

VISOKOTEMPERATURNE SUPERPREVODNE TANKE PLASTI

A. Cvelbar, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61111 Ljubljana

HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTING THIN FILMS

ABSTRACT

A review of the development on a field of high temperature superconductors since their discovery is presented. Potential application forms of superconductors are enumerated. Some advantages and drawbacks of new materials are presented. Major thin film deposition techniques are reviewed and analysed. Potential combination of superconductors, electronics and optonics is shown.

POVZETEK

Podan je pregled dosežkov na področju visokotemperaturnih superprevodnikov od njihovega odkritja dalje. Našteti so možni načini uporabe superprevodnikov. Prikazane so prednosti in slabosti novih materialov. Opisane so glavne tehnike priprave visokotemperaturnih tankih plasti. Predstavljena je potencialna možnost združitve superprevodnikov, elektronike in optonike.

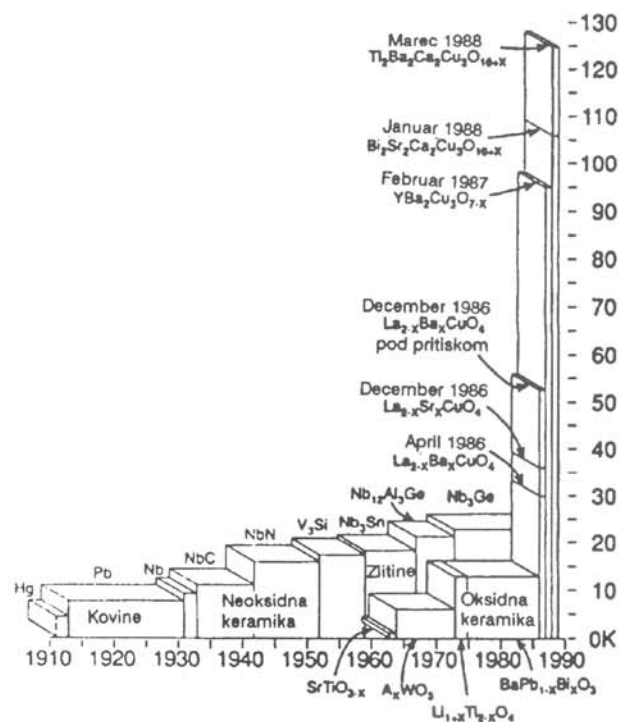
1 UVOD

Superprevodnost, nemerljivo majhno upornost nekaterih snovi pri temperaturah blizu absolutne ničle, je odkril H. K. Onnes leta 1911 med ohlajanjem živega srebra pri temperaturi 4.2 K. To odkritje je vzpodbudilo iskanje snovi, ki so superprevodne pri višjih temperaturah. Raziskovanje kovin, neoksidne keramike ter zlitin je postopno vodilo k vedno višji temperaturi prehoda v superprevodno stanje, t.j. kritični temperaturi $T_c / 10$. Tako je imela do leta 1986 najvišjo znano temperaturo prehoda ($T_c = 23$ K) zlitina Nb_3Ge . Tega leta sta Bednorz in Müller odkrila oksidno keramiko $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ z nepričakovano visoko kritično temperaturo 30 K, kar je povzročilo naglo raziskovanje oksidov. Z zamenjavo lantana z itrijem ($YBa_2Cu_3O_7$) se je le-ta pomaknila kar na 93 K. Sledili sta še odkritji spojin sistemov Bi-Sr-Ca-Cu-O ter Tl-Ba-Ca-Cu-O s kritičnimi temperaturami do 110 K oziroma 125 K. Glede na starejše superprevodnike se ti, novejši, imenujejo visokotemperaturni. Hiter napredek pri iskanju kritičnih temperatur med leti 1986 in 1988 je vzbudil upe, da bomo kmalu poznali superprevodnike pri sobni temperaturi in da bodo naprave s temi elementi kmalu postale vsakdanjost. Najvišja poznana in potrjena temperatura prehoda se od leta 1988 ni znatno spremenila, obenem pa je postalo jasno, da je priprava visokotemperaturnih superprevodnikov v uporabni obliki zelo zahtevna. Optimizem je tako zamenjala zavest, da bo potrebno še veliko truda in časa, preden se bodo visokotemperaturni superprevodniki vključili v naše vsakdanje življenje.

