

## Vývoj REBCO supravodičov pre biomedicínske aplikácie

### Predmet výskumu

Materiálový výskum supravodičov

### Ciele projektu

Hlavným cieľom projektu bol výskum a vývoj REBCO (najmä YBCO, GdBCO a SmBCO) masívnych monokryštalických supravodičov (MMS) s vysokou kritickou prúdovou hustotou a zachyteným magnetickým poľom pri teplotách nižších ako je teplota kvapalného dusíka. Podrobné ciele boli zamerané na:

- Optimalizácia parametrov rastu masívnych REBCO kryštálov s vybranými legúrami alebo s prídavkom nanovláčiek.
- Charakterizácia vplyvu parametrov prípravy a legovania na štruktúru a mikroštruktúru pripravených REBCO MMS.
- Charakterizácia vzťahu medzi mikroštruktúrou pripravených REBCO MMS a ich mikroskopickými a makroskopickými supravodivými vlastnosťami.
- Optimalizácia zloženia, parametrov prípravy a supravodivých vlastností REBCO MMS za účelom dosiahnutia vysokých hodnôt zachyteného magnetického poľa a levitačnej sily.
- Ochrana pôvodných výsledkov výskumu patentovými prihláškami a publikovaním výsledkov v kvalitných medzinárodných časopisoch.

### Dosiahnuté výsledky

YBCO, SmBCO a GdBCO MMS sme pripravili pomocou metód TSMG (Top Seed Melt Growth) a TSIG (Top Seed Infiltration Growth). Fázové prechody, fázové zloženie, štruktúra a mikroštruktúra v študovaných systémoch s vybranými dopantmi boli charakterizované termickou analýzou, optickou a elektrónovou mikroskopiou a röntgenovou difrakčnou analýzou. Charakterizovali sme mikroskopické supravodivé vlastnosti (kritická teplota, kritická prúdová hustota a jej závislosť od magnetického poľa) na základe magnetizačných meraní od 4,2 K do 77 K. Makroskopické supravodivé vlastnosti (zachytené magnetické pole, levitačná sila) boli merané pri teplote 77 K a pri teplotách pod 77 K v spolupráci s University of

### zodpovedný riešiteľ

Ing. Diko Pavel, DrSc.

### riešiteľská organizácia

Ústav experimentálnej fyziky SAV, v. v. i.

### spoluriešiteľská organizácia

Ústav materiálového výskumu SAV, v. v. i.

### termín riešenia

08/2018 – 12/2022

### finančné prostriedky z APVV

249 686 €

### číslo projektu

APVV-17-0625

Caen Normandy. Pri tomto výskume sme spolupracovali aj s University of Cambridge, SJTU Shanghai, SIT Tokyo a CAN Superconductors ČR.

Ako prví sme ukázali, že pridaný CeO<sub>2</sub> potláča substitúciu bária gadolínium v kryštálovej mriežke zlúčeniny Gd(Ba<sub>1-y</sub>Gd<sub>y</sub>)<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> a tým zvyšuje kritickú teplotu do supravodivého stavu a reguluje koncentráciu nanometrových centier pinningu magnetických tokočiar. Zistený efekt je predmetom patentovej prihlášky a otvára nové možnosti optimalizácie supravodivých vlastností LREBCO MMS (LRE - light rare earths).

Vyvinuli sme novú technológiu na výrobu GdBCOAg MMS s prídavkom nanokryštalického BaCeO<sub>3</sub>, ktorý je chránený patentovou prihláškou. Masívne kryštály pripravené touto technológiou rastú na vzduchu bez potreby použitia riadenej atmosféry. Kryštály zároveň prerastú celú vzorku, čím ušetria drahé suroviny.

V spolupracujúcej inštitúcii (ÚMV SAV) boli metódou elektrostátického zvlákňovania pripravené polymérne vlákna obsahujúce vybrané katióny a optimalizovaný proces tepelného spracovania s cieľom odstraňovania organických zložiek a tvorby oxidov. Do systému GdBCO sme pridal nanovláčna TiO<sub>2</sub> a pripravili MMS.

