サブナノ秒時間分解 XMCD の開発と磁性体の磁化ダイナミクスの研究

Development of a sub-nsec time-resolved XMCD method and magnetization dynamics study of nanomagnets

小野寛太、谷内敏之[1]、尾嶋正治[1]、高垣昌史[2]、河村直巳[2]、鈴木基寛[2]、秋永広幸[3]
Kanta Ono, Toshiyuki Taniuchi[1], Masaharu Oshima[1], Masafumi Takagaki[2], Naomi Kawamura[2], Motohiro Suzuki[2], Hiroyuki Akinaga[3]

高エネルギー加速器研究機構、[1]東京大学大学院工学系研究科、[2]高輝度光科学研究センター、[3]産業技術総合研究所
High Energy Accelerator Research Organization (KEK), [1] University of Tokyo, [2] JASRI, [3] AIST

サブナノ秒の時間分解能で、元素選択的に磁化ダイナミクスを明らかにすることを目的として、放射光パルスと磁場パルスを同期させてX線磁気円二色性測定を試みた。

We have developed a sub-nsec time-resolved XMCD technique to clarify an element-specific magnetization dynamics. The XMCD measurements were performed at BL39XU where the magnetic field pulse (pump) and the synchrotron radiation pulse (probe) were synchronized.

磁性体に外部磁場を与えると磁化はトルクを受ける。磁場を切ったときの磁化の振る舞いは、歳差運動とダンピングにより記述できることが、ランダウ・リフシッツ・ギルバートによって提唱され、彼ら３人の頭文字をとった LLG 方程式はマイクロ磁気学における基本方程式となっている。しかしながら、歳差運動とダンピングを直接観察した例はほとんど無いのが現状であり、これまでは強磁性共鳴(FMR)シグナルからそれらの物理量を求めていた。

本研究の目的は、サブナノ秒の時間分解能で、元素選択的に磁化ダイナミクスを明らかにすることである。これまで FMR などの周波数ドメインで行われてきた研究を、磁場パルスと放射光パルスとの同期を行うことにより時間ドメインで実験を行うことに特色がある。本研究の利点としては、元素選択的にダイナミクスを観察できること、ダンピングファクターを正確に見積もることが出来ることがあげられる。特に、磁気多層膜などでは各磁性層のダイナミクスを個別に観察することはこれまで不可能であったが、本研究により可能になる。

実験方法の詳細を以下に述べる。実験は磁場パルスと放射光パルス（セベラルバンチ運転・A モード）を完全に同期させ、磁場パルスの立ち下がりと放射光パルスとの間の時間差をディレイ回路により変化させ、各時間差での XMCD シグナルを測定することにより、時間分解 XMCD 測定を行う。実験の模式図を図 1 に示す。

磁場パルスの発は試料の下に作製したマイクロストリップラインに短パルス電流を流すことにより発生させる。試料はナノリソグラフィーで作製し、マイクロストリップライン上に磁性体試料を作製する。試料の作製は文部科学省ナノテク総合支援プロジェクトにより産業技術総合研究所で行った。試料の写真を図 2 に示す。

マイクロストリップラインへは RF のマスターオッシレータ信号(508MHz)を 12 分周（42.4MHz）し、そのシグナルをディレイ回路により遅延させ、パルスジェネレータにより短パルス電流を流す。マイクロストリップラインを含むすべての回路のインピーダンスは 50Ω に設計してあり、オシロスコープにより終端化している。またパルス波形はオシロスコープで常時確認する。磁場パルス幅、立ち下がり、ジッタなどはオシロスコープで測定する。

XMCD 測定は磁性体の吸収端で行う。XMCD シグナルが一番大きくなる波長にエネルギーを固定し、そのエネルギーでの XMCD シグナルの大きさを、遅延時間に対してプロットする。時間分解能を制限する要因としては、磁場パルス幅、放射光パルス幅、ジッタなどがある。今回の実験により、ジッタが 36psec、磁場パルス幅 2nsec、磁場立ち下がり 900psec であることが分かった。放射光パルス幅は文献によれば 40psec である。このことから時間分解能を決める要因としては、磁場立ち下がりが一番大きいと考えられる。マイクロストリップラインの直前ではパルス立ち下がりは 200psec であるため、インピーダンス整合を完全にとることにより、立ち下

