課題番号　　　　　　　　　:2017B-E19

利用課題名(日本語) :新規スピントロニクス材料の軟 X 線分光による電子構造解析

Program Title (English)　　:Electronic structure analysis of novel spintronics materials using soft x-ray spectroscopy

利用者名(日本語)　　　　:藤森淳 1), 小林正起 2), 万宇軒 1), 池田啓祐 1), 鈴木雅弘 1)

Username (English)　　　　: A. Fujimori[1)], M. Kobayashi[2)], Y. Wan[1)], K. Ikeda[1)], M. Suzuki[1)]

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(FMS)は、半導体と磁性体を合わせた特性を示すことから、スピントロニクス材料としての応用が期待され盛んに研究が進んできた。実際に典型的な FMS (Ga,Mn)As を用いてスピン自由度を取り入れた新しいデバイスの開発が報告されている。しかしながら、Curie 温度(T_C)が室温より低いことや p 型しかないことが課題であった。近年、高い T_C を持つ FMS が発見され注目を集めている:(In,Fe)Sb 薄膜は n 型の電気伝導特性を示し、T_C は室温を超えている。また、$(Ba,K)(Zn,Mn)_2As_2$ は従来の FMS に比べて高い T_C を持ち、Ba 原子を K 原子で置換することで正孔が、Zn 原子を Mn 原子で置換することで磁気モーメントが導入され、キャリア誘起強磁性を発現すると考えらえている。$(Ba,K)(Zn,Mn)_2As_2$ では K 原子と Mn 原子のドープ量を調整することで、磁性と電気特性を独立に制御することが可能である。本研究では、これら新規 FMS の強磁性発現機構の解明と物質開発の指針を得ることを目的に磁気円二色性(XMCD)および光電子分光(PES)実験を行った。

2. 実験(目的,方法)(Experimental)

測定には SPring-8 重元素科学ビームライン(BL23SU)の XMCD 装置および PES 装置を用いた。測定した試料は、$As(1nm)/In_{1-x}Fe_xSb(15nm)$ (x=0.08) 薄膜および単結晶 $Ba_{1-y}K_y(Zn_{1-x}Mn_x)_2As_2$ (y=0.096, x=0.195)である。それぞれ、5 K で磁場を-7 T~7 T まで変化させて XMCD スペクトルを観測し、また、5 K~300 K 間の複数温度で印加磁場 -7 T~7 T の範囲で XMCD を用いたヒステリシス測定を行った。また、$In_{1-x}Fe_xSb$ において、20 K で Fe L_3 端における共鳴光電子分光(RPES)測定を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

(In,Fe)Sb 薄膜において、低温で測定された磁場依存 XMCD スペクトルは、強磁性と常磁性成分が存在することを示した。強磁性成分のスペクトルは金属的で n 型 FMS (In,Fe)As の XMCD スペクトルとよく似た形状を示した。磁場依存測定では、低磁場において強磁性的な振る舞いが観測された。一方で、XMCD 強度は 7 T までの高磁場で飽和することなく、磁場の増加に対して線形に増加し、その傾きは温度の増加に伴い減少した。温度数点で観測した磁化曲線は、Langevin 関数の引数である $x \propto H/T$ に対するプロットで同一曲線にはのらず、複数の磁性成分が存在していることを示唆した。Fe L_3 端での RPES 測定では、価電子上端と Fermi 準位の間に Fe 3d 不純物バンドが存在しており、不純物バンドが Fermi 準位にかかっていないことが分かった。この結果は、n 型 FMS (In,Fe)Sb の強磁性発現機構として伝導帯バンドモデルが適していることを示唆する。

$(Ba,K)(Zn,Mn)_2As_2$ における Mn $L_{2,3}$ XMCD スペクトル形状はほぼ磁場および温度変化を示さず、Mn イオンは同じ化学状態にあることが分かった。磁場依存測定では、T_C より高い温度においても低磁場での急な立ち上がり、つまり超常磁性的な振る舞いが観測された。また、T_C 以下の低温において、飽和磁場以上の高磁場側で線形な増加が観測された。これらの結果は、たとえ Mn イオンの化学状態が同じでも、超常磁性および強磁性成分が存在していることを示唆する。

4. その他・特記事項(Others)

原子力研究機構の竹田幸治氏、藤森伸一氏、にご支援いただいた。