

Hochtemperatursupraleiter - Materialien für die Energiewende

Bernhard Holzapfel, Institute for Technical Physics, Karlsruhe Institute for Technology,
ZIEHL IV, Bonn, 11. März 2014

Institute for Technical Physics



KIT – University of the State of Baden-Wuerttemberg and
National Research Center of the Helmholtz Association

www.kit.edu

Hochtemperatursupraleiter - Materialien für die Energiewende

Historische Entwicklung und klassische Anwendungen

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)

- YBaCuO
- “Herausforderung” Korngrenzen

HTSL im Magnetfeld

- Der Typ II Supraleiter
- Grenzen der Magnetfeldverträglichkeit

Neue Supraleiter

Entdeckung der Supraleitung

Heliumverflüssigung

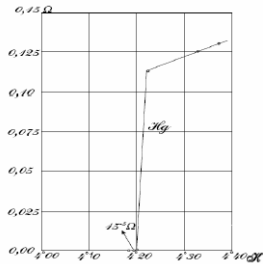
H. Kamerlingh Onnes, Leiden (1908)

Entdeckung der „Supraleitung“: ideale Leitfähigkeit

H. Kamerlingh Onnes, Leiden (1911)

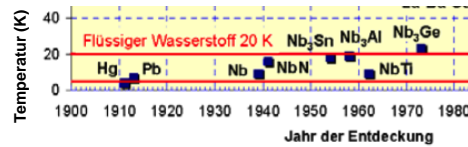


Kamerlingh Onnes



Sprung im elektrischen Widerstand von Hg: kritische Temperatur T_c

Viele Metalle werden supraleitend



Metalle & Legierungen

→ Verlustfreier Stromtransport möglich

Kühlung mit flüssigem Helium notwendig

3

11.03.2014

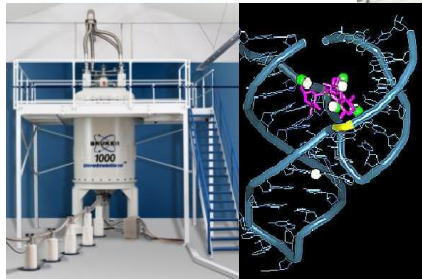
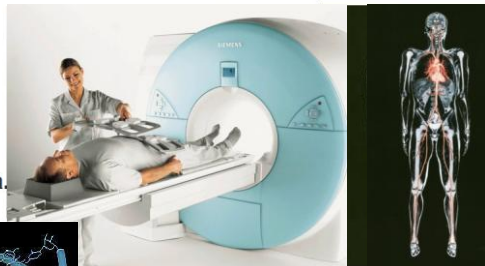
Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Anwendungen klassischer Supraleiter

Medizintechnik

MRI Bildgebung
für weiches Gewebe
(Organe, Knorpel, Sehnen)
Weltmarkt > 3 Mrd € p.a.
> 3000 to NbTi p.a.



Analytik

NMR Spektroskopie
Weltmarkt > 500 M€ p.a.
> 500 to Nb₃Sn p.a.



4

11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

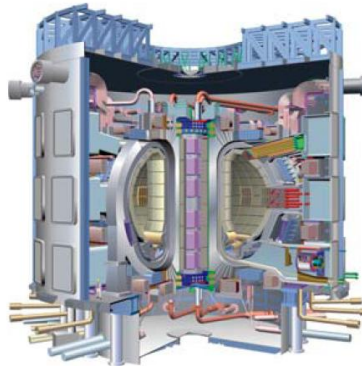
Institute for Technical Physics

Anwendungen klassischer Supraleiter

Magnetbau für Großeinrichtungen

- Beschleuniger für die Teilchenphysik
- Kernfusionsreaktoren

Large Hadron Collider, LHC at CERN



International Thermonuclear
Experimental Reactor, ITER

> 500 to Nb₃Sn



ITER Kabel



5

11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Hochtemperatursupraleiter - Materialien für die Energiewende

Historische Entwicklung und klassische Anwendungen

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)

