili miješanom elektronsko ionskom vodljivošću javlja se uvijek ako električno polje vrši njegovu dekompoziciju ili sintezu. Taj napon E ovisi o slobodnoj entalpiji formacije G tog spoja i o nekoj funkciji f transportnih brojeva i valencije konstituenata. On je dan relacijom $E = -fG/F$, u kojoj je F Faradayeva konstanta. Budući da se u heterospoju upravo i zbiva formiranje Sb_2Se_3 i dekompozicija $CuSe$, napon od 1,8V sigurno je na neki (vjerojatno kompliciran) način povezan s karakterističnim konstantama tih procesa.

Opisani eksperiment pokazuje da se, na relativno jednostavan način, mogu povezati dva dosta odvojena područja istraživanja u fizici poluvodiča: switching i prijelaz metal-nemetal. Detaljnija ispitivanja konstantnog napona u nepropusnoj polarizaciji diode, te vremena prijelaza kod switchinga u oba smjera dat će vjerojatno i kvantitativno ovjerovljenje ove tvrdnje. Rad je publiciran u časopisu *Phys. Status Solidi*, a iznesen je i na Jugoslavenskoj konferenciji o mikroelektronici u Nišu.

2. Svojstva neuredjene podrešetke bakar selenida

Interes koji se u fizici čvrstog stanja i u primjeni javio za materijale s "prosječnom" kristalnom strukturom i visokom ionskom vodljivošću u čvrstom stanju potakao je daljnji rad na istraživanju bakar selenida i drugih $A_2B^{IV}VI$ spojeva tog tipa. Pošto je opsežnim rendgenskim istraživanjima (u suradnji s Odjelom fizike metala I) definitivno utvrđeno temperaturno i kompoziciono područje kontinuiranih prijelaza i anomalnih termičkih dilatacija bakar selenida, moglo se pristupiti detaljnijoj analizi "prosječnosti" tog kristala. Iako je određivanje spektra ionskih energija općenito vrlo kompliciran problem, bakar selenid je donekle iznimka jer su dosadašnja istraživanja dala za tu analizu dovoljno podataka.

Razvijen je najprije jednostavan statistički model: ionima bakra u rešetci $Cu_{2-x}Se$ stoji na raspolaganju četiri vrste kristalografskih položaja s različitim energijama. Koncentracija položaja daleko nadmašuje

koncentraciju iona tako da je u jediničnoj ćeliji za 8 iona na raspolaganju čak 28 položaja. Broj položaja još se i povećava kod stehiometrijskih devijacija. U termičkoj ravnoteži ioni će zaposjesti različite položaje s različitim koncentracijama. Njih je na osnovu modela vrlo lako proračunati.

Pokazalo se da je bakar selenid skoro idealno "prosječan". Između četiri tipa položaja dostupnih Cu-ionima, dva imaju istu energiju energetski nivo treće vrste položaja nalazi se duboko ispod kemijskog potencijala i ti su položaji uvijek zaposjednuti. Analiza se tako svela na ispitivanje energetskog procjepa između samo dva nivoa. Temperaturna i kompoziciona ovisnost veličine tog procjepa mogla se naći poznavanjem zaposjednuća odgovarajućih položaja. Nažalost, rendgenskim mjerenjima utvrđena su zaposjednuća samo za po dvije karakteristične temperature kod uzoraka dvaju sastava. Razlog za manjkavost podataka o zaposjednućima treba tražiti u vrlo dugotrajnim i kompliciranim mjerenjima. Razvijena je zato jednostavnija, dilatometrijska metoda koja se osniva na anomalnom termičkom širenju bakar selenida u određenom temperaturnom intervalu. Ona je dala dovoljno podataka za konstrukciju temperaturne i kompozicione ovisnosti spomenutog energetskog procjepa. Računi su pokazali da je on vrlo malen, ispod 0,2eV i da se mijenja sa sastavom uzoraka i temperaturom. Shodno tome, utvrđeno je, da je bakar selenid skoro idealno prosječan kristal, što objašnjava izvanredno veliku difuzionu konstantu Cu-iona. U ovom radu su podnešena dva referata na VI Kongresu MFAJ u Novom Sadu, a uskoro se očekuje i njegova publikacija.

