

Preizkus sistema za lasersko risanje na visokotemperaturne superprevodne filme za uporabo v mikrovalovni tehniki

Marko Zavrtnik, Jure Demšar,
Martin Žumer, Dragan Mihailović
Institut Jožef Stefan,
Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia.
marko.zavrtnik@ijs.si

Robert Vilhar
Iskra Transmission d.o.o.,
Stegne 11, 1000 Ljubljana, Slovenia.
robert.vilhar@iskratr.si

Povzetek

V delu predstavljamo preizkus tehnike laserskega risanja na visokotemperaturne superprevodne $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ filme za izdelavo prototipnih mikrovalovnih vezij. S sistemom, pri katerem z lokalnim segrevanjem superprevodnega filma v kontrolirani atmosferi pod vplivom močno zbranega laserskega žarka dosežemo prehod med superprevodno $YBa_2Cu_3O_7$ in izolatorsko $YBa_2Cu_3O_6$ fazo, smo izdelali preprost enodimenzijski superprevodni mikrotrakast resonator dimenzij $8\text{ mm} \times 0,2\text{ mm}$. Uporabili smo 200 nm debel epitaksialni $YBa_2Cu_3O_7$ film nanežen na $LaAlO_3$ debeline $0,3\text{ mm}$. Z meritvijo prenosne karakteristike resonatorja ter odvisnosti kvalitete in resonančne frekvence resonatorja od temperature smo pokazali, da je sistem za lasersko risanje primeren za izdelavo pasivnih mikrovalovnih superprevodnih vezij saj v postopku obdelave ne pride do poslabanja lastnosti superprevodnika.

1 UVOD

V zadnjih desetih letih smo prišli razvoju cele družine visokotemperaturnih supraprevodnikov [1], katerih nadvse presenetljive lastnosti so vzpodbudile široko zanimanje strokovne javnosti, svoj prostor pa so našle tudi na področju aplikacij. Tako lahko dandanes poleg tokovnih vodnikov zasledimo tudi uporabo visokotemperaturnih supraprevodnikov na področju magnetometrije, elektronike ter mikrovalovne in radiofrekvenčne tehnike [2]. Slednjim trem kategorijam je skupna uporaba filmov, ki so nekaj sto nanometrov debele epitaksialne plasti supraprevodnika nanešene na monokristalni substrat. Film mora biti seveda oblikovan v primerno strukturo, pri čemer se raziskovalci z uporabo modificiranih fotolitografski postopkov naslanjajo na dolgoletne izkušnje s področja obdelave polprevodnikov. Pri uporabi tovrstnih postopkov pa se uporabnost visokotemperaturnih superprevodnih oksidov zmanjša, saj se le tem lastnosti ob prisotnosti vode močno poslabšajo. Poleg tega je sam postopek

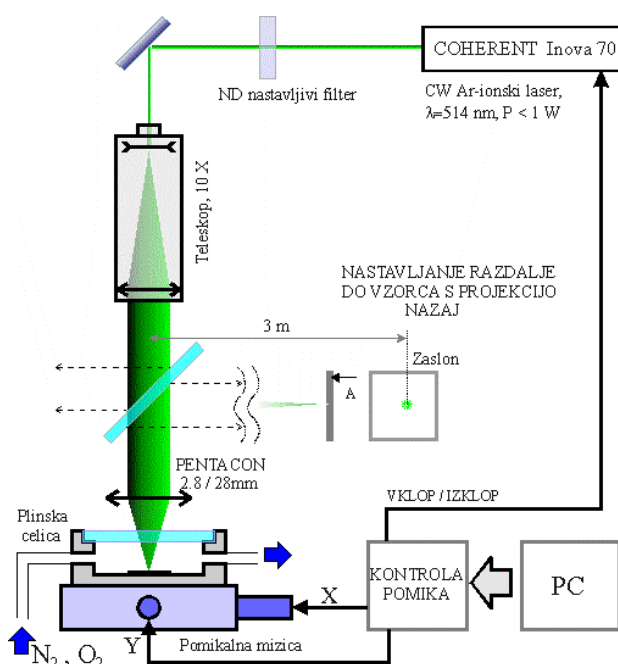
tudi relativno zapleten in drag. Mi smo se tovrstnim komplikacijam izognili z uporabo laserskega risanja, ki se je izkazalo kot hiter, učinkovit in poceni postopek, istočasno pa omogoča enostavno korekcijo napak.