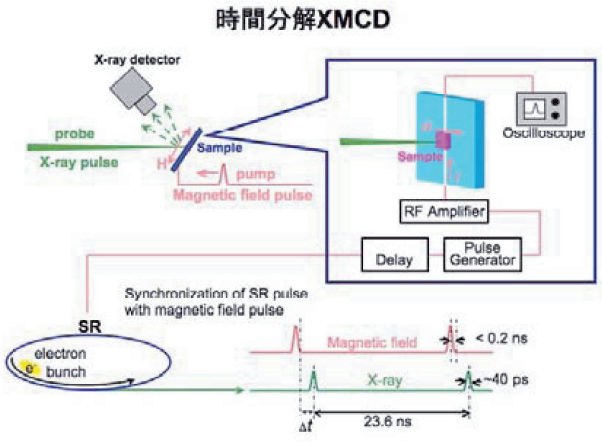

Fig.1　実験の模式図

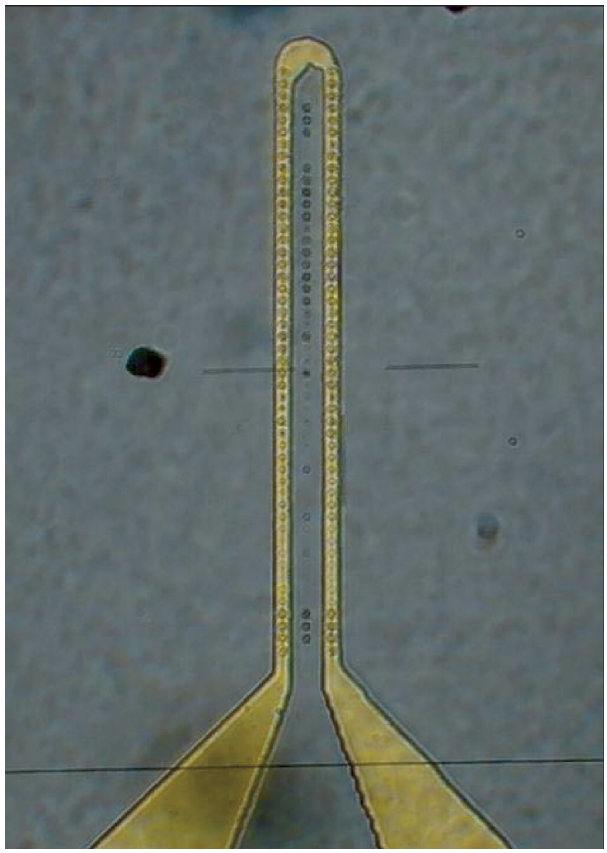

Fig.2　試料の写真

がりを数 100ps にすることが出来ると考えられる。

今回の実験では、A モードで 203 バンチに完全同期させた磁場パルス（パルス幅 2nsec、立ち下がり 900psec）を発生させることが出来た。さらに、100psec 単位の任意の遅延時間でディレイをかけられることも確認した。試料は電子線リソグラフィおよびリフトオフ法により作製した。試料は、幅 15μm のマイクロストリップライン上に作製した 5μm の微小磁性体である。試料の像を KB ミラーを用いたマイクロビームにより観察することが出来た。これらの結果により、サブナノ秒の時間分解能、約 1μm の空間分解能で、XMCD を観察することが出来る時間分解 XMCD 顕微鏡の開発はほぼ完成したと考えられる。

しかしながら、今回の実験では予備実験として行ったレーザー同期実験で試料がダメージを受けていたこと、また実験時間をセットアップを含め 9 シフトしか確保しなかったことなどの要因により、実際の時間分解測定のデータを得ることが出来なかった。実験のセットアップについてはほぼ完成したため、今後の実験で、ナノ磁性体についてサブナノ秒の時間分解能で実際に磁化の歳差運動、ダンピングのダイナミクスを明らかにしたい。