

Title	超伝導磁気シールドチャンネル
Author(s)	清水, 昭; 井上, 信
Citation	大阪大学低温センターだより. 1981, 35, p. 7-9
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/6828
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

超電導磁気シールドチャンネル

核物理研究センター 清水 昭 (吹田 3058)
井上 信 (吹田 3061)

超電導状態にある物質に磁界を外部から加えても、その磁力線は試料を避けて通り、超電導内部の磁束は零である。(マイスナー効果)。磁束が内部に侵入しないのは試料表面にその内部の磁束を丁度零とする様な分布と大きさの反磁性的な超電導電流が誘起されるからと考えられる。この効果を利用した超電導磁気シールドは高エネルギー物理や電子顕微鏡の分野で応用され始めている。これは外部磁場のある部分を局所的に磁気遮蔽することによって、そのシールド内の磁場を事実上零にして、電子や荷電粒子をfringe fieldの影響で軌道を乱されることなく磁場の外から内へ、あるいは逆に場のある所から外部へ引き出すこと等に利用される。

磁場のある所で円筒状に作られた超電導体が超電導状態にあるとき誘起される永久電流と外部磁力線の様子は模式的に図1の様になり、円筒内部では磁場が打ち消される。磁気シールドできる磁場の強さは超電導体に流れ得る臨界電流(電流密度と円筒の厚さ)によって制限される。厚さ t の円筒内の双極場の強さは、円筒の軸方向に沿っての電流密度分布 $J \cos \theta$ のもとで、 $B = \frac{1}{2} \mu_0 J t$ で与えられ、この場が外部磁場と相殺してシールド内部を磁気遮蔽すると考えると磁場の滲み込みは円筒の壁厚の範囲内に収まる。この様なモデルで外場の強さと超電導体の最も強く磁場を感じている所(完全反磁性と仮定すれば $\theta = 0$ の表面では外場の2倍の磁場を経験している)での臨界電流密度が分かれば、円筒に必要な肉厚 t が求まる。もっとも円筒の構成物質は総て超電導体ではなく、力学的な構成材や安定化材、絶縁物等が混在するので、有効電流密度は全体に対する超電導物質の比で定まる。

一般に磁気シールドは局所的に利用され、外部の場をできるだけ乱さないことが望ましく、compactな設計が要請される。そのため用いられる物質はヘリウム温度で臨界電流密度と臨界磁場のできるだけ高いもの即ち合金系のものより化合物系の材質が使われる。一方軸方向に沿って常電導物質に遮ぎられることなく連続した超電導物質によって永久電流の流路をつけておくという考えから、これ迄に開発された一般的な方法は Nb_3Sn のテープを銅箔(層間安定化材)と交互に積層し、これを半円筒の殻構造に加工し(テープ巾が円筒の半円周となる)、半割れものを軸方向に沿ってつぎ合わせて円筒に合成する方法がとられて来た。この方法によると市販されている Nb_3Sn テープの巾がシールド円筒のボア径を制約する一つの実用上の限界が

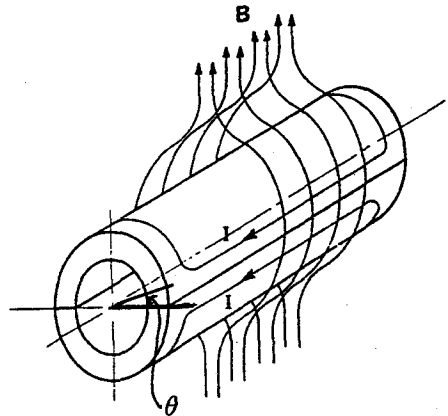


図1. 超電導円筒の軸に垂直な外場があるときの磁力線と誘起電流の模式図

あり、製法も複雑であった。

軸方向に超電導体が巨視的に必ずしも連続的でなく、テープ又は線材をボビンにあたかもソレノイドを作る方法で巻いても、軸方向の永久電流が確保されるならば、テープ巾によるボア径の制約は無くなり製造方法も簡単になる。この様な考えから10mm巾、0.14mm厚の V_3Ga テープをSUSのボビン(肉厚1mm)に層間物質として0.2mm厚の純アルミニウムを入れて交互に逆向きのヘリカル巻きで合計34層巻き、ウッドメタルで合浸し円筒の両端を滑らかに機械仕上げしてのち、真鍮製の円板で両端面を固定した。(テープ材の製作、巻きテープとも真空冶金KK)。仕上がり寸法は長さ80mmボア径26mm、円筒の厚さ10mmでこの大きさは性能テストをするための装置の大きさから決められた。

出来たシールドチャンネルは二つの方法で性能テストを行った。先ず125φのボア径をもつ超電導ソレノイドを収めたヘリウム槽の中央部にシールドチャンネルを上から吊り下げ、チャンネル内部と外側(円筒の上側表面から7mm直上)に磁場測定するためのホール素子を仕込んだ(図2)。

