

磁気光学カー効果測定における酸化保護膜の利用

Utilization of Oxidation Protection Film in Magneto-Optical Kerr Effect Measurement

宇野亮二*, 秋田繕成*, 寺田文士**, 内山 晋***
Ryoji UNO, Yoshinari AKITA, Fumio TERADA, Susumu UCHIYAMA

Abstract In measuring optical constants relating to the reflection phenomenon, the presence of oxidation layer at the surface makes unclear the real material properties. In this paper, the influence of an oxidation protection layer on the reflection constant of the material is calculated numerically as a function of the protection layer thickness for a film consisting of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Gd-Co}$. The saturation polar Kerr rotation of Dy-Co amorphous films with and without the oxidation protection layer of 10 [nm] thick, which are prepared at the same time, was measured immediately after removing the film from the deposition chamber. It is confirmed that the difference in the Kerr rotation is less than 0.01 [deg] for a wavelength range of 600-1,000 [nm] and less than 0.02 [deg] for 400-600 [nm]. The Kerr rotation of a film with the protection layer was confirmed to be hardly changed over 100 days when the film was kept at room temperature in a dry atmosphere.

1. はじめに

磁気光学カー効果は直線偏光が磁性膜の表面に当たる時、反射光の偏光方向が磁化の存在により変化する現象であり、磁化により変えられた偏光方向の角度がカー回転角である。現在パソコンに使用されている外部補助記憶の光磁気メモリ装置では、この磁気光学カー効果を用いて情報の読み出しを行うため、カー回転角は光磁気メモリ媒体の特性として大変重要な量となっている。ところが、使用されている媒体の希土類-鉄族アモルファス薄膜は酸化しやすい物質のため、多くの場合基板側から測定が行われていて、物質の真の性質はほとんど報告されていない。

本報告は、磁性膜表面に酸化保護層を設け、その膜厚を10 [nm] と非常に薄くすることにより、磁気光学特性にほとんど影響を与えず、しかも十分な保護性能を示すことを、理論的ならびに実験的に確かめたので、その結果について報告する。

2. 研究方法の概要

本研究に使用した磁性膜はDy-Coアモルファス合金で、酸化保護膜は光磁気ディスクで実用化されている窒化シリコン (Si_3N_4) である。これらの膜の光学定数を用いて、光の波長をパラメータとし、保護膜の厚さの関数としてこの2層膜の反射率を計算した。保護膜の存在によりカー回転角に影響が現われるのは多重反射のためであり、この場合には必ず反射率の低下が起こるので、これを目安として保護膜の厚さを検討した。次いで、実際に保護膜なしと保護膜を付けた2種類の膜を作製し、膜を一晩かけて

*愛知工業大学大学院 電気電子工学専攻 学生

**愛知工業大学 情報通信工学科 学生

***愛知工業大学 情報通信工学科 (豊田市)

室温まで冷却した後真空槽から取り出し, できるだけ手早く両者のカー回転角を測定して比較した。さらに保護膜を付けた試料については, 100日間に渡ってカー回転角を測定し, 保護膜の性能の評価を行った。

3. 反射率の計算

図1のような膜厚 d_1 の保護膜を付けた磁性膜に波長 λ の光が膜面に垂直に入射する場合を考える。光は大気, 保護膜, 磁性材料の間で反射と透過を繰り返す。ここで, n_0, n_1, n_2 をそれぞれ大気, 保護膜, 磁性材料の屈折率であり, 大気と保護膜の境界で起こる反射の反射係数を R_1 , 保護膜と磁性材料の境界で起こる反射の反射係数を R_2 , 光が大気から保護膜を透過する透過係数を T_1 , 逆に光が保護膜から大気に透過する透過係数を T_2 とすると, この反射と透過の繰り返しによって膜面から出てくる反射光の総和 S_r は次式で求まる。¹⁾

$$S_r = R_1 + R_2 \exp(-j\delta) / (1 + R_1 R_2 \exp(-j\delta)) \quad (1)$$

ここで $\delta = 4\pi n_1 d_1 / \lambda$ である。これより反射率 R は, 垂直入射の場合には

$$R = S_r S_r^* = \frac{[(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2 + k^2) - 4n_0 n_1^2 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)\{(n_1^2 - n_2^2 - k^2)\cos\delta - 2n_1 k \sin\delta\}]}{[(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2 + k^2 + 4n_0 n_1^2 n_2 + (n_0^2 - n_1^2)\{(n_1^2 - n_2^2 - k^2)\cos\delta - 2n_1 k \sin\delta\}]} \quad (2)$$

