

XANES 計算による MgB₂ 薄膜の局所構造解析 Local structure analysis of MgB₂ thin films by XANES calculation

三浦隆太郎¹, 宮永崇史*¹, Duc H. Tran², Won Nam Kang³, Tien Le³

¹ 弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻

〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地

² University of Science (VNU-HUS), Vietnam

³ Sungkyunkwan University, Korea

Ryutaro MIURA¹, Takafumi MIYANAGA*¹, Duc H. TRAN², Won Nam KANG³, Tien LE³

¹ Graduate School and Technology, Department of Science and Technology

Hirosaki University, 3 Bunkyo-cho, Hirosaki, Aomori, 036-8561, Japan

² University of Science (VNU-HUS), Vietnam

³ Sungkyunkwan University, Korea

1 はじめに

MgB₂は2001年に発見された超伝導物質であり、冷却時に39Kから超伝導特有のマイスナー反磁性を示すことから[1]、超伝導転移温度は金属間化合物超伝導体としては最高の転移温度を持ち、この超伝導転移温度を上回る超伝導体は発見されていない。MgB₂は小型の冷却器を使用して、比較的簡単に到達できる20~30Kの温度で動作する超伝導デバイスを実現でき、現在実用化されている超伝導体と異なり希少な液体ヘリウムを消費することがない。また、希少金属を含まないため材料が安価である。さらにコヒーレンス長が長く、異方性が大きくないことによりネットワーク状の強い超伝導結合組織を形成している。これらの特徴により超伝導物質としてのデバイス化に向けて期待と関心が高まっている。近年の研究では、薄膜の表面にイオン照射を行い物体に欠陥を意図的に作り、その欠陥が磁束の移動を妨げ臨界電流密度(J_c)を向上させるピン止め効果についての研究が行われている[2, 3]。

超伝導物質において転移温度は結晶性の高さに依存する。この結晶性の高さを判断するために、結晶の内部構造を知ることができるXAFS測定を用いることが有効である。本研究では、MgB₂薄膜にSn、Ni、Feイオン照射を行い臨界電流密度(J_c)が向上したサンプルについて、Mg-K吸収端のXAFS測定を行い、得られたスペクトルのXANES領域に注目しFDMNESの計算結果との比較を行うことで、MgB₂薄膜のイオン照射量と局所構造の関係、照射されたイオンによる違いについて考察を行う。

2 実験

超伝導物質MgB₂を基板Al₂O₃の上に蒸着させ、その表面にSn、Ni、Feイオンを照射したサンプルを測定した。Sn、Niイオンは2MeV、Feイオンは140keV

で照射され、各イオンのイオン照射量は以下の通りである[2, 3]。

Snイオンを照射したサンプルのイオン照射量
1×10¹²、2×10¹²、5×10¹²、5×10¹³、1×10¹⁴ (/cm²)

Niイオンを照射したサンプルのイオン照射量
2×10¹²、5×10¹²、5×10¹³ (/cm²)

Feイオンを照射したサンプルのイオン照射量
5×10¹³、1×10¹⁴、2×10¹⁴、4×10¹⁴ (/cm²)

この12種類のサンプルにX線を照射し、Mg-K端のXAFSを測定した。XAFS測定はKEK-PFのBL-11AでSn、Niイオン照射サンプルは電子収量法、Feイオン照射サンプルは電子収量法と蛍光法を用いた。

3 結果および考察

Sn、Ni、Feイオン照射時のそれぞれのMg-K端の規格化X線吸収スペクトルを図1~4に示す。X線吸収スペクトルの規格化は、XAFS解析ソフトであるAthena[4]を用いた。

