

文部科学省科学技術試験研究委託事業

「軟X線の高速偏光制御による機能性材料の探究と創製」

(強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索)

平成21年度成果報告書

国立大学法人東京大学

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学が実施した平成21年度「軟X線の高速度偏光制御による機能性材料の探究と創製」（強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索）の成果を取りまとめたものです。

平成21年度成果報告書

委託業務題目：「軟X線の高速偏光制御による機能性材料の探究と創製」

(強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索)

実施機関：国立大学法人東京大学

1. 委託業務の目的

本委託業務は、タンデム配置の可変偏光アンジュレータとキッカー電磁石を組み合わせることで、10 Hz 程度の軟X線の高速偏光スイッチング技術を開発し、ロックイン法による円二色性・線二色性シグナル検出精度の飛躍的な向上、および波長分散型の偏光依存軟X線吸収分光法と光電子顕微鏡を組み合わせたリアルタイム位置分解分光を実現することを目的とする。さらに、新たな指針に基づく新規材料の創成を目指して、スピニエレクトロニクスの基礎研究から実用までをカバーする強相関電子系、希薄磁性半導体、磁性薄膜・多層膜の磁性を解明するとともに、表面動的過程における種々のサイトでの化学種の量と構造を実時間追跡することを目的とする。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、独立行政法人産業技術総合研究所、および学校法人慶応義塾で共同して業務を行う。

国立大学法人東京大学では、スピニエレクトロニクス材料のうち、強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索を行う。

2. 平成21年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

①強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索

H20年度に運転が開始された新しい円偏光放射光ビームラインにおいて、新規スピニエレクトロニクス材料の創製につながる磁性のキャラクタリゼーションを行うとともに、本委託業務で開発中の極微小二色性シグナル検出技術の有効な利用方法を追求する。

(1) 高磁場下における軟X線吸収の磁気円二色性(MCD)を、すでに稼働中の超伝導磁石装置を用いて、5Tまでの磁場によって磁化困難軸にも確実に磁氣的に飽和させた状態で測定し、元素選択的にスピニと軌道の磁気モーメントを決定する。

(2) 新しく開発された軟X線共鳴散乱装置を用いて、遷移金属の2p-3d及び希土類の3d-4f吸収のMCDを利用し元素および軌道選択的にナノメートル・オーダーの構造と磁性を同時に決定する実験を開始する。

2.2 実施内容(成果)

①強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索

既存の円偏光放射光ビームラインにおいて、すでに稼働中の超伝導磁石装置を用いて、スピントロニクス材料の軟 X 線吸収磁気円二色性(XMCD)によるキャラクターゼーション手法の開発を進めた。5T 付近の高磁場によって磁化を飽和させた状態に加えて、低磁場から高磁場まで磁場を変化させて常磁性状態に関する情報も得られることを示した。

既存の円偏光放射光で XMCD 信号を検出可能な、磁化の大きな合金系スピントロニクス材料である $\text{Co}_2\text{MnGe}/\text{MgO}$ 磁気トンネル結合系、特性のより優れた磁気トンネル結合系 $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ の系統的な測定を行なった。とくに、 Co_2MnGe 、 Co_2MnSi の化学量論比からのずれと磁気モーメントの大きさの関係について詳しく調べた。次に、磁化の小さい強磁性体である、マンガンと窒素を同時ドーピングした酸化亜鉛 $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{O}$ 薄膜の本格的な実験を行った、この系では、窒素ドーピングが強磁性発現に必要であると言われているが、実際に窒素ドーピング量増加に従って XMCD 強度が増加することを見出した。図 1 に、窒素ドーピングをしていない常磁性試料の結果を示す。XMCD 強度が低磁場領域では磁場に比例して増加し、高磁場でも飽和しないことがわかる。これらのデータから、常磁性状態を正確に測定できることを示すデータであり、今後は本委託業務で開発中の円偏光高速スイッチングを用いてデータの質を格段に向上させていく。