Zaradi nemerljivo majhne upornosti, izrivanja magnetnega polja iz notranjosti superprevodnika, zanimive odvisnosti specifične toplote od temperature, enkratnih pojavov na zelo tankem izolatorju med dvema superprevodnikoma in drugih zanimivih lastnosti, predstavljajo superprevodniki zelo zanimivo skupino

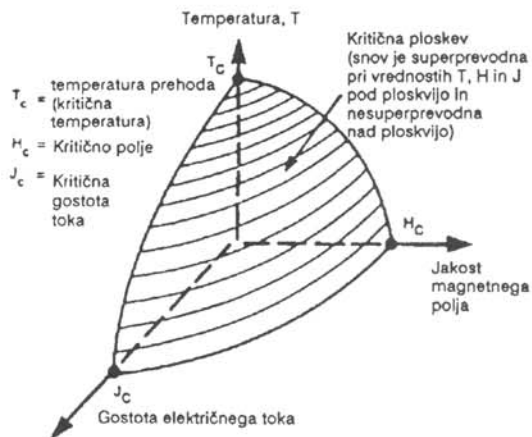
snovi, ki nudi potencialne možnosti uporabe na mnogih področjih, kot so elektronika (spominski elementi, elementi z Josephsonovim stikom, integrirana vezja), pridobivanje in uporaba energije (shranjevanje in prenos energije, motorji in generatorji), industrija (ločevanje in predelava snovi, tipala in 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, zveze, žiroskopi) in transport (magnetno lebdeča vozila, pogon ladij).

Že pred odkritjem visokotemperaturnih superprevodnikov so se superprevodniki uveljavili na nekaterih področjih, kot je na primer ustvarjanje močnih magnetnih polj, kjer je cena električne energije za napajanje bakrenega navitja nekajkrat večja od stroškov za vzdrževanje, napajanje in ohlajanje superprevodnega magneta skupaj. Superprevodni magnet omogoča tudi večjo homogenost polja, ker se baker med delovanjem magneta segreva in se magnetno polje navitja spreminja.



Slika 1. Zgodovinski razvoj najvišje poznane temperature prehoda superprevodnikov od odkritja superprevodnosti do danes. [10]

Visokotemperaturni superprevodniki imajo dve prednosti pred klasičnimi: višjo temperaturo prehoda ter večji kritični tok. Prva pomeni manj stroškov s hlajenjem superprevodnika. Klasične superprevodnike moramo hladiti z dragocenim helijem ($T = 4 \text{ K}$), visokotemperaturne pa s cenenim tekočim dušikom



Slika 2. Odvisnost superprevodnega stanja od temperature, magnetnega polja in gostote električnega toka [9]

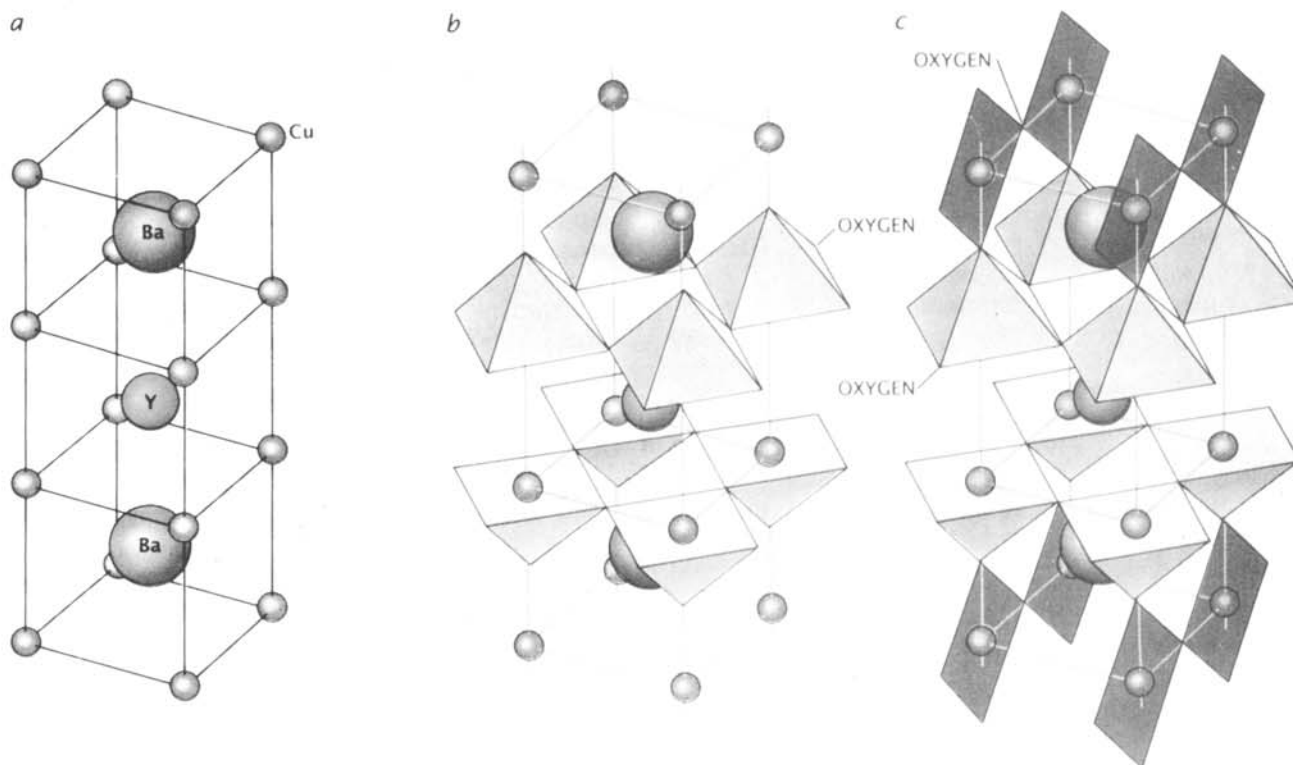
($T = 77 \text{ K}$). Druga prednost je večji kritični tok. To je tisti tok, pri katerem pride do porušitve superprevodnosti. Odvisen je od temperature in je tem večji, čim bolj smo superprevodnik ohladili pod temperaturo prehoda. Ta odvisnost velja za klasične in visokotemperaturne superprevodnike, vendar imajo slednji

