

**SUPERPREVODNOST  
in SUPERPREVODNI  
MATERIALI**

# Kazalo

<i>Zgodovina superprevodnikov.....</i>	<i>3</i>
<i>Uporabnost superprevodnikov.....</i>	<i>4</i>
<i>Visokotemperaturne superprevodne tanke plasti.....</i>	<i>6</i>
<i>Zaključek.....</i>	<i>6</i>
<i>Uporabljena literatura.....</i>	<i>7</i>

Leta 1987 je neki dogodek v ZDA vzbudil zanimanje znanstvenikov po celem svetu. Ameriško združenje fizikov je v okviru letnega srečanja v hotelu Hilton v New Yorku priredilo kratek seminar o temi, ki v javnosti ni bila posebej znana - o superprevodnosti oziroma o materialih, ki prevajajo električno energijo brez upornosti. Zanimanje za seminar je bilo zelo veliko. Znanstveniki so prišli poslušat novice o dramatičnem dosežku pri odkrivanju novih materialov, ki pri temperaturah višjih, kot kadarkoli dotlej, postanejo superprevodni.

Prenašanje energije brez izgub že vsaj od začetka stoletja buri domišljijo znanstvenikov. Leta 1911 je Nizozemec Heike Kamerling Onnes prvi odkril, da nekatere kovine, kot npr. živo srebro, postanejo superprevodne blizu absolutne nične 0 K oziroma pri  $-273^{\circ}\text{C}$ . Pri tej temperaturi se atomi nehajo gibati. Vse do konca leta 1985 na področju ni bilo bistvenega napredka. Običajno so morali biti superprevodniki potopljeni v tekoči helij pri 4 K, zaradi česa je bila njihova uporaba zelo draga, nerodna in seveda zelo omejena. Še najpogosteje so superprevodnike uporabljali pri zelo dragem medicinskem postopku magnetnoresonančnega odoslikavanja. Leto 1985 pa je prineslo dolgo pričakovani napredek pri odkrivanju novih superprevodnih materialov pri neverjetno »visokih« temperaturah. Najprej je skupina fizikov iz IBM - ovega laboratorija v Zürichu pod vodstvom Georga Bednorza in Alexa Müllerja odkrila keramični oksid bakra, ki je postal prevoden pri 35 stopinjah Kelvina. Za to odkritje, sta omenjena znanstvenika prejela Nobelovo nagrado. Mnogi so ga po pomembnosti primerjajo z izumom tranzistorja.

Raziskovanje kovin, neoksidne keramike ter zlitin je postopno vodilo k vedno višji temperaturi prehoda v superprevodno stanje, ti. kritični temperaturi,  $T_c$ . Tako je imela do leta 1986 najvišjo znano temperaturo prehoda ( $T_c = 23 \text{ K} = -273^{\circ}\text{C}$ ) zlitina  $\text{Nb}_3\text{Ge}$ . Tega leta sta Bednorz in Müller odkrila oksidno keramiko La-Ba-Cu-O z nepričakovano visoko temperaturo 30 K

(  $-243^{\circ}\text{C}$  ), kar je povzročilo naglo raziskovanje oksidov. Z zamenjavo lantana z manjšimi itrijevimi atomi, se je le - ta pomaknila na 93 K (  $-180^{\circ}\text{C}$  ). Sledili sta še odkritji spojin sistemov Bi-Sr-Ca-Cu-O ter Tl-Ba-Ca-Cu-O s kritičnimi temperaturami do 110 K (  $-163^{\circ}\text{C}$  ) oziroma 125 K (  $-148^{\circ}\text{C}$  ). Glede na starejše superprevodnike se ti, novejši, imenujejo visokotemperaturni superprevodniki. Hiter napredek pri iskanju kritičnih temperatur med letoma 1986 in 1988 je vzbudil upe, da bomo kmalu poznali superprevodnike pri sobni temperaturi in da bodo naprave s temi elementi postale vsakdanjost.

Najvišja poznana in potrjena temperatura se do leta 1988 ni znatno spremenila, obenem pa je postalo jasno, da je priprava visokotemperaturnih superprevodnikov v uporabi zelo zahtevna. Optimizem je tako zamenjala zavest, da bo potrebna še veliko truda in časa, preden se bodo visokotemperaturni superprevodniki vključili v naše vsakdanje življenje.