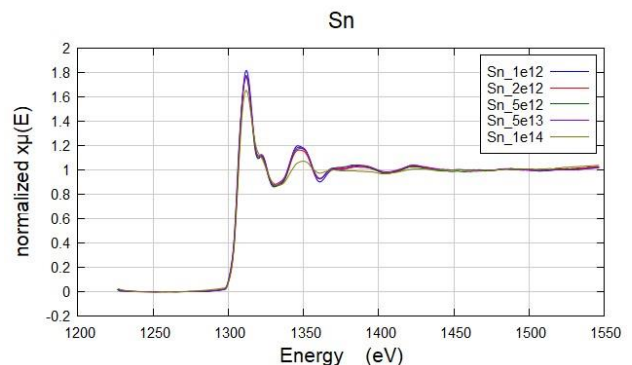


図1 Snイオン照射時の規格化X線吸収スペクトル

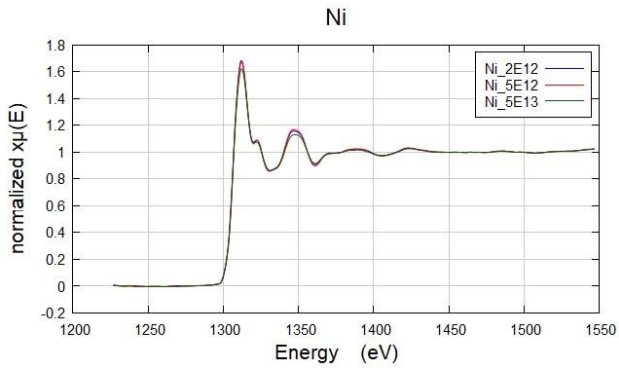


図 2 Ni イオン照射時の規格化 X 線吸収スペクトル

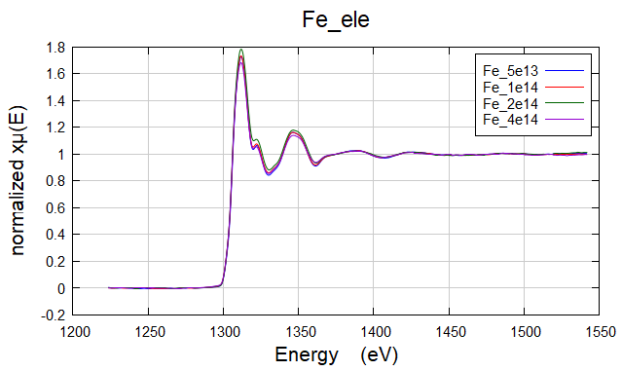


図 3 Fe イオン照射時の規格化 X 線吸収スペクトル (電子収量法)

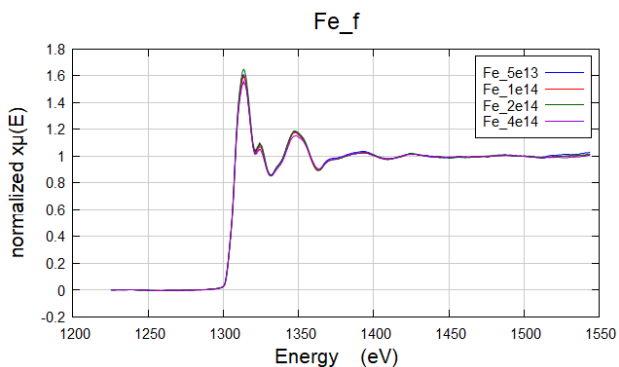


図 4 Fe イオン照射時の規格化 X 線吸収スペクトル (蛍光法)

次に、実験結果との比較対象として理論計算ソフト FDMNES を使用した[5]。図 5、6 にその計算結果を示す。

FDMNES での計算は MgB₂ の結晶モデル(Crystal)と表面モデル(Surface)の 2 種類行った。

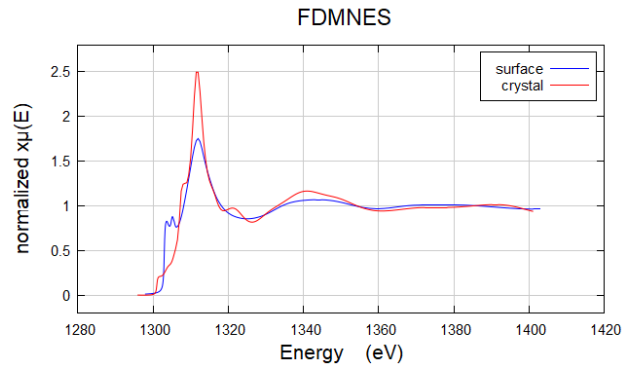


図 5 FDMNES の表面モデルと結晶モデルの計算結果の比較

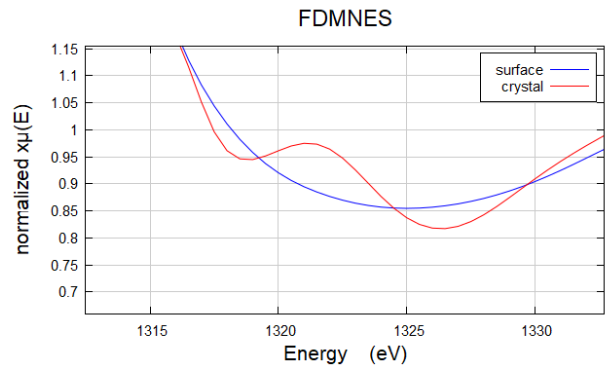


図 6 FDMNES の約 1320eV のピーク

FDMNES の表面と結晶の計算結果を比較すると、結晶では約 1322eV でピークがみられるが、表面ではみられなかった。このことから 1322eV 付近のピークは表面の情報であるといえる。