3. Amorfni poluvodiči

Dolaskom novih suradnika, aktivnost Odjela proširena je i na jedno novo područje - područje amorfni poluvodiča. Poznato je, naime, da je problematika amornog stanja jedna od veoma značajnih tema današnje fizike poluvodiča. Od nje se očekuju brojni odgovori na fundamentalna pitanja strukture i transporta, ali i detaljno objašnjenje switching efekata koji nalaze sve veću i veću primjenu. Odjel će se orijentirati pretežno na istraživanja jednostavnijih sistema, po mogućnosti elementarnih poluvodiča. Zasad se, naravno, može govoriti samo o preliminarnim rezultatima. Posebno, na Odjelu razvijenom metodom dobliven je po prvi puta germanij u staklastom

stanju. To treba smatrati značajnijim rezultatom jer se germanij uvijek uvrštavao u grupu materijala koji se najteže dobivaju u amorfnom obliku. Započela je nadalje, gradnja nove aparature za preparaciju koja će omogućiti dobivanje i drugih amorfnih poluvodiča. Uskoro se očekuje publiciranje prvog rada na tom području.

Popis radova

1. Ogorelec Z., Switching in a Heterojunction, Phys.Status Sol.(a) 26(1974)K57
2. A.Tonejc, Z.Ogorelec and B.Mestnik, X-ray Investigation of Copper Selenides $Cu_{2-x}Se$ ($2.00 \geq 2-x \geq 1.72$), J.Appl.Cryst.8(1975)375

Stručni radovi

1. Z.Ogorelec , Switching efekt, Matematičko fizički list 2(101) (1974-75)63.
2. Z.Ogorelec, Switching s termistorom, Matematičko fizički list 2(101) (1974-75)71

Radovi iznijeti na konferencijama

1. Z.Ogorelec, Switching efekt u Sb_2Se_3 -CuSe heterospoju, III Jugosl.savjetovanje o mikroelektronici, Niš 1975.
2. Z.Ogorelec i B.Mestnik, Statistika Cu-iona u rešetci $Cu_{2-x}Se$:
 1. korelacija energije iona i zaposjednuća, VØ Kongres MFAJ, Novi Sad 1975.
3. B.Mestnik i Z.Ogorelec, Statistika Cu-iona u rešetci $Cu_{2-x}Se$:
 2. Dilatometrijsko odredjivanje zaposjednuća, VI Kongres MFAJ, N.Sad 1975.

ODJEL PRIMIJENJENE FIZIKE POLUVODIČA

Pročelnik odjela:

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

Stručni suradnici:

VLATKA RADIĆ, dipl.ing.kemije - struč.sur.

BRANKA PETRIĆ, dipl.ing.fiz. - str.sur.

BRANKA ŠMALJCELJ, dipl.ing.tehnol. - str.sur.

SREBRENKA-URŠIĆ-LOVREK, mr, dipl.ing.elekt.-str.sur.

SEKSO IVO, mr, dipl.ing.elekt. - str.sur.

Tehnički suradnik

MILAN VUKELIĆ, tehnolog za maske

Pregled istraživačkog rada

Planarna tehnologija poluvodičkih elemenata

Kao i ranije radovi po gornjoj temi vršeni su u tri smjera:

1. Projektiranje i razvoj osnovnih postupaka planarne tehnologije
2. Projektiranje i razvoj planarnih poluvodičkih elemenata
3. Mjerenje fizikalnih i električkih parametara

3 b) Razrada sistema za klasifikaciju Si-pločica s planarnim elementima

Osim ispitivanja i mjerenja navedenih u 3a) a koja su uglavnom bila rutinska, razvijena je metoda i razradjeni programi za klasifikaciju transistora na Si pločicama te za dobivanje potrebnih statističkih podataka iz grupa rutinskih mjerenja. Detalji su dani u referenci⁵⁾. Razvijena metoda ispitivanja prema izradjenim programima primjenjuje se u RIZ TPV vrlo uspješno već 6 mjeseci.