Výsledky štúdia vplyvu prídavku nanokryštalického BaCeO<sub>3</sub> na zjemnenie pinnig centier magnetických siločiar vo forme YBaCuO<sub>5</sub> častíc ukázali, že aj nízke koncentrácie prídavku zabezpečujú submikrónovú veľkosť častíc, čo vedie k výraznému zvýšeniu hodnôt zachyteného magnetického poľa.

### Prínos pre prax

Výsledky, ktoré sme dosiahli v rámci projektu, je možné aplikovať pri výrobe masívnych monokryštalických supravodičov REBCO. V oblasti silnoprúdovej elektrotechniky sa MMS využívajú vo forme supravodivých permanentných magnetov

na stavbu točivých elektrických strojov, beztrečích ložísk, levitačných transportných zariadení, zásobníkov zotrvačnej energie, zariadení na magnetický transport liečiv, čistenie odpadových vôd, a podobne. V rámci projektu sme vyvinuli novú technológiu výroby GdBCOAg MMS s prídavkom nanokryštalického BaCeO<sub>3</sub>, ktorý je chránený patentovou prihláškou. Pomocou nami vyvinutej novej technológie sme vyrobili GdBCOAg MMS a poskytli ich spoločnosti Cryosoft, sro. Košice, realizátorovi výsledkov projektu, ktorý ich využije pri vývoji biomedicínskych aplikácií v spolupráci s Ústavom lekárskej a klinickej biofyziky LF UPJŠ Košice.

Rozvinuli sme spoluprácu so spoločnosťou CAN Superconductors s.r.o. výrobcou REBCO MMS. Spoločný výskum bol zameraný najmä na GdBCOAg a EuBCOAg MMS. Tu sme vykonali komplexnú analýzu mikroštruktúry GdBCOAg a EuBCOAg MMS so systémom umelých otvorov. Dospeli sme k záveru, že najvýznamnejším pozitívnym vplyvom na zvýšenie zachyteného magnetického poľa je zníženie pórovitosti študovaného MMS. Výsledky budú aplikované pri výrobe REBCO MMS v CAN Superconductors a prispievajú k získaniu nového aplikačného APVV projektu, ktorého výsledky budú implementované v CAN Superconductors.

Obr. 1 / 10 GdBCO kryštálov MMS pripravených v jednom procese.

Obr. 2 / Mikroštruktúra EuBCO MMS s otvormi a bez otvorov.

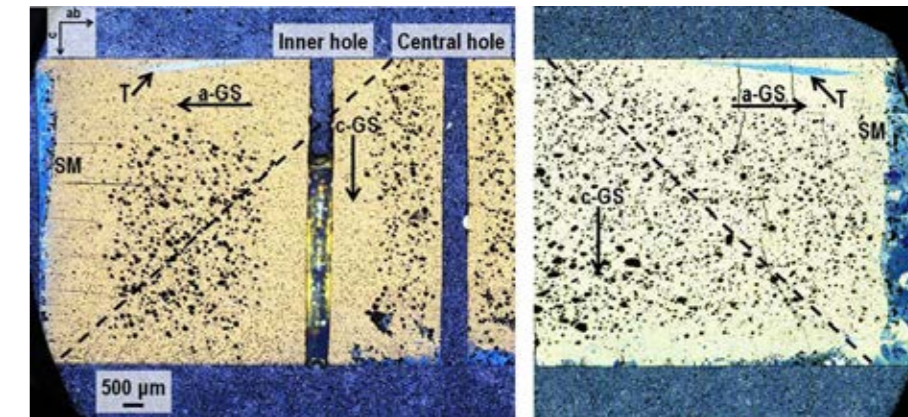
Obr. 3 / Profil zachyteného magnetického poľa v EuBCO MMS s otvormi a bez otvorov.

Obr. 4 / Vyššia kritická prúdová hustota v EuBCO vzorke s otvormi ako vo vzorke bez otvorov.

