

氏名 森 浩 一

学位（専攻分野） 博士（学術）

学位記番号 総研大甲第10号

学位授与の日付 平成4年 3月16日

学位授与の要件 数物科学研究科 放射光科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 Polarization Analysis of X-Ray Resonant Exchange
Scattering and X-Ray Magnetic Kerr Effect

論文審査委員 主査 教授 宮原恒昱

教授 岩崎 博

教授 松下 正

教授 安藤正海

助教授 中島哲夫

助教授 並河一道（東京学芸大学）

論文内容の要旨

本研究は、直線偏光放射光 X 線を用い、希土類強磁性体 Gd の L_2 , L_3 吸収端におけるブラッグ反射強度の磁場の向きに依存した、回折ビームの偏光面の主軸の回転角を測定する装置の設計製作とそれを用いた測定例から成っている。この現象は、共鳴散乱の中間状態、つまり電子非占有準位において、その状態密度がスピンの向きにより異なる場合のみ観測される。ゆえに X 線共鳴交換散乱ともいふべき現象は、スピン分解型の電子非占有準位の研究する新しい実験手段を提供することを意味している。

強磁性を試料とした場合、これを飽和磁化状態にまで達せ得るには強い磁場が必要となるため、磁場を繰り返し反転する非対称度の測定法には限界がある。また、磁気余効や磁歪により、試料における磁場の反転が対称であるか不明確である。そこで、繰り返し反転する磁場を必要としない方法として、試料で回折された X 線の偏光状態を解析することにより X 線共鳴交換散乱を測定する新しい実験方法を考案した。この場合、入射 X 線は実験系において電場ベクトルの σ 成分と π 成分を持つ必要があるため、偏光面が入射面から 45° 傾いた直線偏光 X 線を用いる。回折 X 線は、試料に磁場を加えない場合（電気散乱）、試料での Bragg 角に応じた傾きの直線偏光になる。試料に磁場を加えると、磁気散乱の寄与が加わる。磁氣的相互作用は、電氣的相互作用に比べ位相が $\pi/2$ ずれているので、円偏光成分が発生し回折 X 線の偏光状態は楕円偏光となり、その主軸は、電気散乱における偏光面から傾いたものとなる。

楕円偏光の発生とその主軸の回転現象は、磁気円二色性と磁気旋光性による者である。試料を透過した X 線においては、X 線磁気ファラデー効果として現れ、既に測定されている。試料で回折した X 線においては、“X 線磁気カー効果”として現れる。

回折 X 線の主軸の傾きを測定することにより、X 線共鳴交換散乱の寄与を測定する偏光解析測定装置を作製し、X 線磁気カー回転の測定に成功した。偏光解析の原理としては偏向電磁石からの軌道面内で直線偏光している放射光 X 線は Bragg 角が 45° に近い反射を利用したポーライザーにより、偏光面が軌道面から 45° 傾いた直線偏光 X 線に変えることができることを用いて

45° 直線偏光 X 線をまず作り出した。この X 線を試料からの回折 X 線を、ポラライザーと同様の原理でアナライザーにおいて回折 X 線の偏光解析を行う。アナライザー結晶の Bragg 角が 45° に近ければ結晶表面における回折 X 線の σ 成分の測定が可能である。アナライザー結晶の方位角に対する σ 成分の強度変化を測定することにより、回折 X 線の偏光状態（偏光面、主軸の傾き）を測定できる。実験装置、偏光回折のシステムとしては、ポラライザー、電磁石搭載回折計アナライザーの 3 つの部分からなる。

測定は楕円型の Gd (001) 単結晶を用いて吸収端下側 -1.5 eV で 1 点、吸収端上側 +0.5 eV、+3.0 eV の 2 点で測定した。測定は L_2 吸収端付近で 3 点の測定を行い、偏光状態を解析するためにアナライザー結晶の幾つかの連続した方位角において 5° 間隔で積分反射強度を測定した。試料温度 $T = 140$ K、磁場 $H = +3.0, -3$ kG を入射面に垂直方向に加え、004 回折 X 線の偏光解析をおこなった。

入射 X 線の偏光状態を解析し、測定値を最小 2 乗法によりフィティングした結果、偏光面の傾きとして 44.8° ($\pm 0.2^\circ$) を得た。強度変化プロファイルの最大値と最小値の比は、約 10^{-3} で、計算値とほぼ一致している。またこのプロファイルは、理論式と良い一致を示した。ポラライザーは、正しく機能しており、45° 直線偏光 X 線の発生が確認された。

回折 X 線の主軸の回転角は、磁場上向きの値と下向きの値の差として求めた。回転角は、スピン状態密度の差 ($\Delta\rho$) をエネルギーで微分した値に比例する。強度変化プロファイルは、理論式と良い一致を示した。測定した回転角は、+0.5 eV においては、1.5° ($\pm 0.3^\circ$) であり測定の精度から有意な値である。計算値とも良く合っている。+3.0 eV においては、計算値より小さい。 $\Delta\rho$ のエネルギー微分値が小さいと仮定することで測定値を解釈できる。-1.5 eV では、電気 2 重極遷移だけ考慮した計算値とは合わない。このエネルギーでは、電気 4 重極遷移の寄与が予測される。その大きさを電気 2 重極遷移の約 30% と仮定すると測定値を解釈できる。

論文の審査結果の要旨

森浩一君は 45° 直線偏光入射X線を用いたX線共鳴交換散乱における偏光解析システムを作製し、X線カー回転の測定に成功した。提案された測定法では、繰り返し反転する磁場を用いないので、飽和磁化の大きな試料の測定に適する。測定中磁場を一回だけ反転するだけでよいので、その場は十分時間をかけて測定すれば良い。X線共鳴交換散乱における偏光解析法は、スピン分解型の電子非占有準位の研究する新しい磁性研究手段となることは間違いなく、従来にない新しい磁性の研究手段を提示した点において博士論文として十分な内容をもっていると結論した。

さらに、森浩一君の学位論文の内容及びそれにかかわる専門的分野の学識について、また基礎的知識を有するかどうかについて口述により試験を行った。例えば放射光のもっている偏光性と結晶のもっている偏光子、検光子としての能力を組合わせて 45° 直線偏光を作製する方法、試料結晶である磁性体からの偏光面の回転角が、磁性体のもっている非占有準位のスピンの関する状況密度の差のエネルギー微分値に対応する理論的裏付けといった質問、偏向電磁石からの放射光の非偏光成分についての質問等についても十分な考察を行っていることと判断できた。さらに今後の研究の展開についてもより精度をあげる測定法への展望等、本手法を広く磁性体への研究手段として考えている事を示した。

以上博士論文を中心として広く確実な基礎的学識を有していると判断した。