Popis radova

- 1) V.Radić: Plitka difuzija arsena primjenom arsenasilikafilma, ETAN - SSOSD III Jugosl.savj.o mikroelektr. Niš 1975,Zbornik str.T-10.
- 2) E.Hasanbašić, Z.Bendeković: Kompenzacija podjetkavanja uglova kod anizotropnog jetkanja silicija, III Jugosl.savj.,Niš 1975,Zbor.str.T-30.
- 3) D.Paradiz: Si kapacitivna dioda velike površine (u pripremi).
- 4) Z.Bendeković: Primjeri odjeljivanja i izolacije elemenata pomoću jetkanja s kompenziranom V-prerezom (u pripremi).
- 5) S.Ursić-Lovrek: Klasifikacija pločice s tranzistorima (Wafera) po statičkim parametrima, III Jugosl.savj. o mikroelektr.,Niš 1975,Zb.str.A-55.

$$C_{4V} = 325 - 350 \text{ pF}$$

$$C_{50V} = 90 - 110 \text{ pF}$$

$$Q_{4V} \geq 500$$

$$BV > 75 \text{ V}$$

$$I_R \leq 50 \text{ nA (75V)}$$

Za postizanje ovih parametara potrebna je veoma rafinirana tehnologija, prije svega zato što se radi o diodi velike površine (cca 10 mm^2) a zahtjevi za Q i I_R su blizu teoretskim mogućnostima. Znači da će svaki defekt u toku procesa praktički onemogućiti postizanje zadanih parametara.

Detalji o procesiranju ovih elemenata te o metodama ispitivanja se pripremaju³⁾. Izradjeno je 500 kom uzoraka dioda a njihovo ispitivanje uključuje i ispitivanje promjena karakteristika u toku vremena rada. Za podatke s takvih ispitivanja potrebno je i relativno dugo pasivno vrijeme ispitivanja da bi se tek tada mogli statistički obraditi svi podaci.

2 b) Dioda s anizotropno jetkanom izolacijom i ravnim p-n prelazom

Rad se odnosi na elemente koji su dobiveni postupkom prema 1b). Podaci će biti objavljeni iduće godine⁴⁾.

3 a) Električka ispitivanja

U provodjenju procesnih radova i njihovoj verifikaciji izvršen je velik broj mjerenja i ispitivanja.

Osnovni poticaj za ovaj rad bila je brza mogućnost primjene u proizvodnji poluvodičkih elemenata.

Prilikom proizvodnje planarnih poluvodičkih elemenata potreban je postupak odjeljivanja elemenata u pojedinačne pločice nakon izvršenih procesnih operacija. Uobičajene metode za to odjeljivanje su:

- a) narezivanje diamantnim šiljkom, te lomljenje
- b) narezivanje laserskom zrakom i lomljenje
- c) prorezivanje diamantnom pilom

Svaka od ovih metoda ima svoje mane. Za izvodjenje potrebni su u svakom slučaju veoma precizni i skupi strojevi i alati, a operacija se vrši pojedinačno, odnosno red po red, pa to također znatno poskupljuje proces. Osim toga mehaničko narezivanje ili prorezivanje izaziva oštećenje površine i ostavlja mehanička naprezanja u materijalu a to može štetno uticati na električke karakteristike ili na trajnost elemenata. Lasersko narezivanje osim toga predstavlja zapravo lokalno topljenje silicija a to uslijed termičkog šoka također može katastrofalno uticati na element.

Zbog gore rečenog, kemijsko jetkanje kao metod odjeljivanja gotovih elemenata, moglo bi imati prednosti pred uobičajenim metodama. Nažalost, anizotropno jetkanje Si hidrazinom ili KOH, koje se može vršiti selektivno (sa zaštitnom maskom SiO_2 ili metalom) izaziva i podjetkavanje uglova a to praktički onemogućuje odjeljivanje. U referenci²⁾ detaljno je opisan postupak kojim se izbjegava podjetkavanje uglova i omogućuje odjeljivanje elemenata. Istodobno se ovim postupkom može izvršiti električka izolacija elemenata. Takva izolacija nije planarna nego ravna pa su probojni naponi znatno viši nego u slučaju planarne izolacije.

