



応用超伝導工学

2015年10月29日

前 田

超伝導体の自由エネルギー

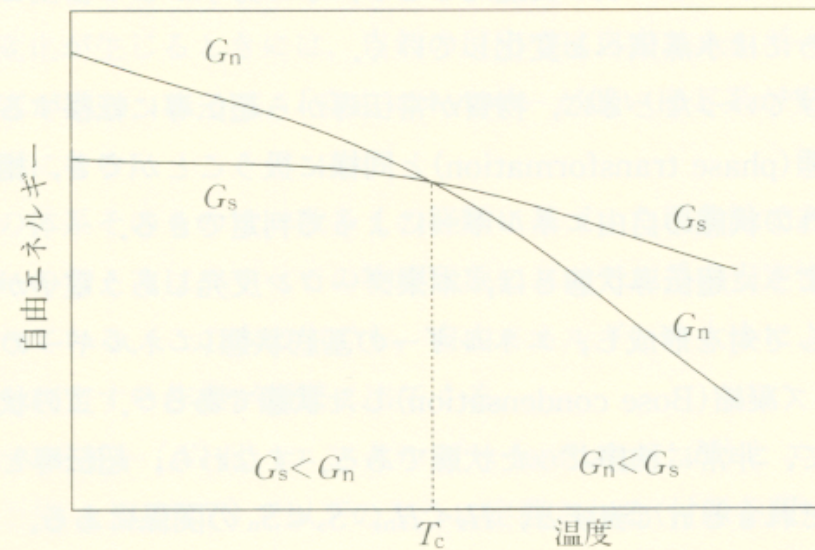


図 1-3 超伝導と常伝導の自由エネルギーの温度依存性。

臨界温度 (T_c) 以上では、常伝導の自由エネルギー (G_n) が超伝導の自由エネルギー (G_s) よりも小さいが、 T_c 以下ではそれが逆転し、超伝導が安定となる。

磁場中の超伝導体

🍏 マイスナー効果： $|B|=0$

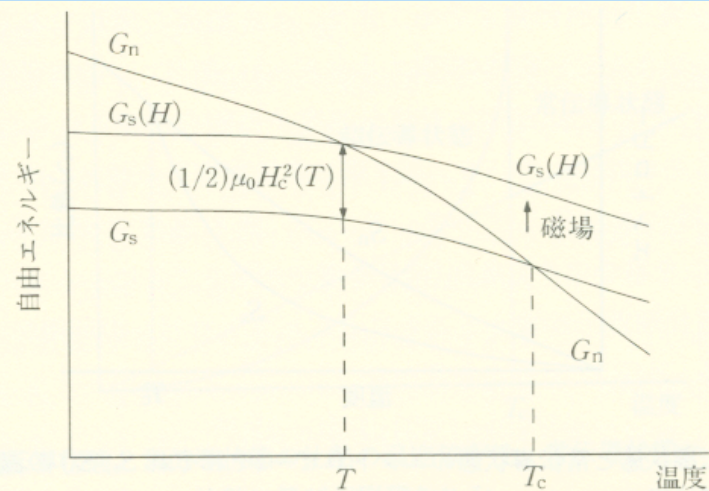


図4-1 超伝導と常伝導の自由エネルギーに及ぼす磁場の影響。

超伝導体に磁場を加えると、磁場を排除するための余分な仕事 $((1/2)\mu_0 H^2)$ が増えるため自由エネルギーが増大する。磁場の増加とともに超伝導状態の自由エネルギーは増大し、ある限界の磁場以上では常伝導状態よりも大きくなり、超伝導から常伝導に転移する。この磁場を熱力学的臨界磁場 (H_c) と呼んでいる。