Če hočemo, da bo snov prevodna, jo moramo ohladiti pod temperaturo prehoda, poleg tega pa moramo paziti tudi na tok v superprevodniku ter na zunanje magnetno polje. Predstavljajmo si obroč iz superprevodne snovi. Ko je ohlajen, lahko s tokovnim sunkom skozi tuljavo v njegovi bližini, induciramo v njem tok, ki bi v njem tekel več let, ne da bi se zmanjšal, saj v superprevodniku ni upornosti. Pogoj za zagon toka, pa je poleg nizke temperature tudi omejeno polje tuljave ( $H < H_c$ ). Če je to polje premočno, se superprevodnost poruši. Isto se zgodi, če superprevodnik uporabljamo kot žico in skozenj vsilimo električni tok, ki je večji od kritičnega toka  $I_c$  oziroma ima gostoto toka  $J$  večjo od kritične gostote  $J_c$ .

Temperatura prehoda v superprevodno stanje je odvisna od zunanjega magnetnega polja in toka v superprevodniku. Bolj ko superprevodnik ohladimo pod temperaturo prehoda, večje je lahko magnetno polje v njegovi okolici in večje tokove je sposoben voditi, da ne bi prišlo do porušitve superprevodnih lastnosti.

Omenili smo že, da se v superprevodniku v magnetnem polju inducirajo tokovi. Ti tečejo po površini in ustvarjajo lastno magnetno polje, ki nasprotuje zunanjemu. Zato superprevodnik v magnetnem polju lebdi.

Vrnimo se k superprevodnem obroču. Če bi tega na enem mestu prekinili z zelo tanko plastjo izolatorja, bi skozi ta izolator tekel tok, napetost na njem pa bi bila močno odvisna od zunanjega magnetnega polja. Kombinacijo dveh superprevodnikov, med katerima je tanek izolator imenujemo po njegovem izumitelju Josephsonov stik. Z njim lahko merimo zelo majhna magnetna polja, kot npr. polje človekovega srca ali možganov, ki je od stotisočkrat do desetmilijardkrat šibkejša od zemeljskega magnetnega polja. Da lahko prisluhnemo skrajno šibkim signalom iz telesa, moramo preprečiti dostop veliko močnejšega magnetnega polja zemlje, ter radijskih, televizijskih in radioamaterskih postaj v merilno sobo. V ta namen bi lahko uporabljali ohlajene superprevodne plošče, saj dobro ustavljajo magnetno valovanje.

Zaradi posebnih lastnosti pomenijo superprevodniki zelo zanimivo skupino snovi, ki ponuja potencialne možnosti uporabe na mnogih področjih, kot so elektronika ( spominski elementi, elementi z Josephsonovim stikom, integrirana vezja ), pridobivanje in uporaba energije ( shranjevanje in prenos energije, motorji, generatorji ), industrija ( ločevanje in predelava snovi, tipala in pretvorniki, magnetno zaslanjanje, magneti ), medicina ( diagnostični sistemi magnetne resonančne slike ), tehnologija ( pospeševalniki delcev, biotehnologija in inženiring ), vesoljska tehnika in obramba ( vesoljska plovila, elektromagnetna izstrelitev, prenos mikrovalovne moči, in zveze ) in transport ( magnetnolebdeča vozila, pogon ladij ).

Že pred odkritjem visokotemperaturnih superprevodnikov so se superprevodniki uveljavljali na nekaterih področjih, kot npr. ustvarjanje močnih magnetnih polj, ker je cena za električne energije za napajanje bakrenega navitja nekajkrat večja od stroškov

za vzdrževanje, napajanje in ohlajanje superprevodnega magneta skupaj. Superprevodni magnet omogoča tudi večjo homogenost magnetnega polja, ker se baker med delovanjem magneta segreva in se magnetno polje navitja spreminja.

Visokotemperaturni superprevodniki imajo pred klasičnimi dve prednosti: večjo temperaturo prehoda in večji kritični tok. Prva pomeni manj stroškov s hlajenjem superprevodnika; klasične superprevodnike moramo hladiti s dragocenim helijem, visokotemperaturne pa s tekočim dušikom. Druga prednost je večji kritični tok; visokotemperaturni superprevodniki lahko vodijo tokove brez izgub pri višjih temperaturah kot klasični, obenem pa tudi pri nizki temperaturi tekočega helija vodijo večje tokove kot klasični superprevodniki.

