

論文内容の要旨

博士論文題目 アバランシェ・フォトダイオード検出器を用いた
共鳴磁気散乱測定法の開発と薄膜磁性研究への応用

氏名 早崎有一

(論文内容の要旨)

Co/Cu 多層膜などの磁性/非磁性人工格子は数 Å から数十 Å の非磁性層を通して隣接する磁性層が磁気相互作用をしている。この現象を理解するためには非磁性層に誘起された磁気モーメントの深さ分布を知ることが重要である。これを可能にする方法として元素選択的な測定法である共鳴硬 X 線磁気散乱が挙げられる。しかし、Cu 層からの磁気散乱強度は電荷散乱強度の 10^{-3} - 10^{-4} 程度の大きさと予想され、 10^{-2} 程度を検出限界とするこれまでの測定法では検出することができない。そこで、共鳴磁気散乱測定の高効率化と高精度化を実現するために、従来使われていた NaI 検出器に代えて、不感時間の短いアバランシェ・フォトダイオード (APD) 検出器を用いた磁気散乱測定法を開発した。

Co/Cu 多層膜の Co 層磁化による磁気回折ピークを測定対象として、フィルタの厚さを変えて APD 検出器に入射する X 線強度を調整し、検出器の数え落としが磁気散乱プロファイルに与える影響を評価した。つぎに、放射光のバンチ構造を考慮して数え落としの影響を補正した。最後に、+印加磁場と-印加磁場の条件で測定した磁気散乱プロファイルの差を取ることで、本質的でない強度の偏りを取り除いた。このような処理により、検出器に入射する X 線強度による影響を受けない磁気散乱プロファイルが得られることを示した。新しく開発した方法の検出感度を評価するために Cu 層に誘起された磁化による磁気回折ピークの測定を試みて、その検出に成功した。つまり、当研究で開発した方法を用いると 10^{-4} 程度の磁気散乱強度を検出することが可能である。NaI 検出器を用いた従来の測定法では、数え落としの影響による偽の強度が磁気散乱強度に及ぼす悪影響を避けるために、計数率を 10^4 cps 以下に抑える必要があったが、APD 検出器を用いる測定法では、計数率の制限を 5×10^6 cps 程度まで緩めることが確認できた。これにより、従来よりもはるかに短い時間で、統計誤差の少な

い磁気散乱を測定することが可能になった。

磁気散乱強度がどの程度定量的に測定できているかを評価するために、磁化分布が既知である Fe/Au 多層膜の Fe 層磁化による磁気回折を測定した。得られた強度は、類似試料の X 線磁気円二色性スペクトルから予想される磁気回折強度と良い一致を示した。これは、開発した磁気散乱測定法が定量的に解析可能なデータを与えることを示している。

開発した磁気散乱測定法を利用して、二つの磁性元素を含む Co/Cu/Gd/Cu 多層膜の Co 層、Gd 層の磁性の温度変化を調べた。共鳴磁気散乱法は X 線エネルギーを調整することにより、元素ごとに磁性を調べることができる。測定に用いた試料では 20 K-300 K の温度範囲で、Co 層磁化は印加磁場に平行で、大きさは温度変化せず、Co 層は一様に磁化されていることがわかった。これに対して Gd 層磁化は印加磁場に反平行で、低温ほど磁化が増大することがわかった。Gd 層内の磁化分布を十分な精度で決めることはできなかったが、一様に磁化されているわけではないことは明瞭になった。

本研究で開発した共鳴磁気散乱測定法は検出限界を二桁向上させた。さらに、高計数率測定が可能であるため、測定時間も飛躍的に短くなった。これにより、Cu 層に誘起された磁化の深さ分布を決めるなど、薄膜・多層膜の磁性研究にとって重要な研究が遂行できるようになった。

氏名	早崎有一
----	------

(論文審査結果の要旨)

円偏光硬 X 線を用いた共鳴磁気散乱は磁性薄膜・多層膜の磁気モーメントの空間分布を元素選択的に調べることができる実験法である。しかし、電荷散乱に対する共鳴磁気散乱の強度は希土類金属で 10^{-2} 程度、3d 遷移金属では 10^{-3} 程度の大きさしかないため、これまでは、共鳴磁気散乱法の利用は磁気散乱強度が比較的強い希土類元素に限られていた。磁性にとって重要な 3d 遷移金属の測定ができないのは、通常、X 線検出に用いられる NaI シンチレーション検出器の性能上の問題が大きい。本研究では、磁気散乱測定の高効率化と高精度化を図るために、不感時間の短いアバランシェ・フォトダイオード (APD) 検出器を用いている。Co/Cu 多層膜の Co 層からの磁気回折を対象として、APD 検出器に入射する X 線強度を変化させて、磁気回折プロファイルの変化を測定している。次に、放射光源のバンチ構造を考慮して検出器の数え落としの影響を補正している。最後に、磁場反転で得られる二つの磁気反射プロファイルの差を取ることにより、検出器の計数率に影響されない磁気散乱プロファイルが得られることを示した。従来法では NaI 検出器の数え落としによる計数率の制限が 1×10^4 cps 程度であったが、APD 検出器を用いた測定法では計数率の制限が 5×10^6 cps 程度まで緩和された。これにより、短時間で統計誤差の小さな共鳴磁気散乱を測定できるようになり、 10^{-4} 程度の大きさの磁気散乱も測定が可能となった。これは、Co/Cu 多層膜などが示す間接交換結合を理解する上で重要な Cu 層内の磁化分布の測定が可能になったことを意味する。さらに本研究では、共鳴磁気散乱が持つ元素選択性を活用した例として、二つの磁性元素を含む Co/Cu/Gd/Cu 多層膜の Co 層、Gd 層の磁性の温度変化を議論している。

本研究は、共鳴磁気散乱測定に APD 検出器を導入することにより磁気散乱の検出限界を二桁向上したうえ、測定時間の大幅な短縮も実現するなど画期的な成果をあげている。これにより、Cu 層に誘起された微小な磁化の空間分布の測定も実現が可能になるなど、今後の磁性薄膜・多層膜の研究の発展に大きな寄与をすると考えられる。したがって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値のあるものと認められる。