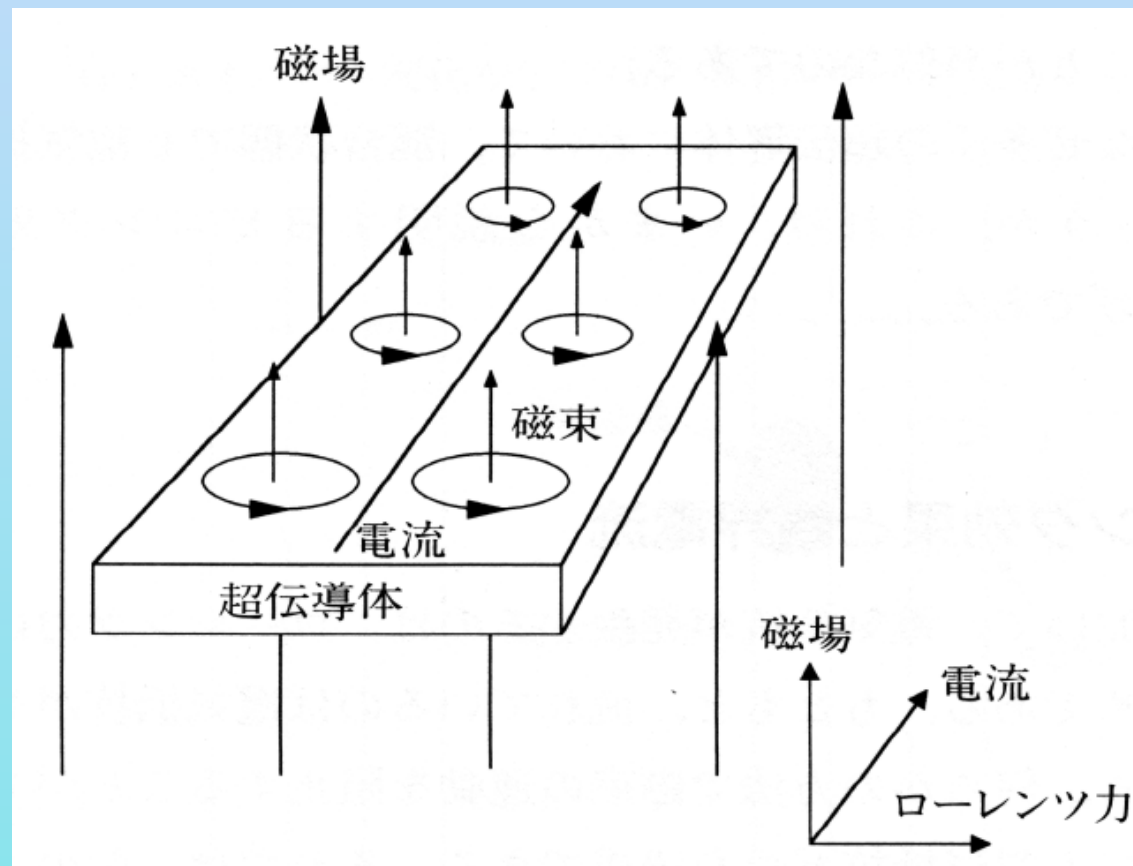


超伝導体を電線として使用するには？

- 第二種超伝導体であることが必須
 - ♣ $\xi > \lambda$: 第一種超伝導体
 - ♣ $\xi < \lambda$: 第二種超伝導体
- 超伝導体内に侵入した量子化磁束はローレンツ力を受けて運動する。量子化磁束の中心付近に存在する常伝導電子の運動はジュール熱の発生をもたらす。
- 磁束のピン留め点 (pinning centers) が必要
 - ♣ 格子欠陥, 結晶粒界, 非超伝導析出物などは原理的にはすべてピン留め点になり得るが, その「能力」が問題。
 - ♣ 「きれいな」超伝導体は一般に J_c が低い。

量子化磁束

第二種超伝導体内に侵入した量子化磁束

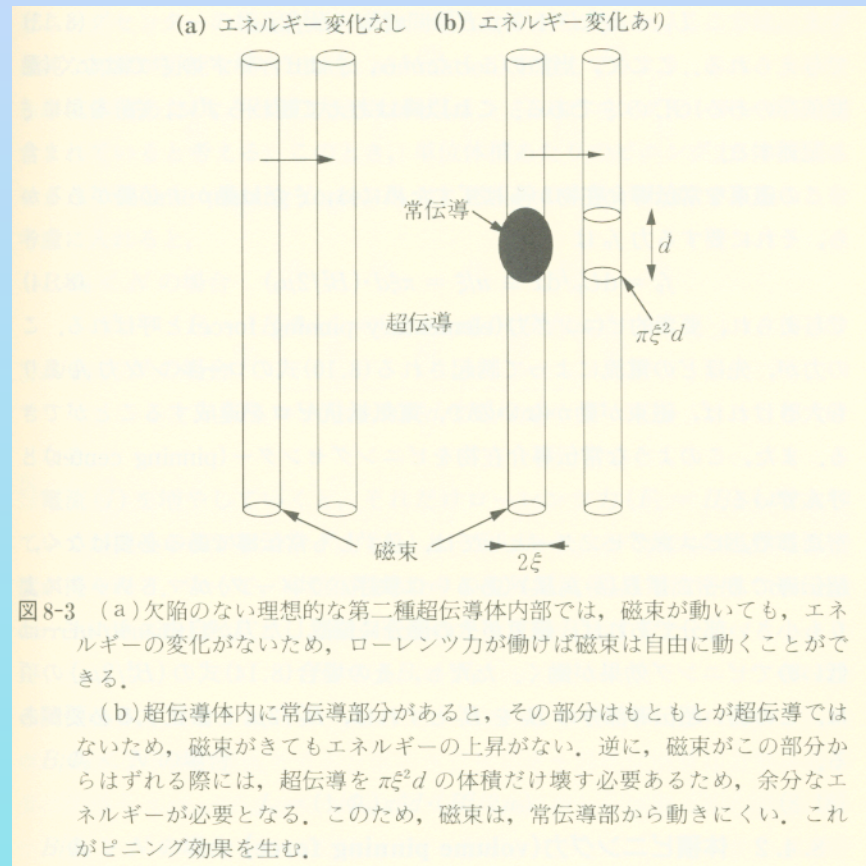




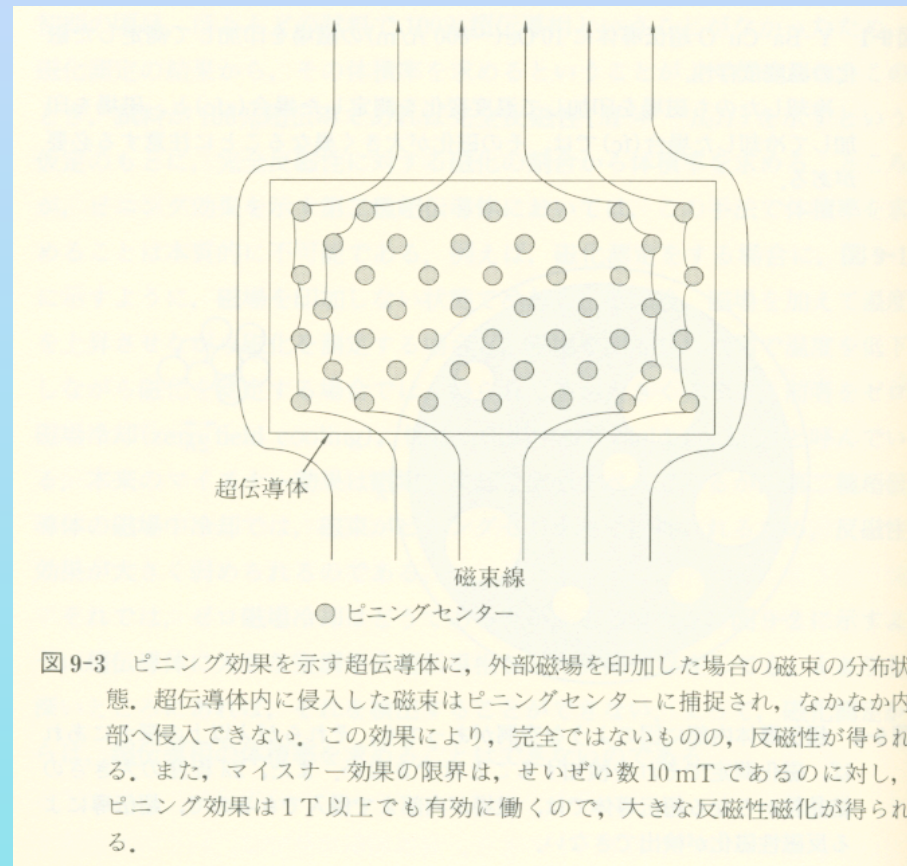
磁束のピンニング

- ❖ 第二種超伝導体中の格子欠陥，非超伝導部分（析出物など）は，原理的に pinning center となり得る.
- ❖ 外部磁場下で高い臨界電流密度 (J_c) を持つ超伝導体を作製するには，高度な組織制御技術が必要.
