

電子ビーム蒸着 MgB₂ 薄膜の超伝導特性に対する Ti ドープおよびアニールの効果

Effects of Ti-doping and annealing on superconducting properties of electron-beam-deposition MgB₂ thin films

京大院エネ科¹, 日立², 電中研³

○高畑 仁志¹, 下田 佑太郎¹, 堀井 滋¹, 土井 俊哉¹, 楠 敏明², 一瀬 中³

Kyoto Univ.¹, Hitachi Ltd.², CRIEPI³

○H. Takahata¹, Y. Shimoda¹, S. Horii¹, T. Doi¹, T. Kusunoki², A. Ichinose³

E-mail: takahata.hitoshi.25n@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

MgB₂は、金属系超伝導体中で最高の臨界温度($T_c = 39$ K)を有する。MgB₂には、組成制御が比較的容易であること、構成元素のMgとBがいずれも資源的に豊富であること、軽いこと(低比重)等の特長があり、液体水素や冷凍機を利用した20 K近傍での実用化が期待されている。我々は電子ビーム(EB)蒸着法でAlテープ上に作製したMgB₂薄膜の4.2 K、10 Tにおける臨界電流密度(J_c)が1 MA/cm²を上回ることを報告した[1]。この高い J_c は超高真空中・低温での薄膜作製によりMgO相の少ない結晶粒界や数十 nm 径の柱状組織(粒界ピン)をもつc軸配向MgB₂薄膜が得られたことによる。しかし、応用が期待される20 Kでの磁場中 J_c の向上が課題であり、その解決策の一つとして粒界に常伝導の異種金属を導入し、粒界の磁束ピンニング力を増大させることが有効であると考えた。本研究では非磁性金属であるTiに着目し、MgB₂薄膜に磁束ピンニングセンタとしてTiの導入を試み、導入方法および導入量が T_c 、 J_c に与える影響に加え、これらのアニール効果を調べた。

2. 実験方法

MgB₂薄膜の作製をEB蒸着法により行った。MgおよびB原料にそれぞれ電子ビームを照射し、280°Cに加熱したSi単結晶基板上に300 s蒸着した。なお、原料にはMg casting塊と結晶性Bを用いた。Tiの導入にはアークプラズマガン(APG)を用い、APGの照射をMgB₂の成膜中に行った。Ti導入量はAPGの照射回数(0~60回)で制御した。また、別のTi導入法として、MgB₂とTiの成膜を交互に3回繰り返したMgB₂/Ti多層膜(Ti-layer 試料)の作製も行った。得られた試料について、超高真空中($< 1 \times 10^{-7}$ Pa)のアニール(450°C×1 hおよび550°C×50 h)を行った。生成相の同定にはX線回折(XRD)測定法を、化学組成の決定には誘導結合プラズマ(ICP)発光分光分析を用いた。また、 T_c 、 J_c については四端子法から決定した。

3. 結果と考察

XRD測定からいずれの試料においても(001)、(002)ピークのみが観測され、Tiを導入してもMgB₂がc軸配向していることがわかった。また、Table 1に示すように、as-grown 試料での T_c を比較するとpure MgB₂が最も高く、Ti導入量の増加とともに T_c は低下した。これはMgB₂結晶中へのTiの固溶によると考えられる。アニール後の T_c に着目すると、いずれの試料についても T_c は上昇した。低温成膜に由来する低い結晶性が改善されたためであると推測される。20 Kにおいて、 T_c の低下に伴って J_c も低下し、6 T以下の磁場領域ではpure MgB₂の J_c が最も高かった。Ti導入をMgB₂の成膜と同時にを行った場合、アニールを行ってもTiは粒界ピンとしては機能しないと考えられる。

一方で、Ti-layer 試料の結果に着目すると、as-grown 試料の T_c はpure MgB₂試料のそれと同程度であることから、MgB₂層内部にTiは固溶していないと考えられる。Ti-layer 試料の T_c もアニールにより上昇したが、pure MgB₂には及ばなかった。また、Ti-layer 試料の20 Kでの高磁場中の J_c の低下が他の試料と比較すると緩やかになり、高磁場中でpure MgB₂の J_c を上回ったことから、層状に導入したTiが磁束ピンニング力を増大させると考えられる。

Table 1 Characteristics of the as-grown and annealed Ti-doped MgB₂ thin films.

sample	# of APG shots	B/Mg	x in Mg _{1-x} Ti _x B ₂ (analyzed)	thickness [nm]	T_c (K)		
					as-grown	annealed (450°C, 1 h)	annealed (550°C, 50h)
trial A	pure	0	2.2	204	33.7	-	36.3
	A-20	20	2.1	225	32.5	33.7	-
	A-30	30	1.8	174	29.1	30.8	-
	A-40	40	2.3	220	29.2	-	30.9
	Ti-layer	-	2.3	193	33.6	-	35.0
trial B	B-20	20	2.1	256	32.1	-	34.1
	B-40	40	2.3	238	31.8	-	33.1
	B-60	60	2.5	225	25.6	-	28.7

参考文献: [1]吉原ら, 低温工学 47, 103 (2012).