- YBaCuO
- "Herausforderung" Korngrenzen

HTSL im Magnetfeld

- Der Typ II Supraleiter
- Grenzen der Magnetfeldverträglichkeit

Neue Supraleiter

6

11.03.2014

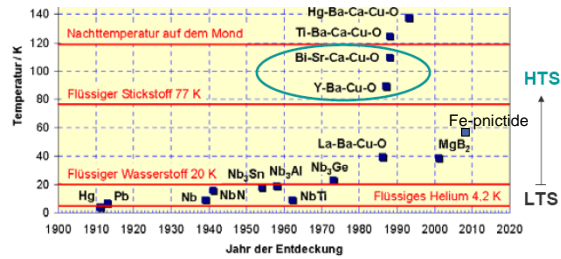
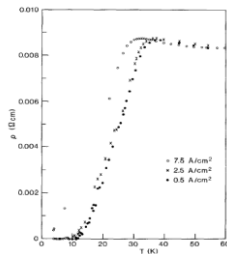
Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)



Ba-La-Cu-O:
J. G. Bednorz, K. A. Müller, *Z. Physik, B 64 (1986) 189*



Metalle & Legierungen Oxidkeramiken

Kühlung mit flüssigem Stickstoff möglich

Verbindung		T_C (K)
YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ}	Y-123	92
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈	Bi-2212	84
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	Bi-2223	110
TlBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	Tl-1223	125
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	Hg-1223	133

Für
Anwendungen
interessant

7

11.03.2014

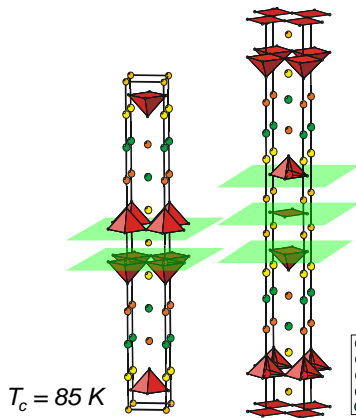
Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

cs

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)

BiSCCO

Bi(Pb)-2212 Bi(Pb)-2223
 2212 \approx (Bi,Pb)₂Sr₂CaCu₂O_x (x \approx 8)
 2223 \approx (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_x (x \approx 10)



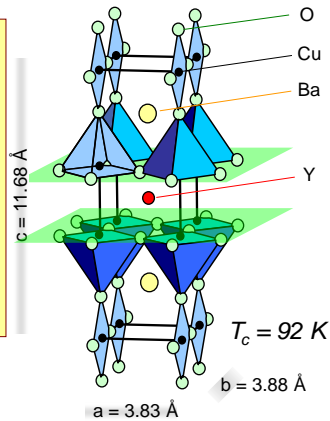
komplexe
Keramiken mit
Schichtstruktur
(2-dimensional)

CuO₂-Ebenen
verantwortlich für
Supraleitung

Eigenschaften
zeigen starke
Anisotropien

REBCO

REBa₂Cu₃O_{7-x}
 RE: Y, Nd, Er, Gd, Eu...