- ❖ 定義自体はそれほど厳密なものではないが，「意図的に」導入された高いトラップ能力を持つピンを「人工ピン」（artificial pinning center ; APC）と称する.

ピンニングの模式図



強いピンを持つ超伝導体



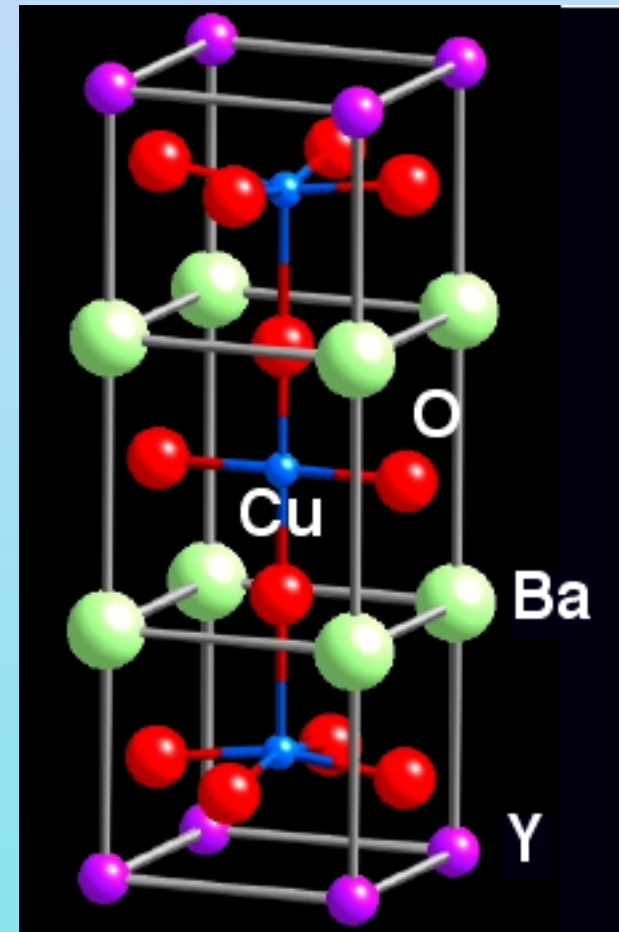
第二世代酸化物超伝導線材

🍏 第一世代

- ♣ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (Bi-"2-2-2-3")
- ♣ powder-in-tube (PIT 法)