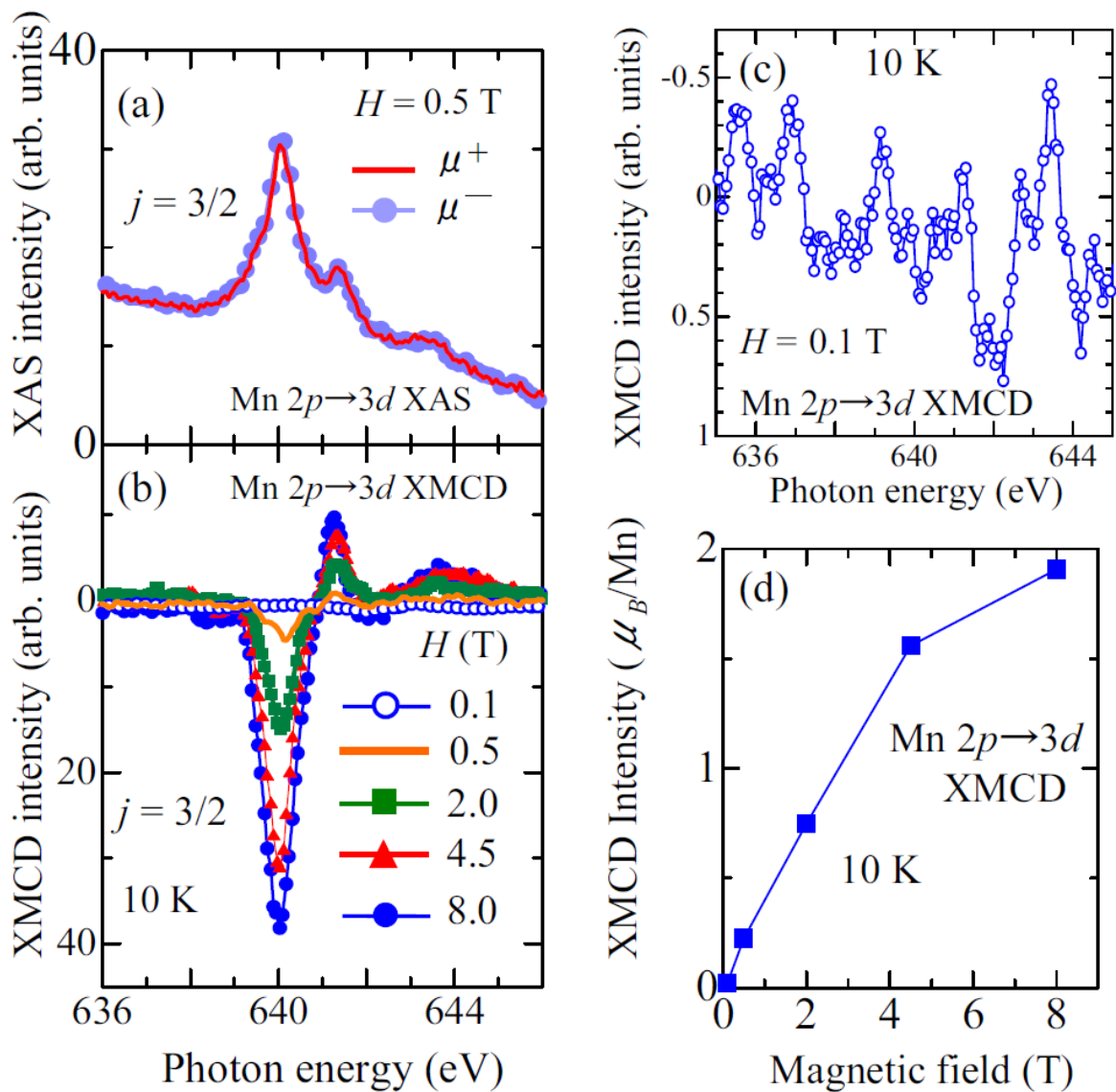


図1 Nを同時ドーピングしない常磁性 $Zn_{1-x}Mn_xO$ 薄膜の内殻軟X線吸収とXMCD。(a): 軟X線吸収スペクトル, (b): 様々な磁場におけるXMCD, (c): 低磁場~0.1 TにおけるXMCD, 有為なXMCD信号は見えていない。(d): XMCD強度の磁場変化. 典型的な常磁性的振る舞いを示している.

2.3 成果の外部への発表

1. 片岡隆史, 坂本勇太, 小林正起, V. R. Singh, 山崎陽, 藤森淳, F.-H. Chang, H.-J. Lin, D. J. Huang, C. T. Chen, 朝倉大輔, 小出常晴, M. Kapilashrami, L. Belova, K. V. Rao: 軟X線磁気円二色性による希薄磁性半導体 $ZnO:(Mn, N)$ の電子状態研究, 日本物理学会秋の分科会 (熊本大学, 2009年9月).
2. 片岡隆史, 坂本勇太, V. R. Singh, 山崎陽, 小林正起, 藤森淳, 朝倉大輔, 小出常晴, F.-H. Chang, H.-J. Lin, D. J. Huang, C. T. Chen, 田中新, M. Kapilashrami, L. Belova, K. V. Rao: 軟X線磁気円二色性による希薄磁性半導体 $ZnO:(Mn, N)$ の電子状態研究, 物構

研シンポジウム'09（つくば国際会議場，2009年10月）．

3．片岡隆史，坂本勇太，V.R. Singh，山崎陽，小林正起，藤森淳，朝倉大輔，小出常晴，F.-H. Chang，H.-J. Lin，D.J. Huang，C.T. Chen，田中新，M. Kapilashrami，L. Belova，and K.V. Rao：軟X線磁気円二色性による希薄磁性半導体 ZnO:Mn,N の電子状態研究，第27回PFシンポジウム（つくば国際会議場エポカル，2010年3月）．

2.4 活動（運営委員会等の活動等）

特になし．

2.5 実施体制

別表1の通り．

別表1 平成21年度に於ける実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 強相関電子系および希薄磁性半導体の解析と探索	東京大学大学院理学系研究科	◎藤森 淳