

## 内殻吸収磁気円二色性による強磁性半導体 EuO 単結晶薄膜の電子状態

Magnetic circular dichroism study on ferromagnetic semiconductor EuO

伊藤 孝寛<sup>1,2)</sup> 宮崎 秀俊<sup>3)</sup> H. J. Im<sup>4)</sup> 寺嶋 健成<sup>1)</sup> 竹田 幸治<sup>5)</sup>  
齋藤 裕児<sup>5)</sup> 木村 真一<sup>1,2)</sup>Takahiro ITO Hidetoshi Miyazaki H. J. Im Kensei TERASIMA Yukiharu TAKEDA  
Yuji SAITO Shin-ichi KIMURA<sup>1)</sup>分子科学研究所 UVSOR <sup>2)</sup>総合研究大学院大学 <sup>3)</sup>名古屋大学大学院  
<sup>4)</sup>Sungkyunkwan University <sup>5)</sup>日本原子力開発機構

次世代スピントロニクス材料の有力候補である希土類酸化物強磁性半導体 EuO の磁場下における電子構造を軟 X 線磁気円二色性測定により調べた。その結果、面内方向の磁化を飽和させるためには、5 T の磁場が必要であり、面内方向を飽和させるのに必要な 0.2 T に比べかなり大きいことが明らかになった。この結果は、EuO 単結晶薄膜において飽和磁化に大きな異方性があることを示している。

キーワード：ナノスピントロニクス, EuO, 軟X線磁気二色性円

### 1. 目的

大規模ネットワーク社会の構築が進む現代の生活環境において、情報集積回路の小型化、高速化は必要不可欠である。電荷のみならずスピンをも制御することにより、微小サイズで多量の情報を処理することができるスピントロニクス材料の有力候補として、強磁性半導体EuOが最近注目を集めている[1, 2]。

EuOの磁性状態は、これまで局在しているEu<sup>2+</sup> 4f状態にその起源があると考えられてきた。しかしながら、EuO単結晶薄膜における角度分解光電子分光測定の結果、局在的と考えられてきたEu<sup>2+</sup> 4f状態が強磁性相においてO 2p電子と強く混成してバンドを形成していることが観測された[3]。この結果は、この系における機能性の起源を理解するためには、各構成元素の電荷、スピン両面からアプローチすることが必要不可欠であることを示している。

軟 X 線磁気円二色性(XMCD)測定は、強磁性相転移に伴う電荷、スピンの変化を元素選択的に測定することができる唯一の実験手法である。本研究は、EuO の機能性の起源を明らかにするために、XMCD 測定を用いて磁場下における Eu 4f 状態の電子状態を明らかにすることを目的として行った。

### 2. 方法

XMCD 測定は SPring-8 BL23SU に設置されている XMCD 装置を用いて行った。XMCD 測定には、超高真空分子線エピタキシー(MBE)法によって作成した膜厚 100 nm の EuO 単結晶薄膜を用いた。EuO 単結晶薄膜上には、表面保護層として BaO を 2 nm 蒸着した。測定に用いた EuO 単結晶薄膜は超電導量子干渉計(SQUID)による磁化測定から  $T_C = 71$  K の強磁性体であることを確認した。

### 3. 研究成果

測定温度 10 K、磁場を試料に対して垂直方向に 5 T 印加して、EuO 単結晶薄膜における左右円偏光の Eu  $M_{4,5}$  端(3d→4f)軟 X 線吸収 (XAS)測定を行った。Eu の  $M_5$  端には少なくとも 4 つの構造が観測された。先行研究[4]との比較から、今回測定した EuO 薄膜試料の一部には Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が存在することが示唆された。また、左右円偏光の XAS スペクトルを差し引くことにより、明瞭な磁気円二色性(XMCD)スペクトルを観測した。XMCD スペクトルは、これまでの報告と大変良い一致を示している[5, 6]。XMCD スペクトルのピーク位置は、Eu<sup>2+</sup> のピーク位置と一致しており、EuO 薄膜の磁化は Eu<sup>2+</sup> が担っていることを示唆している。

10 K において Eu  $M_{4,5}$  端の XMCD 強度の磁場依存性を測定したところ、XMCD 強度は、印加磁場 5 T において飽和することが明らかになった。EuO 薄膜は、面内方向に磁場を印加した際には約 0.2 T で飽和することが報告されている[7]。本測定では磁場を試料に対して垂直方向に印加していることから、EuO 薄膜においては、面直方向に磁化を飽和させるためには、面内方向に比べ約 25 倍もの磁場が必要であり、飽和磁化に大きな異方性が存在していることを示唆している。

### 4. 結論・考察

EuO 単結晶薄膜の Eu  $M_{4,5}$  端 XMCD 測定を行った。その結果、強磁性相において明瞭な XMCD スペクトル

を観測し、その磁場依存性から EuO 単結晶薄膜には、面内方向と面直方向の間に大きな磁化の異方性が存在することを見出した。

#### 5. 引用(参照)文献等

- [1] A. Schmehl *et al.*, Nature Mat. **6** (2007) 882.
- [2] E. Negusse *et al.*, J. Appl. Phys. **99** (2006) 08E507.
- [3] H. Miyazaki *et al.*, Physica B **403** (2008) 917.
- [4] H. Lee *et al.*, J. Appl. Phys. **102** (2007) 053903.
- [5] J. Holroyd *et al.*, J. Appl. Phys. **95** (2004) 6571.
- [6] H. Ott *et al.*, Phys. Rev. Rev. B **73** (2006) 094407.
- [7] N. Iwata *et.al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **69** (2000) 230.