となる。

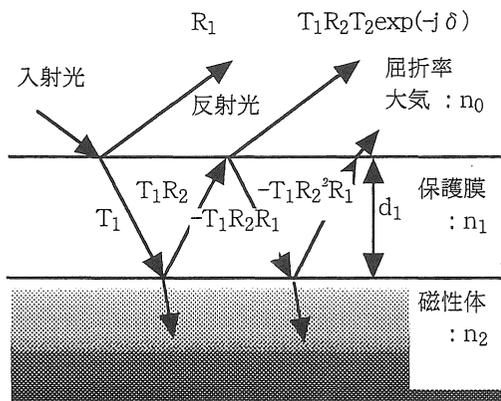


図1 保護膜による多重反射のモデル

図2は(2)式の n_1 に Si_3N_4 の屈折率として適当な値 $1.9^{2)}$, n_2, k にそれぞれ GdCo の屈折率, 消光係数³⁾を代入し, Si_3N_4 の膜厚を変化させた場合の反射率の計算結果である。

この図から分かるように, 光の波長が赤外のように長い場合には, ここで計算した保護膜の厚さの範囲, すなわち 10 [nm]以下では屈折率はほとんど変わらない。波長が最も短く 248 [nm]で $h\nu = 5$ [eV]の場合を見ると, Si_3N_4 の膜厚がおおよそ 45 [nm]のところに反射率の極小が現われている。これは多重反射の影響が最も強く現われていることを示し, 磁性薄膜の代わって吸収係数 k が 0 の物質を置くと仮定すると, 無反射条件である $\lambda / 4n_1 = 34.4$ [nm]のところにこの極小は現われる。カー回転角はこのような反射率が極小の部分では著しく大きく観測されるので, 物性値としてのカー回転角を測定する意味では最も避けなければならないが, カー効果を利用して信号を読み出す実用的な意味では, 保護膜の厚さをこの位置に設定することになる。

保護膜の厚さをあまり薄くすると酸化防止の役目を果たさないので, 本研究では保護膜の厚さを 10 [nm]と設定し, その保護性能を調べることにした。この厚さ自体は, 実用されている Tb-FeCo 薄膜の酸化防止のために行われた幾つかの研究を参照して決めたものである。筆者の研究室に保有しているカー効果測定装置の波長範囲は $400 \sim 1,000$ [nm]であるので, 最も条件の悪い $h\nu = 3$ [eV], すなわち $\lambda = 413$ [nm]の場合でも, 反射率の変化は 54% より 58% までの約 4% であるのが見られ, カー効果への影響は非常に小さくできるのではないかと予測される。

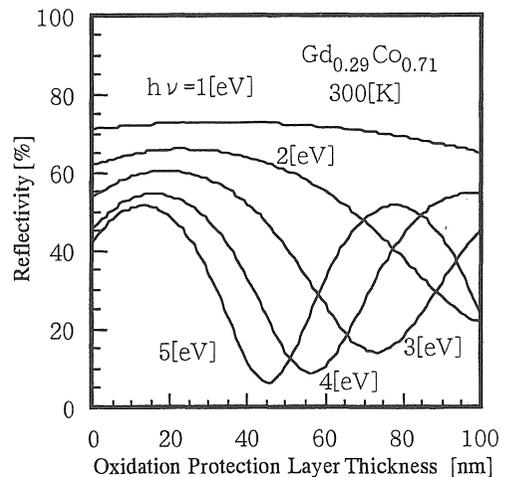


図2 酸化保護膜の反射率に及ぼす影響

しかし、さらに短い波長までの測定を行おうとする場合には、この保護膜の厚さは厚すぎると言えるかも知れない。

この計算はGd-Coについて行われ、実験を行ったDy-Coについてのものではないが、この理由はDy-Coについては複素屈折率 $n=n+jk$ の値が不明であることによっている。しかし、DyとGdは近い原子番号のため、Coとの合金にしたときの屈折率の差は小さいものと考えてGd-Coのデータを利用した。

4. 実験方法

薄膜の作製は複合ターゲットを用い高周波2極スパッタリング法により、カー回転角は日本科学エンジニアリング社製の分光垂直カー効果測定装置を用いて測定したが、これらの詳細は別に詳しくに報告をしたので⁴⁾、ここでは省略する。ただし、今回は特に酸化防止のために幾つかの注意を払った。その第一はスパッタガスのArを導入する前の真空槽の圧力を 2×10^{-7} [Torr] まで下げたこと、第二には希土類金属ターゲットの表面を2時間にわたってプリスパッタして表面酸化層を十分に除去したこと、第三は酸化保護膜を磁性膜作製後引き続いてできるだけ速やかに作製したこと、第四に保護膜のない膜のカー効果は、真空中に約一晩放置して試料が室温まで冷却された後取り出し、直ちに測定を行ったことなどが挙げられる。

5. Si_3N_4 :10[nm] 膜のカー回転角への影響

図3の×はDy-Co膜上に Si_3N_4 を10[nm]附着させた場合の極モード飽和カー回転角のスペクトルである。また○は、同時に作製したDy-Co膜を、真空槽から取り出した直後に測定した場合のカー効果スペクトルである。