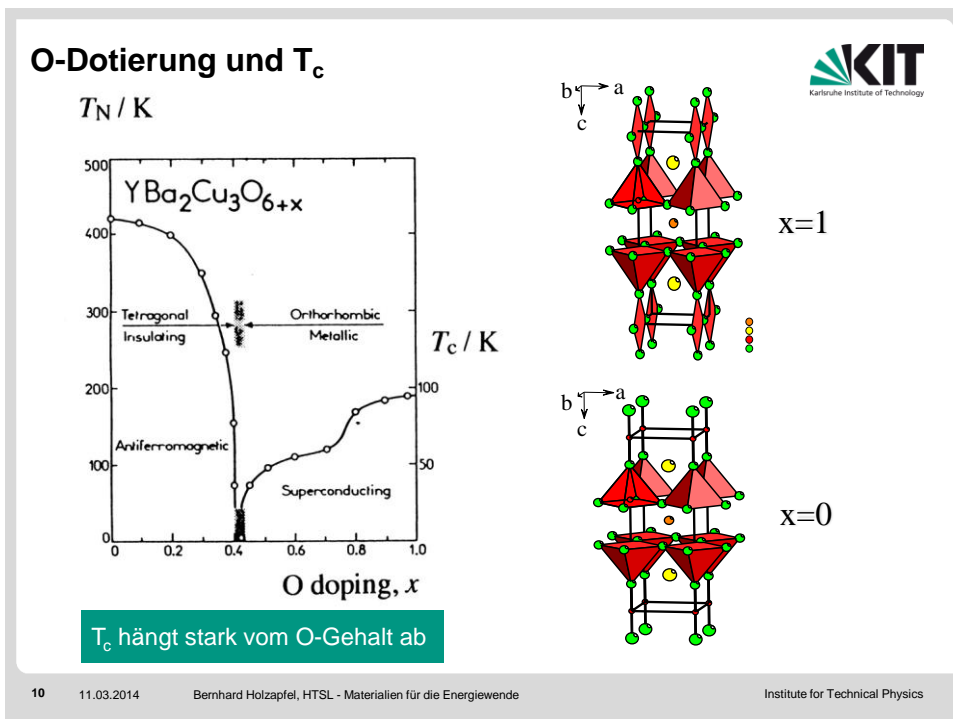
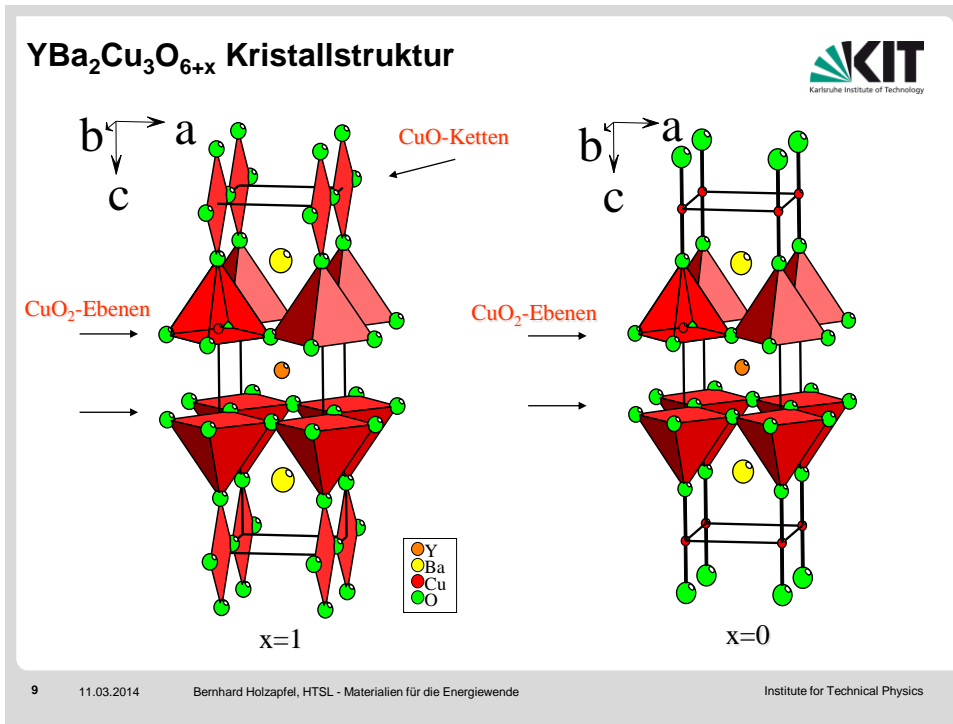


8

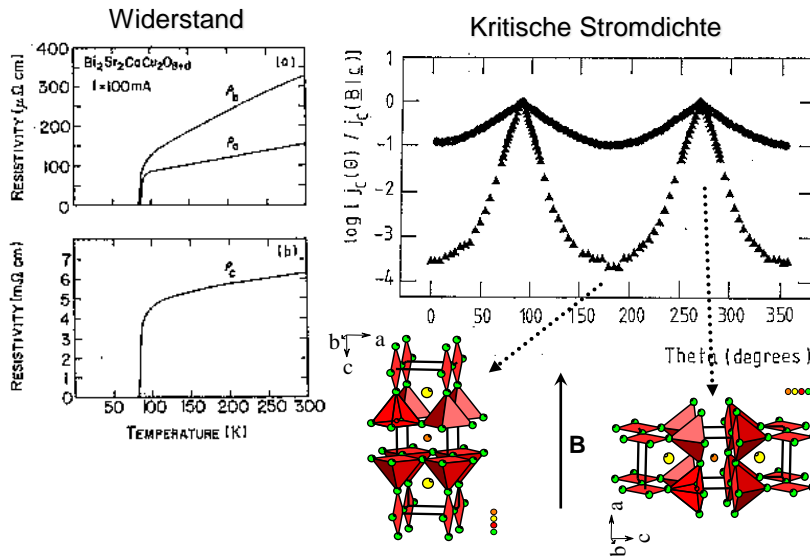
11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

