

MgB₂薄膜の作製と超伝導特性

東北大学大学院理学研究科物理学専攻

竹内 俊平

3年前に発見されたMgB₂は銅を含まない転移温度が39Kの高温超伝導体である[1]。その超伝導機構は従来の超伝導体と同様にBCS理論で説明できると言われているが、二次元的なσバンドと三次元的なπバンドに起因する2ギャップ超伝導体であると報告されている。MgB₂の基礎的性質調べるためには大きな単結晶を育成することが必要であるが、現在でもその大きさは小さい。そこで面積が広く配向性の高い薄膜試料が望まれる。また薄膜はサイズ効果の研究や大きな電流密度を必要とする磁束系等の研究にも有利である。そこで本研究ではrfスパッタ法によりMgB₂薄膜を作製することを試みた。

試料の作製方法としてアモルファス状のB(+Mg)膜を作製しポストアニールをする方法を用いた。4種類の基板(Al₂O₃(0001)・Al₂O₃(110 $\bar{2}$)・SrTiO₃(100)・MgO(111))と4種類のターゲット(MgB₂粉末(99%)・B粉末(99%)・MgB₂バルク(99.5%)・Bバルク(99.9%))を用い、基板温度、熱処理方法(アニール温度・アニール時間・クエンチ温度・加熱速度)をさまざまに変えた約60種類の条件を試すことにより、図1(X線回折)、図2(電気抵抗)に示すような

- ・(001)配向膜: $T_c=35.7\text{K}$, Al₂O₃(0001)基板
- ・(101)配向膜: $T_c=37.7\text{K}$, SrTiO₃(100)基板
- ・無配向膜: $T_c=38.7\text{K}$, Al₂O₃(0001) or Al₂O₃(110 $\bar{2}$) or MgO(111)基板

の3種類の膜を再現よく作製することに成功した。膜厚は1~4μmである。これらの試料の磁化M(SQUID・VSM)および磁場中における電気抵抗R(T)測定により、上部臨界磁場(H_{c2})・下部臨界磁場(H_{c1})・臨界電流密度(J_c)・磁束グラス転移温度(T_g)といった超伝導特性を調べた。

図3に典型例として(001)配向膜の温度-磁場相図を、表1に測定から得られたそれぞれの膜試料のT = 0 Kでの超伝導パラメータを示す(ここでξはコヒーレンス長、λは磁場侵入長、0 Kでの値は外挿により求めた)。注目すべき点はどの試料もH_{c2}(0)の値が単結晶における値(H_{c2}でも~15T)[2]に比べると