2 a) Kapacitivna dioda velike površine p-n prelaza

Razvijena je planarna kapacitivna dioda visokog kapaciteta p-n prelaza. Iako za izradu takve diode ne postoje problemi u principu, kad se radi u velikoj površini p-n prelaza a vrlo strogo električkih zahtjeva, tad problem postaje složen. Električki parametri koji su postavljeni su:

Po točki 1. u 1975.g. izvršeni su slijedeći radovi:

- 1a) difuzija As u silicij
- 1b) selektivno anizotropno jetkanje silicija

Po točki 2:

- 2a) kapacitivna Si-dioda velike površine p-n prelaza
- 2b) dioda s anizotropno jetkanom izolacijom i ravnim pn prelazom

Po točki 3:

- 3a) Električka i ostala ispitivanja potrebna za verifikaciju procesa pod 1. te elemenata pod 2.
- 3b) Razrada sistema za klasifikaciju Si-pločica s planarnim elementima

1 a) Plitka difuzija As u Si primjenom arsenosilika filma

Detalji ovog rada dani su u referenci¹⁾. Osnovni poticaj za ovaj rad bila je činjenica da je s fosforom kao primjesom kod veoma plitkih difundiranih struktura teško dobiti reproducibilne rezultate. Ako se fosfor osim toga rabi za difuziju emitera n-p-n transistora tad je u strukturu prethodno bio difundiran bor kao p-primjesa pa je zbog tzv. push-efekta nemoguće postići širinu baze manju od cca 1 μ m. A baš je tanka baza osnovni preduslov za dobar UHF i VHF transistor. As kao n-primjesa nema sličnog uticaja pa bi bilo veoma povoljno zamijeniti fosfor arsenom. Nažalost teško je postići difuziju As u silicij s visokom površinskom koncentracijom a bez oštećenja površine. Oštećenje površine silicija opet, nepovoljno djeluje na električke karakteristike n-p prelaza. Ovim radom je pokazano da se odredjenim postupcima mogu površinska oštećenja silicija pri difuziji As znatno smanjiti.

1 b) Kompenzacija podjetkavanja uglova kod anizotropnog jetkanja silicija

Detalji ovog rada dani su u referenci²⁾.

ODJEL ZA TEORIJSKU FIZIKU

Pročelnik Odjela

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

Znanstveni suradnici:

ALEKSA BJELIŠ, magistar fiz.nauka - asistent

TOMISLAV IVEZIĆ, doktor fiz.nauka, docent Vojne Akademije u Zagrebu
- asistent

STJEPAN LUGOMER, doktor fiz.nauka - asistent

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

KREŠIMIR ŠAUB, dipl.ing.fizike - asistent

VELJKO ZLATIĆ, doktor fiz.nauka - asistent

KATARINA UZELAC, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

NIKOLA RADIĆ, dipl.ing.fiz. - asistent-postd.

Pregled istraživačkog rada

Tokom 1975. nastavljena su istraživanja na već tradicionalnim pravcima rada Odjela za teorijsku fiziku:

- 1) Fazni prijelazi u jako anizotropnim sistemima. Svojstva kvazi-jednodimenzionalnih vodiča (Barišić, Bjeliš, Šaub, Uzelac)
- 2) Problemi magnetskih nečistoća u metalima (Zlatic, Ivezić)
- 3) Svojstva tekućih kristala i bioloških membrana (Marčelja, Lugomer, Radić)

Glavni napor nije dakle bio na otvaranju novih područja istraživanja nego na usvajanju modernih teorijskih metoda. Pokazalo se također da je problem magnetskih nečistoća u mnogim aspektima analogan problemu jedno-dimenzionalnih vodiča. To daje još više prostora za suradnju unutar Odjela. Obzirom na strukturu istraživača u Odjelu, gdje dominiraju asistenti, čini nam se da su rezultati toga rada ohrabrujući.