次に、Sn、Ni、Fe イオンを照射したサンプルの X 線 0 吸収スペクトルの 1322eV 付近のピークについて図 7~10 に示す。

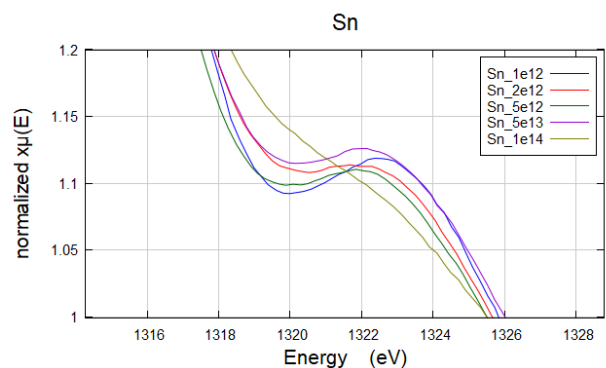


図 7 Sn イオン照射時の 1322eV 付近のピーク

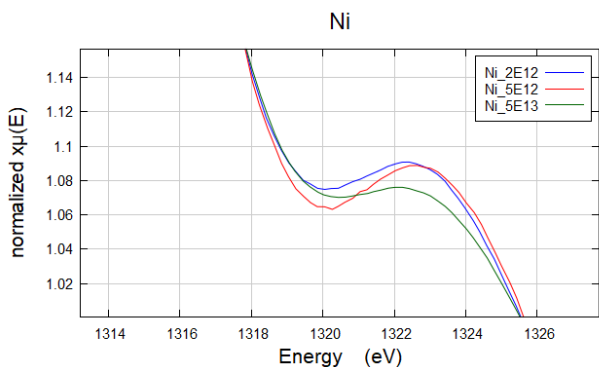


図 8 Ni イオン照射時の 1322eV 付近のピーク

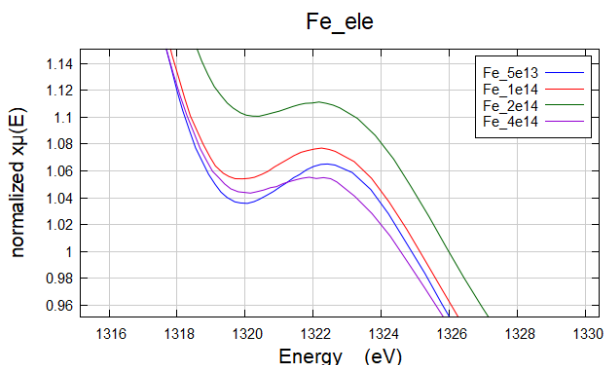


図 9 Fe イオン照射時の 1322eV 付近のピーク (電子収量法)

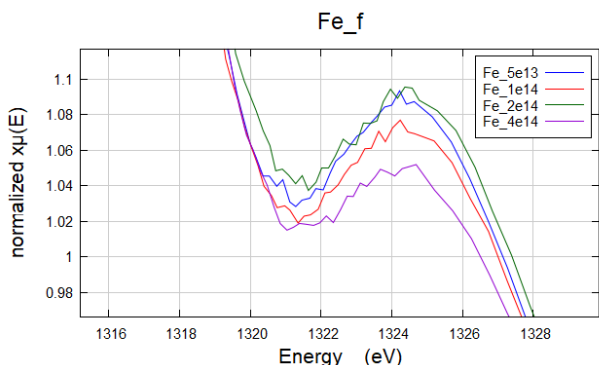


図 10 Fe イオン照射時の 1322eV 付近のピーク (蛍光法)

イオン照射を行ったサンプルは、1322eV 付近のピークでイオン照射量が増加するごとにピークが小さくなっていく傾向が全ての照射イオンでみられた。また Fe の電子収量法の 1322eV 付近のピークに比べ、蛍光法のピークが大きい。これは電子収量法が表面付近の情報が多く、蛍光法は表面だけでなく薄膜全体の情報を含んでいることを表している。

次に 1322eV 付近のピーク強度のイオン照射量による変化について示す。ここでのピーク強度は図 11 の a (測定結果のピークの高さ) と b (FDMNES 表面の計算結果と測定結果の差) を足した値とする。照射イオンごとのピーク強度の変化を図 12~14 に示す。