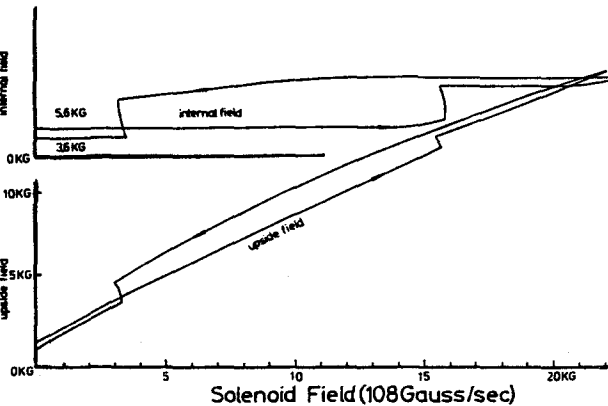
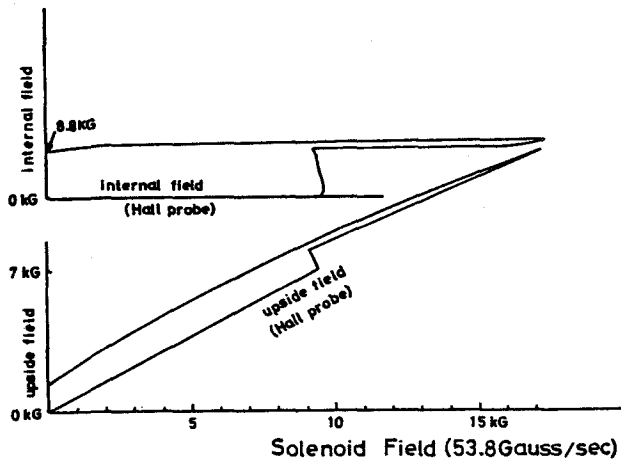


図3. 磁気シールド特性

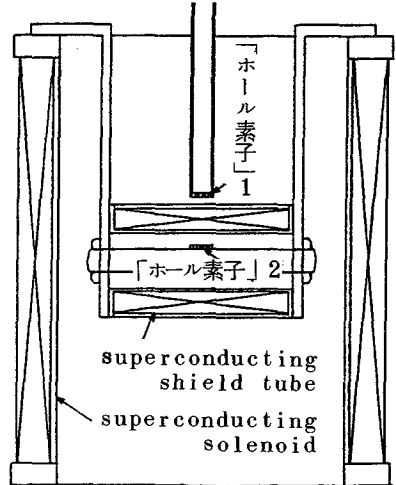


図2. 超電導ソレノイド中央部におかれたシールドチャンネル

測定は超電導ソレノイドの励磁電流(外部磁場の強さに相当する)を横軸に、それぞれのホール素子出力を縦軸とする二現象のXY記録計で行なった。典型的な測定例2組を図3に示す。上の図はソレノイド磁場(外場)が約9.5 kGの所で、シールドチャンネルがflux jumpを起しているが、それ迄はシールド内部への磁場の侵入は殆んどみられず、円筒上部では外場が弱められていることがわかる。flux jumpを起した時点でチャンネル内部へ磁場が侵入し、更に外場を高めても内部に捕捉された場の強さは保たれた

ままである。外場を一旦 16.5 kG 迄高めてそのち零に戻しても捕捉された磁場は殆んど変わらず、これはチャンネルが臨界温度以上になって常電導へ転移しない限り永久に保たれる。下の図は外場零に於て既にチャンネル内部捕捉磁場があるとき、更に外場を掃引した場合のシールド特性を示す。これらの測定結果からこのシールドチャンネルでは内外の磁場の差が 9 kG 近くで徐々に磁場の滲み込みがみられ 9.5 ~ 10 kG の差になると flux jump を起こして完全に侵入する。掃引が滑らかに行なわれると 1 ~ 10 kG/min 程度の掃引速度による特性の変化は特に認められない。次にこのチャンネルを取めた 10 φ の常温ボア-をもった環状クライオスタットを通常の電磁石 (磁極径 20 cm) の間隙におき、円筒軸上の磁場分布を測定した。図 4 の上は外場を強めても約 10 kG 迄はチャンネル内部は磁気遮蔽されていることを示している。チャンネルが短いためボア-の両側からの漏洩場が中心部で外場に対して 1% 程度ある。下の図はチャンネル内部に捕捉された磁場分布を示す。これらの測定から超電導材質やテープの巻き方の欠陥による局所的な磁場侵入はみられず、全体として軸方向の永久電流が誘起されて、ほぼ設計通りに磁気遮蔽していることが確かめられた。

この超電導シールドチャンネルはテスト用に製作されたもので、極く小型で遮蔽磁場も特に高くはないがポピンに超電導テープを単純に巻き付けたもので有効に働くことがわかった。円筒の厚さを若干増すことで、更に高い外場を遮蔽して使うならば V_3Ga の特徴を生したものとなるだろう。

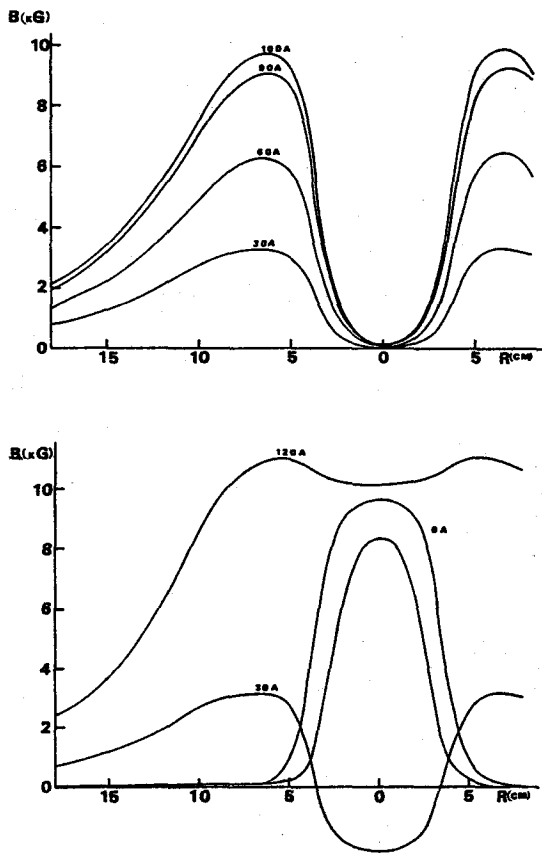


図 4. シールドチャンネル軸上に沿った磁場分布