🍏 第二世代

- ♣ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$
- ♣ 薄膜線材



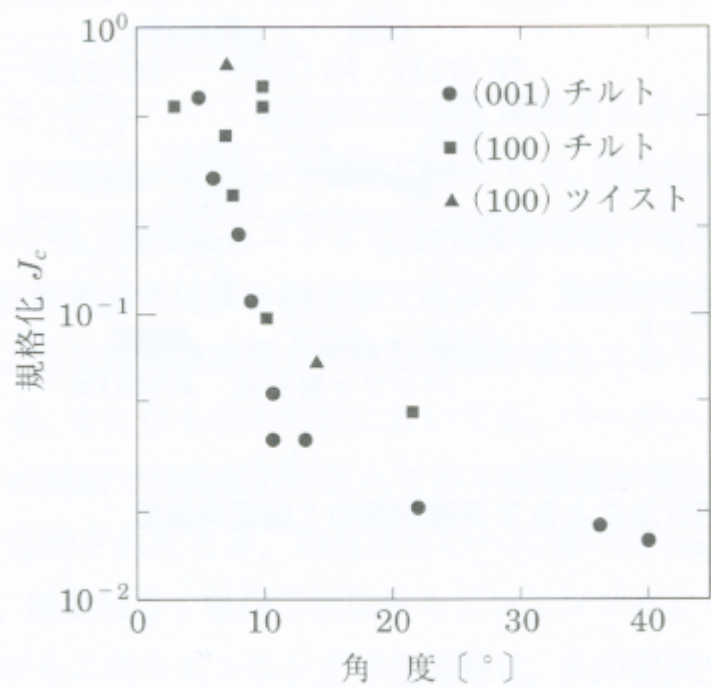
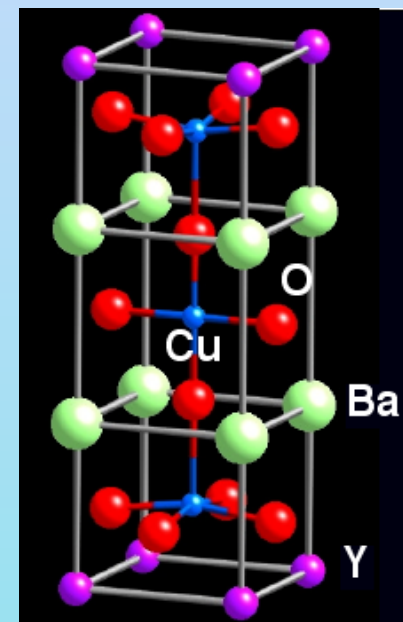


図 3・31 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ における粒界角度と J_c の関係²⁴⁾



