

Vlastní výroba supravodiče

T. Jakubec

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
ja248@seznam.cz

Abstrakt

V tomto příspěvku naleznete nastínění postupu výroby supravodiče bez vyšších nároků na technická zařízení a s minimálními náklady na materiál. Jedná se o keramické supravodiče druhého typu.

1 Úvod

Supravodivost je velké téma budoucnosti. Myslíte si, že bychom byli schopni bez znalosti tohoto jevu cestovat vlakem rychlostí 603 km/h, nebo vést elektrický proud beze ztrát? Mnohokrát jsme slyšeli teorie o tom, jak supravodiče fungují, ale kolik z nás ví, jak se vyrábí? Proto cílem tohoto příspěvku je přiblížit princip výroby a ukázat praktické problémy s výrobou spojené.

2 Teorie

Supravodivost není ve světě vědy novinkou, tento jev je známý už od roku 1911. Supravodiče jsou látky, které mají tu vlastnost, že při ochlazení pod tzv. kritickou teplotu (značíme T_c) sníží svůj měrný elektrický odpor pod měřitelnou hodnotu. Prvním objeveným supravodivým materiálem je rtuť, jejíž kritická teplota je 4,2 K. Postupem času se objevily i tzv. vysokoteplotní supravodiče, jejichž kritická teplota je vyšší než 20 K. Nejpoužívanějším typem supravodičů jsou REBa₂Cu₃O₆₋₇, kde RE značí vzácnou zeminu (v našem případě yttrium). V závislosti na obsahu kyslíku má takový supravodivý materiál kritickou teplotu okolo 96 K.

2.1 Princip supravodivosti

Vysvětlení supravodivosti nám může podat například BCS teorie, která hovoří o tzv. Cooperových párech. Tato teorie se opírá o elektron-fonon elektronovou interakci, kdy se spojí elektrony s opačným spinem a vytvoří částici s celočíselným spinem. Tím pádem pro ně neplatí Pauliho vylučovací princip a chovají se jako supratekutá kapalina. Tím vysvětlíme jejich průchod bez odporu [2].

2.2 Meissnerův jev

Podle Meissnerova jevu je supravodič ideální diamagnetikum, to znamená, že indukční čáry magnetického pole, které za normálního stavu procházejí hmotou supravodiče, jsou vytlačeny z vnitřku supravodiče při teplotě nižší než T_c . Tím pádem je hodnota magnetické indukce uvnitř supravodiče nulová. Pokud se kolem zchlazeného supravodiče změní magnetické pole, bude se, podle Lenzova zákona, v supravodiči indukovat takový proud, který bude kompenzovat změnu magnetického indukčního toku v supravodiči. Tento proud bude díky téměř nulovému odporu procházet velice dlouho, až několik let, aniž by se elektrická energie přeměňovala na tepelnou. To má velký význam pro využití supravodičů v technice.

3 Využití v technice

V dnešní době se supravodiče využívají v mnoha zařízeních. Mezi taková zařízení patří rychlovlaky typu Maglev nebo velký hadronový urychlovač v CERNu, kde slouží supravodiče jako vodič beze ztrát na elektrickém proudu. Další uplatnění našly supravodiče jako magnetická ložiska v setrvačnicích, které se točí s úhlovou frekvencí i 100 kHz. Díky nízkému odporu se i při vysokých proudových hodnotách přeměňuje málo energie na Joulovo teplo. Proto jsou supravodivé cívky také součástí nejmodernějších fúzních reaktorů typu TOKAMAK, které by mohly zajistit nový zdroj energie. Jelikož supravodiče pracují nejlépe za nízkých teplot, našly si svou cestu i do míst, kde je okolní teplota zhruba 3 K, takovým prostředím je vesmír, proto jsou součástí elektrických obvodů vesmírných družic. V neposlední řadě mají supravodiče vysoký potenciál i v elektrotechnice. Opět díky nízkému odporu je v supravodičích spatřována možnost vést elektrický proud na velké vzdálenosti anebo uchovávat elektrickou energii v supravodivých cívkách ve formě elektrického proudu, který po odpojení zdroje neustává. Vzhledem k tomu, že v dnešní době stále nedokážeme účinně uchovávat energii, je idea supravodivých cívek perspektivní.

4 Výroba

Při výrobě se řídíme návodem uvedeným na stránkách Futurescience.com [1]. Podle něj si připravíme oxid yttritý, oxid měďnatý a uhličitán barnatý. Z nich pálením vzniká keramická látka se strukturou $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6-7}$. Z toho plyne, že poměr atomů yttria, barya a mědi musí být 1:2:3, aby se vytvořila keramika s požadovanými vlastnostmi. Pro manipulaci s chemikáliemi potřebujeme respirátor a rukavice kvůli toxicitě barya. Dále jsou potřeba přesné váhy, nádoby na míchání, nádobka na pálení, samotná pec a nádoba, ve které lze přepálený supravodič rozdrtit. Po celou je důležité vyvarovat se kontaminace feromagnetickou látkou.

