

平成 22 年 4 月 15 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048012

研究課題名（和文）軟 X 線磁気円二色性および軟 X 線散乱による高スピン偏極材料の
キャラクタリゼーション研究課題名（英文）Characterization of high spin polarization materials using soft x-ray
magnetic circular dichroism and soft x-ray scattering

研究代表者

藤森 淳 (FUJIMORI ATSUSHI)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：10209108

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電子工学

キーワード：磁性半導体，超構造，軟 X 線磁気円二色性，軟 X 線共鳴散乱，光電子分光

1. 研究計画の概要

放射光軟 X 線を用いた磁気円二色性 (XMCD) 測定により，元素ごとの磁性，強磁性・常磁性・反強磁性成分に關与する原子の価数・結晶場を明らかにする．また，軟 X 線共鳴散乱の測定により，特定の元素・価数・結晶場・磁性をもつ遷移金属原子の空間分布，伝導電子の空間分布を逆格子空間で調べる．XMCD 測定は高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory (KEK-PF) と SPring-8 で行う．軟 X 線共鳴散乱の装置開発と測定は PF で行う．研究対象は次の通りである：

- (1) 化学組成・キャリアー数を制御した磁性半導体，高温強磁性が報告されている半導体の XMCD によるキャラクタリゼーション．
- (2) 界面・超構造の磁性の，XMCD を用いたキャラクタリゼーション．
- (3) ホイスラー合金を中心とした金属系高スピン偏極材料の元素選択的 XMCD ．
- (4) 軟 X 共鳴散乱を用いた半導体・合金系高スピン偏極材料中の不均一な元素・価数・磁化・キャリアー分布の研究，界面・超構造における元素・価数・磁化・キャリアー分布の研究．

2. 研究の進捗状況

- (1) 典型的な磁性半導体 $Ga_{1-x}Mn_xAs$,高温磁性半導体 $Ti_{1-x}Co_xO_2$, $Zn_{1-x}Cr_xTe$ の XMCD 測定により，磁性の化学組成・キャリアー数依存性を明らかにした．
- (2) 薄膜およびナノ粒子化した ZnO ベース希薄磁性半導体を XMCD を用いて調べ，ナノ粒子における金属欠陥の効果を見出した．
- (3) ホイスラー合金 Co_2MnSi , Co_2MnGe と MgO の磁気トンネル結合界面の元素選択的

XMCD を行ない，重要な結果を得ている．

- (4) 軟 X 共鳴散乱の装置立ち上げがほぼ完了し，半導体・合金系高スピン偏極材料中の不均一な元素・価数・磁化・キャリアー分布，界面・超構造における元素・価数・磁化・キャリアー分布の研究を間もなく開始する．
- (5) SPring-8 において，連続円偏光スイッチングによる XMCD 計測システムの整備をおこなった．

3. 現在までの達成度

ほぼ当初の計画通り進展している。

(理由)

既存の XMCD 装置を用いた研究，SPring-8 における XMCD 計測システムの整備が予想以上に進展したが，軟 X 共鳴散乱の装置の立ち上げに予想以上に時間がかかり，軟 X 共鳴散乱の実験開始が遅れている．

4. 今後の研究の推進方策

- (1) $Ga_{1-x}Mn_xAs$ については高濃度試料の則手も行なう． $Ti_{1-x}Co_xO_2$ に関しては，ルチル型の研究がほぼ完了したので，今後はアナターゼ型に集中する．II-VI 系では，少量の Cr ドープにより強磁性の発現する $Cd_{1-x}Mn_xTe$ の研究を開始する．
- (2) ZnO ベースの希薄磁性半導体について，ナノ粒子と薄膜の違いを明らかにする．ナノ粒子に関しては，ZnS ベース希薄磁性半導体に対象を広げる．
- (3) ホイスラー合金 Co_2MnSi , Co_2MnGe と MgO の磁気トンネル結合界面の XMCD 測定を，組成依存，温度依存まで含めて継続する．
- (4) 軟 X 共鳴散乱の装置立ち上げを完了させ，半導体・合金系高スピン偏極材料中の不均一

な元素・価数・磁化・キャリアー分布, 界面・超構造における元素・価数・磁化・キャリアー分布の研究を行なう.

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文](計4件)

T. Kataoka, M. Kobayashi, Y. Sakamoto, G.S. Song, A. Fujimori, F.-H. Chang, H.-J. Lin, D. J. Huang, C. T. Chen, T. Ohkochi, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Tanaka, S. K. Mandal, T. K. Nath, D. Karmakar, and I. Dasgupta: Electronic Structure and Magnetism of the Diluted Magnetic Semiconductor Fe-Doped ZnO Nano-Particles, *J. Appl. Phys.* 107, 033718--1-7 (2010) 査読有

M. Kobayashi, Y. Ishida, J. I. Hwang, Y. Osafune, A. Fujimori, Y. Takeda, T. Okane, Y. Saitoh, K. Kobayashi, H. Saeki, T. Kawai, and H. Tabata: Antiferromagnetic Interaction between Paramagnetic Co Ions in the Diluted Magnetic Semiconductor $Zn_{1-x}Co_xO$, *Phys. Rev. B* 81, 075204--1-7 (2010) 査読有

Y. Takeda, M. Kobayashi, T. Okane, T. Ohkochi, J. Okamoto, Y. Saitoh, K. Kobayashi, H. Yamagami, A. Fujimori, A. Tanaka, J. Okabayashi, M. Oshima, S. Ohya, P.N. Hai and M. Tanaka: Nature of Magnetic Coupling between Mn Ions in As-Grown $Ga_{1-x}Mn_xAs$ Studied by X-Ray Magnetic Circular Dichroism, *Phys. Rev. Lett.* 100, 247202--1-4 (2008) 査読有

J.I. Hwang, M. Kobayashi, G.S. Song, A. Fujimori, A. Tanaka, Z.S. Yang, H.-J. Lin, D.J. Huang, C.T. Chen, H.C. Jeon and T.W. Kang: X-Ray Magnetic Circular Dichroism Characterization of GaN/ $Ga_{1-x}Mn_xN$ Digital Ferromagnetic Heterostructure, *Appl. Phys. Lett.* 91 072507--1-3 (2007) 査読有

[学会発表](計3件)

藤森 淳：放射光分光を用いたスピン源材料の磁性と電子状態の評価金属学会 2010年度春期大会（筑波大学，2010年3月28日）

A. Fujimori, Spectroscopic characterization of diluted ferromagnetic oxides and semiconductors, in “Magnetism, Superconductivity and Phase

Transitions in Novel and Complex Materials” (Kolkata, November 11-14, 2009)

A. Fujimori, XMCD characterization of complex ferromagnetism in magnetic semiconductors and heterostructures, in “Polish-Japanese Joint Seminar “Ferromagnetism and Magnetic Nanostructures in Semiconductors” (Warsaw, Sept. 27-28, 2007)

[図書](計1件)

藤森淳：放射光を用いたスピントロニクス材料の電子状態評価，高梨弘毅監修：スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線（シーエムシー出版，2009年）第25章，p. 297

[産業財産権] 出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
なし