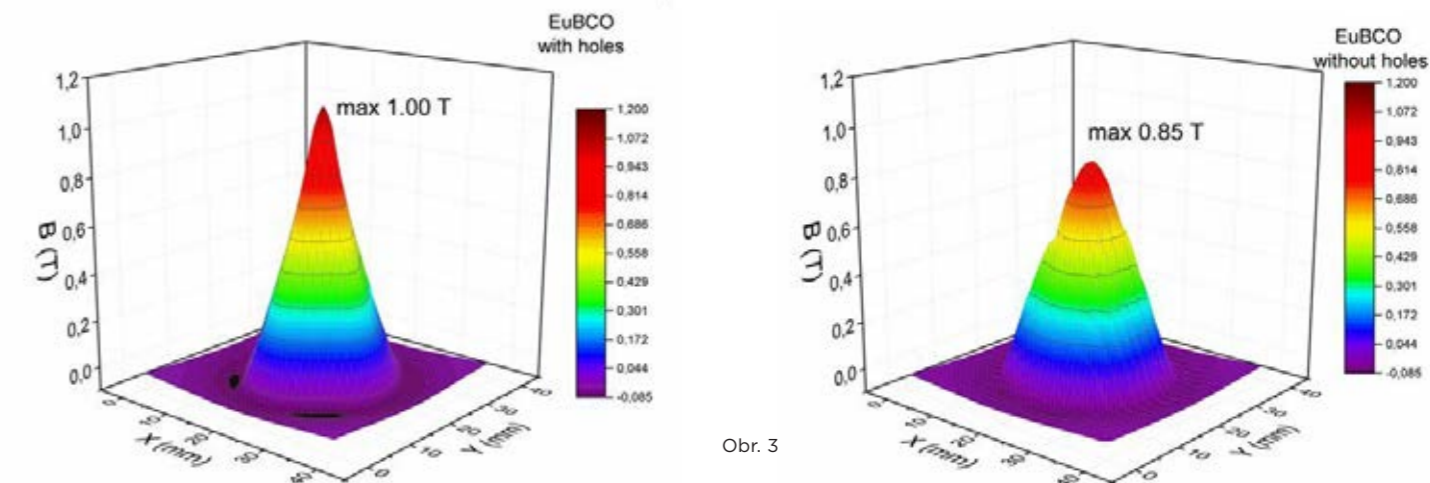
Obr. 5 / Svetlé Ag častice v štruktúre GdBCO-Ag MMS.



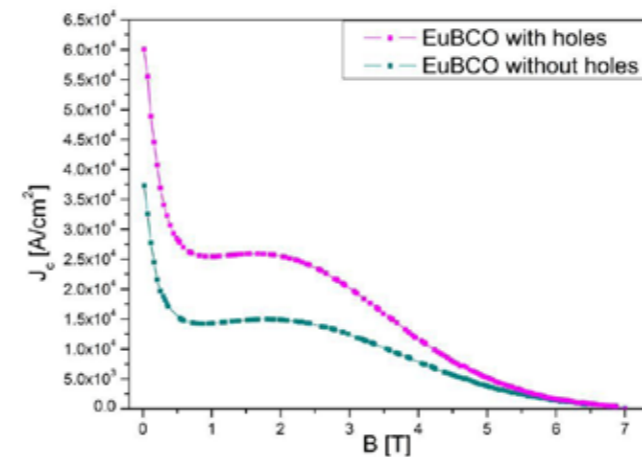
Obr. 1



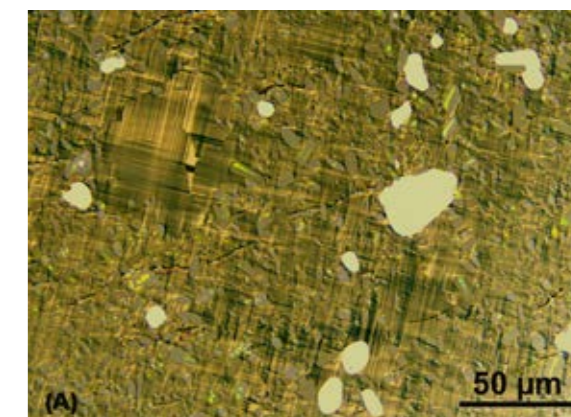
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5