pri enaki temperaturi večji kritični tok. Visokotemperaturne superprevodnike lahko torej uporabimo na dva načina: pri temperaturi tekočega dušika ali pa, če potrebujemo večji tok in/ali manjši termični šum, pri temperaturi tekočega helija.

Omenjeni visokotemperaturni superprevodniki imajo nekaj skupnih lastnosti. Vsebujejo barij, baker ter kisik, imajo plastovito strukturo, so električno prevodni vzdolž baker oksidnih ploskev ter imajo močno anizotropne električne lastnosti.

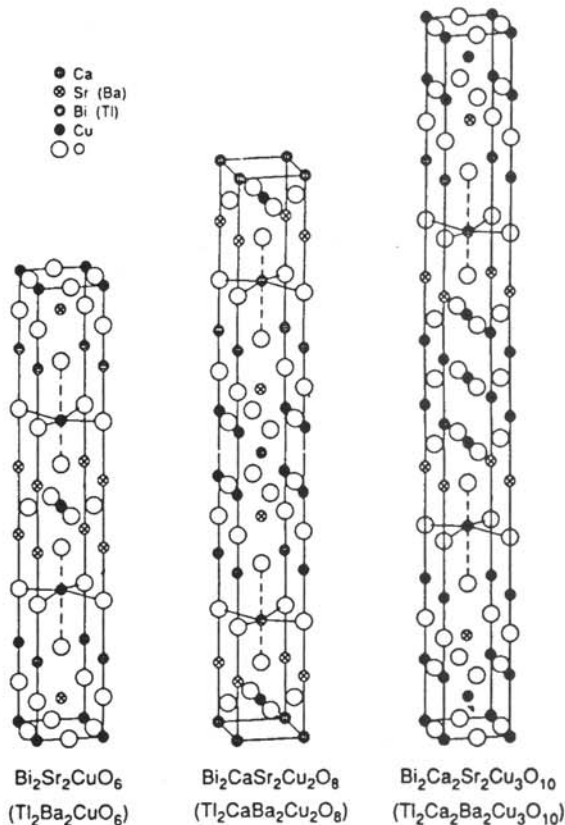
Slabost visokotemperaturnih superprevodnikov v primerjavi s klasičnimi je, da so oksidni. Oksidno keramiko je veliko težje oblikovati v vodnike ter jo upogibati kot zlitine. Zaradi tega se taki vodniki na tržišču še niso uveljavili, poročajo pa o intenzivnih raziskavah in uspehih na raziskovalnem področju. Področje vodnikov je potencialno zelo perspektivno, saj bi kvalitetni visokotemperaturni superprevodni vodniki predstavljali osnovo za mnoge izmed prej omenjenih načinov uporabe in bi tako ustvarili vse prej kot zanemarljivo tržišče.

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 uporabljan. Je tudi najbolj preprost sistem glede na število komponent, izotropnost ter preprostost izdelave. Zaenkrat je edino $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ mogoče pripraviti na "in situ" način, v eni sami napravi. Možnost tega načina priprave je za uporabo v elektroniki zelo pomembna, saj omogoča pripravo tako enoplastnih



Slika 3. a) Osnovna celica $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ je sestavljena iz treh kock. Kisikovi atomi so zaradi preglednosti izpuščeni. b) Izolator $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$. c) Superprevodnik $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. [4]

kot večplastnih struktur. Druge superprevodnike moramo izdelovati po "ex situ" metodi v več zaporednih korakih v različnih napravah. Omeniti velja še dejstvo, da ima superprevodnik Bi-Sr-Ca-Cu-O višjo temperaturo prehoda od $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, vendar je



Slika 4: Osnovne celice različnih faz bizmutovih in talijevih superprevodnikov [10].

težko pripraviti eno samo superprevodno fazo tega superprevodnega sistema, saj se poleg faze $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ($T_c = 110$ K) pojavljajo tudi druge, ki imajo 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 lastnosti od koncentracije kisika. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ je izolator, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ pa superprevodnik s $T_c = 93$ K. Če spreminjamo vsebnost kisika, t.j. x v $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ med 0 in 0.6, se temperatura prehoda spreminja med 93 K in 0 K. Če je x večji od 0.6, snov ni superprevodna [3].

