



ORIST

試料振動型磁力計(VSM)による磁性薄膜評価

キーワード：磁性薄膜、磁化曲線、試料振動型磁力計

はじめに

磁性材料は応用範囲が広く、磁気クリップなど身近なものから、自動車やコンピュータ内部の最先端機器にも使用されており、現代生活を支える重要な材料です。磁性材料はその用途に応じて、軟磁性材料と硬磁性材料の二つに大別されます。軟磁性材料は、変圧器などに用いられる、保磁力が小さくわずかな磁界で大きな磁化を生じる材料です。また、硬磁性材料は、永久磁石として用いられる、保磁力が大きい材料です。このように、磁性材料は、外部磁界 H を印加したときに磁化 M が H の関数としてどのように現れるかを表した磁化曲線(または M - H 曲線)によって特徴づけられます。磁化曲線は物質により様々ですが、物質だけでなく、その作製過程にも大きく依存します。そのため、手元にある磁性材料が、どのような磁化曲線になっているのか測定して確かめることは非常に重要です。ここでは、磁化曲線を測定可能な試料振動型磁力計(Vibrating Sample Magnetometer : VSM と略されます)を用いて軟磁性材料の薄膜を測定した例を紹介します。

試料振動型磁力計の原理

磁化は、磁性体の単位体積あたりの磁気モーメントの総和として定義されます。磁力計とは磁気モーメントを測定する装置で、磁気モーメントを試料体積で除することで磁化に換算されます。磁気モーメントを測定する方法としては、磁性体に働く力を測定する方法と、電磁誘導を利用して誘導起電力を測定する方法に大別されます。なお、試料振動型磁力計は、電磁誘導を利用します。

図 1 に試料振動型磁力計の概念図を示します¹⁾。電磁石によって、試料に対して図 1 の横方向に磁界が印加されます。印加磁界はホール素子によって測定されます。試料が磁気モーメントを持つとき、その磁気モーメントによって周りに磁束密度が生じ、傍らに置いたサーチコイルを磁束が貫きます。

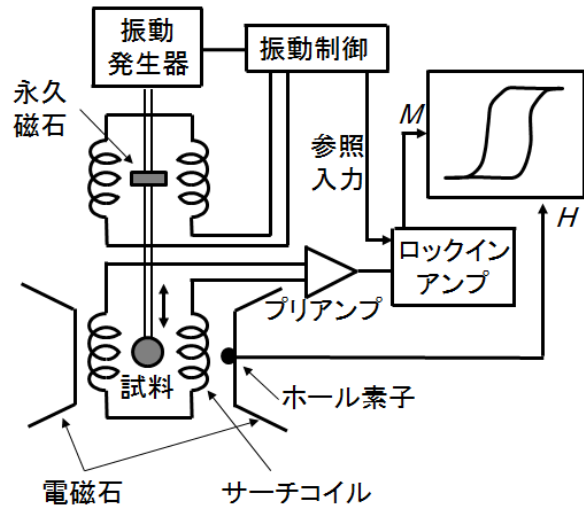


図 1 試料振動型磁力計(VSM)の概念図

ここで試料を図 1 の縦方向に振動させると、サーチコイルを貫く磁束が時間変化することで誘導起電力が生じます。誘導起電力による電圧信号は、振幅が磁気モーメントに比例し、周波数は試料の機械的な振動数に一致します。周波数は永久磁石を利用して検出され、ロックインアンプの参照入力に利用されます。ロックインアンプを利用することで、電圧信号を高感度に測定することができます。

試料振動型磁力計を利用するときの注意点は、この測定は磁気モーメントの絶対値を測定していないことです。そのため、磁化がよく知られた標準試料を用いた校正が必要で、通常、ニッケルが用いられます。また、印加磁界の時間変化については、試料の機械的振動よりも十分遅い、実質直流の測定しかできません。しかしながら、広い範囲の磁化を、強弱様々な磁界中で測定可能であり、磁性材料研究、生産管理には不可欠の計測器です。

測定例

当研究所の試料振動型磁力計(理研電子株式会社製:モデル BHV-50)を利用した測定例について紹介します。

【パーマロイ スパッタ薄膜 (~100 nmt)】

一般に、スパッタ法により作製された薄膜は内部に応力が働いており、製膜時の条件によっても応力が変化して磁気特性に影響があることが知られています。ここでは、表 1 に示すように、パーマロイをターゲットとして、製膜時の圧力を表 1 中の A、B、C の 3 通りの値に変化させ、スパッタ薄膜を作製しました。

