

簡易磁場変調器の試作と その強磁性金属ナノ粒子の非線形磁気光学測定への応用

(東京工芸大工) 小泉 清匡, 佐藤 貴章, ○實方 真臣

【序】 最近、強磁性金属ナノ粒子は量子スピン状態の制御とその読出しによって量子コンピュータへの適用が可能であるとの指摘から、量子情報ドットの候補のひとつとして注目されている。また別に、強磁性金属層 (Fe, Co, Ni 等) を非磁性金属層 (Cu 等) でサンドイッチしたような人工超格子 (スピンバルブ膜) や非磁性金属媒質中の強磁性金属微結晶粒において観測される巨大磁気抵抗 (GMR) 効果も、強磁性金属を用いた新しい磁気光学素子の実現において期待されている。本研究では、量子情報ドットやスピンバルブ・コア構造となりうる強磁性金属ナノ粒子の磁気光学特性を得ること目的として簡易磁気吸収分光計を試作した。発表では、その非線形磁気吸収スペクトルについて報告する。

【実験】 図1に今回試作した磁場変調器および磁場変調分光ユニットの概観を示す。以下で、この分光ユニットの概要と測定方法について説明する。

1) 磁場変調器 Nd-Fe-B系ネオジウム永久磁石 ($\Phi 8 \times 6 \text{mm} / 4700 \text{G}$, NeoMag) を埋め込んだディスクを高速で回転することで DC 磁場変調を行う。磁気ディスクの回転には、高速回転に適し、かつ回転数によらず一定の回転トルクを得られる DC ブラシレスモーター (BXM230A-A2, オリエンタルモーター) を使用した。また、ディスク回転数および変調周波数の計測は、回転軸上にカムディスクを取り付け、光インタラプターからの光チョッパー信号を測定することで行った。実際の磁気ディスクの回転数は、最高でおよそ 3000rpm を得ることができる。このとき、磁気ディスク 1 枚あたり 4 ピースの永久磁石を埋め込んでいるため、この磁場変調の最高到達振動数は約 200Hz となる。また、この磁場変調器の磁場 (磁束密度) の可変制御は、この 2 枚の磁気ディスクのギャップをつくるテフロンリングの厚みを調節することで行った。ギャップ間の磁束密度の計測には、ガウスメーター (5180 型、東陽テクニカ) を使用した (詳細は以下で述べる)。

2) 磁場変調分光 磁場変調器およびその磁場変調分光ユニットは、市販の近赤外紫外可視分光光度計 (V-670 型、日本分光) の測定試料室に格納できるように自作した。

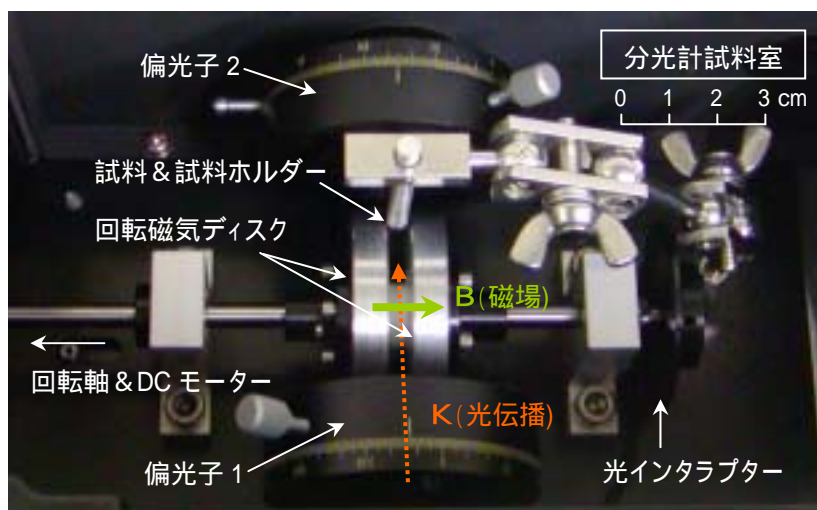


図1 回転式磁場変調ユニットの概観

磁場光学スペクトルをもたらす磁気光学効果には、光の伝播ベクトルと磁場方向が平行となるファラデー効果と垂直となるコットン・ムートン効果 (磁気複屈折効果) があり、本研究ではフォークト配置をとるため (図1)、後者に基づく磁気分光測定となる。これはまた、磁気モーメント M の偶数次となる非線形光学効果のひとつでもあるので、クロスニコル法 (試料の前後に置かれた 2 枚の偏光子の透過軸を垂直配置とする) を通じて、複屈折を主とする光学応答によって生じる光学遅延量の二次に比例する光強度を、磁場変調に同期して得られる二次成分のロックイン信号として検出することで、この磁気吸収スペクトルの測定は可能となる。

3) 試料 強磁性金属ナノ粒子には Co 金属ナノコロイド (新光化学工業所) を用いた。トルエンに分散された粒径分布 2-5nm の Co ナノ粒子溶液をポリメタクリル酸メチル樹脂 (PMMA) に溶かして 0.4wt% の Co ナノ粒子/PMMA 分散膜 (厚さ 1mm 以下) を作成し、これを分光測定用試料とした。

【結果と考察】 1) 磁場変調器の磁場計測 ガウスメータの磁界プローブを磁石間ギャップの中間位置に固定し、ギャップ間隔を変化させたときの磁束密度 B の変化を測定した (図2の●印) に示した。ギャップ間隔を 2 から 10mm の間で変化させることで、それに対応して磁石間の磁束密度を約 7500 から 1500G の間で変化させることが可能であることが分かった。今回のように磁束密度 B_0 の永久磁石 2 個を空隙を設けて直列に配置した場合、磁石間にできる有効磁場の大きさ B_{eff} は、空隙や磁石側面から磁束の減少を表す漏れ係数 σ を用いると、 $B_{\text{eff}} = \sigma B$ (ただし、永久磁石の合成磁場より、 $B = 2B_0$) と表される。この漏れ係数 σ は、空隙寸法や磁石形状に依存した空隙パーミアンス (磁気抵抗の逆数) P_g と漏れパーミアンス P_l によって、 $\sigma = 1 + P_l/P_g$ と与えられる[1]。これらを用いて対向する 2 枚の回転磁気ディスクに埋め込まれた永久磁石間の磁束密度を試算した結果は、測定値の傾向をよく再現している (図2の点線)。しかし、この単純な計算では、永久磁石を真空中に置くこと仮定しているため、永久磁石のホルダーでありかつまた回転ディスクの部材となるアルミニウム等のパーミアンスへの影響は考慮されていないため、測定値と誤差を生じているものと考えられる。

2) 光吸収測定 図3に Co ナノ粒子/PMMA 分散膜の光吸収スペクトルを示す。単分散状態の Co ナノ粒子の光吸収に関する報告は非常に少ないが、最近チオール保護された Co ナノ粒子において、2.5eV 付近に表面プラズモンと帰属された光吸収帯の存在が報告された[2]。しかし、図3にはそれに相当する吸収帯はみられない。一方で、Co の体積プラズモンは 9.74eV と報告されていることから[3]、その表面プラズモンの吸収帯は 5-6eV の領域にあると予想される。このことから、図3の高エネルギー側への立ち上がりは表面プラズモンによる吸収帯のすそのを捉えているとの解釈も可能である。また、図3において 2eV 付近にみられるスペクトルの構造 (矢印) は、磁気光学カー効果を利用した Co ナノ粒子分散グラニューラー薄膜の磁気光学スペクトルでも類似構造をみることができることから[4]、他の構造も含めこれらは Co のバンド間遷移によるものと考えられる。Co ナノ粒子の光学遷移およびそれに関与する電子状態については、いまだ未解釈の部分が多く残されており、磁気光学効果を検討することで光吸収スペクトルに重畳した吸収帯の由来をバンド間遷移であるか、あるいはドルーデ模型によって記述されるバンド内遷移 (表面プラズモン共鳴+サイクロトロン共鳴) であるのかを峻別することが可能になるものと期待される。

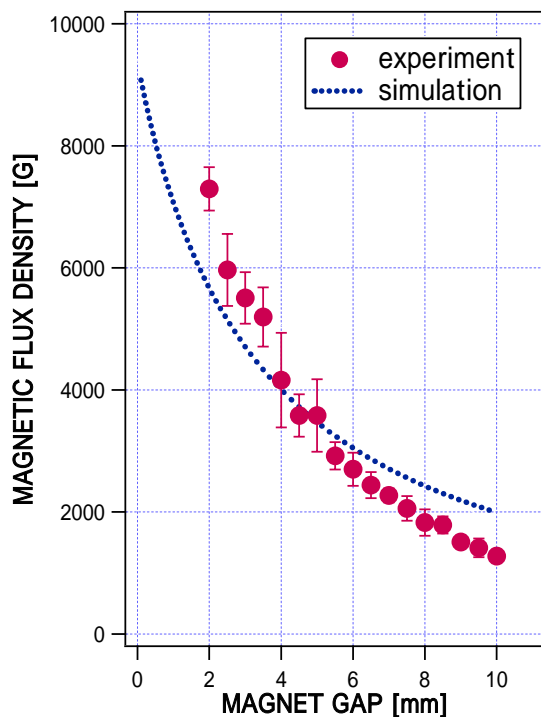


図2 磁束密度と永久磁石間距離

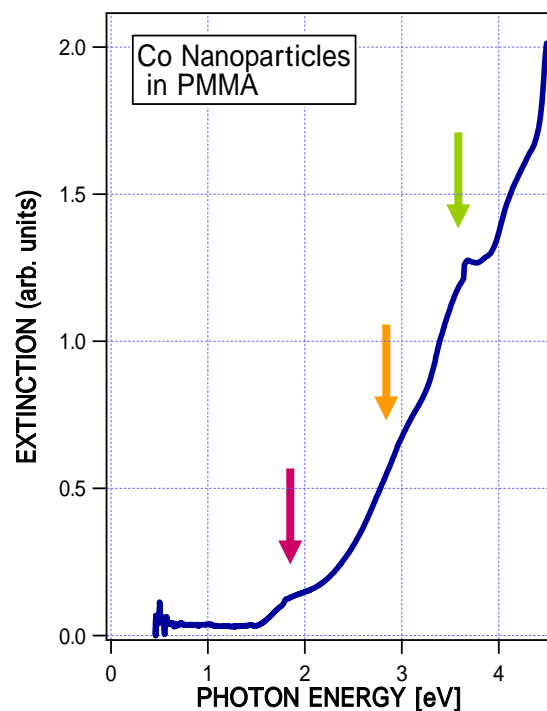


図3 Co ナノ粒子の光吸収

- 【参考】 [1] H. C. Roters, in *Electromagnetic Devices* (John & Wiley & Sons, 1941)
 [2] N. J. M. Sanghamitra and S. Mazumdar, *Langmuir* 24, 3439 (2008)
 [3] G. S. Krinchik, *J. Appl. Phys.* 35, 1089 (1964)
 [4] C. Clavero et al., *Phys. Rev. B* 72, 024441 (2005)

【謝辞】 永久磁石の磁場測定でガウスメータを貸出し頂いた (株) 東陽テクニカ 汎用計測営業部に感謝致します。また、強磁性金属ナノコロイドのサンプル試料をご提供して頂いた (株) 新光化学工業所に感謝致します。