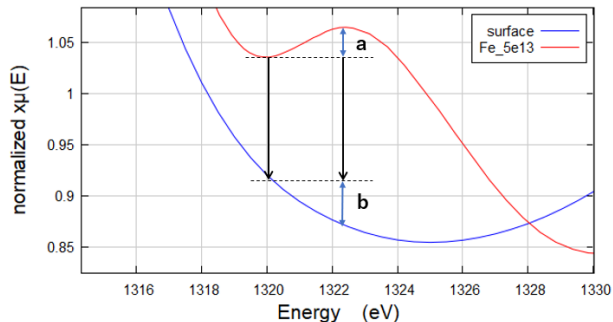


図 11 1322eV 付近のピークの高さの定義

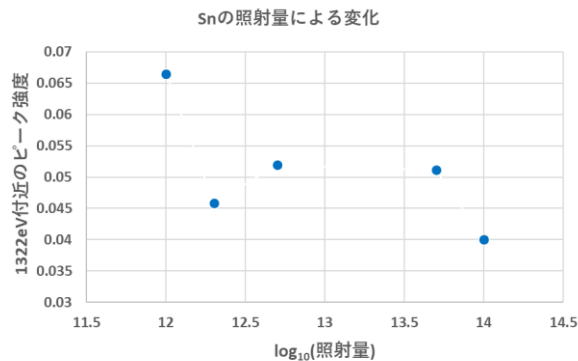


図 12 Sn イオン照射時の 1322eV 付近のピーク強度変化

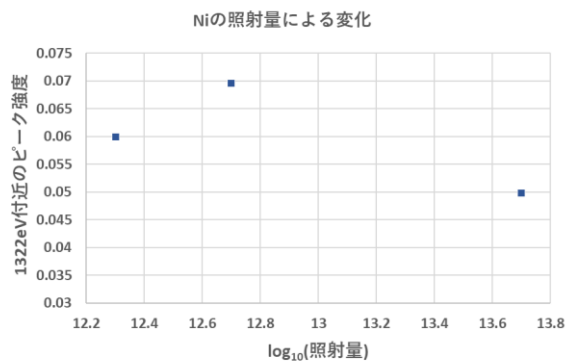


図 13 Ni イオン照射時の 1322eV 付近のピーク強度変化

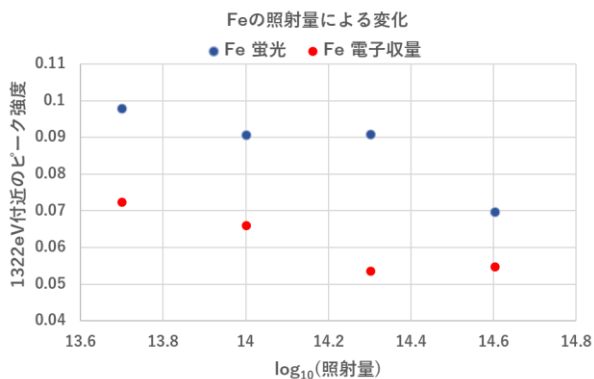


図 14 Fe イオン照射時の 1322eV 付近のピーク強度変化

イオン照射量ごとのピークの変化を見ると、イオン照射量が増加するごとに 1322eV 付近のピークの大きさが小さくなっていることがわかる。Fe イオン照射時の変化が電子収量法と蛍光法であまり変化が見られない。このことから、イオン照射による MgB₂ 薄膜への影響は内部へは小さく表面部分へは大きいといえる。

FDMNES 計算の表面モデル、結晶モデルのスペクトルの違いとイオン照射量増加時の 1322eV 付近のピークの変化の傾向から、イオン照射を行うことにより MgB₂ の表面の割合が増加していることがわかる。これはイオン照射により MgB₂ の表面積が増加し、表面の情報が増加したためだと考えられる。

4 まとめ

本研究では、Sn、Ni、Fe イオンを照射した MgB₂ 薄膜のサンプルについて Mg-K 端の XAFS の測定結果と FDMNES の計算結果についての比較を行った。どのイオンについてもイオン照射量を増加していくごとに 1322eV 付近のピークが減少していく傾向がみられた。この変化は、イオン照射により MgB₂ 薄膜表面または薄膜内部に欠陥が生じたことで表面積が増加し、表面の情報が増えたためだと考えられる。表面の割合の増加は、薄膜に欠陥が生じピン止め効果により臨界電流密度が上昇することと関連しているといえる。

参考文献

- [1] J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu : Nature **410** 63-64 (2001).
- [2] Tien Le, Ha H. Pham, Nguyen The Nghia, Nguyen H. Nam, T. Miyanaga, Duc H. Tran, Won-Nam Kang : Ceramics International **49** 2715–2720 (2023).
- [3] Dzung T. Tran, Tien Le, Yu-Seong Seo, Duc H. Tran, Tuson Park, Soon-Gil Jung, T. Miyanaga, Chorong Kim, Sunmog Yeo, Won Nam Kang , Jungseek Hwang : 未発表.
- [4] B. Ravel, M. Newville : J. Synchrotron Radiat., **12** 537-541 (2005).
- [5] O. Bunau and Y. Joly : J. Phys. : Condens. Matter **21**, 345501 (2009).

*takaf@hirosaki-u.ac.jp