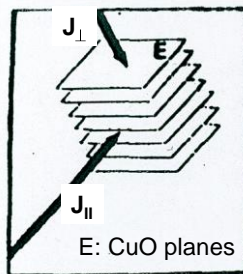
Institute for Technical Physics



Starke Anisotropie der HTSL



Bedingungen für eine hohe kritische Stromstärke



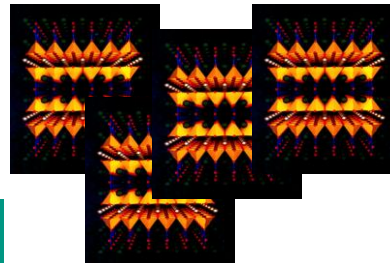
Polykristallines Gefüge



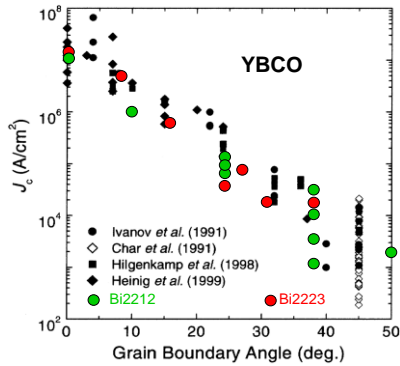
J_{\parallel} : Strom parallel zu CuO Ebene
 J_{\perp} : Strom senkrecht zu CuO Ebene

$$J_{\parallel} \gg J_{\perp}$$

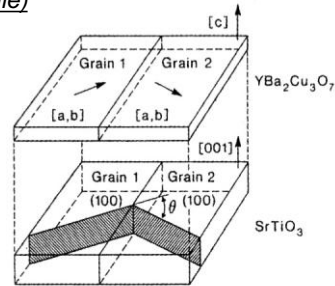
Parallele Ausrichtung der CuO Ebenen
notwendig für hohes J_c



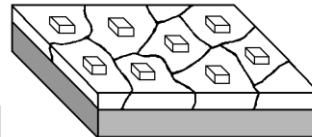
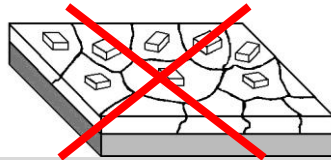
Das Korngrenzenproblem der HTSL



Messungen an künstlichen Korngrenzen (Bikristalle)



↪ Hohe Stromtragfähigkeit erfordert eine scharfe Würfeltextur



13 11.03.2014

ergiewende

Physics

Hochtemperatursupraleiter - Materialien für die Energiewende

Historische Entwicklung und klassische Anwendungen

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)

- YBaCuO
- "Herausforderung" Korngrenzen

HTSL im Magnetfeld

- Der Typ II Supraleiter
- Grenzen der Magnetfeldverträglichkeit

Neue Supraleiter

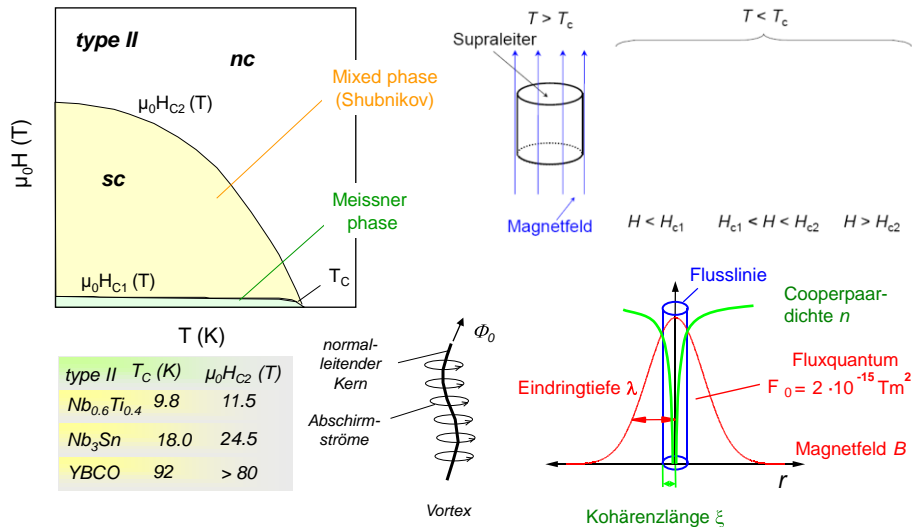
14 11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Anwendungsrelevante Supraleiter 2. Art

