

Nízkoteplotní supravodič

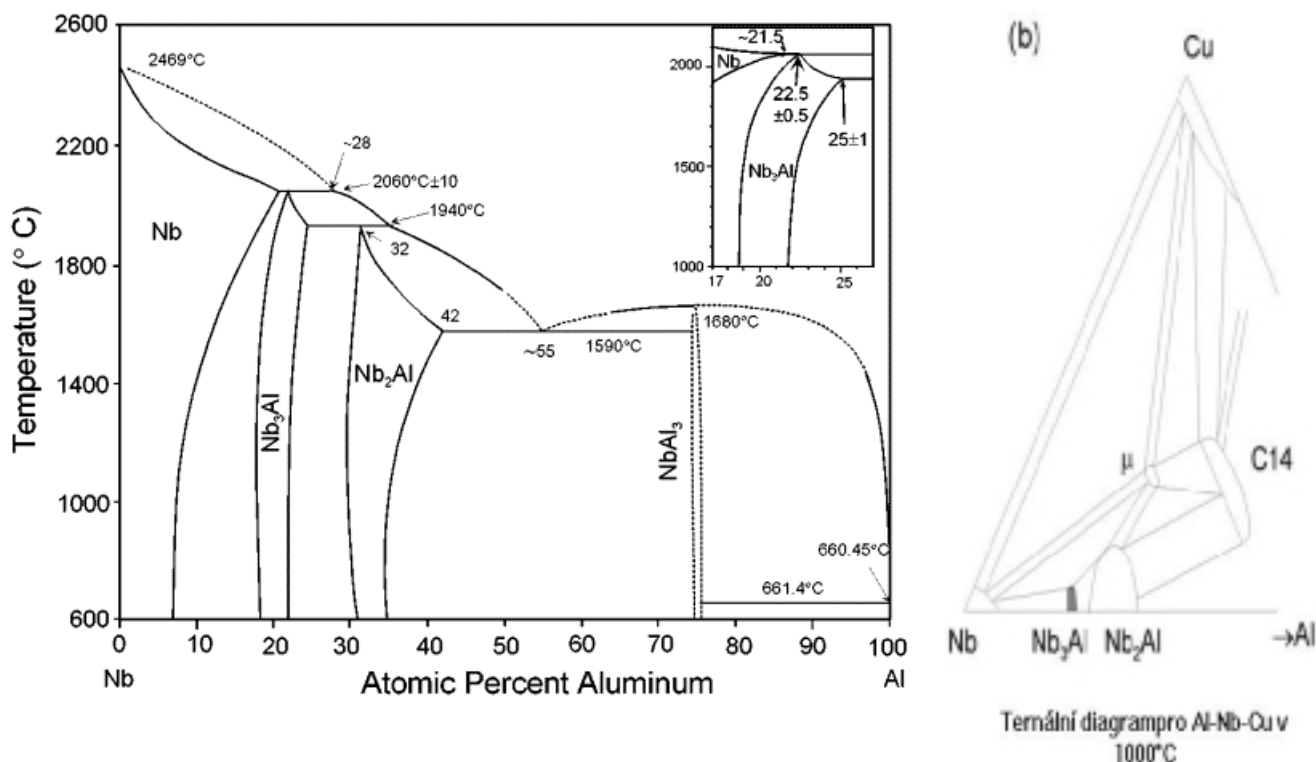
Nb₃Al

Leoš Maršálek

Dne: 7.1.2002

Úvodem: Materiálová skupina Tsukuba magnet laboratoří vyvíjí nový supravodič (novou technologii) pro elektromagnety které vytvářejí magnetické pole vysokých hodnot. Využití těchto elektromagnetů je plánováno v oblasti částicových urychlovačů, nukleárně magnetické rezonanční analýze, jako hybrid magnetu a v neposlední řadě také v oblasti termonukleární fúze. Po supravodiči pro tyto aplikace se vyžaduje vysoká kritická hustota proudu J_c a vysoká odolnost vůči mechanickému tlaku a tahu. Velice slibným supravodičem pro tyto oblasti se jeví právě Nb₃Al. Již v roce 1970 laboratoře zabývající se vývojem supravodičů ukázaly u tohoto supravodiče velice vhodné výsledky u odolnosti vůči tlaku a tahu.

