

## 新博士紹介

1. 氏名 齊藤勝彦 (東北大学多元物質科学研究所)
2. 提出論文大学 東北大学
3. 学位の種類 博士 (工学)
4. 取得年月日 2003年9月10日
5. 題目 軟X線磁気旋光分光法の確立と磁性多層膜研究への応用
6. 要旨

軟X線領域における共鳴磁気光学効果測定は磁性多層膜や磁性体化合物など複数元素から成る磁性体において、これまで得ることの出来なかった特定元素の磁化に関する情報を引き出すことができる新しい磁性体研究手段である。現在、円偏光放射光を利用した磁気円二色性 (MCD) 測定が行われている。しかし MCD 測定では、直接測定値に影響する円偏光度の値が曖昧に扱われている、ヘリシティあるいは試料の磁化方向を切り替える二通りの光学測定が同一条件下で行えているか、一般に用いられる全電子収量 (TEY) 法が吸収端をまたぐ領域で正しい吸収スペクトルを与えているかなどの問題がある。一方、偏光解析法を用いた磁気旋光測定、すなわち透過型のファラデー回転測定と反射型の磁気カー回転測定は、光の偏光状態を明確にして行うものであり、直線偏光を利用し試料の磁化方向を固定した一通りの条件下で測定できる利点がある。したがってより正確な情報が取得できる方法として期待される。また TEY-MCD 法に比べて、ファラデー回転測定はもちろん磁気カー回転測定においても探査深度が一桁大きく、表面の酸化や汚染の影響に強く左右されずにバルク情報を取得できることが期待できるため、磁性多層膜測定においてより有利であると考えられる。しかし、軟X線磁気旋光分光の研究例は非常に少ない。これは、不可欠である軟X線領域の多層膜偏光子の開発を合わせ行わなければならないことが最大の原因と考えられる。現在、軟X線磁気旋光分光は多層膜偏光子の設計法を含めてまだ確立された段階にはなく未発展状況にある。そこで本研究では、多層膜偏光子の設計指針等を含め軟X線磁気旋光分光法を磁性体研究手段として確立すること、および磁性多層膜の研究に実際に応用して有用性を示すことを目的とした。なお、本研究における軟X線多層膜偏光子の評価および磁気カー回転測定は UVSOR 施設 BL5B で、ファラデー回転測定は同施設 BL8B1 で行った。

まず多層膜偏光子設計の原点に戻り、これまで不明確であった多層膜偏光子の設計指針を明らかにした。すなわち、高い直線偏光能を得るために屈折率の異なる二物質を選択する必要があるが、その際より消衰係数の小さい物質対を選択することが第一義的に重要であることを明確にした。この設計指針に基づき、50~90 eV 領域で利用可能な複数の Al/YB<sub>6</sub> および Mo/Si 多層膜偏光子をマグネトロ

ンスパッタ法で作製した。積層構造は等周期構造である。小角X線回折測定より、良好な等周期構造を示す多層膜が作製されていることを確認した。性能評価測定の結果、Al/YB<sub>6</sub> 多層膜偏光子において偏光能および反射率が最も得難い52 eV 領域用のものに対して、直線偏光能0.99およびs偏光反射率38%という良好な性能が得られることを確認した。

軟X線磁気旋光分光測定装置として、これまで用いていた透過型の軟X線ファラデー回転測定装置を反射型に発展させ、入射角可変型の軟X線磁気カー回転測定装置を新たに作製した。概略図を Fig. 1 に示す。本装置は、入射強度モニター、透過型フィルター、磁気回路、サンプルホルダー、回転検光子ユニット、ゴニオメーターから成り、入射角60~90°での縦カー回転測定と10~30°での極カー回転測定およびファラデー回転測定が可能である。回転検光子ユニットには多層膜偏光子を検光子として搭載する。光源には放射光を利用する。回転検光子法を用いた本磁気旋光測定では、サンプルへの入射直線偏光とサンプルからの透過 (反射) 楕円偏光の状態を検光子の方位角依存反射強度として測定し、フィッティング解析により導出した偏光楕円長軸方位角の差より旋光角を決定する。本装置により軟X線ファラデー回転測定に加え、これまでに測定例のない軟X線領域での磁気カー回転スペクトル測定およびその入射角依存測定を実施できる装置環境を整えた。

予備実験として両装置を用い、3d 遷移金属単層膜を試料とした縦カー回転測定とファラデー回転測定の比較検証実験を  $M_{2,3}$  吸収端領域において行い、両磁気旋光測定は矛盾がなく正しく測定が行われていることを確認した。また、これまでに報告されている TEY-MCD 測定結果との比較から、軟X線磁気旋光分光法は、表面の影響を受けやすい反射型測定でも TEY-MCD 法に比べ表面酸化・汚染等の影響を受け難くより信頼性の高いバルクの情報を与えることを示した。

以上により確立した軟X線磁気旋光分光法を磁性多層膜研究へ応用した。選択した系は Co/Pt 多層膜である。

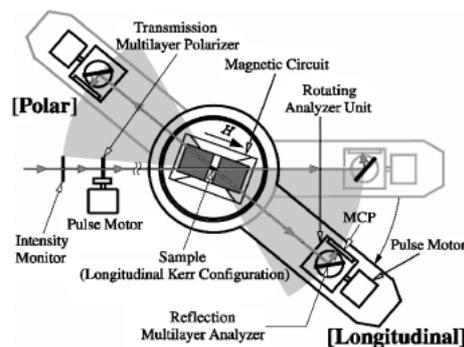


Fig. 1 Magnetic rotation apparatus.