Pri postopku laserskega risanja [3] izkoriščamo dejstvo, da se fizikalne lastnosti $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ močno spreminjajo s koncentracijo kisika v snovi. Le ta se lahko reverzibilno spreminja od O_6 do O_7 . Tako je $YBa_2Cu_3O_6$ antiferomagnetni izolator, z večanjem koncentracije kisika nad $O_{6.4}$ pa preide v kovinsko fazo, ki je pri dovolj nizki temperaturi supraprevodna. Koncentracijo kisika lahko relativno enostavno spreminjamo saj se z izpostavljanjem snovi povišani temperaturi ($>500^\circ\text{C}$) [4] sproži difuzija kisika v oziroma iz vzorca, odvisno pa v kakšni atmosferi pride do segrevanja. Tako je za segrevanje v inertni atmosferi značilno uhajanje kisika iz vzorca in s tem pomik od O_7 proti O_6 , v primeru segrevanja v kisikovi atmosferi pa smo lahko pričeli obratnemu pojavu. Pri laserskem risanju difuzijo kisika sprožimo lokalno in to tako, da segrejemo le del filma. Za tovrstno opravilo je najprimernejša laserska svetloba, saj jo lahko relativno enostavno zberemo v drobno piko. Če tako piko premikamo po vzorcu lahko v film vtisnemo praktično poljubno supraprevodno ali izolatorsko geometrično strukturo.

2 PRIPRAVA VZORCA

Za preizkus tehnike laserskega risanja po superprevodnem filmu za izdelavo prototipnih mikrovalovnih vezij smo izdelali preprost enodimenzijski resonator. Kot substrat smo uporabili alumino ($LaAlO_3$; $\epsilon_r=24$; $h=0,3\text{ mm}$), ki ima zelo dobre mikrovalovne lastnosti, z enostranskim nanosom epitaksialnega $YBa_2Cu_3O_7$ filma debeline 200 nm , izdelanim na ameriškem *National Institute for Standards and Technology*, ZDA. $YBa_2Cu_3O_7$ spada v skupino kupratnih visokotemperaturnih superprevodnikov, njegova kritična temperatura pa znaša približno 90 K . Film je bil obdelan s sistemom za lasersko risanje [5], ki ga shematsko prikazuje slika

1. Za lokalno segrevanje filma smo uporabili Ar-ionski kontinuirani laser (Coherent Inova 70) z valovno dolžino $\lambda=514$ nm. Žarek smo najprej razširili iz 1.5 mm na izstopu iz laserja na 15 mm na izstopu iz teleskopa in ga nato z uporabo objektiva Pentacon 2.8/28mm zbrali v piko premera $2\mu\text{m}$. Za premikanje svetlobne pike po vzorcu oziroma premikanje vzorca samega je skrbel pomikalna mizica, sestavljena iz dveh linearnih translatorjev. Vsak translator je poganjal enosmerni motor, za nadzor nad pomikom pa je skrbel optični kotni enkoder z ločljivostjo $0.6\mu\text{m}$. Največja dosegljiva hitrost takšnega sklopa je $500\mu\text{m/s}$, hod pa 50 mm. Translatorje smo v mizico sestavili na ortogonalen način,

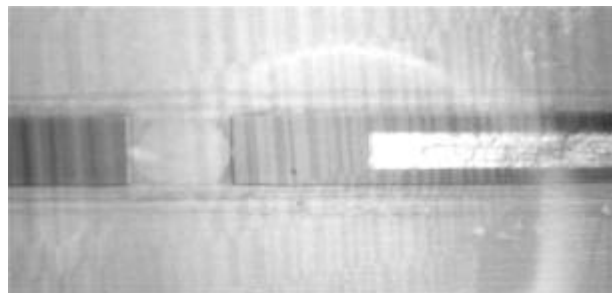


Slika 1: Shematski prikaz sistema za lasersko risanje na visokotemperaturne supraprevodne filme.

tako da smo s samostojno kontrolo obeh motorjev dosegli prosto premikanje v ravnini pravokotni na smer laserskega žarka. Premikanje je preko kontrolnega vezja upravljal osebni računalnik, ki je s pomočjo elektronske zaslone istočasno skrbel tudi za vklop oziroma izklop laserskega snopa. Celoten sistem za lasersko risanje, vključno z izvorom laserske svetlobe, smo namestili na mizo za miritev mehanskih vibracij in tako izločili vpliv vibracij okolice na sam postopek laserskega risanja.