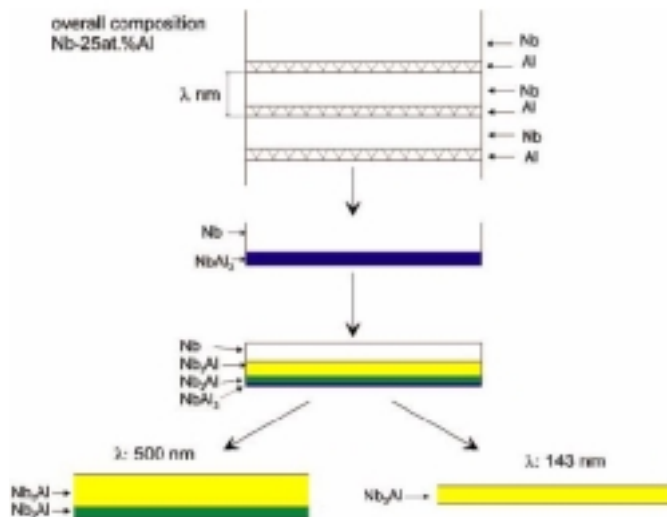
Složení: Vodiče jsou složeny z Niobu Hliníku a můžou při některých výrobních postupech obsahovat i stříbro nebo měď. Binární diagram Nb-Al má společný rys s Nb-Sn systémem: fáze A15 tvoří



peritektickou reakci při teplotě 2060°C Tato limitní fáze silně závisí na teplotě. Fáze A15 obsahuje stechiometrické složení při druhé peritektické teplotě 1940°C Limitní fáze A15 omezuje Al koncentraci s klesající teplotou, směrem dolů o 21,5% u 1000°C. Tato odchylka způsobuje velké nesnáze při výrobě Nb₃Al vodičů. Tak ve výrobě Nb₃Al na rozdíl od Nb₃Sn, který je komerčně dostupný, se musí dosáhnout toho aby vrstvička Al byla kolem 100nm v hotovém vodiči.

Popis jednotlivých výrobních technologií:

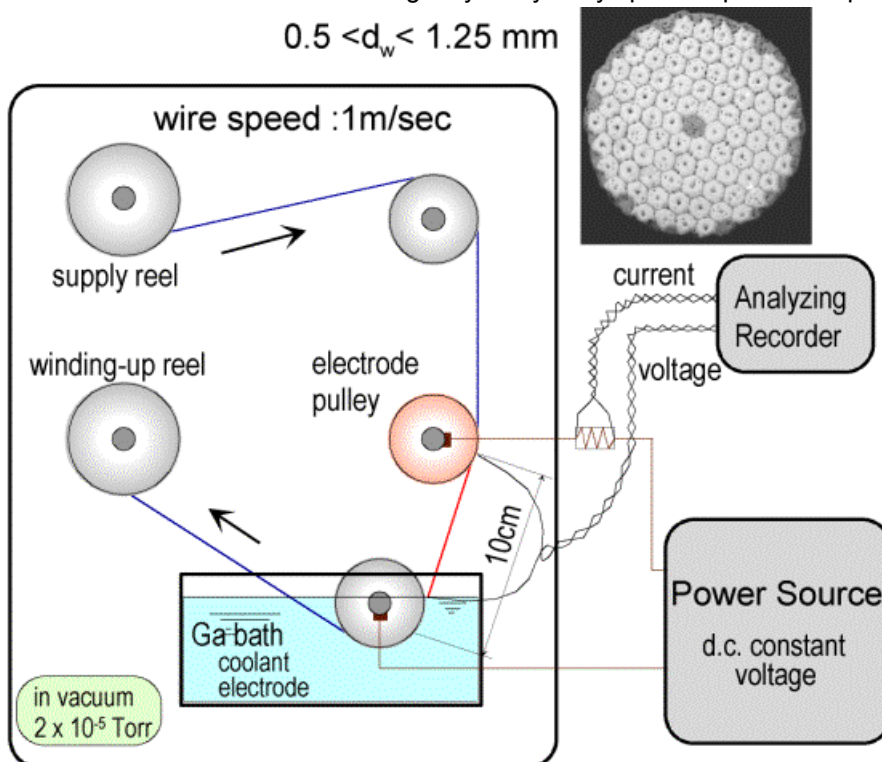
Rod-in-tube – Tato technologie je zajímavá především tím že se protlačují přes matici pouze dvě vrstvy na rozdíl od ostatních technologií.



Jelly roll – Dá se to přeložit jako válení želé, a asi podle tohot překladu dostala metoda své jméno. V tomto postupu se střídají Nb s Al v celkovém poměru 25% pro hliník. Tyto dva plátky se oplétají kolem niobové nebo měděné tyče, která zároveň slouží jako stabilizátor a jako nouzový vodič kdyby došlo k přerušení supravodivé části vodiče.

RHQT- Laboratoře Tsukuba maget vyvinuly nový způsob zpracování pro **Jelly roll** Nb₃Al vodiče,

$$0.5 < d_w < 1.25 \text{ mm}$$

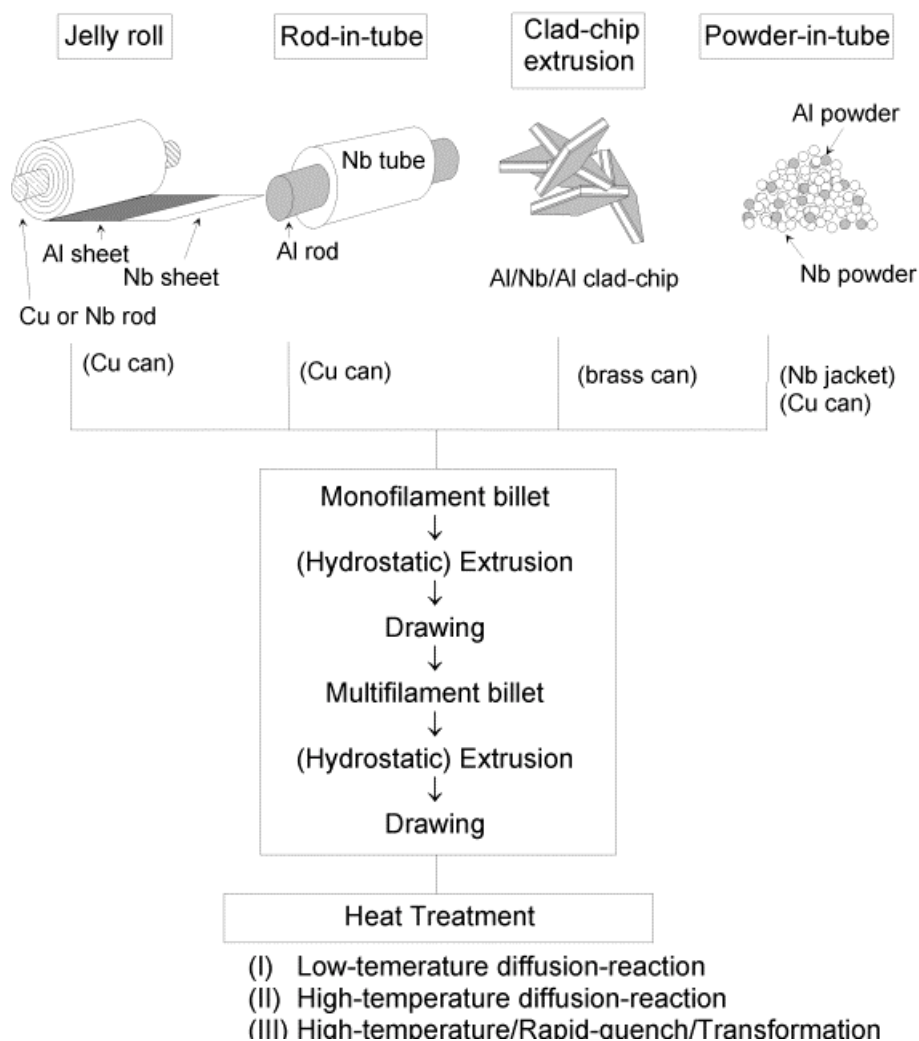


využívající transformaci přesyceného tuhého roztoku. RHQT metoda využívá rychlé zahřátí a následné prudké ochlazení. tato metoda se zatím jeví jako velice perspektivní co se týče délky vodiče. V této metodě omicky zahřejeme mnoho vláknitý prvek na velmi vysokou teplotu a následně je prvek ochlazen v lázni tekutého galia. Uvnitř vakuové komory, jak je vidět na obrázku. Galiová lázeň je elektrodou „žhavení“ a zároveň je chladicí lázeň. Jednotlivá vlákna jsou uložena v čisté matici niobu. Při této technologii jsou vrstvičky Nb a Al nanášeny na niobový prut, a ne na měděný jak tomu bylo u

Jelly roll. Měď se nepoužívá proto, protože při ohmickém zahřívání je dosahována teplota až 1900°C a Cu by se začla tavit a mohla by začít reagovat s niobem a hliníkem. Technologie RHQT by mohla pomoci i u technologii PM a CCE..

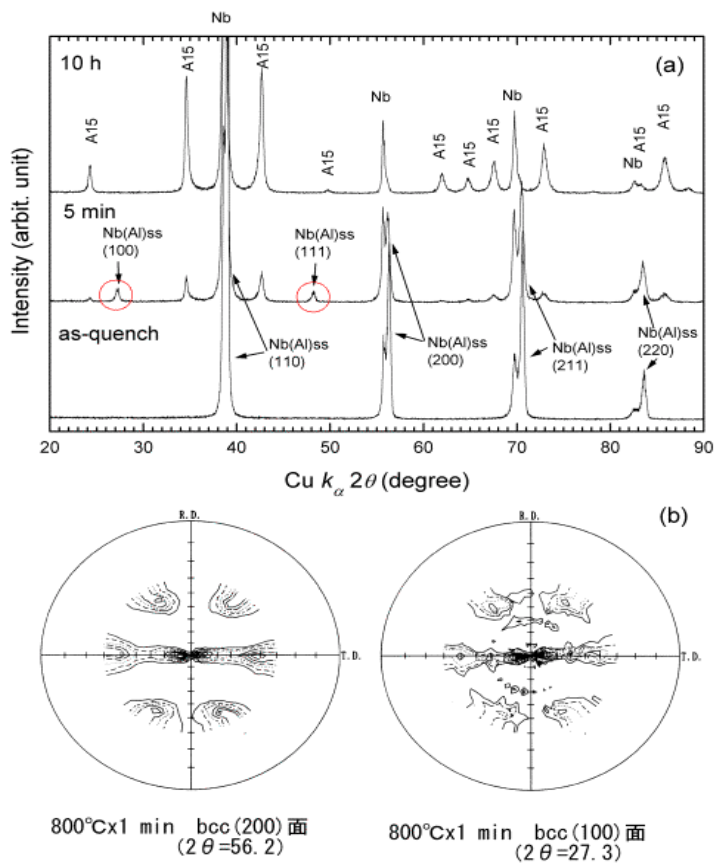
PM- Přesný překlad je prášek v trubce. Z tohoto je patrné že jde o stabilizační trubku (nejčastěji měď) ve které je udusán prášek Al a Nb opět v poměru asi 25% Al

Pro srovnání technologií je zde obrázek:



Parametry výrobních postupu Nb₃Al vodiče.

Skupina	Technologický postup	Rozestup Al Nb	Reakční teplota	Formace fáze A15	Vel. zrna	T _c	J _c (4.2 K, 10 T) (A mm ²)	J _c (4.2 K, 21 T) (A mm ²)	Dosažená délka (m)
I.	Prášková metalurgie, Jelly roll, Clad chip, vytlačování Rod-in-tube	<0.1 μm	nízká	Přímá difúzní reakce	jemná	~15.5	1200	~0	- 4600 - 30
II.	Laser-elektronový paprskový ohřev	<10 μm	Vysoká >1800 °C	Přímá difúzní reakce	Velká	18,5	500	480	50
III.	Ochlazení kapalinou Teplá plazma RHQT	- - <1 μm	>1800 °C+Prudké ochlazení+ <1000 °C	Transformace z přesyceného tuhého roztoku Nb(Al)ss	Jemná	~18 16,8 17,9	500 >3000	340 - -	1 - 30