※単結晶（に近い）薄膜が必要

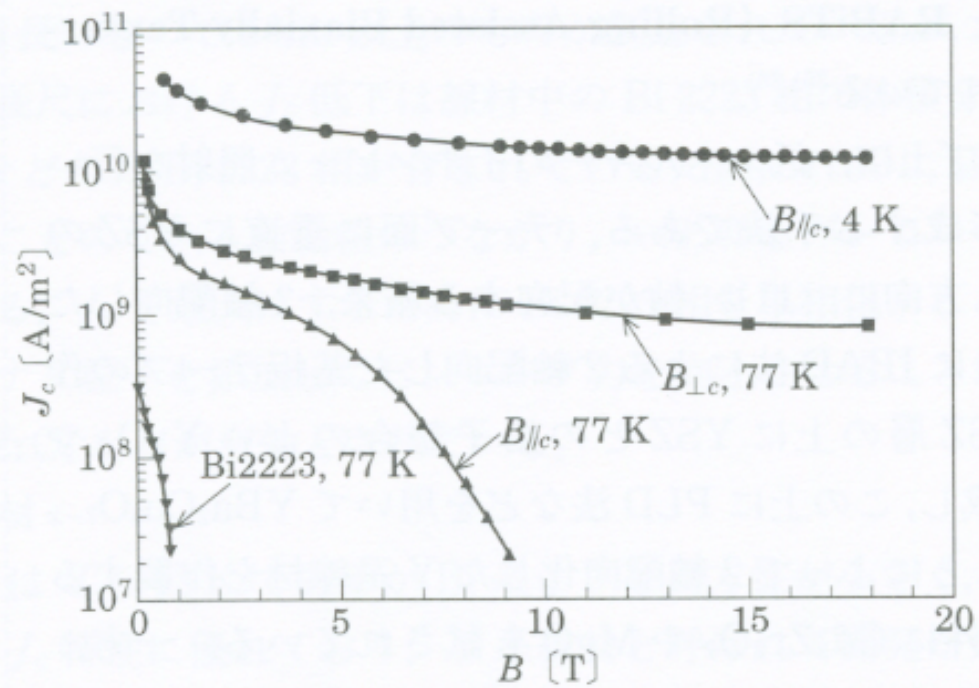


図 3・33 IBAD 法で作製した Y 系線材の J_c 特性
(at 77 K, 7 K)

APC の次元性

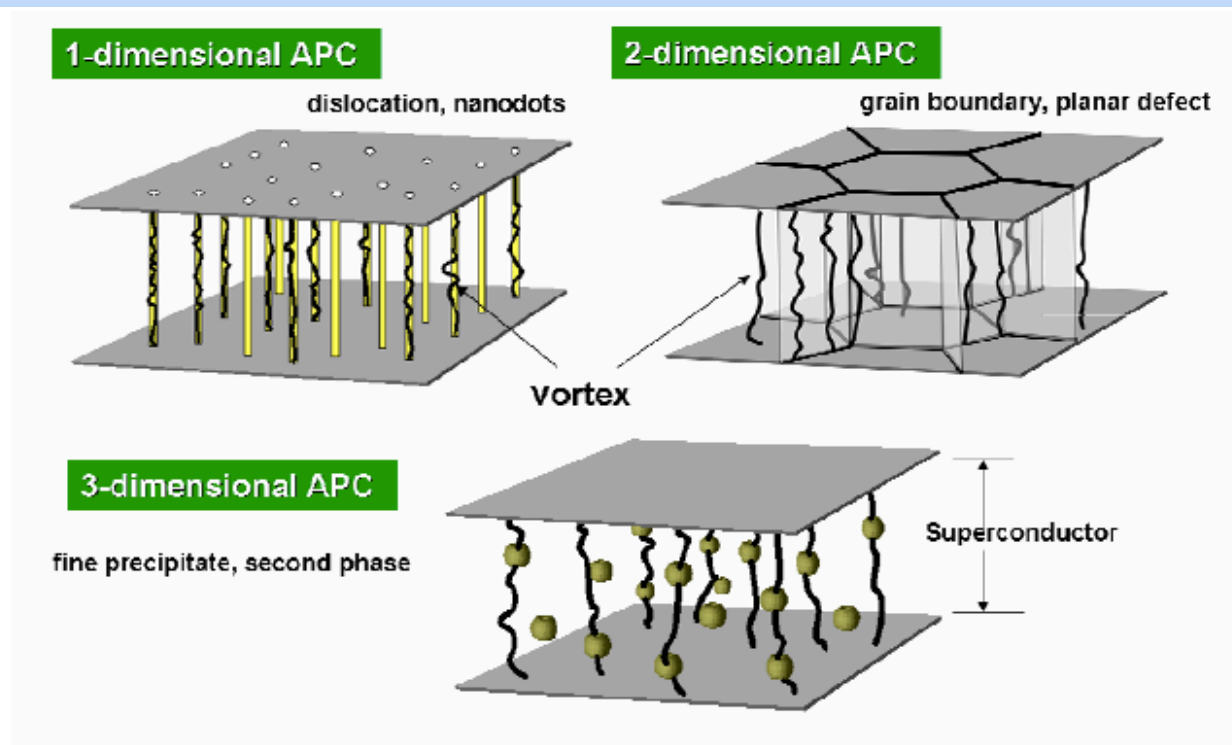


図1 次元性を考慮した人工ナノ欠陥 (1次元, 2次元, 3次元人工ピンの模式図)

J_c の磁場印可角度依存性と APC の効果

