

## (16) 次世代超伝導材料の磁束ピン止めに関する研究

研究代表者 工学部 多田直文

### 研究目的

超伝導現象の重要な工学的応用の1つは、大電流を無損失に通電することができることである。これにより強磁場を発生する超伝導マグネットや低損失の送電ケーブル、電力用機器などが実現可能となる。超伝導体において電気抵抗無しに直流電流を通電するには、超伝導体内部でローレンツ力によって動くとするナノメータスケールの量子化磁束をピン止めするピンニングセンターが必要である。従来の金属系超伝導体では、経験的に材料内部に導入された多数の欠陥、結晶粒界、または適度に分散した非超伝導相などがピンニングセンターであった。超伝導体内部の磁束は Fig. 1 に示す格子間隔で量子化されている。この磁束線格子のスケールにあわせて人工的に設計・導入したピンニングセンターを塑性加工によって金属系超伝導線材に導入して、ピン止め力を高め、高臨界電流密度を得る研究が行われてきている。しかし、このようなピンニングセンターは塑性加工により導入するため、十分な期待通りの形状や配置を得るには不十分と限界がある。

本研究では酸化物超伝導体などの次世代超伝導材料の高電流密度化を実現するため、理想的なピンニングセンター導入の手法として、電子描画装置やリ

ソグラフィ技術を用いて2次元的にピンニングセンターを導入することを提案し、ピン止め特性を改善することを目的としている。本年度は、将来電子描画装置などを用いて導入するピンニングセンターの設計を行い、予想されるピン力密度特性について検討を行った。

### 研究成果

Fig. 2 に示す溝型のピンニングセンターを酸化物超伝導体を導入する場合を検討した。磁束線が受けるローレンツ力に対して、溝の方向は垂直となるように配置され、ローレンツ力によって動く磁束線はピンニングセンターを常に横切ることになる。磁束線はピンニングセンターを横切るときに凝縮エネルギーの変化によって生じるピン止め力を受ける。量子化された磁束線1本が受ける要素的ピン止め力  $f_p$  とピン止めされる部分の密度  $N_p$  との積から、巨視的ピン力密度  $F_p$  が求められ、

$$F_p = N_p \cdot f_p = 0.73 \frac{\xi dp Bc_2}{\mu_0 ds D} \left( \frac{B}{\phi_0} \right)^{0.5} \left( 1 - \frac{B}{Bc_2} \right)$$

