

SMERI RAZVOJA TEHNOLOGIJ IN UPORABE NOVIH SUPERPREVODNIKOV

D.Uvodič

UVOD

Prevajanje toka brez izgub, prenos magnetnih polj iz notranjosti materiala in pojav kvantnih fenomenov so lastnosti, ki dajejo superprevodnikom obsežne skupine materialov s posebnimi, nenavadnimi lastnostmi.

Dokler je bil mogoč prehod v superprevodno stanje samo z ohlajevanjem s tekočim helijem, so imeli superprevodniki status eksotične skupine snovi, ki so jih uporabljali samo tam, kjer problemov s konvencionalno tehniko absolutno niso mogli rešiti. Z odkritjem materialov, ki imajo superprevodni prehod okoli 100K, pri čemer za hlajenje

uporabljamo le še mnogo cenejši tekoči dušik, se je odprlo novo, večje področje. To področje pa je možno osvojiti le z intenzivnim, obširnimi delom, ki je povezano s precejšnim tveganjem.

Odkritje superprevodnega materiala s prehodom pri 90-95K je povzročilo precejšnje senzacijo po svetu. Nekaj časa je bilo opaziti močno konkurenčno tekmo, pri čemer ni bilo enotnega mnenja glede pomembnih parametrov: ali je to res najvišja kritična temperatura prehoda, oz. tokovna prehodnost, ali so bistveni osnovni eksperimenti, ali razvijanje modelov za razlago mehanizmov, ki povzročajo superprevodnost.

Sedaj so se duhovi pomirili in obravnave ne gredo več v smeri formul, krivulj in prijavljanja patentov, temveč v smeri analize strateških odločitev raznih raziskovalnih organizacij o možnih aplikativnih realizacijah teh materialov.

Na številnih konferencah in simpozijih, kjer so se sestajali znanstveniki vseh smeri: fiziki, kemiki, fizikalni kemiki, kristalografi, specialisti za keramiko, mikroelektroniko, energetiko in magnetizem, so ugotovili, da je treba raziskovalni pristop k temu področju drastično spremeniti. Nastale so interdisciplinarne raziskovalne skupine z intenzivnimi stiki med raziskovalci in potencialnimi uporabniki.

Dr. G. Bednorz in Dr. A. Mueller, dobitnika Nobelove nagrade za fiziko leta 1987, sta s svojimi raziskavami odprla povsem nove perspektive. Ne samo, da sta prekoračila magično mejo kritične temperature prehoda 23,3K za niobijev germanat, temveč sta spremenila tudi smer raziskav in sicer od kovin na sisteme kovinskih oksidov. Slednji dajejo pri kemičnih variacijah neverjetno raznolike fizikalne učinke in tehnično zanimive lastnosti.

Superprevodnost oksidov so pravzaprav odkrili že pred več kot 20 leti (stroncijev titanat, litijev titanat, barij-svinčev bizmutat). Z odkritjem visokotemperaturnih superprevodnikov je nastalo večje zanimanje za to področje. Sistema Y-Ba-Cu-O in Bi-Ca-Sr-Cu-O in njune variante dajejo materiale s temperaturnimi prehodi do 125K. S tem je bila odprta druga etapa raziskovalne tekme, ki je v preteklih dveh letih povzročila tolikšne senzacije.

Junija letos je bil v firmi IBM v Zuerichu informacijski sestanek o stanju raziskav na področju superprevodnih materialov, o tehnologijah in o njihovih industrijskih uporabah v okviru EIRME (European Industrial Research Management Association). Osrednji dogodek je bilo obširno predavanje Nobelovega nagrajenca dr. G. Bednorza. Naslednja poglavja predstavljajo povzetek informacij s tega sestanka.

UPORABA IN TEHNOLOGIJE

Superprevodniki imajo tri lastnosti, ki so tehnično zanimive:

- * pri prehodu iz normalnega v superprevodno stanje izgine električna upornost
- * pri tem prehajajo magnetna polja iz notranjosti materiala navzven
- * v superprevodnih strukturah se pojavljajo kvantni fenomeni.

Te lastnosti izkoriščajo že pri klasičnih super-

prevodnikih. Značilna področja uporabe superprevodnih sestavnih delov v sistemih so:

- * oprema za fundamentalne naravoslovne raziskave
- * medicinska tehnika
- * senzorika
- * elektronika
- * ločevanje surovin
- * promet
- * energetika.

Pri tem superprevodniške elemente uporabljajo pretežno v obliki žic, navitih v tuljave, ki služijo n.pr. kot močni magneti z veliko notranjo prostornino za NMR-tomografijo, za prečiščevanje rud, ali za različne laboratorijske namene.

Pri senzorjih se srečujemo v glavnem s „SQUID“ (Superconducting Quantum Interference Devices), magnetnimi senzorji za raziskave na področju fizike trdne snovi, geologije in medicine.