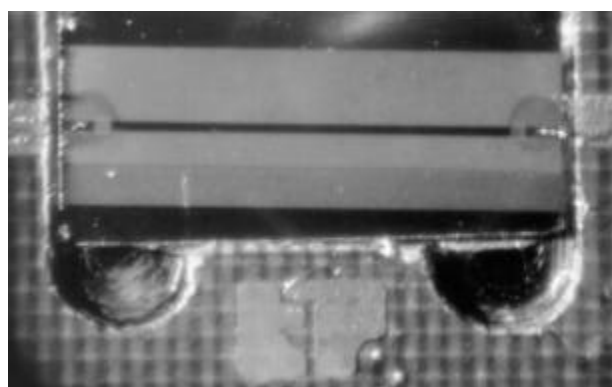
Superprevodni resonator, sestavljen iz 8 mm dolge in $0,2$ mm široke mikrotrakaste linije (impedanca 50Ω), ki je bila na obeh koncih kapacitivno sklopljena na superprevodni napajalni liniji preko $0,3$ mm široke

reže (Slika 2), smo izdelali tako, da smo z laserskim risanjem v dušikovi atmosferi dosegli prehod področij izven željene geometrije na filmu iz superprevodne $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ faze v izolatorsko $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ fazo (na Sliki 2 so ta področja svetlejša). Hitrost premikanja laserske pike je znašala $50\mu\text{m/s}$, gostota svetlobnega toka pa $6.5\text{mW}/\mu\text{m}^2$.



Slika 2: Fotografija superprevodne napajalne linije z zlatim kontaktom (desno), $0,3$ mm široke reže in začetka $0,2$ mm široke in 8 mm dolge mikrotrakaste linije.

Ploščica s superprevodnim filmom z izmerami $10 \times 5\text{mm}^2$ je vstavljena v ležišče izrezkano v bakreno podlogo teflonskega laminata ($\epsilon_r=2,45$; $h=0,3$ mm, $h_{\text{Cu}}=1,6$ mm). Električni spoj med napajalno linijo na teflonskem laminatu in napajalno linijo na superprevodnem filmu smo preko zlate blazinice debeline 500 nm izvedli z dvema bondoma dolžine 1 mm (glej Slika 3).



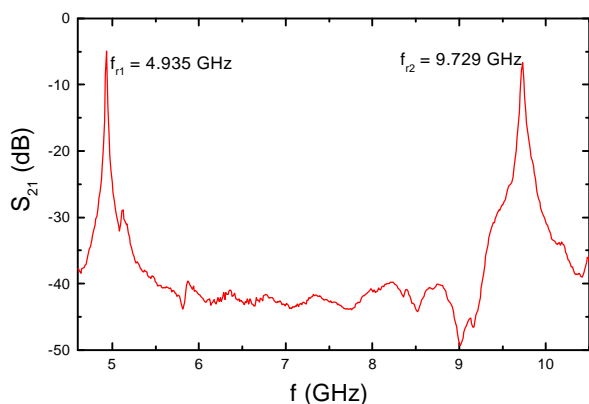
Slika 3: Fotografija superprevodnega resonatorja vložena v bakreno podlogo teflonskega laminata.

Termični spoj superprevodnega vzorca in bakrene podlage je izboljšal s tanko folijo indija, ki je istočasno

služila tudi kot ozemljitvena ravnina za mikrotrakasto linijo. Celoten nosilec je bil nato vmeščen v kriostat s konstantnim pretokom (Oxford Instruments, Optistat^{CF}). Za električno povezavo z merilnimi aparaturami sta skrbela dva poltrda mikrokoaksialna kabla (Suhner, EZ-47SP) dolžine 15 cm, ki sta bila na eni strani prispajkana na mikrotrakasti liniji nosilca, na drugi strani pa pritrjena na dva SMA vakuumska konektorja. Glave kriostata, ki je v osnovi namenjen za optične meritve, nismo posebej predelovali za mikrovalovne meritve saj je bil namen eksperimenta zgolj preizkus uporabnosti sistema za lasersko risanje.