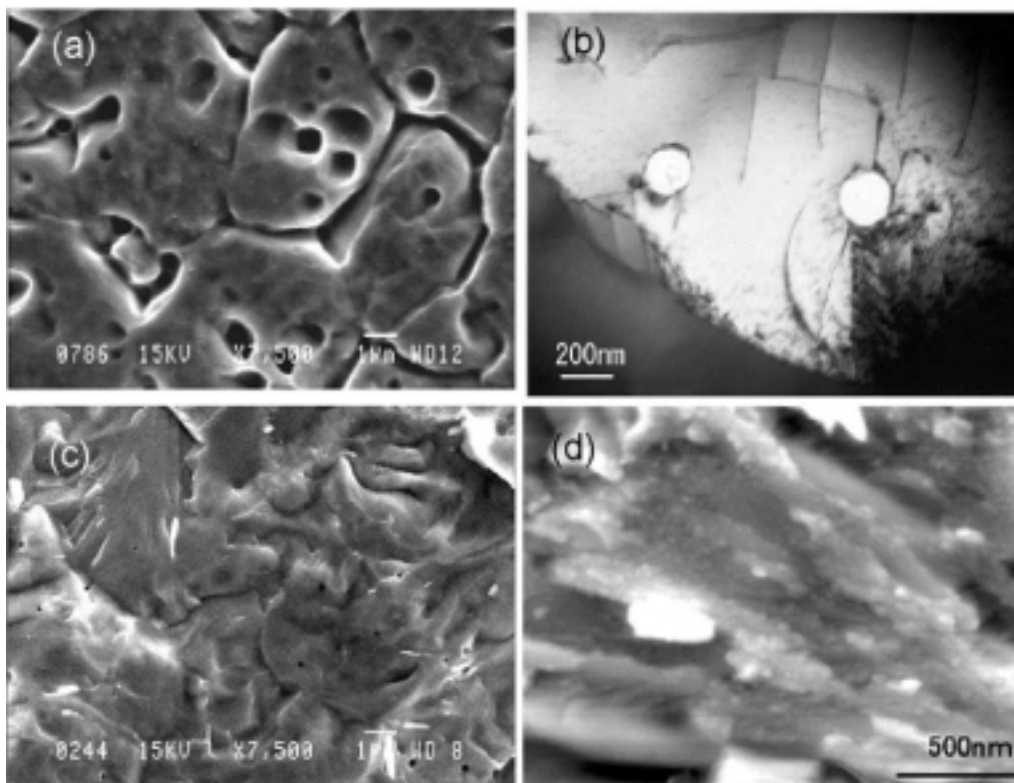


Mikrostruktura:

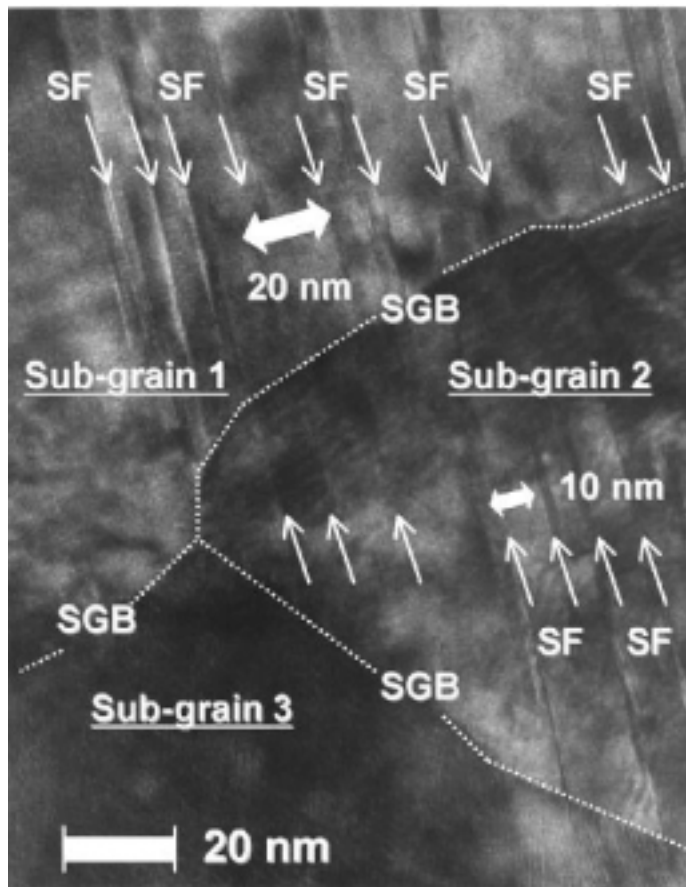
Obrázek ukazuje difrakční obrazce pro ochlazené a zahřáté JR vodiče. Tyto difrakční obrazce ukazují existenci dvou druhů bcc fází kde parametry mřížky jsou 0,3311nm a 0,284nm. Po přetvoření žiháním při 800°C difrakční vrcholy Nb(Al)ss zmizí a místo nich se objeví fáze A15. Zdá se že fáze Nb₂Al nevyžaduje tak daleké šíření, aby se přetvořila na Nb₃Al bez změny složení. Tak transformovaný Nb₃Al má vysokou stechiometrii. To znamená že difrakce vrcholů je 27,3nm a 48,3nm (odpovídající rovinné rozestupy 0,326 a 0,188 nm) Tyto vrcholy mohou být identifikovány jako roviny {100} a {111}, navzájem pro bcc Nb(Al)ss které jsou obvykle zakázané odrazy číslo 27,3nm nebo 48,3nm je úplně stejný s rovinami {200} a {222} pro bcc Nb(Al)ss. Objevení takových to zakázaných signálů signalizuje umístění atomu v bcc kristalické mřížce pouze před

transformací.