Navážíme 11,29 g oxidu yttritého, 23,86 g oxidu měďnatého a 39,47 g uhličitánu barnatého (to odpovídá molárnímu poměru yttria, barya a mědi 1:2:3). Výsledná směs musí být homogenní, bez bílých či černých hrudek. Tuto směs nasypeme do nádoby, ve které se vypálí. Nádoba může být hliníková či keramická. Tvar nádoby není důležitý. První pálení je za účelem změny uhličitánu barnatého na oxid barnatý. Pálení probíhá v keramické peci. V peci podložíme nádoby alobalem. Pec nastavíme, aby nahřívala na 950 °C, maximálně po 200 °C za hodinu. Na teplotě 950 °C udržujeme pec po dobu 12 hodin. Při pohledu do pece při maximální teplotě uvidíme, jak supravodiče uvnitř pece bíle září, ale žádný z nich se nerozteče. Chlazení na pokojovou teplotu je dobré nastavit pomalejší než zahřívání. Pec necháme se ochladit nejvýše o 100 °C za hodinu. Tímto pečením vytvoříme pevnou černou substanci, která má tvar podle nádoby, ale ztratí značnou část objemu. Zmenšení objemu má za následek větší hustotu materiálu. Dále vlivem zmenšení objemu dojde k popraskání supravodiče, ten proto nemůže ještě fungovat. Nemusíme se obávat, že by se z celého objemu směsi neuvolnila skupina CO_2 .

Po prvním pálení získáme keramiku YBaCuO , kterou je třeba rozdrtit a přepálit pro získání funkčního supravodiče. Pro důkladné rozdrčení je třeba si vybrat dobrý drtící prostředek. Drcení supravodičů je opravdu náročné, jejich tvrdost a struktura je srovnatelná s pískovcem, avšak o něco tvrdší, soudržnější než pískovec. V našem případě volíme keramickou třecí misku, avšak je možné v závěrečné fázi můžeme použít mlýnek (ale pozor na materiál, ze kterého je mlýnek vyroben, zvláště drtící mechanismus).



Obr. 1: Chemikálie během míchání (vlevo), po důkladném smíchání (vpravo)



Obr. 2: Hrubá zrna vzniklá po roztlučení supravodičů (vlevo), drcení směsi v třecí misce (uprostřed), jemný prášek připravený k pálení (vpravo)

Znovu umístíme sypkou substanci do nádob. V těchto nádobách je umístíme do pece. Pec nastavíme tak, aby se za dobu 5 hodin zvýšila teplota z pokojové na teplotu $975\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na takové teplotě udržujeme pec alespoň 18 hodin. Je důležité pomalu snižovat teplotu při chlazení, maximálně o $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ za hodinu. Osvědčilo se zpomalit chlazení mezi $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ až na 8 hodin. Z $975\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ chladíme 3 hodiny. Ze $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ na pokojovou teplotu chladíme 3 hodiny. Napodruhé už hmota nemění svůj objem a setrvá ve formě, do které hmotu upěchujeme. Proto je nutné, abychom rozemletý prach po vrstvách udusali, tím zabráníme vytvoření vnitřně zrnitého supravodiče, jehož vlastnosti nebudou ideální.

5 Experiment

Po druhém pálení můžeme připravit zkoušku supravodivosti, abychom si ověřili, zda supravodič funguje a zda je struktura YBaCuO správná. Jev ověříme tak, že na zchlazený supravodič položíme neodymový magnet. K chlazení použijeme tekutý dusík, který má



Obr. 3: Výsledný obroušený supravodič



Obr. 4: Levitující magnet (vlevo), magnet držený pinzetou (vpravo)

teplotu varu 77 K, proto je pro naše účely dostačující. Než se pokusíme nad supravodič umístit magnet, vyčkáme, dokud se dusík nepřestane vařit. Je možné, že supravodivé jevy nebudou výrazné (magnet může stát na hraně, nebo levitovat jen několik milimetrů nad supravodičem). Pro dosažení lepších výsledků opakujeme pálení po vzoru druhého s tím, že teplotu můžeme zvýšit až na 1000 °C.

6 Závěr

V tomto příspěvku jsme si nastínili způsob výroby supravodičů. Prokázalo se, že takto vyrobený supravodič je skutečně funkční, avšak vlastnosti nejsou dokonalé. Způsob, jakým vlastnosti vylepšit, zjistíme při studování struktury supravodiče. Velký vliv má množství kyslíku ve struktuře. V našem postupu jsme obohacování kyslíkem neuvažovali, jelikož v našich podmínkách je uskutečnění obtížné. Ke zlepšení vlastností by mohlo přispět i důkladné stlačení dobře rozdrčené a směsi a pálení při vyšších teplotách, až k 1000 °C. Nicméně cíle jsme dosáhli, supravodič supravodí.

Reference

- [1] kol. autorů, *Making High-Temperature Superconductors*, <http://www.futurescience.com/scpart1.html>.
- [2] P. Kulhánek, *Vysokoteplotní supravodivost*, http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_36_hts.html.