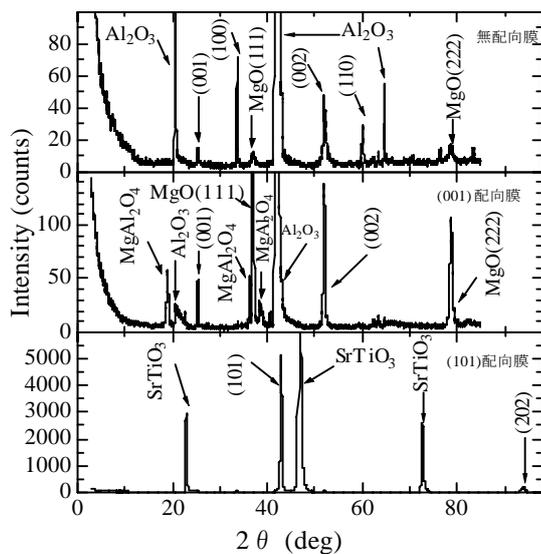


図1 配向膜と無配向膜のX線回折パターン

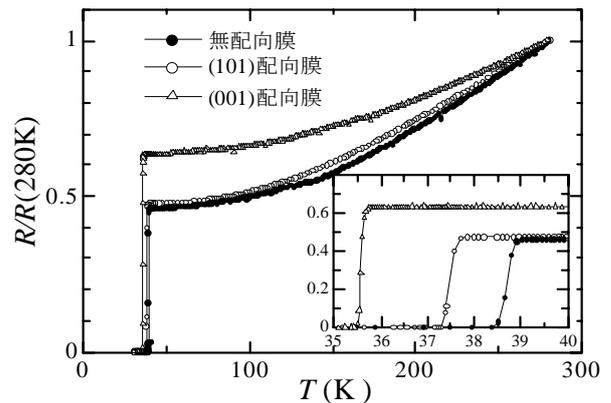


図2 代表的な試料の電気抵抗の温度依存性

かなり大きいことである。特に(001)配向膜の値は膜面に平行な場合 26Tまで達する。これは薄膜の試料の ξ が短いことを意味する。試料の残留抵抗率は約 $8\mu\Omega\text{cm}$ となり、単結晶の値より約 4 倍大きいことから、試料の短い電子の平均自由行程が ξ を小さくする原因になっていると解釈できる。 $H_{c2}(T)$ 曲線は配向膜・無配向膜に限らずすべて T_c 近傍において単純なGL理論(T linear)では説明できない正の曲率を示す。同様な結果は単結晶においても報告されており [2,3]、 MgB_2 のIntrinsicな性質といえる。これまで異方的なフェルミ面と電子-格子相互作用を使ったモデルと 2 バンドモデルの両方で説明されているがまだ原因はわからない。

磁化曲線のヒステリシス ΔM より $H = 0\text{ T}$ での J_c をBeanモデルを用いて求めた。すべての試料において 10Kでの J_c は $\sim 10^6\text{ A/cm}^2$ に達し、ピンング力は従来型超伝導体線材を同じくらい強い。磁場中での電気抵抗転移 $R(T)$ はピンングの強い系で起こる磁束グラス転移の式 $R \sim (T - T_g)^2$ で表すことができ、大きな J_c の値とつじつまが合う。さらに図 3 に示すように $T_g(H)$ 曲線は $H_{c2}(T)$ 曲線と非常に近接しており磁束液体状態の領域が狭い。これは MgB_2 の受ける熱揺らぎの効果が小さいことを示し、 $T_g(H)$ が $H_{c2}(T)$ よりかなり低温、低磁場にくる銅酸化物高温超伝導体とは対照的である。磁束液体領域はGLパラメータ $\kappa = \lambda/\xi$ と異方性が大きければ広くなる。実際、表 1 中から計算される両者の値は高温超伝導体に比べて小さい。

本研究では基板の種類と温度、ポストアニールの条件の違いにより、2 種類の方向の配向膜とランダム配向の MgB_2 膜の作製に成功した。 J_c と H_{c2} の測定により電気伝導に粒界の影響をほとんど受けない良質な膜ではあるが、単結晶とは対照的にピンングの強いdirtyな系であることがわかった。

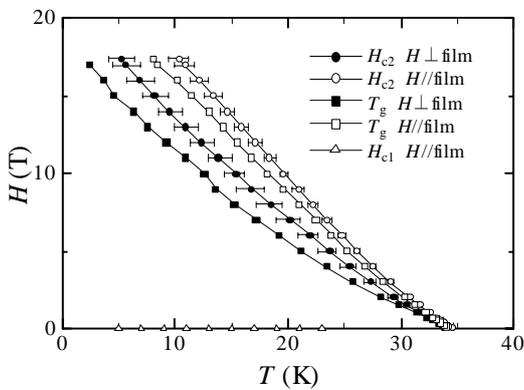


図 3 (001)配向膜の温度-磁場相図

	(001)軸配向膜	(101)配向膜
$H_{c2}^{\perp}(0)$	21.9T	23.4T
$H_{c2}^{\parallel}(0)$	26.0T	18.2T
$H_{c1}^{\perp}(0)$	50.3mT	40.4mT
$H_{c1}^{\parallel}(0)$	42.4mT	51.9mT
$\kappa(0)$	26.8	31.6
$\xi_{\perp}(0)$	3.3nm	4.8nm
$\xi_{\parallel}(0)$	3.9nm	3.8nm
$\lambda_{\perp}(0)$	123nm	91.8nm
$\lambda_{\parallel}(0)$	104nm	118nm
$J_c^{\perp}(10\text{K}, 0\text{T})$	$2.8 \times 10^6(\text{A/cm}^2)$	$9.2 \times 10^5(\text{A/cm}^2)$

表 1 測定から得られた MgB_2 膜の超伝導パラメータ
ただし、 \perp 、 \parallel は film の表面に対してである

[参考文献]

- [1] J.Nagamatsu *et al.*, Nature **410** (2001) 63 .
- [2] M.Zehetmayer *et al.*, Phys.Rev.B **66** (2002) 052505.
- [3] U.Welp *et al.* Phys.Rev.B **67** (2003) 012505.