両者を比較すると、波長がおおよそ550[nm]以上、光のエネルギーにしておおよそ2.2[eV]以下では、両者の測定値はほとんど一致しているが、波長がさらに短くなると両者に差が見られるようになる。ただし、この測定で最も波長の短い400[nm]においても、カー回転角の差の絶対値は0.02[deg]に過ぎない。この差も、反射率は保護膜のない場合より増加していて、カー回転角への影響はむしろ減少させる方向と考えられるので、直ちに保護膜の影響と断定はできず、もう少し慎重な検討が必要である。

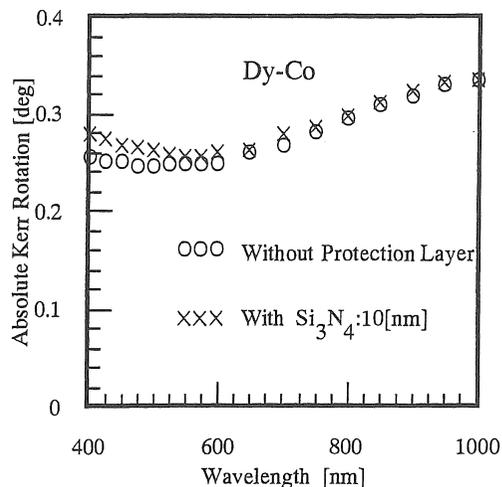


図3 保護膜(Si_3N_4 :10nm)を付けた場合と保護膜なしの場合の、Dy-Co薄膜の飽和カー回転角の比較

図4は、 Si_3N_4 を10[nm]附着した膜を室温低湿度の下に保持し、カー回転角の経時変化を測定した結果である。Dy-Co膜は、とくに高温湿度の環境で酸化し易い材料であるが、ここでは低湿度に保持したことも関係して、膜作製後100日経過しても測定値はほとんど変化していないことが見られる。これは、 Si_3N_4 の厚さは10[nm]もあれば、酸化保護膜としての役目を十分果たすことができることを示唆するものである。

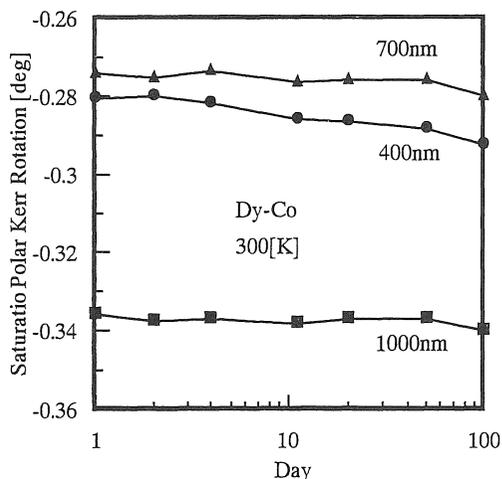


図4 保護膜を付けた膜のカー回転角の経時変化

ただし, 短波長では時間とともに若干増大(絶対値)する傾向が見られ, これは保護膜と磁性膜の界面の酸化層の影響を示唆するものかも知れない。

5. まとめ

磁気光学カー効果を測定する際, 試料表面の酸化層の影響を免れることはできない。このため, 薄膜試料では基板面から測定する機会が多いが, 基板の補正のされていることは稀で, 物質定数としては不完全なデータとなっている。本論文では, 光学的厚さが波長の数十分の一の極めて薄い酸化保護膜を蒸着した場合, 真の試料の光学定数が測定できることを, 酸化保護膜に Si_3N_4 , 試料にGd-Coを用いた系について数値計算により確かめた。さらに, Si_3N_4 , Dy-Co膜の系については, 保護膜厚さを10[nm]とすると, 保護膜のあるなしによる磁気光学カー回転角の差は極めて小さく, 酸化保護性能は常温低湿度の環境では100日以上も持続されることを確かめた。

謝 辞

薄膜の作製には, 本学超薄膜作製室の装置を使用させて頂きました。ここに, 同室装置を管理をして見えます電気工学科の落合鎮康教授に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本金属学会編:「薄膜・微粒子の構造と物性」pp.271-278 (丸善, 1974)
- 2) 南川裕行:ガドリニウム・コバルトアモルファス合金薄膜の研究, 愛知工業大学修士論文, pp. 38-45 (1997)
- 3) Y. J. Choe, S. Tsunashima, T. Katayama and S. Uchiyama : J. Magn. Soc. Jpn., 11, Suppl. S1, 273 (1987)
- 4) 宇野亮二: Dy-Coアモルファス合金薄膜の磁気光学カー効果の研究, 愛知工業大学修士論文, pp.15-16 (1998)

(受理 平成10年3月20日)