表 1 スパッタ条件

ターゲット	パーマロイ 100 mmφ
基板	石英
スパッタガス	Ar 50 sccm
圧力	A: 0.67 Pa B: 1.33 Pa C: 2.67 Pa
電力	RF 400 W
製膜時間	160 sec

図 2 に A、B、C それぞれのスパッタ薄膜の磁化曲線の測定結果を示します。ここで、磁界はすべて膜面と平行に印加しています。

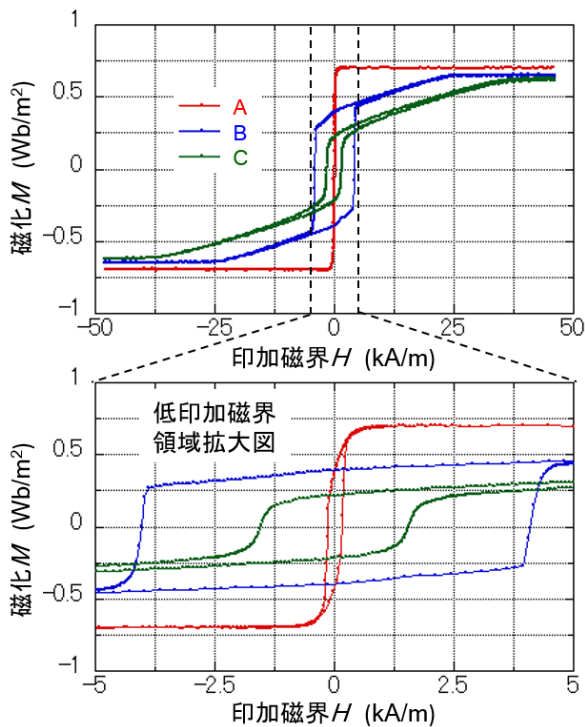


図 2 スパッタ薄膜(~100 nmt)の磁化曲線

図 2 より、製膜時の圧力によってパーマロイスパッタ薄膜の磁化曲線は全く異なっていることが分かります。一般的な軟磁性材料の用途では、保磁力が小さく、飽和しやすいことが望ましく、製膜時の圧力は A の条件がこの中では最も適していることが分かります。

【市販パーマロイ箔 (10 μmt)】

市販されているパーマロイ箔に関して熱処理前後での磁化曲線の測定例を紹介します。パーマロイを箔に加工する際に欠陥が生じるため、加工したままでは磁気特性が劣化しています。ここでは、真空中で1000 °C、10分の熱処理をすることで、どの程度磁気特性が改善するのか調べました。

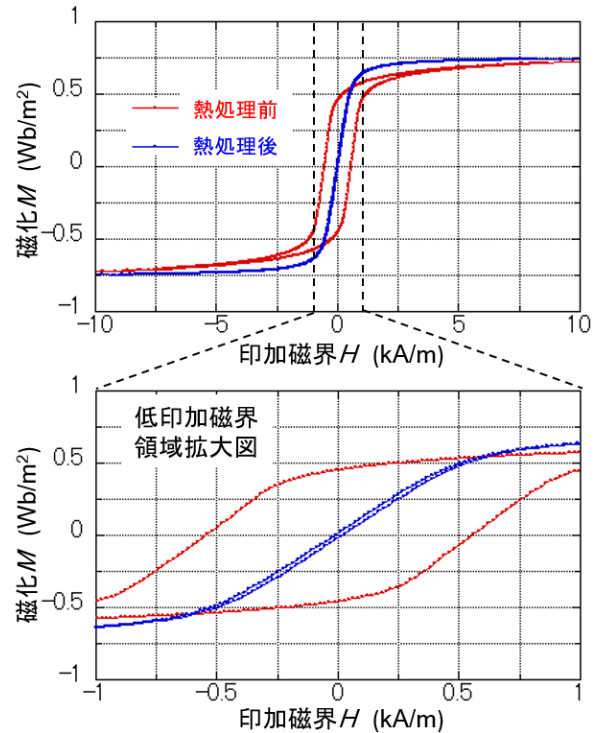


図 3 市販パーマロイ箔(10 μmt)の磁化曲線

図 3 に市販パーマロイ箔(10 μmt)の熱処理前後の磁化曲線の測定結果を示します。熱処理によって、保磁力が小さく、飽和しやすく変化しており、磁気特性が大きく改善していることが分かります。

おわりに

試料振動型磁力計を用いて磁化曲線を測定することで、磁性材料の評価を行うことができます。磁性材料を用いた製品開発や、磁性材料の品質管理など、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.

発行日 2019年11月20日

作成者 電子・機械システム研究部 電子デバイス研究室 山田 義春

Phone: 0725-51-2682

E-mail: yamada@tri-osaka.jp