

電子ビーム蒸着法による C ドープ MgB₂ 薄膜の作製Fabrication of Carbon doped MgB₂ thin films by electron-beam evaporation京大¹, 日立製作所²○竹原 寛人¹, 青木 翔太¹, 堀井 滋¹, 土井 俊哉¹, 水上 貴彰², 楠 敏明², 菅野 周一²Kyoto Univ.¹, Hitachi Ltd.²○H. Takehara¹, S. Aoki¹, S. Horii¹, T. Doi¹, T. Mizukami², T. Kusunoki², S. Kanno²

E-mail: takehara.hiroto.58r@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

二ホウ化マグネシウム (MgB₂) は、金属系超伝導物質の中で最高の超伝導転移温度 ($T_c = 39$ K) を有している。MgB₂ には、組成制御が比較的容易、構成元素の Mg と B がいずれも資源的に豊富で安価、環境に優しく軽い(低密度)等の利点があり、20 K 近傍での実用化に向けて精力的に研究開発が行われている。

電子ビーム(EB)蒸着法は、超高真空中で原料を電子ビーム照射により蒸発させて、テープ基板上で薄膜を成長させる方法であり、コネクティビティーの高い MgB₂ 薄膜を作製できることから、高い臨界電流密度(J_c)を実現できる。これまでに、我々のグループは Al テープ上に作製した MgB₂ 薄膜が、外部磁場 10 T 中で $J_c > 10^6$ A/cm² を 4.2 K で示すことを報告した[1]。しかし、20 K 近傍では高磁場領域での J_c の低下が課題となっている。そこで、20 K 近傍での高磁場 J_c の向上を目的とし、ピンニングセンターとして働くと考えられている C [2] をドープした MgB₂ 薄膜のジュラルミン (Du) 基板上への作製を試みた。本研究では、その基礎的研究として、Cドープ MgB₂ 薄膜を EB 蒸着法で作製し、それらの配向性、化学組成、超伝導特性を明らかにした。

2. 実験方法

MgB₂ および Cドープ MgB₂ 薄膜は EB 蒸着法により作製した。Mg と、B+B₄C を原料とし、これらにそれぞれ電子ビームを照射し、280°C に加熱した Du 基板上に 10 分間蒸着した。ここで、仕込みの C ドープ量($x=C/(B+C)$)としてモル比で B:C=90:10 ($x=0.1$), B:C=99:1 ($x=0.01$)となるよう、結晶化 B および B₄C の混合物を作製して B 側原料とした。得られた薄膜試料の化学組成は、ICP 発光分光分析および EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) を用い、X 線回折法 (XRD) により MgB₂ の生成および配向性を評価した。 T_c については四端子法により決定した。

3. 結果と考察

Fig. 1 に $x=0, 0.01, 0.1$ の XRD パターンを示す。なお、縦軸の回折強度 (I) は対数で表示してある。いずれの試料においても MgB₂ 相のピークが存在し、MgB₂ 膜が生成されていることが確認できた。また、001, 002 ピークだけが強められていることから、MgB₂ が c 軸配向していることを示している。

Table 1 に $x=0, 0.01, 0.1$ 試料の ICP 分析、EDX による組成分析の結果、およびそれぞれの T_c を示す。ICP 分析による組成分析の結果、B/Mg 組成比は $x=0, 0.01, 0.1$ でそれぞれ 2.0, 2.1, 2.2 となり、いずれも化学量論組成よりやや B 過剰組成となった。また、EDX による組成分析の結果、C/(B+C) 組成比は $x=0.01$ および 0.1 でそれぞれ 0.023, 0.084 であり、両試料に C が含有されていることが分かった。仕込みの C ドープ量の増加とともに、MgB₂ 薄膜に含まれる C 量も増加することを示している。

四端子法による電気抵抗率測定により、MgB₂ 薄膜はいず

れも超伝導性を示すことを確認した。 $x=0.01$ および 0.1 における T_c はそれぞれ 30.0 K, 19.0 K であった。 $x=0$ と比べて T_c が低く、C ドープ量とともに T_c は低下する傾向を持つ。この結果は、EB 蒸着法においても原料側(B+B₄C)の C 仕込み量で、MgB₂ への C ドープが制御される可能性を意味する。当日は、XRD から得られた配向性に加えて、Cドープ MgB₂ 薄膜を Si 基板上に作製した場合の化学組成および超伝導特性の結果を示す予定である。

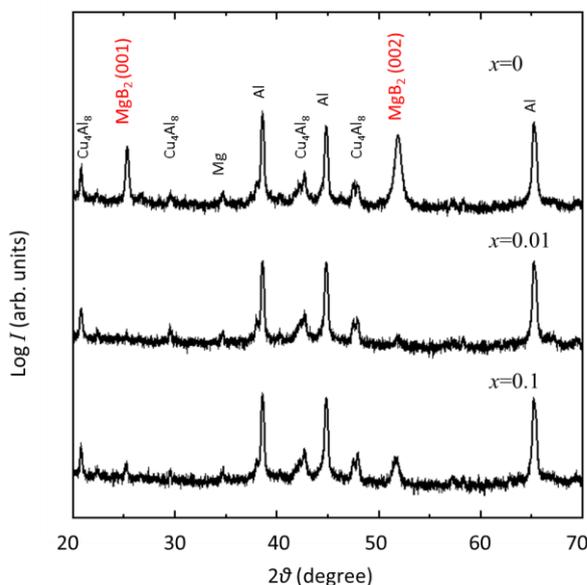


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the C-doped MgB₂ thin films with $x=0, x=0.01$ and $x=0.1$.

Table 1 Chemical compositions and T_c for the C-doped MgB₂ thin films with $x=0, 0.01$ and 0.1 .

x	0	0.01	0.1
B/Mg (ICP)	2.0	2.1	2.2
C/(B+C) (EDX)	—	0.023	0.084
T_c [K]	33.0	30.0	19.0

[1] 吉原ら, 低温工学 **47**, 103 (2012)

[2] S.X. Dou et al., *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3419 (2002).