Ad.1. Razmatran je Ginzburg-Landau model faznog prijelaza u sistemu slabo vezanih lanaca. Pokazano je da termodinamička funkcija čisto jedno-dimenzionalnog sistema zadovoljavaju određene relacije homogenosti. To omogućuje da se odredi ponašanje tih funkcija na niskim temperaturama, u okolišu singulariteta na $T=0$. Nadjen je zakon po kojem se kritična temperatura mijenja od nule, uvođenjem vezanja medju lancima. U posljednje je vrijeme K.Uzelac našla poopćenje tih rezultata na sve dimenzionalnosti za koje je kritična temperatura $T_c=0$. Ti rezultati bacaju novo svjetlo na posebno zanimljiv problem kvazi-uredjenja u dvodimenzionalnim sistemima.

K.Šaub je završio svoj račun vezanja vodljivih lanaca u modelu Coulombske interakcije izmedju valova naboja na lancima. Time je ocijenjena vrijednost vezanja izmedju parametara uredjenja Peierlsove nestabilnosti na pojedinim lancima, što prema računima K.Uzelac omogućuje ocjenu kritične temperature tog prijelaza. Coulombski model u odličnom je slaganju s eksperimentalnim rezultatima na $K_2Pt(CN)_4Br_{0.3} \times 3H_2O$.

A.Bjeliš proširuje te račune na geometrijski kompliciraniji slučaj TTF-TCNQ materijala, koji su posebno interesantni jer pokazuju tragove supravodljivosti na visokim temperaturama (54K). Dosadašnji rezultati daju dobru nadu da će se kontinuiranu promjenu jedinične ćelije TTF-TCNQ-a u području izmedju 54K i 38K objasniti unutar Coulombskog modela. Pored toga, A.Bjeliš je završio diskusiju ovisnosti pseudogapa u elektronskom spektru o dinamičkim svojstvima fonona, čije mekšanje konačno vodi Peierlsovoj nestabilnosti.

Ad.2) Rad na razrijedjenim metalnim otopinama posebno je stimuliran postojanjem eksperimentalnih istraživanja koja se na tom području vrši na ovom Institutu.

V.Zlatić je nastavio s ispitivanjem modela lokaliziranih spin-skih fluktuacija na svojstva legura normalnih metala sa 3d- primjesama.

Pokazao je da se promjene parametra rešetke tih legura mogu unutar Friedel-Andersonova modela objasniti i posebno je razmotrio slučaj AlMn i AlCr, za koje su E.Babić i M.Očko izveli precizna mjerenja. U suradnji pak s G.Grünerom zamijetio je da se u aproksimaciju lokaliziranih spinskih fluktuacija znatno smanjuje amplituda Friedelovih oscilacija elektronske gustoće oko nečistoća, u skladu s NMR eksperimentima. Nastavio je također razmatrati paramagnetske nečistoće u gotovo magnetskoj matrici i to unutar Wolffovog modela. Zaključio je da raspršenje vodljivih elektrona na fluktuacijama lokalne magnetizacije dominira električnim otporom takvih materijala.

Ove godine T.Ivezić je pripremio i uspješno obranio doktorsku disertaciju "Teorija tuneliranja kroz kontakt metal - metalni oksid - metal s magnetskim nečistoćama". Upotrebom Keyldishove tehnike pri studiji neravnotežnih procesa T.Ivezić je izračunao I-V karakteristiku za gore navedeni kontakt. Njegova opća teorija povezuje dosad dva prividno oprečna rezultata. Posebno interesantni rezultati dobiveni su u slučaju kada se kontakt nalazi u magnetskom polju i sada čekaju eksperimentalnu potvrdu.

Ad.3) S.Marčelja je poboljšao svoj model uređenja homogenog bimolekularnog sloja fosfolipida tako da sad daje informacije o konfiguraciji polarnih krajeva molekula fosfolipida u membrani. Zatim je razmatrao promjene konfiguracije fosfolipida u blizini molekula integralnog proteina. Izračunato je uređenje većeg broja susjeda molekula proteina, te indirektna efektivna interakcija dviju proteina koju to uređenje uzrokuje. Zajedno s W.Helfrichovom opisana su lateralna naprezanja mono- i bimolekularnih slojeva preko površinskih napetosti, odnosno elastičnih modula membrana. Dobivena je veza elastičnosti i spontane zakrivljenosti membrana. Zajedno pak s J.Nagizadehom pokazano je da se raspodjela molekula proteina u malignim stanicama može opisati upotrebom formulizama faznih prijelaza.