Visokotemperaturni superprevodniki so zaenkrat najbolj aktualni v obliki tankih plasti, ker v tej obliki omogočajo večje kritične gostote toka kot v masivni obliki. Za to sta vsaj dva vzroka: usmerjena rast in napake v plasti.

Usmerjena rast je pomembna zato, ker imajo visokotemperaturni superprevodniki anizotropne lastnosti. Kritični tok vzdolž c osi kristalne celice je za

velikostni razred manjši od kričnega toka v smereh a ali b . Če torej želimo imeti velik kritični tok v ravnini podlage, moramo pripraviti usmerjeno plast s c osjo pravokotno na podlago. Če pa želimo izdelati večplastno strukturo, npr. superprevodnik - izolator - superprevodnik (Josephsonov stik), mora biti plast usmerjena s c osjo vzporedno s podlago.

Napake v plasti ovirajo porušitev superprevodnosti zaradi prisotnosti kritičnega toka. Le-ta povzroči močno magnetno polje v okolici superprevodnika. To polje začne prodirati v superprevodnik v obliki vrtincev, ki se s povečevanjem polja krepijo in združujejo. Napake v plasti pripnejo (pinning) vrtince in jim onemogočajo premike in združevanje. Zaradi tega je kritični tok večji kot v snovi brez napak. Seveda pa teh ne sme biti preveč, saj ohromijo mehanizem superprevodnosti. Meje med kristalnimi zrnji, ki vsebujejo nečistoče, delujejo kot šibke povezave (weak link) za elektronske pare, ki so nosilci superprevodnosti.

2 PRIPRAVA VISOKOTEMPERATURNIH SUPERPREVODNIH TANKIH PLASTI

Visokotemperaturne tanke plasti je mogoče pripraviti na različne načine, kot so: naprševanje, pulzno lasersko nanašanje (pulsed laser ablation), naparevanje, kemijsko nanašanje iz parne faze (Chemical Vapour Deposition - CVD), termično pršenje (thermal spaying) ter mokre kemijske tehnike.

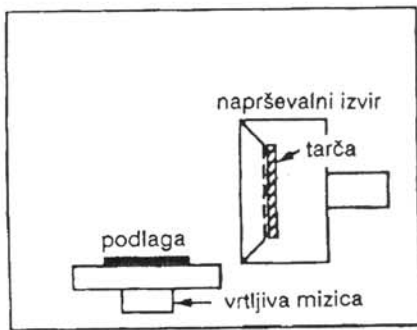
Nanos visokotemperaturnih superprevodnikov zahteva uporabo najbolj zahtevne tankoplastne tehnologije. Zahtevnost te ustreza zapletenosti materialov samih. Visokotemperaturni superprevodniki vsebujejo 4 ali 5 različnih vrst atomov, zato je možnih zelo veliko medsebojnih produktov.

Omenili smo že, da lahko edino $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ nanašamo tudi po "in situ" metodi, ki poteka v eni sami napravi in je dvokoračna metoda. Ostale visokotemperaturne superprevodnike lahko pripravimo samo po "ex situ" metodi, ki poteka v dveh različnih napravah in je trikoračni postopek. Pri "ex situ" metodi v primeru $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ v prvem koraku nanesemo amorfno plast na podlago v eni napravi. Nato v drugi napravi s pregrevanjem na visoki temperaturi ($> 800^\circ\text{C}$) plast najprej kristaliziramo v tetragonalno obliko $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$, nato pa jo oksidiramo v ortorombsko obliko na nižji temperaturi (400 - 500°C) ob prisotnosti kisika. Prvi korak "in situ" procesa predstavlja epitak-sen nanos tetragonalne faze na podlage pri visoki temperaturi ($< 650^\circ\text{C}$) in nizkem tlaku kisika (npr. 10 Pa), ki mu v isti napravi sledi pretvorba v ortorombsko fazo, ki jo omogočimo s tem, da na koncu nanosa vpustimo kisik in plast kontrolirano ohladimo.

