

## 磁性薄膜の磁歪効果評価

キーワード：磁性薄膜、磁化曲線、磁歪効果、逆磁歪効果

### はじめに

磁性材料は永久磁石やモーターの磁心、磁気記録の記憶媒体やその検出ヘッドなど、日常生活に広く応用されています。磁性材料のさらなる応用例として、「磁歪」と呼ばれる現象を利用したものがあります。磁歪とは、磁場を印加して材料内部を磁化させることで、形状が変化する現象のことです。逆に、磁性材料に外力を加えることで、磁気特性が変化する現象もあり、逆磁歪効果と呼ばれています。磁歪による変形量は一般に微小ではありますが、電磁気エネルギーと機械エネルギーを変換できる機能性材料として注目されています。

磁歪効果を利用することで、外部から印加した磁場で駆動するアクチュエータやスピーカー、洗浄器などの振動子を作製することが可能です。また、逆磁歪効果を利用することで、力やトルクなどのセンサを作製できます。このように様々な応用が可能のため、さらなる高性能材料の開発が期待されています。ここでは、磁性薄膜の磁歪効果の比較的簡便な評価方法について紹介します。

### 磁性薄膜の逆磁歪効果評価

磁歪効果の評価する方法として、磁歪材料がバルクの場合は、歪みゲージを張り付けて歪みを測定する方法(歪みゲージ法)があります。しかし、厚い基板上に蒸着などで製膜された磁性薄膜の場合は、磁歪による変形量は非常に小さく、歪みゲージ法は適用できないため、変形量の検出には、光てこ法など、高度な光技術が必要となります<sup>1)</sup>。ここでは、精度は光てこ法よりも劣りますが簡便な方法として、逆磁歪効果によって磁歪量を評価する方法を紹介します。

のちほど測定例として紹介する Ni の場合、磁歪効果によって磁化した方向が縮みます(磁歪量  $\lambda < 0$ )。この磁歪効果と同じ起源によって、Ni 薄膜に引張応力を加えると、その応力を緩和させようとして磁化ベクトルは応力と垂直の方向を向こうとします。すなわち、磁歪を通して一軸磁気異方性  $K_u$  が生じ、磁場の印加方向によって磁化しやすい容易軸方向と磁化しにくい困難軸方向に分かれます。この逆磁歪効果は、図 1 に示すように磁化曲線の変化と

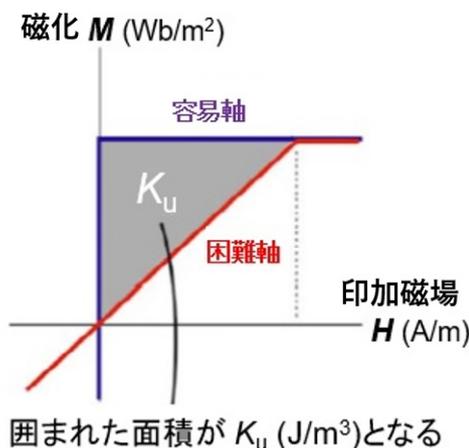


図 1 逆磁歪効果による磁化曲線の変化

して現れるため、振動試料型磁力計(VSM)によって容易に観測できます。さらに、磁化曲線の変化と応力  $\sigma$  から

$$K_u = 3/2 \lambda \sigma \quad (\text{J/m}^3) \quad (1)$$

を通して磁歪量  $\lambda$  を見積もることができます<sup>2)</sup>。

磁性薄膜への歪み、応力の印加は、曲げ変形によって行うのが簡便です。基板上的の薄膜に曲げ変形を加えた場合、図 2 に示すように、曲率半径から歪みを求めることができます。ここでは曲げ変形を加えるために、様々な曲率半径の治具をアクリルで作製しました。歪み  $\varepsilon$  から応力  $\sigma$  へは、 $E$  をヤング率として  $\sigma = E \varepsilon$  で変換できます。薄膜試料自体のヤング率を測定することが望ましいですが、ここではバルクで知られている値を用います。

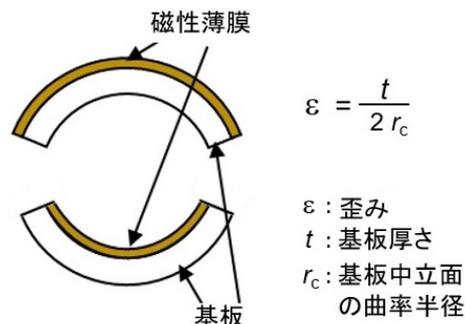


図 2 曲げ変形と歪みの関係

## 測定例

上記方法の測定例として、ポリイミド基板の上にスパッタ法で作製した Ni 薄膜の場合について紹介します。表 1 に示すように、Ni をターゲットとして、厚さ 125  $\mu\text{m}$  のポリイミド基板にスパッタ薄膜を作製し、製膜後に大気中 300  $^{\circ}\text{C}$  で加熱処理した薄膜試料を用意しました。

