19a-A20-11

電子ビーム蒸着法で作製した C ドープ MgB_2 薄膜の超伝導特性

Superconducting properties of Carbon doped MgB_2 thin films fabricated by electron-beam deposition

京大院エネ科[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]，楠 敏明[2]

Kyoto Univ.[1], Hitachi Ltd.[2]: ○H. Takehara[1], S. Aoki[1], S. Horii[1], T. Doi[1], T. Kusunoki[2]

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

1. はじめに

MgB_2 は，金属系超伝導体で最高の臨界温度（T_c＝39K）を有している。MgB_2 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安価であること、軽いこと(低比重)等の利点があり、液体水素や冷凍機を利用した 20K 近傍での実用化が想定されている。

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、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 *c* 軸配向 MgB_2 薄膜が得られることから、高い臨界電流密度(J_c)を実現できる。これまでに、我々は Al テープ上に作製した MgB_2 薄膜が、4.2K、10T において $J_c > 10^6$ A/cm^2 を示すことを報告した[1]。しかし、20K 近傍、高磁場下における J_c の低下が課題となっている。本研究では、20 K 近傍での高磁場 J_c の向上を目的とし、磁束ピンニングセンタとして有効とされる C[2]をドープした MgB_2 薄膜の作製を EB 法で試み、これらの配向性、化学組成、超伝導特性から、C ドープが MgB_2 の臨界電流特性に与える影響を明らかにした。

2. 実験方法

MgB_2 および C ドープ MgB_2 薄膜の作製は EB 蒸着法により行った。Mg および B+B_4C を原料とし、これらにそれぞれ電子ビームを照射し、280°C に加熱したジュラルミン基板上に 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 x=0.01、0.05、0.1 となるように、結晶化 B および B_4C の混合物を 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 MgB_2 の生成および配向性を評価した。T_c、不可逆磁場および上部臨界磁場については磁場下での電気抵抗率の温度依存性より決定した。また、J_c の磁場依存性については、磁化ヒステリシス曲線から決定した。

3. 結果と考察

得られた C ドープ MgB_2 薄膜の化学組成を決定するため、ICP 分析を行ったところ、B/Mg 組成比は x=0、0.01、0.05、0.1 でそれぞれ 2.0、1.8、1.7、2.2 となった。また、EDX による組成分析の結果、C/(B+C) (≡ x^{ana})組成比は x=0.01、0.05、0.1 に対してそれぞれ x^{ana}=0.024、0.035、0.084 であった。電気抵抗率の温度依存性から、x^{ana} の増加とともに T_c は低下する傾向を示し、x^{ana}=0、0.024、0.035、0.084 においてそれぞれ T_c=33.2、30.0、30.8、19.7K であった。この結果は、EB 法による低温成膜においても、MgB_2 薄膜内に C が含まれており、少なくとも一部の C は MgB_2 構造内に取り込まれていることを示唆している。また、仕込みの C ドープ量で、MgB_2 薄膜に含まれる C 量も制御できることが分かった。

Fig.1 に、MgB_2 結晶の *c* 軸に平行方向、および *ab* 軸に平行方向に磁場を印加した場合における上部臨界磁場の温度依存性を示す。x^{ana}=0.084 では、多量の C ドープにより H_{c2} が大きく低下した。これは T_c の著しい低下による。一方、x^{ana}=0.024 および 0.035 では、大きな H_{c2} の低下は見られなかったが、高磁場領域で $H_{c2}^{//ab} > H_{c2}^{//c}$ となった。

ここで、異方性(γ=$H_{c2}^{//ab}$ / $H_{c2}^{//c}$)に着目すると、C-free 試料は単結晶[3]や HPCVD 法薄膜[4]の場合と比較して明らかに小さく、ほぼ 1 であった。C ドープ試料に対しても、C ドープ量に依存せず γ はほぼ 1 であった。FE-SEM による表面組織観察から、いずれの試料も柱状組織が認められ、C ドープによる柱状組織への顕著な変化は見られなかった。以上より、EB 蒸着法での低温成膜により形成された MgB_2 の柱状組織に由来する *c* 軸相関ピンが C ドープ試料においても機能し、H_{c2} の異方性低下に寄与していると考えられる。

当日は、電気抵抗率の磁場印加角度依存性や J_c の磁場依存性について報告し、シリコン単結晶基板上に作製した C ドープ MgB_2 薄膜の結果と併せて、EB 法における C ドープ効果について議論する予定である。

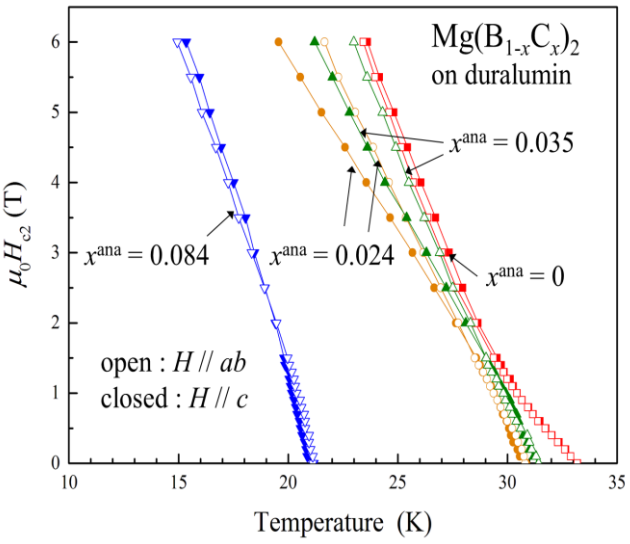

Fig.1 Temperature dependence of H_{c2} for the C-doped MgB_2 thin films grown on duralumin tapes.

参考文献

[1]吉原ら, *低温工学* **47**, 103 (2012).

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

[3]S.Tajima *et al.*, *Physica C* **460-462**, 74 (2007).

[4]A.V.Pogrebnyakov *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 13 (2004).

© 2014 年　応用物理学会