

課題番号 : 2016A-E27  
利用課題名 (日本語) : 軟 X 線磁気円二色性を用いた半導体スピントロニクス材料の磁気状態の研究  
Program Title (English) : X-ray magnetic circular dichroism study of the magnetic states of semiconductor spintronics materials  
利用者名(日本語) : 藤森淳<sup>1)</sup>, 若林勇樹<sup>2)</sup>, 坂本祥哉<sup>1)</sup>, 池田啓祐<sup>1)</sup>, 池震棟<sup>1)</sup>  
Username (English) : A. Fujimori<sup>1)</sup>, Y. K. Wakabayashi<sup>2)</sup>, S. Sakamoto<sup>1)</sup>, K. Ikeda<sup>1)</sup>, Z. Chi<sup>1)</sup>  
所属名(日本語) : 1) 東京大学大学院理学系研究科, 2) 東京大学大学院工学系研究科  
Affiliation (English) : 1) Department of Physics, The University of Tokyo, 2) Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo

キーワード :

### 1. 概要 (Summary)

強磁性半導体や強磁性化合物と半導体のエピタキシャル接合は、既存の半導体エレクトロニクスと高度に融合したスピントロニクスの創成の期待から盛んに研究されてきた。最近、高いキュリー温度( $T_C$ )を持つ強磁性半導体(Ga,Fe)Sbが発見され、注目されている。また、Si上にエピタキシャル成長できる、室温以上の $T_C$ を持つスピネル型酸化物 $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ がスピン分極率100%のハーフメタルと理論的に予想されており、新しい半導体スピントロニクス材料として期待されている。本研究では、これらの新しい強磁性半導体材料の複雑な磁性と電子状態を、X線吸収(XAS)、軟X線磁気円二色性(XMCD)を用いて調べた。

### 2. 実験(目的,方法) (Experimental)

XMCDはSPring-8重元素科学ビームライン(BL23SU)の磁気円二色性装置を用いた。(Ga,Fe)Sbの試料構造は[As cap (sub nm)/ $\text{Ga}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Sb}$  (100nm)/AlSb (100nm)/AlAs (10 nm)/GaAs (50 nm)/GaAs (001) substrate]であり、 $x=6\%$ の常磁性試料、 $x=6\%$ の $T_C=50\text{K}$ の試料、 $x=13.7\%$ の $T_C=170\text{K}$ の試料の3試料に対して、5-300Kの複数温度、0-7Tの複数磁場でFeのXAS、XMCDスペクトルの測定を行い、また各温度で-7Tから7Tの範囲でM-H測定を行った。 $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ の試料構造は[ $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  (x nm)/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2 nm)/Si(111)基板 ( $x = 1.5, 2.5, 4.3, 12$  nm)]であり、厚さの異なる4試料に対して、300K及び6Kにおいて、0T、1T、7TでのFe端とCo端のXAS、XMCDスペクトル測定、-7Tから7Tの範囲でのM-H測定を行った。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

(Ga,Fe)Sbは測定した全試料で、5K、7Tにおいて明

瞭なXAS、XMCDスペクトルが観測され、 $T_C$ が高い試料ほどXMCD強度が強いという、合理的な結果が得られた。しかしながら、すべての試料において求められたスピン磁気モーメントは理論の予測する値より小さく、常磁性の試料においても強磁性の試料においても、反強磁性的に相互作用するFeの磁気モーメントが存在することが示唆された。また得られたM-H曲線から、系が低温で強磁性的に振舞っていることが確認された。一方、 $T_C$ より高温でもXMCD強度は磁場に強く応答し、超常磁性として振る舞う成分が存在することがわかった。

$\text{CoFe}_2\text{O}_4$ では、膜厚の厚い12nmの試料に対しては、理想的な逆スピネル構造を反映したスペクトルが得られ、明瞭な強磁性ヒステリシスが観測された。膜厚が4.3nm、2.5nm、1.5nmのサンプルでは逆スピネル構造にアンチサイト欠陥(正スピネル構造)が数多く含まれていることを示唆するスペクトルが得られ、膜厚が薄くなるにつれて、アンチサイト欠陥の量が増えていくことがわかった。また、M-H測定の結果から、膜厚が薄くなるにつれて、強磁性秩序が弱まっていくことが分かった。これらは、スピネルフェライトのデッドレイヤーの電子状態を観測した初めての結果であり、今後の磁気多層構造開発の重要な設計指針を与えるものと期待される。

### 4. その他・特記事項 (Others)

原子力研究機構の竹田幸治氏、斉藤祐児氏、山上浩志氏にご支援いただいた。