課題番号　:2018A-E24

利用課題名（日本語）　:放射光分光を用いた新規スピントロニクス鉄系強磁性薄膜材料の電子構造解析

Program Title (English)　:Electronic structure analysis for novel spintronics Fe-based ferromagnetic thin films using synchrotron radiation spectroscopy

利用者名（日本語）　:小林正起 [1)], 武田崇仁 [1)], 鈴木雅弘 [2)], 野中洋亮 [2)], 藤森淳 [2)]

Username (English)　:M. Kobayashi[1)], T. Takeda[1)], M. Suzuki[2)], Y. Nonaka[2)], A. Fujimori[2)]

所属名（日本語）　:1）東京大学大学院工学系研究科, 2）東京大学大学院理学系研究科

Affiliation (English)　:1) Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo, 2) Department of Physics, 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し、現存する半導体技術との親和性の高さから、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いる。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が課題であった。近年、高い T_C を持つ鉄系 FMS が発見され注目を集めている:(Ga,Fe)Sb 薄膜は p 型の電気伝導特性を示し、Fe 濃度が 20%を超えると T_C は室温以上になる。本研究では、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 PES 装置を用いた。測定した試料は、非晶質 As(~1 nm) または非晶質 Sb(~100 nm)でキャップした $Ga_{1-x}Fe_xSb$(15 nm) (x = 0, 0.05)薄膜である。非晶質 As/$Ga_{1-x}Fe_xSb$ 薄膜は、表面処理を行わずに PES 測定を行った。非晶質 Sb/$Ga_{1-x}Fe_xSb$ 薄膜は超高真空中でのアニールにより Sb キャップ層を取り除いて表面を清浄化した後に角度分解光電子分光（ARPES）測定を行った。両試料における PES 測定は 20 K で行われた。X 線吸収分光（XAS）スペクトルは全電子収量法により測定された。

3. 結果と考察（Results and Discussion）

FMS の強磁性発現機構を明らかにするためには、Fermi 準位近傍の電子構造がどの状態から由来するかを知ることが重要である。As/(Ge,Fe)Sb 薄膜における、Fe L_3 端での共鳴光電子分光（RPES）測定では、価電子帯上端近傍に共鳴増大した Fe 3d 部分状態密度を観測した。特に共鳴条件で観測された Fe 3d 部分状態密度では Fermi カットオフが存在しており、この結果は Fe 3d 由来の不純物バンドが Fermi 準位を切っている事を示した。Fe $L_{2,3}$ XAS スペクトルは多重項構造の無い、Fe 金属のようなスペクトル形状を示した。これらの結果は、Fe 3d 軌道と Sb 5p 配位子バンドとの混成が強く、(Ga,Fe)Sb 薄膜において、Fe 3d 電子が遍歴性の高い状態にある事を示唆する。

(Ga,Fe)Sb における母体 GaSb の価電子帯バンド分散が Fermi 準位を切っているかは、ARPES を用いて Γ 点のバンド分散を観測することで評価できる。そこで、作製した非晶質 Sb/GaSb 薄膜を真空中でアニールする事により Sb キャップ層を飛ばして清浄表面を得て、ARPES 測定を試みた。キャップ層を取り除いた GaSb 薄膜では、$h\nu$ = 900 eV において明確なバンド分散を観測することに成功した。このバンド分散は $h\nu$を変える事で変化しており、GaSb の三次元的なバンド分散を反映していると考えられる。今回は時間の関係で(Ga,Fe)Sb 薄膜の ARPES 測定には至れなかったので、今後、清浄表面化した(Ga,Fe)Sb 薄膜における ARPES 測定を行い、GaSb のバンド分散が Fermi 準位を切っているかどうかを調べ、(Ga,Fe)Sb の強磁性発現機構を明らかにする。

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。