B(T) Phasendiagramm



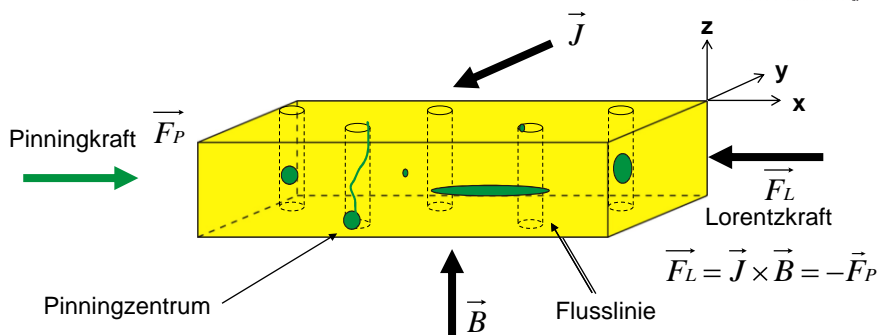
15

11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

HTSL als Typ II SL im Magnetfeld



- Auf Flußlinien wirkt im Magnetfeld bei Stromfluss die Lorentzkraft
- Ohne Verankerung bewegen sich Flußlinien bei Stromfluss, d.h. elektrischer Widerstand tritt auf !!
- Flußlinien müssen durch „Pinningzentren“ verankert werden
- „Gute“ Pinningzentren haben die Größe der Kohärenzlänge (HTSL : nm)
- Kritische Stromstärke wird bestimmt durch die Nanostruktur der HTSL

16

11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Hochtemperatursupraleiter - Materialien für die Energiewende

Historische Entwicklung und klassische Anwendungen

Hochtemperatursupraleiter (HTSL)