Slabost visokotemperaturnih superprevodnikov v primerjavi s klasičnimi je, da so oksidni. Oksidno keramiko je dosti težje oblikovati v vodnike ter jo oblikovati kot zlitine. Zaradi tega se taki vodniki na trgu se niso uveljavili, poročajo pa o intenzivnih raziskavah in uspehih na tem področju.

Pri obravnavi lastnosti se bomo omejili predvsem na  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , ki je doslej najbolj raziskan in najpogosteje uporabljen. Je tudi najbolj preprost sistem glede na število komponent ter preprost izdelave. Zdaj je  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  edina spojina, ki jo je mogoče pripraviti v obliki tanke plasti, v eni sami napravi. Možnost tega načina priprave je za uporabo v elektroniki zelo pomembna, saj omogoča pripravo tako enoplastnih, kot večplastnih struktur.

Druge superprevodnike moramo izdelovati v več zaporednih korakih v različnih napravah. Povejmo še to, da ima superprevodnik Bi-Sr-Ca-Cu-O višjo temperaturo prehoda od  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , vendar je težko pripraviti eno samo superprevodno fazo tega superprevodnega sistema, saj se poleg faze  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$  pojavljajo tudi druge, ki imajo tudi nižje kritične temperature. Talijev sistem Tl-Ba-Ca-Cu-O ima še višjo kritično temperaturo, vendar je talij hlapljiv in strupen.

Značilnost visokotemperaturnih superprevodnikov je močna odvisnost koncentracije kisika.  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$  je izolator,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  pa superprevodnik. Če spreminjamo vsebnost kisika, to je »x« v zapisu  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  med 0 in 0,6, spreminjamo formulo med  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,4}$ , temperatura prehoda pa se spreminja med 93 K in 0 K. Če je »x« večji od 0,6, snov ni superprevodna.

Visokotemperaturni superprevodniki so za zdaj najbolj aktualni v obliki tankih plasti, ker v tej obliki omogočajo večje kritične gostote toka kot v masivni obliki.

## **VISOKOTEMPERATURNE SUPERPREVODNE TANKE PLASTI**

Visokotemperaturne tanke plasti je mogoče pripraviti na različne načine, kot so: napraševanje, pulzno lasersko nanašanje, naparevanje, kemijsko nanašanje iz parne

faze, kemično pršenje ter mokre kemijske tehnike. Med vsemi dajeta najboljše rezultate napraševanje in lasersko nanašanje

Nanos visokotemperaturnih superprevodnikov zahteva uporabo najbolj zahtevne tankoplastne tehnologije. Zahtevnost te ustreza zapletenosti materialov samih. Visokotemperaturni superprevodniki vsebujejo štiri ali pet različnih vrst atomov, zato je možnih veliko medsebojnih produktov.

Prvi komercialno dostopni izdelek visokotemperaturnih superprevodnikov je bil mikrovalovni resonator tovarne Superconductor Technologies iz ZDA 1990. Sledilo mu je nekaj podobnih izdelkov, napredek raziskovalnih skupin pa napoveduje prve čipe s Josephsonovimi stiki, kar predstavlja združljivost tehnologij polprevodnikov in superprevodnikov.

Ovira za združitev polprevodniške in superprevodniške tehnologije je silicij, kot skupna podlaga. Superprevodnike praviloma nanašamo na zelo odporne monokristale. Silicij je kot podlaga za superprevodno tanko plast veliko manj primeren. Težave, ki iz tega izhajajo je mogoče zmanjšati z ene ali dveh vmesnih plasti med silicijem in superprevodnikom.

## **ZAKLJUČEK**

Mrzlično obdobje po odkritju novih spojin se končuje. Visokotemperaturna superprevodnost je pač ena izmed tehnologij, ki se mora dokazati in tako prodreti. V desetih letih od odkritja jih še ni uspelo rešiti mnogih vprašanj, povezanih s tehnologijo novih snovi.

## **UPORABLJENA LITERATURA**

<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>September</i>	<i>1987</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>Marec</i>	<i>1991</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>Februar</i>	<i>1993</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>September</i>	<i>1994</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>Oktober</i>	<i>1995</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>Oktober</i>	<i>1996</i>
<b>Življenje in tehnika</b>	<b>Št.:</b> <i>Januar</i>	<i>1998</i>

## **INTERNET**