

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

小野寛太、谷内敏之、尾嶋正治、鈴木基寛、河村直己、高垣昌史、秋永広幸
Kanta Ono, Toshiyuki Taniuchi, Masaharu Oshima, Motohiro Suzuki, Naomi Kawamura,
Masafumi Takagaki, Hiro Akinaga

高エネルギー加速器研究機構、東京大学大学院工学系研究科、JASRI/SPring-8、産総研
High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Univ. of Tokyo, JASRI/SPring-8, AIST

ナノ磁性体の磁化ダイナミクスを研究するため、サブナノ秒時間分解 XMCD 手法の開発を行った。

We have developed a sub-nsec time-resolved XMCD technique for a study of magnetization dynamics in nanoscale magnets.

はじめに

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。利点として、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

時間分解 XMCD の概念および実験のレイアウトについて図 1 に示す。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

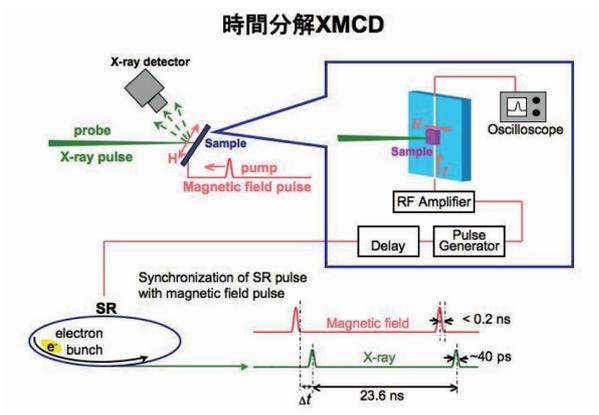


図1 時間分解 XMCD の概念図

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。磁場パルスの発生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した。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。U型のマイクロストリップラインを作製し、ライン上（面内磁場）およびライン間（面直磁場）に試料が配列した。

マイクロストリップラインへは RF のマスターオシレータ (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した。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 に設計しており、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した。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した。

実験結果

XMCD 測定は磁性体の吸収端で行った。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。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。また、放射光パルス幅は文献により 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、今後はインピーダンス整合を完全にとることにより、立ち下がりを数 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。また、幅 $15 \mu\text{m}$ のマイクロストリップライン上に作製した $5 \mu\text{m}$ の試料の像を 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 $1 \mu\text{m}$ 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、試料の問題により、実際の時間分解測定 of 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、今後は、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。