

平成27年3月31日

プログラム名：無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現

PM名：佐橋政司

プロジェクト名：電圧トルクMRAMプロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成26年度

研究開発課題名：

磁性体界面における電圧効果の放射光X線磁気分光による研究

研究開発機関名：

公益財団法人 高輝度光科学研究センター

研究開発責任者：

鈴木 基寛

当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究開発では、平成 26 年度に以下の目標を達成する。

放射光を用いた X 線磁気円二色性(XMCD)分光による電圧磁気効果の観測において、微弱な XMCD スペクトルの変化を検出するために信号検出感度の向上を図る。

(1) 大面積・多素子蛍光 X 線検出器の仕様決定と調達

蛍光 X 線信号の検出効率を既存装置の 10 倍以上に向上することを性能目標とし、仕様に反映させる。

(2) 電圧印加状態での XMCD その場観測のための実験環境整備

FePt 膜試料に対する XMCD 測定から、電圧を印加しない状態での Pt の軌道磁気モーメントを評価すること、および電圧印加状態の XMCD 測定に関して予備的なデータを得ることを目標とする。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

(1) 大面積・多素子蛍光 X 線検出器の仕様決定と調達

蛍光 X 線信号の検出効率を既存装置の 10 倍以上に向上するという性能目標の達成には、カスタムメイドの多素子シリコンドリフト (SDD) 検出器の採用が不可欠と判断した。技術動向調査およびメーカー技術者との打ち合わせを経て、機種選定および仕様決定を行った。検出効率の最適化および SPring-8 ビームライン既設の XMCD 装置との取り合いを考慮し、4 個の大面積 SDD 素子を円筒面上に配置した設計を選択した。検出器本体とともに測定精度向上の鍵を握るパルス信号処理回路には、パルス分離デジタル処理機能を搭載した最新機種を選定した。以上より、現時点で技術的に達成可能な最高レベルの検出効率と高計数率を実現できる仕様が確定した。ただし、新製品であるパルス信号処理回路の仕様確定に時間を要したため、平成 26 年度には調達には至らなかった。やむを得ず平成 27 年度に予算繰越を行い、次年度に速やかに入札および調達を行う計画である。

(2) 電圧印加状態での XMCD その場観測のための実験環境整備

鈴木義茂 教授 (電圧トルク MRAM プロジェクト プロジェクトリーダー) グループらとの共同研究として、FePt 膜試料に対する XMCD 測定を実施した。試料に電圧を印加する前段階での XMCD スペクトルを取得し、磁気光学総和則による解析によって Pt の軌道磁気モーメントおよび有効スピン磁気モーメントを決定した。得られたモーメントの誤差評価から、現有装置での磁気モーメント測定の精度を評価した。さらに、試料に直流電圧を印加した状態での XMCD のその場観察を行い、Pt XMCD スペクトルの電圧変化に関する新しいデータを取得することに成功した。以上のように、当初の目標達成に加え、その発展的な研究である電圧効果の観測についても計画より早い進捗を得ている。

2-2 成果

(1) 大面積・多素子蛍光 X 線検出器の仕様決定と調達

本年度に仕様決定した、大面積・多素子蛍光 X 線検出器の仕様性能を表 1 に示す。比較のため SPring-8 BL39XU ビームラインの現有装置である蛍光 X 線検出器のデータも併せて示す。本大面積・多

素子蛍光 X 線検出器は平成 27 年度に調達し、測定装置として導入される計画である。最大計数率 12 Mcps、検出立体角 0.20 ステラジアンを想定しており、これらの性能はビームライン現有検出器のそれぞれ 10 倍以上である。本検出器の整備によって XMCD 測定精度の飛躍的な向上が期待され、電圧効果によるスペクトル変化を高い精度で検出することが可能となる。

表 1 大面積・多素子蛍光 X 線検出器の性能仕様

	素子数	総素子面積 (mm ²)	検出立体角 (Sr)	最大計数率 (kcps)	エネルギー 分解能 (eV)	パルス信号処理回路
大面積・多素子 蛍光 X 線検出器	4	240	0.20	12,000	135 (Mn K 線に対して)	デジタルパルス分離方式
既存の蛍光 X 線 検出器	4	40	0.02	1,100	133 (Mn K 線に対して)	アナログ方式

(2) 電圧印加状態での XMCD その場観測のための実験環境整備

本研究では阪大の鈴木教授のグループおよび産総研の野崎グループの協力により分子線エビタキシー法を用いて FePt 原子制御膜を用意し、外部電圧を印加しながら放射光 XMCD 分光による評価を行った。実験で用いた FePt は Fe と Pt の単原子層を交互に積層した L1₀ 構造を有する。FePt は大きな垂直磁気異方性及び電圧誘起磁気異方性変化を示すことで知られる。強磁性体金属における電圧誘起磁気異方性変化は薄い膜ほど大きく現れること、また FePt と電圧を印加する絶縁層との界面が Pt 層であるもの(Pt 終端 FePt と定義)は Fe 終端 FePt よりも大きな電圧効果を示すこと、以上 2 点から本研究では Pt 終端であり、Fe と Pt それぞれ 2 原子層ずつから構成される超薄膜の L1₀-FePt を用意した。この膜に電圧を印加しつつ、Pt のエネルギー吸収端における XMCD 分光を行った。

その結果、図 4a に示すように良好な XMCD スペクトルを取得することができた。磁気光学総和則による解析から、Pt 5d 電子の軌道磁気モーメントおよび有効スピン磁気モーメントの値を決定し、磁気モーメントの測定精度を ±0.02 μ_B と評価した。さらに、試料に電圧を印加した条件での測定から、電圧の極性によって X 線吸収 (XAS) および XMCD スペクトルが測定精度内で有意に変化することを見出した。図 4b は -200V 印加時の XAS から +200V 印加時の XAS を引いたものである。図 4a の挿絵が示す XAS 拡大図及び図 4b から電圧印加により XAS が変化することがわかる。図 4c は XMCD ス

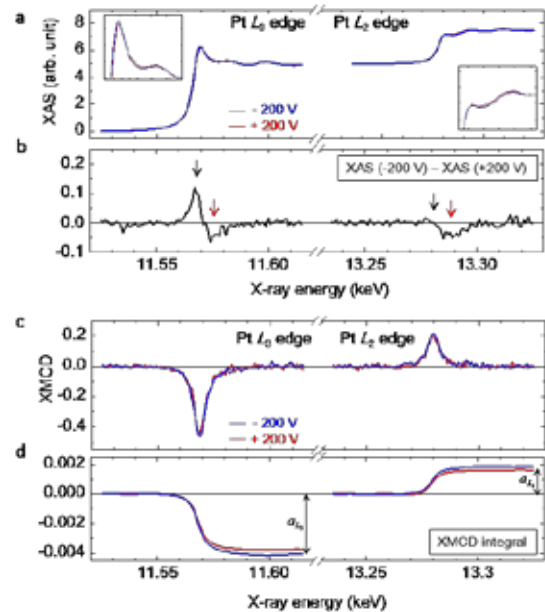


図 4 FePt 超薄膜の X 線吸収(XAS)および X 線磁気円二色性(XMCD)分光の測定結果。

ペクトル、図 4a は図 4c で得た XMCD の積分である。L₃ 端 L₂ 端ともに、負電圧により XMCD スペクトルのピーク強度が増大することがわかる。

このように電圧を印加すると XAS 及び XMCD が変化することがわかった。今後はこの物理機構を解明する必要がある。

3 . アウトリーチ活動報告

平成 26 年度に、研究開発として行ったアウトリーチ活動はない。