NAPRŠEVANJE

Naprševanje (magnetronsko, diodno, z ionskim curkom) se zelo pogosto uporablja za pripravo visokotemperaturnih superprevodnikov. Lahko uporabljamo en ali pa več izvirov. Omogoča nam

preprost nadzor nad hitrostjo nanašanja. Naprševanje iz ene same stehiometrične tarče (kovinske YBa_2Cu_3 ali keramične $YBa_2Cu_3O_7$) je najbolj preprost način nanašanja superprevodnika. Največjo hitrost nanašanja bi omogočala kovinska tarča, vendar zlitine z itrijem ni mogoče pripraviti [1]. Zato moramo uporabiti keramično tarčo, ki prinaša nizko hitrost naprševanja, nevarnost pregretja ter težave z uhajanjem kisika iz tarče, ki jo lahko spremeni iz superprevodnika v slab



Slika 5. Shematski prikaz izvenosnega (off axis) naprševanja, ki se izogne nekaterim slabostim geometrije klasičnega naprševalnika. [2]

prevodnik ali celo v izolator. Če sočasno napršujemo iz več kovinskih tarč, nam prisotnost kisika povzroča njihovo oksidacijo, kar lahko zmanjša razpršitveni koeficient posamezne tarče za cel velikostni razred. Zaradi prisotnosti kisika se relativna hitrost nanašanja posameznih komponent spremeni, zato je težko pripraviti kontrolirano sestavo plasti. Prisotnost kisika v naprševalniku močno vpliva na sestavo plasti zaradi obstreljevanja podlag z negativnimi delci, kot so O , O_2 ali BaO , ki izhajajo iz tarče oziroma katode. Te delce pospeši velik padec napetosti v katodnem temnem področju plazme naprševalnika, stran od katode, tako da ti delci obstreljujejo plast in ji s tem spreminjajo sestavo. V plasti, napršeni iz $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ tarče, je zato ponavadi premalo Cu in Ba . Tej slabosti klasičnega sistema se lahko izognemo s povišanim tlakom v naprševalniku ali s posebno lego podlage.

S povišanim tlakom v naprševalniku zmanjšamo prsto pot delcev in jim tako onemogočimo doseganje velikih hitrosti v temnem katodnem področju ter ohranitev njihove energije na poti do podlag.

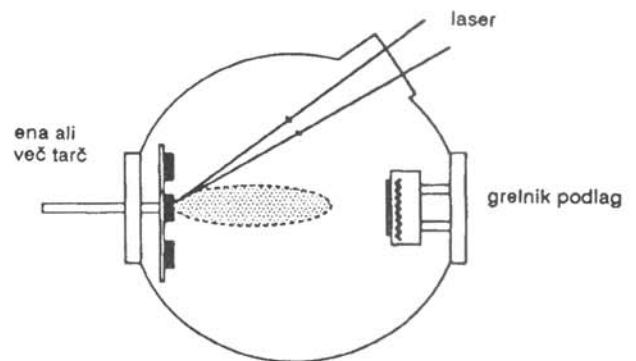
Posebna lega pomeni namestitvev podlag izven plazme, vzporedno z normalo na tarčo, vendar vstran od nje (off axis). Zaradi take postavitve je vpliv obstreljevanja zanemarljiv, prenos razmerij elementov s tarče na plast je dober, slaba stran pa je majhna hitrost naprševanja.

Z naprševanjem superprevodnih tankih plasti se ukvarjamo tudi v Odseku za tanke plasti in površine na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani. Plasti $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ nanašamo na nepregrete podlage v napravi s plazemskim curkom Sputron ter jih nato pregrevamo po "ex

situ" metodi. Tako pripravljene plasti imajo temperaturo prehoda 93 K in se jim upornost zmanjša na nemerljivo majhno vrednost pri 80 K /11/.

PULZNO LASERSKO NANAŠANJE

Pulzno lasersko nanašanje (pulsed laser ablation) je novejša tehnika nanosa tankih plasti. Izvir je tarča iz materiala, ki ga želimo nanesti na podlage. Ultravijolični visokoenergijski laserski pulz z gostoto moči med 10^8 in 10^{10} W/cm² ter trajanjem okoli 10 ns izpari material tik pod površino, povzroči odprtje površine, odlet majhnega volumskega dela snovi v prostor ter rast tanke plasti na podlagah. UV svetloba je pogosto uporabljena zaradi velikega absorpcijskega koeficienta visokotemperaturnih superprevodnikov v tem področju [5]. Za razliko od naprševanja in naparevanja je ta metoda pulzna in zato atomi, ioni in masni skupki potujejo z različnimi hitrostmi in pridejo do podlag ob različnih trenutkih. Pulzno lasersko nanašanje omogoča zelo dober prenos razmerij elementov iz tarče na podlago, ki ni občutljiv na delni tlak kisika v posodi. Zato je ta način nanosa eden od kandidatov za bodoča integrirana vezja v mikroelektroniki. Slabosti pulznega laserskega nanašanja sta zelo usmerjena prostorska porazdelitev s podlage odletelih delcev ter obstoj vključkov v plasti [6]. Prvo je mogoče izboljšati z ustreznim vrtenjem oziroma premikanjem podlag, laserja in tarče ter uporabo širokih laserskih snopov in tarč z ukrivljenimi ploskvami. Vključki v plasti so majhni delci s premerom 0.5 do 2 mm, ki priletijo s tarče in povečujejo hrapavost plasti. Njihovo število lahko zmanjšamo z uporabo tarče z veliko gostoto ali dodatnega laserskega žarka, ki je vzporeden s podlagami.



