

(7) 電子線リソグラフィにより導入する次世代超伝導材料の磁束ピンニングセンターの研究

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、磁場中において大電流を無損失に流す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、低損失の送電ケーブル、電力用機器などの実現が可能となる。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を受けるナノメータスケールの量子化磁束をピン止めする必要がある。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ピンニングセンターを人工的に設計・導入して、大きなピン止め力を得ることが可能である。これまでに常伝導金属を超伝導体に埋め込んで塑性加工によって微細な人工ピンニングセンターを金属系超伝導線材に導入する研究が行われてきた。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、十分に期待通りの形状や配置を得るには自ずと限界がある。

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、効率が良いピンニングセンターを導入する手法として、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するものである。本研究は大きく分けると、(1)ピンニングセンターの設計・導入方法の検討、(2)金属系超伝導体にピンニングセンターを導入・ピン止め力の評価、(3)酸化物超伝導体への適用、の3段階のステップで構成される。この中で、平成9年度は、Fig. 2に示すような溝型の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。本年度は、金属系の超伝導材料にピンニングセンターを導入し

て、ピン止め力を評価するために必要な超伝導膜を作製し、その超伝導特性を評価・検討した。

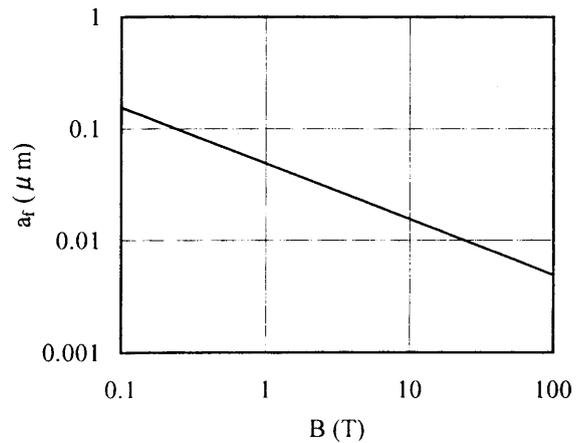


Fig. 1 印加磁場に対する磁束線格子間隔

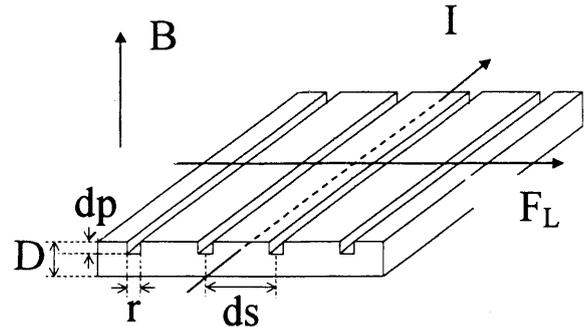


Fig. 2 溝型のピンニングセンター

研究成果

ピンニングセンターを導入するための超伝導膜としてはピンニングセンターの大きさと磁束線格子の関係から、上部臨界磁場が1 T程度以下、厚さは1 ~ 3 μm 、4.2 Kにおける臨界電流密度は、 5×10^9 A/m²程度以下とする必要がある。そこで、本研究では第II種超伝導体の Nb を選び、マグネトロンスパッタリング装置を用いて Nb 膜を Si 単結晶基板上に作製した。作製する Nb 膜の厚さは0.3 ~ 3 μm とした。厚さ約1 μm の Nb 膜表面のSEM写真を

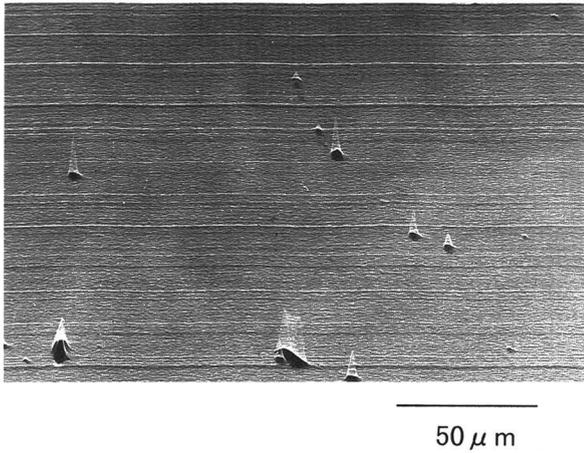


Fig. 3 作製した Nb 膜表面

Fig. 3 に示す。比較的微小突起が少ない Nb 膜が得られた。スパッタリングにより作製した厚さ $3.2\mu\text{m}$ の Nb 膜の磁化の温度依存性を Fig. 4 に示す。Nb 膜と超伝導特性を比較するため、圧延して作製した厚さ $25\mu\text{m}$ の Nb の特性も同時に示す。圧延により作製された Nb よりも、Nb 膜は 0.5K 程度 $T_{\text{c(onset)}}$ が低下したが、 T_{c} の大きな低下は見られなかった。次に、Fig. 4 と同じ試料の 4.2K における磁化曲線を Fig. 5 に示す。磁化曲線の幅から求めた Nb 膜の J_{c} は、 0.5T において $1 \times 10^{11}\text{A}/\text{m}^2$ であることがわかった。これは、作製時に微細な欠陥が多数導入され、これらがピンニングセンターと作用し、臨界電流密度が大きくなったものと考えられる。今後、スパッタリングにより作製した Nb 膜の J_{c} を、導入するピンニングセンターによる J_{c} ($5 \times 10^9\text{A}/\text{m}^2$) 程度まで減少させる必要がある。

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における磁束ピンニングセンターの設計・導入に寄与し、液体窒素による冷却や冷凍機によって直接冷却する超伝導機器や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により、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る。

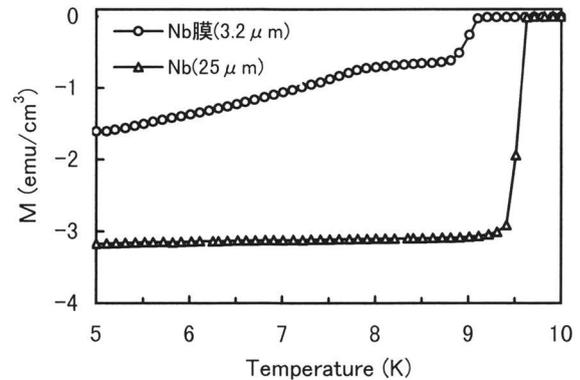


Fig. 4 磁化の温度依存性

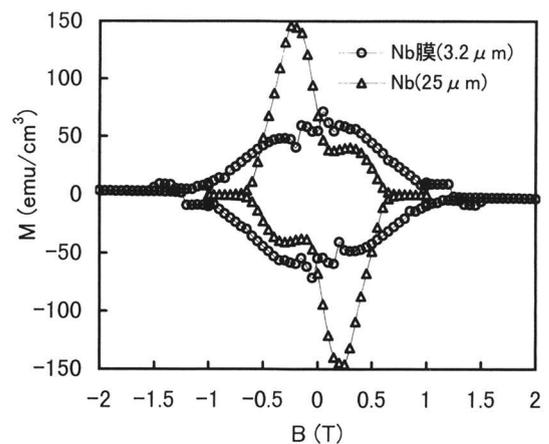


Fig. 5 4.2Kにおける磁化特性

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
山田 博	理工・電気電子	M2

連絡先

T E L : 0836-22-9735 F A X : 0836-35-9449
E-mail : naoyuki@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp