

イオン - 磁性体衝突における二次電子のスピンの測定

量子物質工学科

中村（信）研究室

田中昭平

1. 初めに

多価イオンとは、原子から電子を複数取り去ったもので、一般に取り去られた電子の数が多いほど多価イオンとしての性質が顕著になる。多価イオンが固体表面に入射すると、イオン 1 個当たり 100 個にもおよぶ莫大な二次電子を放出することが知られている。もしその莫大な二次電子のspin状態が固体表面での磁化を反映したものであれば、高偏極電子源や微小磁区観察への応用も期待される。そこで我々の研究室では多価イオンを磁化表面に照射した際に放出される二次電子のspin偏極度測定を計画している。本実験では、spin偏極度測定のための Mott 型spin分析器を立ち上げ、その動作を確認した。

2. 原理

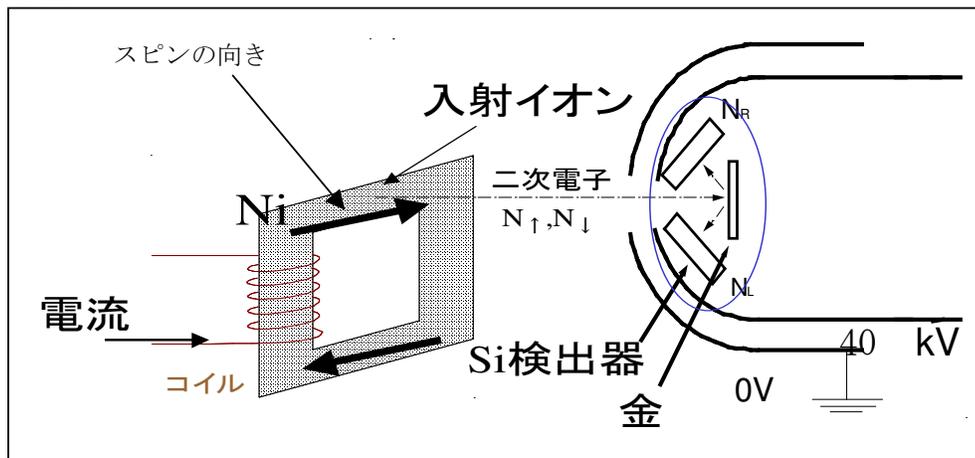


図1 スピン分析実験概略図

図1に Mott 型spin分析器の概略図を示す。入射イオンを図のように磁化させた Ni に照射する。この時発生する二次電子のうち、スピンの向きが上向きと下向きの電子数をそれぞれ N_{\uparrow} 、 N_{\downarrow} とすると、偏極度 P は以下の式で定義される。

$$P = (N_{\uparrow} - N_{\downarrow}) / (N_{\uparrow} + N_{\downarrow})$$

しかし、 N_{\uparrow} 、 N_{\downarrow} を直接測定することは現在の技術では不可能であり、Mott 型分析器では以下の原理で偏極度を測定する。まず二次電子を十分なエネルギーまで加速した後に、金の薄膜に入射する。この時、散乱する電子の散乱断面積の角度分布は、spin軌道相互作用によって僅かに非対称になる。2つの Si 検出器でカウントされる電子数を N_L 、

N_R とし、非対称度 A を次式で定義する。

$$A = (N_L - N_R) / (N_L + N_R)$$

このとき、スピン偏極度 P は、

$$P = A / S_{\text{eff}}$$

によって求められる。ここで、 S_{eff} は実効シャーマン関数と呼ばれ、入射電子のエネルギーや薄膜原子の種類、装置形状などにより異なる値をとる。

3. 問題点の改善

Mott 型スピン分析器は昨年度我々の研究室において製作されたが、電子の信号の波高が低くノイズと完全に分離できないという問題があった。その主な原因としては、入射電子の加速電圧を十分上げられなかった（設計が 40 kV であったのに対して、実際は放電により 20kV 程度しか上げられなかった）ことと、非弾性散乱が多かったことが考えられた。前者に関しては、絶縁部の洗浄や高温に浮く機器の絶縁性を強化することで、38kV まで上げられるようになった。後者に関しては、以下の 3 つの点を改善した。

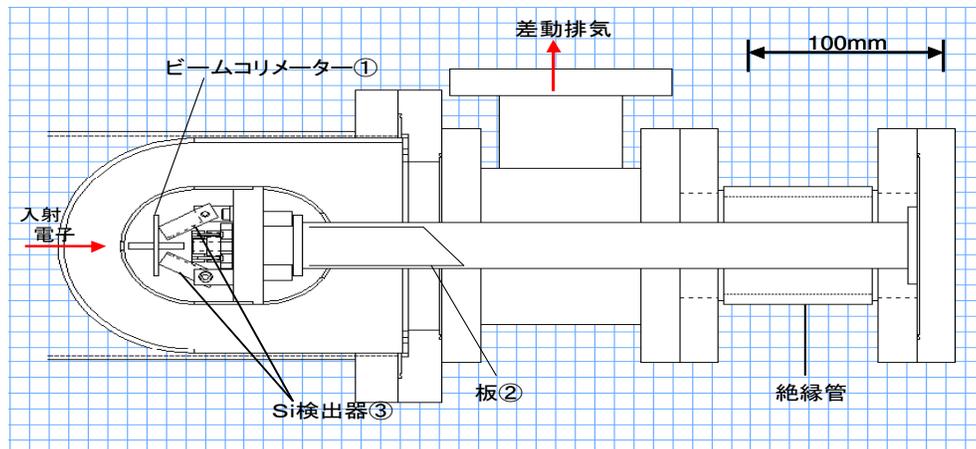


図2 Mott 型スピン分析器

- ①入射電子が金薄膜の支持基盤などに当たることを避けるため、ビームコリメーターの出口に直径 1mm の小孔をつけた。
- ②散乱した電子が金の薄膜を透過後、散乱して Si 検出器に入るのを防ぐため、黒鉛を塗布した板を設置し、散乱を極力防いだ。
- ③Si 検出器の正面以外から電子が入るのを防ぐため、Si 検出器の背面などを遮蔽した。

4. 実験結果と考察

Ar^+ イオン入射による二次電子の観測を行った。高圧部 38kV、コイルに流す電流 2A として、左の検出器で得られた信号の波高分布を図 3 に示す。

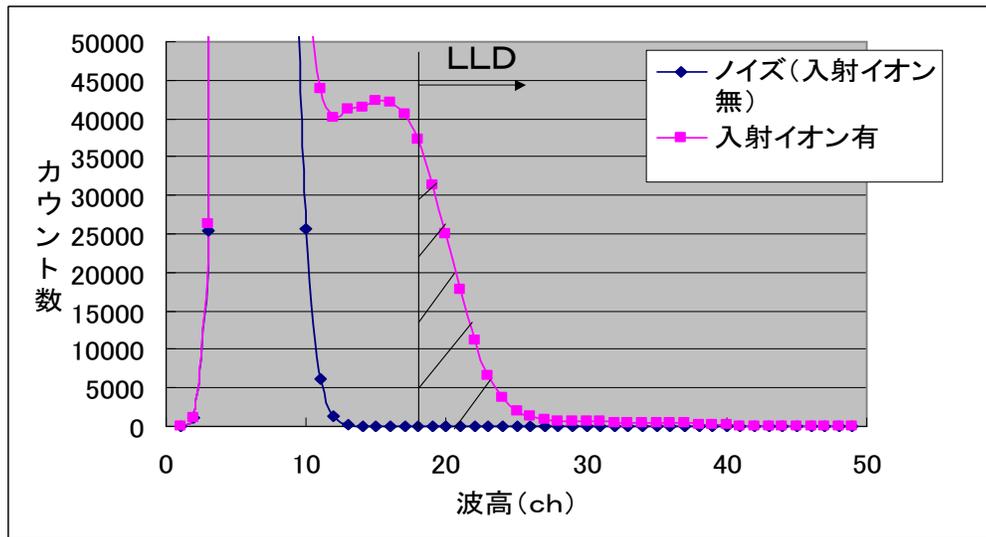


図3 18chの波高分布

青はイオンを入射していない時（ノイズのみ）の波高分布であり、赤は Ar^+ イオンを入射した時の波高分布である。2つのグラフを比較してノイズの影響がほとんど無い18chに積算の下限（lower level discriminator:LLD）を定め、全電子数 N_L を計算した。同様に右の検出器から N_R を計算して、非対称度 A を求めた。

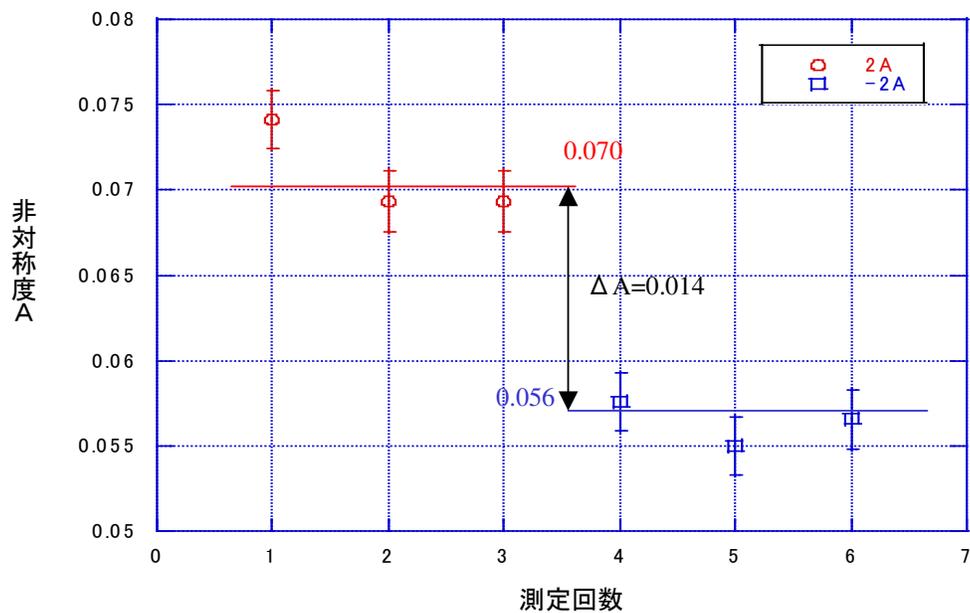


図4 非対称度とNiの磁化との関係

図 4 に示すように、磁化コイルに流す電流を逆向きにすると非対称度の値が変わり、その差 ΔA は 0.014 となった。これは二次電子の磁化の向きが反転したことにより、非対称度が変化したものと考えられる。つまり、スピン分析器として動作していることがこれにより確認できたと言うことができる。

次にこの ΔA の値について考察する。まず、Ni を磁化させた場合、d バンドの偏極度が 5.5% であることから、二次電子の偏極度 P は 5% 程度であると考えられる。このことから Ni の磁化を反転させると $P=+0.05$ から $P=-0.05$ に変化するため、 $\Delta P=0.1$ であると考えられる。実効シャーマン関数 S_{eff} は理論的な見積もりから $S_{\text{eff}}=0.3$ 程度と考えられるため、 ΔA の値は、

$$\Delta A = \Delta P \times S_{\text{eff}} = 0.1 \times 0.3 = 0.03$$

となることが予想される。実験から得られた ΔA はこれよりも小さい値となったが、この原因としては、Ni の清浄化が十分でなく偏極度 P が減少していることや、非弾性散乱の寄与によりシャーマン関数が減少していること等が考えられる。

5. 今後の課題

様々な条件で再現性の試験を行った後、Ni の清浄化と Mott 型スピン分析器の較正（実効シャーマン関数の測定）を行う。その後、多価イオンを使った実験に進む予定である。