表 1 スパッタ条件

製膜方法	RF マグネトロンスパッタ法
ターゲット	Ni 100 mm $\phi$
基板	ポリイミド 125 $\mu\text{m}$ t
スパッタガス	Ar 50 sccm
圧力	0.67 Pa
電力	RF 400 W
製膜時間	10 分 (~300 nmt)

図 3 に、曲率半径  $R=25\text{ mm}$  の治具に薄膜試料を固定し、表面の形状をレーザー顕微鏡で測定した結果を示します。薄膜を作製した面を上側にしており、引張応力としています。図 3 上図のカラーはたわみに対応しています。図 3 下図を 2 次曲線として近似することで、曲率半径  $R \sim 24.5\text{ mm}$  と求め、歪みが 0.28% であることが分かります。ここで Ni のヤング率をバルクの値の 200 GPa を用いると、応力  $\sigma$  は 560 MPa となります。

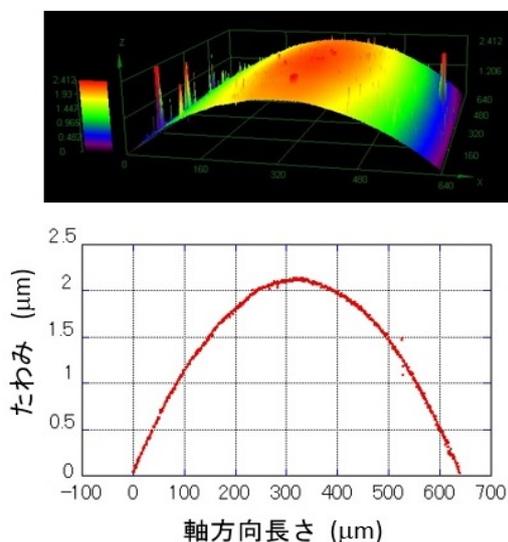


図 3 レーザー顕微鏡による変形の測定

図 4 に、外部応力なしの場合と、引張応力の印加にしたがい変化する磁化曲線を示します。ここで、印加磁場の方向は引張応力と同じ方向にしています。Ni は  $\lambda < 0$  であるため、引張応力が加わる(曲げ変形が大きくなる)につれて、その応力方向が系統的に磁化しにくくなっている様子が分かります。

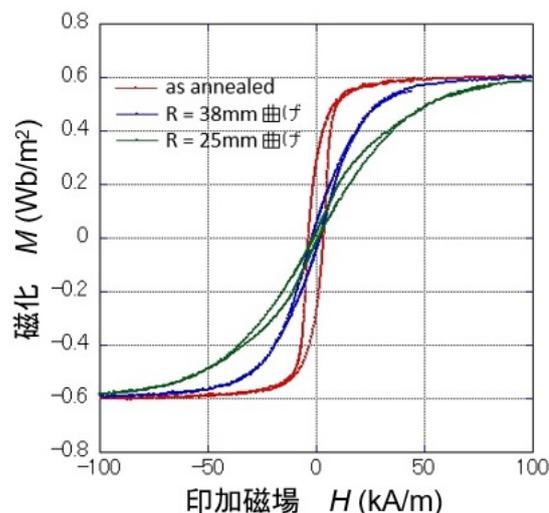


図 4 応力印加時の磁化曲線の変化

図 4 から、数値積分によって図 1 に示した囲まれた面積を求めることで、外部応力に誘起された一軸磁気異方性  $K_u$  が得られます。さらに、(1)式を利用して磁歪量  $\lambda$  を求めることができます。歪みが 0.2% 未満である  $R=38\text{mm}$  の曲げ変形時の結果を表 2 に示します。

表 2 曲げ変形時の一軸磁気異方性と磁歪量

サンプル 曲げ	$\sigma$ (MPa)	$K_u$ (kJ/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ x10 <sup>-6</sup>
R=38mm	380	6.76	-11.9

このように、曲げ変形によって薄膜に応力を印加し、応力を印加した状態のまま磁化曲線を測定することで、応力印加前後の磁化曲線の変化量から磁歪量  $\lambda$  を見積もることができました。

## おわりに

磁性薄膜に曲げ変形を加えた状態で振動試料型磁力計(VSM)を用いて磁化曲線を測定することで、磁性薄膜の磁歪特性を評価することができます。磁歪材料を用いた製品開発や品質管理など、お気軽にご相談ください。皆様のご利用をお待ちしております。

## 参考文献

- 1) 高梨弘毅: 磁気工学入門, (2008) 共立出版.
- 2) 志賀正幸: 磁性入門, (2007) 内田老鶴園.