Na področju elektronike se pojavljajo hitri analogni-digitalni pretvorniki in napetostni standardi.

Počasi se uveljavlja tudi razvoj sestavnih delov za naprave za pospeševanje nabitih delcev.

Skoraj na vseh področjih delajo v pretežni meri še vedno z nizkotemperaturnim (hlajenje s tekočim helijem) niobijem, ali njegovimi legurami. Žice za izdelavo tuljav so iz niobijevega titanata, delno tudi iz niobijevega stanata. SQUIDI so po večini plastne strukture, ki so sestavljene iz niobija in niobijevega nitrída. Hitro se uveljavljajo novejši materiali, ki za svoje delovanje potrebujejo temperaturo tekočega dušika.

Neposredno po odkritju visokotemperaturnih superprevodnikov so bila pričakovanja usmerjena predvsem na področje tehnologij v energetiki. Vendar so strokovnjaki hitro ugotovili, da tako obsežne naloge ne bodo mogli rešiti v kratkem času, temveč da bo za to potrebno najmanj 5 do 10 let, po nekaterih predvidevanjih tudi več.

V nasprotju s to ugotovitvijo pa je znanstvenikom zelo hitro uspelo demonstrirati funkcijske lastnosti SQUID tja do 77K, vendar pa je tudi to samo prvi uspeh, ki mu mora slediti še precej raziskovalnega dela, da bo iz tega nastal zrel proizvod.

Isto velja tudi za integracijo superprevodnikov v polprevodniški tehniki. Tu je eno izmed glavnih področij uporabe povezava med čipi v računalnikih. Superprevodne povezave bi bistveno zmanj-

šale energijske izgube in povečale hitrost računalnikov ter omogočile prenos signalov brez počaenij. Hlajenja s tekočim dušikom v tem primeru ne štejejo za pomanjkljivost, ker so danes računalniki, hlajeni na tak način, že na tržišču.

Še vedno je potrebno hlajenje visokotemperaturnih superprevodnih elementov s tekočim dušikom. Delovna temperatura bi morala biti praviloma manjša od $2/3$ temperature prehoda (T_c). Parametre je namreč težko držati v tako ozkem temperaturnem intervalu, da bi bilo zagotovljeno normalno delovanje superprevodnega elementa. Delovanje le-tega bo, ob hlajenju z vodo pri sobni temperaturi, možno šele, ko bomo imeli superprevodnike s temperaturo prehoda blizu 400K. To pa pomeni tudi, da je potrebno vzporedno z razvojem superprevodnikov razvijati tudi hladilno tehniko.

Velik poudarek velja še vedno novim, nepoznanim uporabam superprevodnikov, bodisi že znanih komponent v novih sistemih, ali pa iznajdbi povsem novih komponent.

Za skoraj vsa področja uporabe je značilno, da superprevodnike ne uporabljajo same, temveč v povezavi z drugimi materiali, ki služijo kot podlaga, funkcijska medplast, prevleka ali mehanska opora. To pomeni, da so področja uporabe superprevodnikov odvisna od velikega števila parametrov, ki jih je treba optimirati, kar ima za posledico široko, obsežno in multidisciplinarno delo.

SEDANJE RAZISKOVALNO DELO

Število sintetiziranih novih superprevodnikov je veliko in skoraj nepregledno. Tudi neuspehov je bilo precej.

Pri iskanju novih materialov je nujno tesno sodelovanje med kemijsko preparativo in teoretično fiziko, pri čemer se razkriva mehanizem superprevodnosti.

Velika pozornost je posvečena izdelavi monokristalov in epitaksialnih tankih plasti ter preučevanju ponovljivosti teh postopkov.

Zelo problematična je stabilnost superprevodnih materialov. Posebno material Y-Ba-Cu-O je nagnjen k oddajanju kisika, k hidrolizi in reakciji z ogljikovim dioksidom iz zraka. Poznavanje mehanizmov reakcij pri staranju materiala, oz. po stiku z okolico je bistvenega pomena za uporabo teh materialov v tehnične namene. Potrebno bo doseči njihovo dolgoročno stabilnost s spreminjanjem sestave, z določenimi dodatki ali z zaščitami.

Razvoj reproducibilnih proizvodnih postopkov in specifičnih kontrolnih postopkov je tudi ena izmed osrednjih nalog razvoja. Uporabljajo številne specialne postopke priprave prahov, tja do sol-gel postopka, ki je znan po tem, da daje prahove z zelo homogeno velikostjo delcev. Zaenkrat je še prezgodaj, da bi že lahko navedli tiste postopke in tehnologije, ki se bodo na tem področju uveljavili. Oblikovanje elementov gre v glavnem v dve smeri: oblikovanje in sintranje masivne keramike (in bulk) in izdelovanje tankih superprevodnih plasti.