Slika 6. Shematski prikaz pulznega laserskega nanašanja [2].

NAPAREVANJE

Naparevanje je bila prva tehnika, ki je bila uporabljena za nanos superprevodnih plasti. Ker visokotemperaturni superprevodniki ne tvorijo skupne zlitine, je potrebno uporabiti več izvirov. Pogosto se uporabljajo izviri z elektronskimi puškami z neodvisnimi krmiljenji posameznih hitrosti nanašanja. Zaradi potrebnega relativno velikega delnega tlaka kisika se, kljub uvaja-

nju kisika ob podlagah, tlak poveča po celi posodi in ovira delovanje elektronskih pušk. Ena od metod, ki uporabljajo naprevanje, epitaksa z molekularnim curkom (molecular beam epitaxy, MBE), se je doslej izkazala kot ena od najdražjih, najbolj zapletenih in najmanj uspešnih tehnik. Kljub temu se poskusi s to metodo nadaljujejo, saj je z njo mogoče pridobiti novo znanje o mehanizmu rasti in tvorjenju večplastnih struktur.

Poenostavitev pomeni naprevanje kovin (npr. Y, Ba in Cu za $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) iz omsko gretih izvirov, ker se izognemo težavam zaradi visokih delnih tlakov kisika. V zadnjem času se je pojavila tudi metoda, ki uporablja BaF_2 kot enega od izvirov. Ta omogoča pripravo kvalitetnih plasti po "ex situ" postopku.

Iz večih izvirov lahko napreavamo časovno zaporedno ali sočasno. Če napreavamo zaporedno, moramo nato dobljeno strukturo pregrete ali jo obstreljevati s težkimi atomi, kot je Xe (ion mixing), da se elementi enakomerno porazdelijo po celi debelini plasti.

KEMIJSKO NANAŠANJE IZ PARNE FAZE (CVD)

Možen način nanosa superprevodnih plasti debeline nad $1 \mu\text{m}$ je CVD, ki je osnova za tvorjenje spojin v industriji polprevodnikov. Prednosti te metode je več: hitrosti nanašanja so praviloma velike, nanos lahko poteka pri delnih tlakih kisika vse do atmosferskega tlaka, rast plasti je lahko epitaksna ali usmerjena, če so molekule vstopnih komponent dovolj stabilne. Pomembno je tudi, da ta postopek omogoča enakomerno porazdelitev moči po prostoru, zaradi česar lahko nanašamo plast na podlage zahtevnih oblik. Do sedaj je bila največja slabost tega postopka v kakovosti vhodnih komponent, ki je pogosto povzročala nihanja hitrosti nanašanja posameznih elementov.

TERMIČNO PRŠENJE

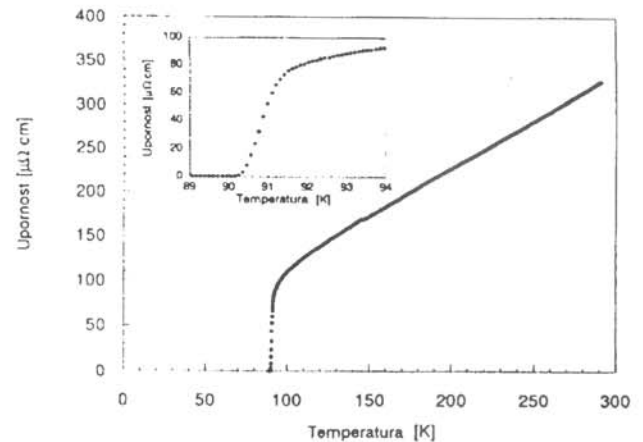
Termično pršenje omogoča praviloma velike hitrosti nanosa ($1 \mu\text{m}/\text{min}$ in več) in je zato zanimivo za neprekinjen nanos na vodnike in trakove. Ne omogoča epitakse, je pa sposobno oblikovati tako strukturo, ki ima relativno visoke kritične tokove.