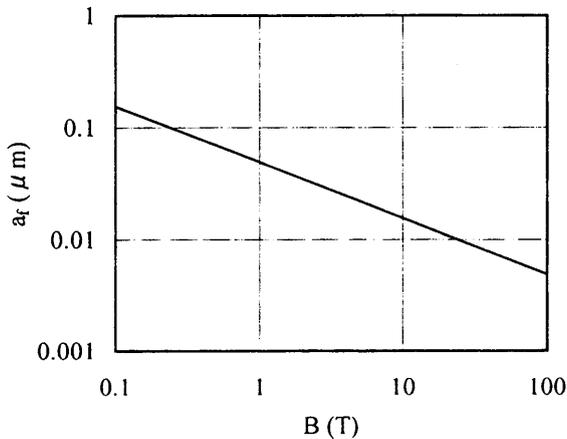


Fig. 1 印加磁場に対する磁束線格子間隔

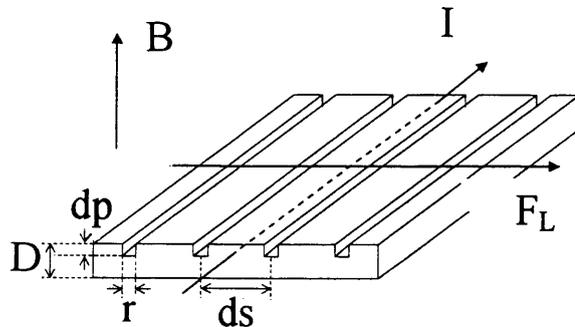


Fig. 2 溝型のピンニングセンター

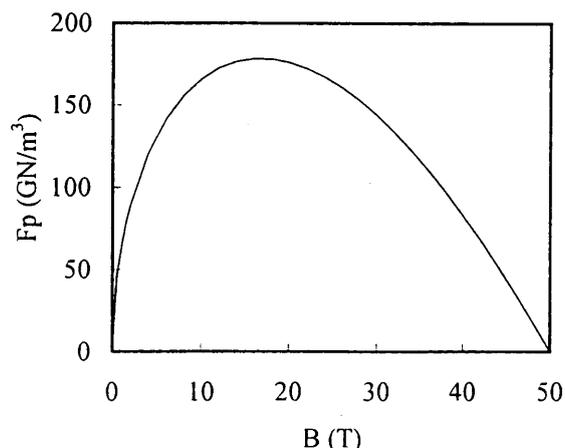


Fig. 3 巨視的ピン止め力密度の磁場依存性

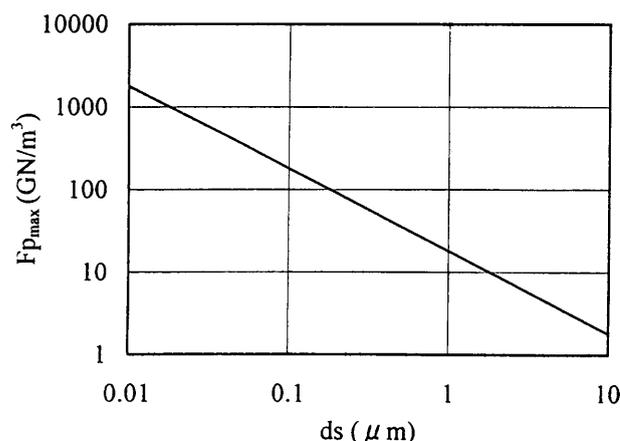


Fig. 4 最大巨視的ピン止め力密度のピン間隔依存性

となる。Fig. 2 に示したピンニングセンターの間隔  $ds$  を変化させて、4.2 K における巨視的ピン止め力  $F_p$  の磁場依存性を求めた結果を Fig. 3 に示す。ここでは、 $\xi = 2.6 \text{ nm}$ 、 $B_c = 1.0 \text{ T}$ 、 $B_{c2} = 50 \text{ T}$ 、 $dp = 1.0 \mu\text{m}$ 、 $D = 5.0 \mu\text{m}$  とした。なお、材料における超伝導特性の異方性は考慮していない。 $ds = 0.1 \mu\text{m}$  では 17 T において  $F_p$  は最大値をとり、このときの臨界電流密度は、現在の Bi 系酸化物超伝導体よりも 1 桁程度向上することがわかった。また、Fig. 4 に  $ds$  に対する最大ピン力密度  $F_{p_{\max}}$  の変化を示す。 $F_{p_{\max}}$  は  $ds^{-1}$  に対して比例することから、更に特性が改善できる可能性がある。

今後、酸化物超伝導体の異方性、磁束線間の相互作用、ピン力密度と不可逆磁場との関係を考慮した設計を行う必要がある。また、実際に Nb などの金属系超伝導体を用いて効果を確認し、実験値との定量的な比較を行うことが必要である。

### 産業技術への貢献

磁束線のピン止め特性の改善による臨界電流密度の向上は、現在線材化の研究が行われている酸化物超伝導線材などの開発に寄与し、液体窒素や冷凍機によって冷却する超伝導機器や高磁場超伝導マグネットの実用化につながる。酸化物超伝導線材を用いた高磁場超伝導マグネットの開発は、広い空間に、安い運転コストで高磁場を発生することが可能とな

り、磁場を利用した化学反応の制御、生体磁気効果、磁気分離、半導体結晶成長プロセスへの適用、製鉄プロセスなどへの応用が期待されている。

### グループメンバー

氏名	所属	職(学年)
多田 直文	工・電気電子	教授
大崎 堅	工・電気電子	助教授
原田 直幸	工・電気電子	助手

### 連絡先

TEL : 0836-35-9947 FAX : 0836-35-9449