Sedanja ocena je, da bo največ uporabe v obliki tankih plasti in navitij. Slednje se nanaša na nosilce v obliki trakov, ali žic v trdi, ali v fleksibilni obliki. Plasti so po večini tanke, epitaksialne, ali debele. Mikrostruktura teh plasti je odvisna od izbrane tehnologije nanašanja. Glede na to, da je pri mnogih uporabah, posebno tam, kjer pridejo v poštev visoke gostote tokov, pomembna izrazita orientacija zrn, ali je celo potrebna monokristalna struktura, je razvoj metod, ki omogočajo doseganje takih struktur zelo bistvena naloga. Navadno je za to potrebna poobdelava teh plasti. Mikrostrukturiranje plasti se opravlja s postopki, ki so poznani v polprevodniški tehnologiji.

To posebno pride v poštev pri kombinacijah polprevodnika in superprevodnika. Razen postopkov odjedkavanja materiala je možno tudi ionsko obstreljevanje, pri čemer obstreljevani del superprevodnega materiala izgubi svoje superprevodne lastnosti.

Za večino do sedaj znanih tehničnih uporab superprevodnih materialov je potrebna gostota toka od 15 do 16 A/cm². Take vrednosti so bile do sedaj dosežene le pri epitaksialnih plasteh. Zaradi močno izražene anizotropije in drugih fizikalnih lastnosti teh materialov bi moral razvoj iti v smeri pridobitve

Področ. uporabe	Element	Oblika
osnovne raziskave	magneti vseh vrst pospeševalniki nabitih delcev SQUID	navitja masivna keramika tanke plasti
medicin. tehnika	NMR magneti SQUID	navitja tanke plasti
senzorji	IR-detektorji mikroval..detektorji	tanke plasti tanke plasti
elektronika	napetost. standardi mikserji	tanke plasti tanke plasti

bivanja čim bolj enotne orientacije zrn. Poseben problem so meje med zrn. Anizotropija in prisotnost motečih faz predstavljajo ovire za tokovno prehodnost. Zato je eden izmed ciljev raziskav tudi zmanjšanje vplivov mej med zrn na najmanjšo možno mero.

Nadaljnje težave nastopijo pri toplotni obdelavi že nanešenih plasti. Pri tem nastajajo kemične reakcije in difuzijski procesi. Izbira podlag je torej zelo pomembna.

Superprevodniki sodijo med najbolj komplicirane sestavljene materiale, ki danes obstajajo. Vprašanje interakcij pri skupnem obdelovanju različnih materialov je pri tem posebno težka in komplicirana naloga, ki jo je treba rešiti.

PERSPEKTIVE

Superprevodniki so še vedno predmet osnovnih raziskav.

V firmi IBM predvidevajo dinamiko razvoja do leta 2000 približno takole:

Sedanja uporaba:

- * v glavnem za raziskovalne namene.

Uporaba v naslednjih desetih letih:

- * za elektromagnetno zaščito
- * za SQUID magnetne senzorje
- * za IR-senzorje.

Uporaba po letu 2000:

- * vsa druga predvidena področja, pri čemer je zlasti pomembna energetika.

Morda bi bilo ob tem dobro omeniti dejstvo, da so evropske prognoze na področju razvoja in hitrosti uveljavljanja uporabe superprevodnikov precej skeptične in konzervativne. Japonci so v svojih prognozah precej bolj pogumni. Najnovejša predvidevanja Nikkei High Tech Report (julija 1988) so: največji razmah naj bi bil na področju medicinskih naprav (NMR-CT), laserjev, majhnih ciklotronov, pospeševalcev velikih delcev in SQUID na osnovi kombinacije dveh Josephsonovih spojev naj bi se uveljavili v 10 letih po odkritju pravega superprevodnega materiala. Sledila naj bi jim uveljavitev transportnih in industrijskih strojev, hkrati z razvojem na področju elektronike. Zadnja v tem zaporedju naj bi bila energetika, ki pa je obeležena z največjimi pričakovanji posebej v vrednostnem pogledu.

Če bo prodor superprevodnikov na pomembna področja, kot so računalništvo in energetika uspešen, bodo nastale globoko segajoče spremembe v tehničnih konceptih nasploh, kakor tudi v trženju.

Razvoj superprevodnikov pogosto primerjajo z razvojem tehnike optičnega prenosa na področju telekomunikacij. Področje superprevodnikov je tisto, ki bo s seboj prineslo precej sprememb. Zato ga je treba vestno spremljati. Tisti, ki temu zaradi neznanja, ali zaradi pomanjkanja sredstev ne bodo kos (kajti tu pričakujemo velika tehnološka preusmerjanja, ki bodo potegnili za seboj velike investicije), bodo neusmiljeno obsojeni na zaostajanje.

*Darja Uvodić, dipl.ing.,
SOZD-ISKRA
Trg revolucije 3, Ljubljana*