MOKRE KEMIJSKE TEHNIKE

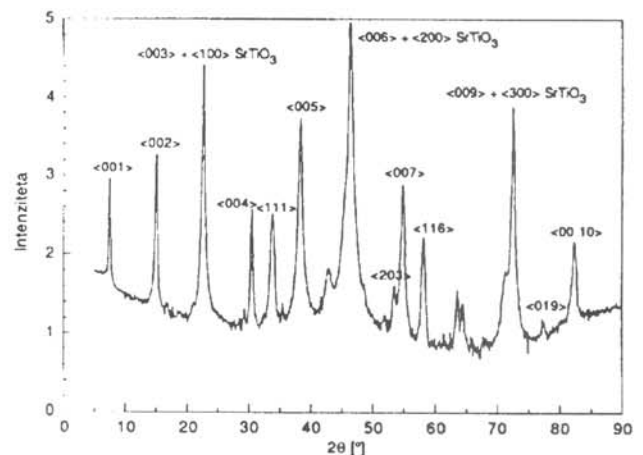
V to skupino spadajo sol-gel tehnike, potapljanje in nanašanje z vrtilnikom ter kemijsko pršenje. Prednost teh tehnik je sposobnost tvorjenja čistih in kemijsko homogenih plasti, obenem pa tudi primernost za nanašanje prevlek na vrtilniku ali s potapljanjem.

Med vsemi metodami dasta po "in situ" načinu priprave najboljše rezultate napreševanje in lasersko pulzno nanašanje. Ti dve tehniki sta doslej omogočili doseganje najvišjih kritičnih gostot toka (do $5 \cdot 10^6 \text{ A}/\text{cm}^2$) ter najhitrejši prehod v superprevodno stanje (v manj kot 1 K). Manj kvalitetne plasti imajo pogosto širok prehod v superprevodno stanje, ki se sicer začne pravočasno (93K za $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$), vendar postane upornost nemerljivo majhna šele pri nižjih temperaturah, npr. 80 K,

60 K ali pa še nižje. Ker je tehnologija priprave superprevodnih tankih plasti še mlada, imajo opisane tehnike še možnost, da se razvijejo in prevladajo.



Slika 7. Temperaturna odvisnost upornosti zelo kvalitetne superprevodne tanke plasti $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ na podlagi SrTiO_3 , pripravljene po "in situ" metodi na temperaturi 670°C . Območje prehoda je posebej predstavljeno še v oknu. [12]



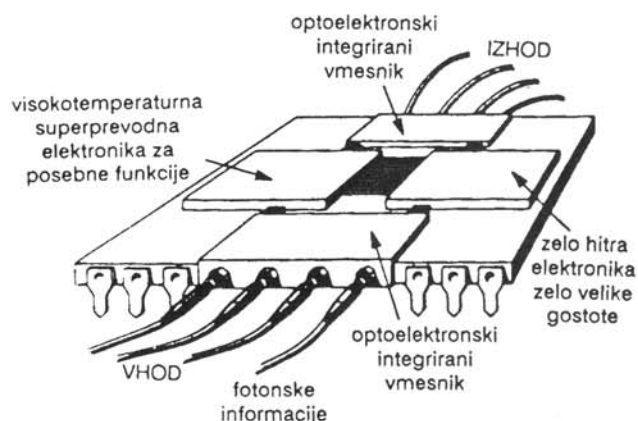
Slika 8. Značilna rentgenska uklonska slika "in situ" napršene epitaksne plasti na podlagi SrTiO_3 [12].

3 UPORABA VISOKOTEMPERATURNIH TANKOPLASTNIH SUPERPREVODNIKOV

Prvi komercialno dostopni izdelek (razen demonstracijskih kompletov lebdjenja ohlajenega superprevodnika nad magnetom) visokotemperaturnih superprevodnikov je bil mikrovalovni resonator tovarne Superconductor Technologies iz ZDA leta 1990 [7]. Sledilo mu je nekaj podobnih izdelkov, napredek raziskovalnih skupin pa napoveduje prve čipe z Josephsonovimi stiki, kar postavlja vprašanje združljivosti tehnologij polprevodnikov in superprevodnikov.

Da bi bila tehnologija superprevodnih tankih plasti združljiva z mikroelektronsko, bi morali znižati temperaturo podlag na 550-600°C ter "in situ" pripraviti plast. Zaenkrat tega ne zmore nobena metoda, raziskovanja pa potekajo v smeri uporabe izvirov vzbujenega kisika. Tega lahko pripravimo na različne načine: z radiofrekvenčnim poljem v bližini podlag, z uvajanjem kisika skozi mikrovalovni resonator, z izvirom ECR (elektronska ciklotronska resonanca) ter z ozonom ali N₂O kot izvirov.

Ovira za združitev superprevodniške in polprevodniške tehnologije je tudi silicij kot skupna podlaga. Superprevodnike praviloma nanašamo na zelo odporne monokristale, kot so na primer SrTiO₃, MgO, ZrO₂, LaAlO₃ ali NdGaO₃. Silicij ima v primerjavi z njimi veliko močnejšo medsebojno difuzijo s superprevodniki. Poleg tega se Si razlikuje od superprevodnikov tudi po koeficientu temperaturnega raztezka ter dimenzijah osnovne celice. Vse te slabosti je mogoče zmanjšati z uporabo ene ali dveh vmesnih plasti med silicijem in superprevodnikom.