3 MERITVE

Frekvenčni potek prenosne karakteristike resonatorja je prikazan na Sliki 4, kjer se lepo vidita osnovna in prva harmonska resonanca. Izmerjena osnovna resonančna frekvenca je 4,935 GHz, prva harmonska pa 9,729 GHz (pri T = 70 K). Druga resonančna frekvenca ni natančen mnogokratnik osnovne zaradi kapacitivnega sklopa na resonatorsko linijo. Sklopna kapacitivnost linijo navidezno podaljša; na drugi resonančni frekvenci bolj kot na prvi.



Slika 4: Prenosna karakteristika resonatorja pri T=70 K.

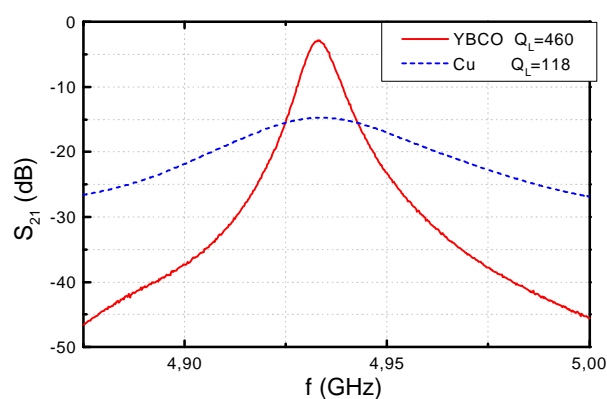
V prenosni karakteristiki je opazno tudi precejšnje resonančno ozadje, ki je posledica dejstva, da glave kriostata nismo posebej prilagajali za mikrovalovne meritve.

Na sliki 5 sta prikazani resonančni krivulji mikrotrakastega resonatorja s superprevodno linijo na temperaturi 70 K in resonatorja z bakreno linijo na sobni temperaturi. Bakren resonator, z enako resonančno frekvenco kot superprevodni, je bil izdelan v klasični tehniki na teflonskem laminatu in je služil za

primerjavo in kalibracijo meritve. S slike lahko odčitamo kvaliteto obremenjenega resonatorja Q_L ($Q_L=f_0/B_{3dB}$), ki za superprevodni resonator znaša 460, za bakreni pa 118. Ker je sklop superprevodnega resonatorja na napajalni liniji velik, smo ob predpostavki enake odbojnosti na obeh vhodih resonatorja ($s_{11}=s_{22}$), določili kvaliteto neobremenjenega resonatorja Q_0 po naslednji enačbi:

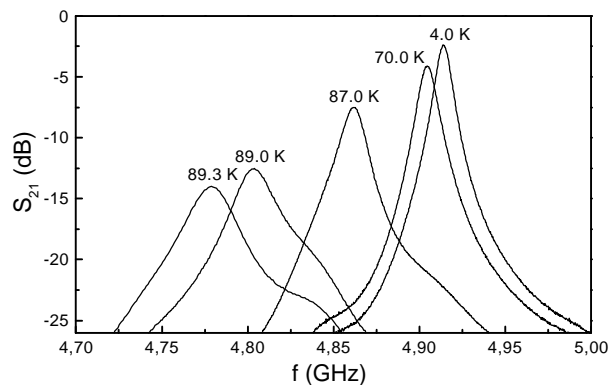
$$Q_0 = \frac{Q_L}{1 - |s_{21}|}$$

Torej znaša kvaliteta neobremenjenega superprevodnega resonatorja približno 1700, kar je dobrih 10 krat več od kvalitete neobremenjenega bakrenega resonatorja ($Q_0=160$) na sobni temperaturi.



Slika 5: Resonančni krivulji superprevodnega in bakrenega mikrotrakastega resonatorja.

Slika 6 prikazuje spreminjanje resonančne frekvence in oblike resonančne krivulje pri različnih temperaturah. Kot vidimo z naraščanjem temperature kvaliteta upada, prav tako pa se znižuje tudi resonančna frekvenca.



Slika 6: Resonančne krivulje superprevodnega resonatorja pri različnih temperaturah.