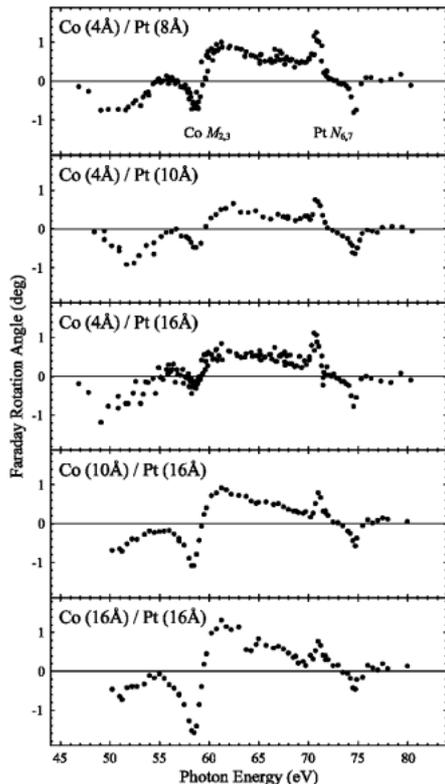


Fig. 2 Faraday rotation spectra of Co/Pt multilayers.

これまでに45~85 eV領域での反射MCD法を用いたCoおよびPt磁化に関する研究が報告されている。しかし、この反射MCD測定から導出された誘電率テンソル非対角項実部の値は、Coの $M_{2,3}$ 吸収端近傍においてCoのバルク値に対し異常に大きいものであり、その解析法を含め大きな疑問があった。本研究ではまずシミュレーション計算によりこの問題点を明確化した。すなわち、これまでの磁性多層膜の反射MCD測定において用いられてきた多層膜を均質バルクと見なす解析手法が不適切であり、またその際の測定配置である直入射配置だけでは誘電率を導出できず、磁化の情報を得るには入射角依存測定が不可欠であることを明らかにした。一方、透過法であるファラデー回転測定ではファラデー配置のみで多層膜の磁化について正しい情報が得られることをシミュレーションより示した。

Co/Pt多層膜の軟X線ファラデー回転分光測定は、Siウエハーに作製した薄膜部(厚さ $<1\mu\text{m}$ )を基板として作製したCo層あるいはPt層厚の異なる5つの試料について行った。Fig. 2に50~80 eV領域におけるファラデー回転角スペクトルを示す。さらにファラデー回転角スペクトルをクラマース・クローニヒ解析によりMCDに変換した。その結果より、これまでの反射MCD測定から導出された異常に大きいCoの誘電率テンソル非対角項実部に対し正しい値を提示した。また、ファラデー回転角の層厚依存性よりCo層ならびにPt層における磁気モーメントの分布を評価し、Co磁化は層厚に依存せず層内でおおよそ

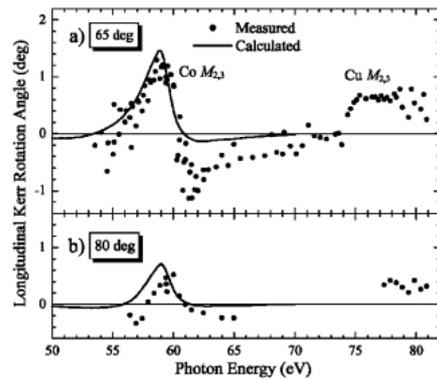


Fig. 3 Longitudinal Kerr rotation spectra of Co(20 Å)/Cu(18 Å) multilayer for s-polarized incident light around Co and Cu  $M_{2,3}$  edges, at angles of incidence of a) 65° and b) 80°.

一様に分布していること、Pt磁化は界面に近いほど大きな値を持つことを結論した。また、Co/Pt多層膜とCoPt<sub>3</sub>合金間でPtサイトにおける電子状態が類似していることを示唆した。さらにMCD総和則の適用を試み、Co/Pt多層膜のCo 3d軌道磁気モーメントとして平均で約0.17  $\mu_B$ の値を得た。

先の透過法の場合、基板物質は薄膜化可能なものに制限され、同時に試料合計厚さも制限を受ける。透過型試料の作製が困難である場合には、TEY法が用いられるが、吸収が大きい場合には正しいTEY強度と吸収係数が必ずしも比例しない。そこで反射法を用いることが不可欠となる。ここでは、反射型の軟X線磁気旋光分光法の磁性多層膜測定への応用例として、Co/Cu磁性多層膜の軟X線磁気縦カー一回転測定をCoおよびCu  $M_{2,3}$ 吸収端を含む領域で異なる二つの入射角で行った。Fig. 3に磁気カー一回転角スペクトルを示す。得られた磁気カー一回転角スペクトルのCo  $M_{2,3}$ 吸収端近傍領域について多層構造を考慮したモデル計算を行い、その結果が妥当であることを確認した。このことにより、いくつかの入射角を選びモデル計算を行うことによって、実験的に誘電率を求めることができることを示した。また、微量であることが知られるCu 3dバンドの磁気分極をCu  $M_{2,3}$ 吸収端近傍での明らかな回転角として検出し、十分感度良く測定出来ることを示した。

以上により、磁性多層膜研究に対する軟X線磁気旋光分光測定の有用性を実証した。

今後測定精度の向上を計ると、磁気モーメントの異方性検出や磁性多層膜におけるスペーサー層の弱い磁気モーメントの測定が可能になるものと期待される。また、回転角の試料温度や印加磁場に対する依存性などを測定すれば、得られる情報は非常に広がると考えられる。軟X線磁気旋光分光法は、直線偏光のみが得られる多くの放射光ビームラインで容易に行える点からも有用性が高く、磁気分光の活発化に大きく寄与できる測定法である。