Slika 9. Podoba možnega bodočega hibridnega sistema, vključujočega superprevodne, polprevodne ter optične elemente [2].

Dolgoročno je zanimiva tudi trojna povezava superprevodnih, polprevodnih in optičnih elementov. Tak širokopasovni hibridni procesor bi na vhodnem vmesniku pretvarjal fotone v elektrone, signal hitro obdelal v elektronskem vezju izredno velike integracije (VLSI) ter specializiranem superprevodnem vezju (sl. 9). Ta signal bi nato spet pretvoril v fotone in ga poslal naprej. Močno elektron-elektronsko medsebojno vplivanje omogoča elektronski delovanje učinkovitih preklonnih elementov. Šibko foton-fotonsko medsebojno vplivanje pa omogoča v optoniki prenos informacij z majhnim prisluhom na velike razdalje. Superprevodniki kažejo lastnosti elektrone in optonike. Kažejo močno medsebojno vplivanje osnovnih

delcev ter majhno absorpcijo in disperzijo potujočih signalov. Verjetno zaradi svojih omejitev (npr. cena, vzdrževanje) ne bodo nadomestili optonike, lahko pa bi skupaj z njo in elektrono omogočili širokopasovne sisteme. Visokotemperaturni superprevodniki so kovinski oksidi. Ta skupina pa ima tudi pomembne mikroelektronske in optoelektronske lastnosti, kot so feroelektričnost, optična nelinearnost, veliko optično presojnost in relativno velike lomne količnike. Če kovinske okside dopiramo z ioni prehodnih kovin, se jim zelo spremenijo optične lastnosti. Če npr. dodamo LiNbO₃ titan, dobimo valovod in če dodamo Al₂O₃ krom, dobimo dajalnik svetlobe.

4 SKLEP

Visokotemperaturni superprevodniki so v mnogočem še neraziskani. Še manj vemo o posledicah njihovih dopiranj z različnimi elementi. Zaradi vsega dosedaj znanega in predstavljenega ter glede na to, da spadajo v zanimivo skupino kovinskih oksidov, lahko ugotovimo, da so perspektivni. Kljub temu živi to področje v senci velikih besed ob njihovem odkritju. Danes se zdi ena večjih napak na tem področju ravno to, skoraj neomejeno, obljubljanje. Visokotemperaturna superprevodnost je pač ena od tehnologij, ki se mora dokazati in tako prodreti. V šestih letih od odkritja ji še ni uspelo rešiti dovolj vprašanj, povezanih s tehnologijo novih snovi. Rešiti mora tudi problem razmerja cena/zanesljivost ter ponuditi na trgu zaključene sisteme. Marsikaj ji še manjka, vendar je od odkritja minilo šele šest let. Kakšna je bila elektronika toliko let po odkritju transistorja?

LITERATURA

- /1/ W. Kautek, Vacuum, Vol. 43, 5-7, 1992, 403-411
- /2/ A Ramesh, A. Inam, T. Sands and C. T. Rogers, Mat. Sci. and Eng., B14 (1992), 188-213
- /3/ R. J. Cava, A. W. Hewat, E. A. Hewat, B. Batlogg, M. Marezio, K. M. Rabe, J. J. Krajewski, W. F. Peck and L. W. Rupp jr., Physica C 165 (1990), 419-433
- /4/ R. M. Hazen, Scientific American, June 1988, 52-61
- /5/ H.-U. Habermeier, Mat. Sci. and Eng., B13 (1992), 1-7
- /6/ D. H. A. Blank, R. P. J. Ijsselsteijn, P. G. Out, H. J. H. Kuiper, J. Flokstra and H. Rogalla, Mat. Sci. and Eng., B13 (1992), 67-73
- /7/ Superconductor Industry, Spring 1990, 7, Rodman Pub. Corp.,
- /8/ Superconductor Industry, Spring 1992, 18, Rodman Pub. Corp.,
- /9/ Superconductivity Sourcebook, Ed. by D. Hunt, J. Wiley&Sons, 1989, 12
- /10/ K. Easterling and J. Niska, Sci. Progress, Oxford (1990) 74, 69-90.
- /11/ E. Karič, A. Žabkar, A. Cvelbar, P. Panjan, M. Ambrožič, V. Marinkovič, Dj. Mandrino, I. Poberaj, J. Gasperič and B. Navinšek, YBaCuO superconducting thin films sputtered in a triode system Vuoto, Vol. XX, N^o2, (1990) 389.
- /12/ A. Gauzzi, M.L. Lucia, B.J. Kellet, J.H. James and D. Pavuna, Physica, C182 (1991), 57-61.