- YBaCuO
- "Herausforderung" Korngrenzen

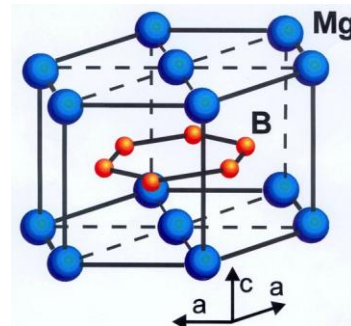
HTSL im Magnetfeld

- Der Typ II Supraleiter
- Grenzen der Magnetfeldverträglichkeit

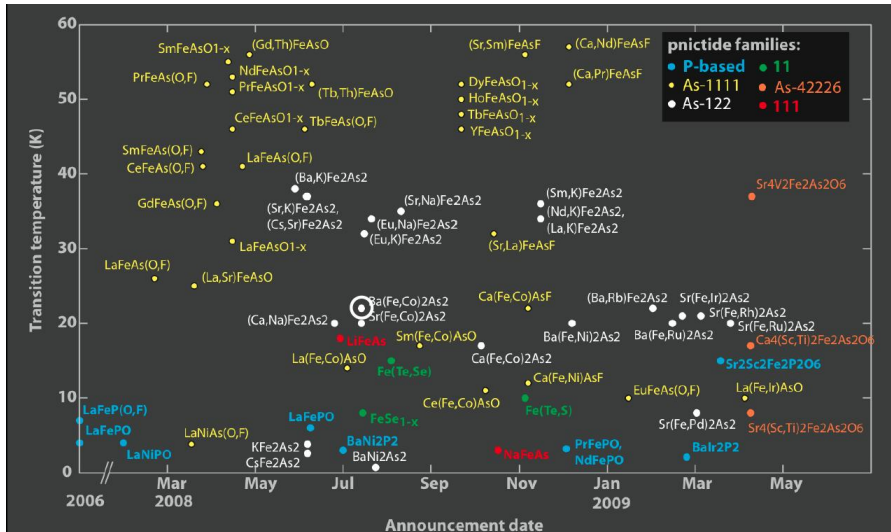
Neue (Hochtemperatur-)Supraleiter

MgB₂ : Ein neuer, alter Supraleiter

- Die Phase MgB₂ ist seit den 50´er bekannt!
Jones et al., J. Am. Chem. Soc. 76 (1954) 1434
- Supraleitung wurde aber erst 2001 entdeckt
Nagamatsu et al., Nature 410 (2001) 63
- T_c=39K : Das höchste T_c eines binären Supraleiters
- Große Kohärenzlänge, $\xi_{ab} = 7-10$ nm
- **Kein Korngrenzenproblem !**
- Moderate obere kritische Felder
reines MgB₂ : < 10T
C-dotiertes MgB₂ : < 20T



Fe-basierte Supraleiter - Ein neuer "Spielplatz" für Materialwissenschaftler



19 11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

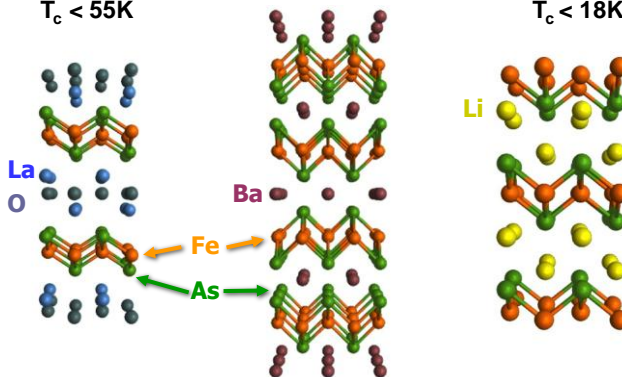
Institute for Technical Physics

Ordnung im Fe-As Supraleiterzoo

$\text{LnFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$
"1111" family
 $T_c < 55\text{K}$

$\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$
"122" family, $T_c < 38\text{K}$

LiFeAs
"111" family
 $T_c < 18\text{K}$



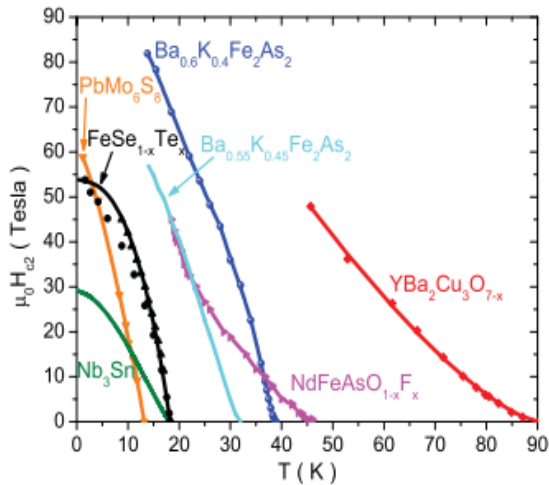
- Alle haben tetragonale Struktur
- Alle besitzen Fe-As(Se) Lagen

20 11.03.2014

Bernhard Holzapfel, HTSL - Materialien für die Energiewende

Institute for Technical Physics

Hohe kritische Magnetfelder



- Niedrige Anisotropie nur bei tiefen Temperaturen
- Etwas geringere Korngrenzenproblematik
- Mögliche Anwendung : Höchstfeldanwendungen bei tiefen Temperaturen

Zusammenfassung

- HTSL : Kuprate mit komplexer Stöchiometrie und großer Anisotropie
- Korngrenzen unterdrücken massiv die kritische Stromdichte
- Hohe Stromdichte erfordert "Pinning"
- T_c ist über Material vorgegeben, J_c kann durch Nanostrukturierung stark erhöht werden
- MgB_2 für niedrige Magnetfeldanwendungen bei moderaten Temperaturen
- Pnictide nur für Höchstfeldanwendungen interessant (wenn überhaupt)