Metalurgická mikrostruktura RHQT JR Nb₃Al vodičů

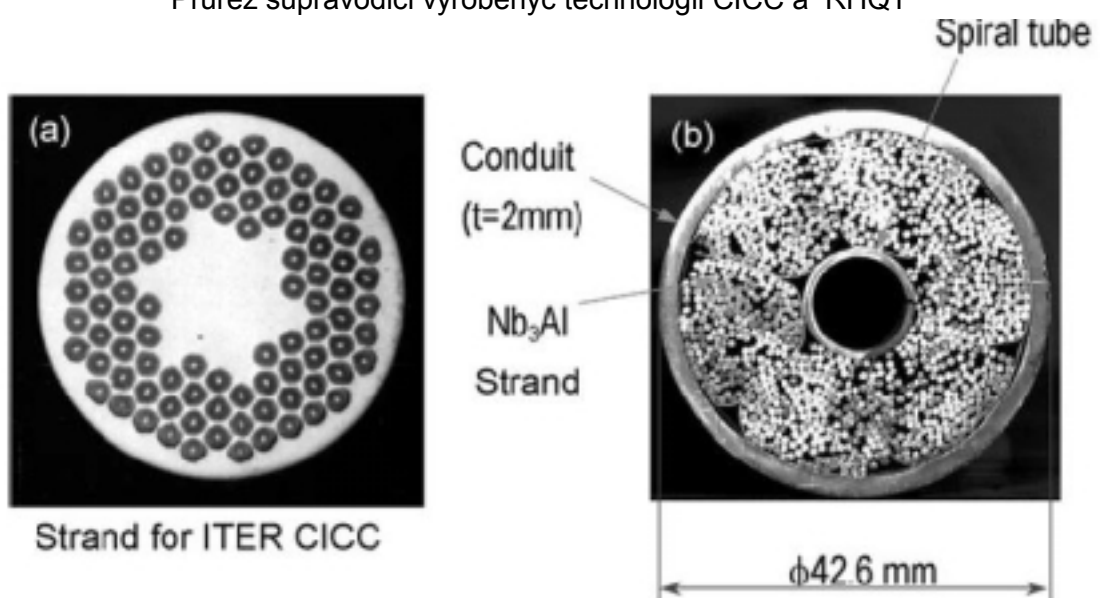


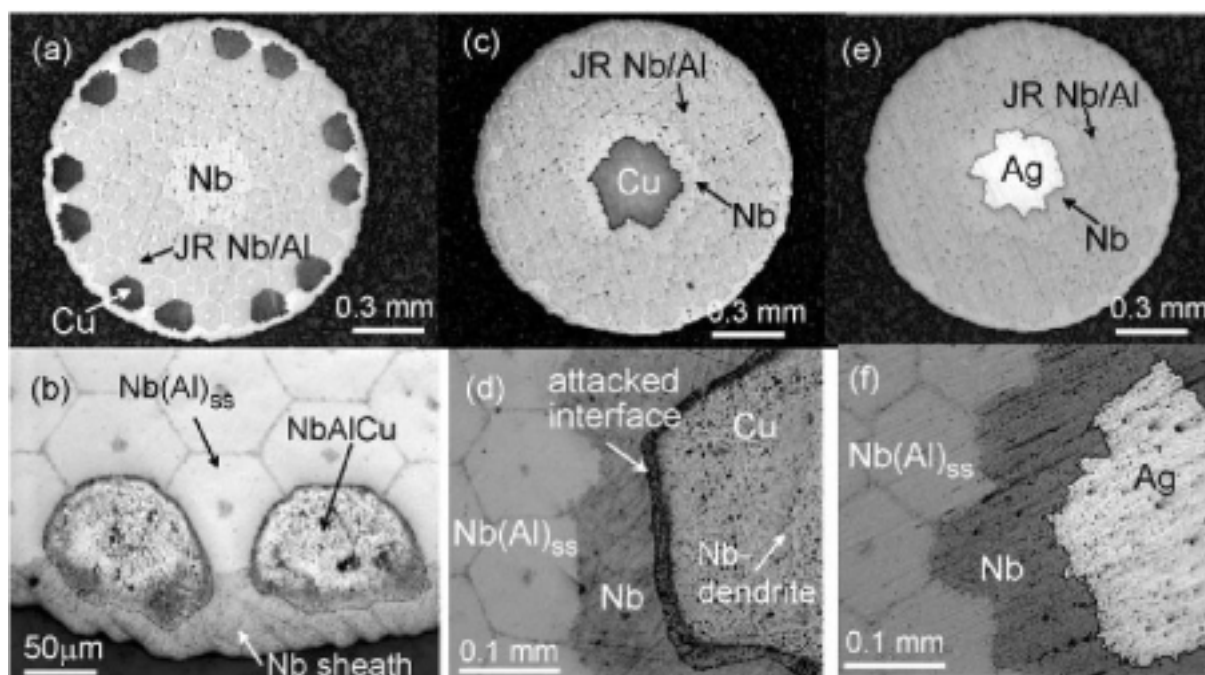
- a) Leštěný a leptaný příčný řez ochlazeného vzorku
- b) Obraz ochlazeného vzorku
- c) A d) příčné řezy transformovaného vzorku pořízené vysokým rozlišením.



TEM mikrostruktura A15 sub zrna v RHQT JR Nb₃Al vodiči. Mnoho hromadící dislokací se tvoří souběžně s vzdáleností od 10–20 nm sub zrna A15

Průřez supravodiči vyrobený technologií CICC a RHQT





Vnitřní stabilizace pro RHQT JR Nb₃Al vodiče: celkové příčné řezy směsice (a) JR Nb /Al kde vlákna jsou nahrazena Cu stabilizátorem, JR Nb/Al vlákna jsou oddělená od stabilizátoru (c) Cu nebo (d) Ag stabilizátoru Nb bariérou vlákna, a (b), (d) a (f) zvětšené příčné řezy rychle ohříváných a ochlazených kompozic, odpovídají (a), (c) a (e).

Použitá literatura:

	<u>Název / autor</u>	<u>Zdroj</u>
1.	Development of Nb ₃ Al Superconductors / BANNO Nobuya TATSUMI Noriyuki FUKUZAKI Tomokazu	http://akahoshi.nims.go.jp/eng/takeuchi/takeuchi.html
2.	Development of Nb ₃ Al Superconductors / BANNO Nobuya TATSUMI Noriyuki FUKUZAKI Tomokazu	takeuchi-nb3al-review-sst2000.pdf
3.	Current-Voltage Characteristics of Melt-Textured YBCO Obtained from the Field-Sweep Rate Dependence of Magnetization / Yasunori Mawatari Hirofumi Yamasaki	mva01.pdf