N.Radić razmatra gornjima sličan problem uređenja tekućih kristala uz stijenke posude. Uspio je dobiti analitički opis ponašanja Ginzburg-Landauova parametra uređenja uz rubne uvjete zadane na dvjema beskonačnim

paralelnim ravninama, dok kompliciranije slučajeve obradjuje numerički.

S.Lugomer nastavio je rad na tekućim kristalima i laserskoj spektroskopiji. Njegov je rad privremeno samo teorijskog karaktera, do organizacije eksperimentalnog laboratorija u kojem će Lugomer nastaviti svoju uobičajenu, eksperimentalno-teorijsku djelatnost. Sredjeni su dakle rezultati ramanskih istraživanja depolarizacijskog omjera tekućih kristala. Prijelaz nematik/izotropik složeniji je nego što se do sada mislilo, tj. odstupa od "rigid rod" modela. Takodjer je završen rad na opsežnoj knjizi "Laser" koja će izaći u nakladi sarajevske "Svjetlosti". Studirani su detalji Rayleigh spektroskopije koju će Lugomer uvesti na Institut za fiziku. Napomenimo njegovu uspješnu suradnju s Tehničkim fakultetom u Banja Luci; znanstveni dio odnosi se na ispitivanje spontane destrukcije tankog filma aluminija.

Popis radova

1. S.Barišić, K.Uzelac, $d-d'$ Crossover in the Anisotropic Free Bose Gas, J.de Phys.36,325(1975)
 2. S.Barišić, K.Uzelac, Crossover and Scaling in One Dimensions, J.de Physique, 36,1267,1975.
 3. A.Bjeliš, S.Barišić, Effects of Phonon Dynamics on Electrons in One-Dimensional Systems, J.de Physique-Lettres 36,2169(1975)
 4. K.Šaub, S.Barišić, J.Friedel, Charge Density Wave Madelung Constant in a System of Linear Chains, Phys.Letters, u tisku
 5. T.Ivezić, The Hoping Model of Zero-Bias Tunneling Anomalies, J.Phys.C, 8,3371(1975)
 6. S.Marčelja, Lipid Mediated Protein Interaction in Membranes, poslano u Nature
 7. M.Očko, E.Babić, V.Zlatic, Changes in the lattice parameter in $Al-3d$ Alloys, Sol.St.Comm. - u tisku.
- Radovi iznijeti na Konferencijama:
1. S.Barišić, K.Uzelac, 6.Inter.Conf.on Phase Transitions, Budimpešta, 1975.
 2. S.Barišić, Workshop on One-Dimensional Conductors, Orsay, 1975.
 3. S.Barišić, 3rd Reg.Meeting, Wrocław, 1975.
 4. A.Bjeliš, Workshop on One-Dimensional Conductors, Orsay, 1975.
 5. S.Marčelja, Intern.Symp.on "Structural Basis of Membrane Function, Teheran, 1975.
 6. S.Marčelja, 5th Intern.Biophysik Congress, Copenhagen, 1975.

Stručni radovi

1. S.Lugomer, "Laser" Svjetlost, Sarajevo - u tisku
2. S.Lugomer, M.Stipančić, Dijagnostika atmosfere pomoću laserske spektroskopije, Elektrotehnika

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 31.12.1975.

- služba općih poslova 6
- služba računovodstva 2
- nabavno-skladišna služba 2
- radionica 2
- 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 1975.godini
financirali su:

a) Republički fond za znan.rad SRH za ugovorene znan.zadatke, te stipendije i 25% za ugov.za rad pod b)	3.290.263.-
b) Za ugovorenu znanstveno-istraživački zadatak sa Sav.zav.za medjun.tehn.sur.	166.500.-
c) Financ.- učešće RIZ-Tvor.poluv.za znan. istraž.zadatak ugovoren sa RFZN	196.105.-
d) Sufinanc.znan.programa od Sveučilišta Zagreb	<u>2.929.939.-</u>
Sveukupno	<u>6.582.807.-</u>