

## 微細加工したコバルト系アモルファス薄膜の 磁気インピーダンス効果

### Magneto-impedance effect in micro-structures of Co rich amorphous thin films

代表研究者 横浜国立大学工学部電子情報工学科・助教授 竹村泰司  
Yasushi TAKEMURA  
Associate Professor, Division of Electrical and Computer Engineering,  
Yokohama National University

Magneto-impedance effect in FeCoSiB amorphous thin films was studied. FeCoSiB thin films were prepared by a sputtering technique using a FeCoSiB alloy target. A precise control of an atomic composition rate in the obtained FeCoSiB thin films was achieved. Stripe-shaped FeCoSiB thin films were fabricated by using a photolithography and chemical etching with a solution of  $\text{FeCl}_2$ . The concentration and temperature of the etchant were optimized. Electrical properties of the films were improved by an annealing.

#### 研究目的

磁気記録の高密度化・大容量化に伴い、従来の誘導型磁気ヘッドに代わる技術が開発されており、NiFeや金属人工格子などの磁性薄膜における磁気抵抗効果を用いる方法が広く研究されている。一方、磁気インピーダンス効果を用いた方法も近年注目を集めている。これは高周波電流（1~10 MHz程度）を通電したFeCoSiBアモルファス磁性ワイヤのインピーダンスが外部磁界に対して大きな変化を示す現象であり、磁気抵抗効果に比べ磁界に対して極めて高感度である。しかし、ワイヤという形状は磁気ヘッド作製プロセス、特に微細化に関しては不利であり、磁気ヘッドを初めとしたデバイス応用に適しているとは言えない。本研究では、FeCoSiBアモルファス薄膜を用いた磁気インピーダンス効果デバイ

ス実現を目指し、スパッタリング法による薄膜作製、その構造解析や磁気特性・電気的特性の評価、さらに、FeCoSiB薄膜の微細加工プロセスを確立することを研究目的とした。

#### 研究経過

平成8年4月より平成9年3月までの1年間の研究期間において、

- (1)スパッタリング法によるFeCoSiBアモルファス薄膜の作製
  - (2)結晶性、組成比の評価
  - (3)磁化特性の評価
  - (4)フォトリソグラフィーを用いた微細加工プロセスの確立
  - (5)微細加工したFeCoSiB薄膜の磁気インピーダンス効果の評価
- を行った。次項に研究内容、成果を記す。

## 研究成果

### ・スパッタリング法によるFeCoSiBアモルファス薄膜の作製

高周波2極スパッタ装置を用いてガラス基板の上にFeCoSiB薄膜の作製を試みた。ターゲットには $\text{Fe}_{4.35}\text{Co}_{68.15}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ 合金を用いた。装置の到達真空度は $1 \times 10^{-5}$  Torrである。成膜条件は、アルゴンガス圧 $8 \times 10^{-3}$  Torr, スパッタ出力100 Wとした。成膜速度は1.2  $\mu\text{m/h}$ であった。

表Iに得られた薄膜試料の組成比(構成元素比)の測定結果を示す。測定にはEDX(エネルギー分散X線分光法)を用いた。いずれの試料においても組成比は、ターゲットであるFeCoSiBの組成比とほぼ一致することが明らかとなった。また、FeCoSiBターゲットにSiウェハ片をのせることにより形成したSi-リッチの複合ターゲットを用いてスパッタリングを行うと、Siの組成比を意図的に増加させることが可能なことも明らかとなった。以上のことから、上記の成膜条件においてスパッタリングを行えば、ターゲットの組成比と同一の組成比を持った試料が得られることがわかった。

表I EDXを用いた組成分析結果

試料/組成比	Co[%]	Fe[%]	Si[%]	B[%]
ターゲット組成	68	4	13	15
試料#1	64	3	16	12
試料#2	69	3	15	10
試料#3	66	3	15	9
試料#4 (Si-rich)	63	3	18	9
試料#5 (Si-rich)	64	3	19	7
試料#6 (Si-rich)	64	5	18	12

また、試料のRHEED(反射高速電子線回折)観察から、膜の結晶状態がアモルファス

であることを確認した。

### ・フォトリソグラフィーによるFeCoSiB薄膜の微細加工プロセス

フォトリソグラフィーはLSI製造などにおいて、ウェハ処理に用いられる技術である。露光、現像、エッチングにより、マスク原画をウェハ上に光を用いて微細加工することが可能である。露光はパターン原画が描かれているフォトマスクを通して行われるが、フォトマスクは写真のネガフィルムに相当する。露光、現像によりできたパターン以外の部分を溶解除去することをエッチングという。

本研究では、エッチング液を用いるウェットエッチングによりエッチング処理を行った。実験当初、硝酸:塩酸:水が1:1:3の溶液を用いたが、エッチング速度が遅く、膜厚の比較的厚い試料をエッチングするには時間がかかり、またエッチングされたエッジ(ストリップラインのエッジ)がシャープではなかった。そこで、塩化第二鉄( $\text{FeCl}_2$ )を用いてエッチングを行ったところ、硝酸/塩酸系溶液よりエッチング速度が早く、かつ、シャープなエッジが得られた。そこで、塩化第二鉄をエッチャントに用いて、温度、濃度の最適化を行った。その結果を図1, 図2に示す。これらの結果から、エッチャントの温度 $50^\circ\text{C}$ 、濃度25%を最適条件とした。実際、加工した試料形状はストリップライン状であり、そのサイズは長さ10 mm、幅0.4 mmとした。

### ・磁場中熱処理

外部磁界印加時のインピーダンスの変化率を大きくするためには、軟磁性の薄膜である必要がある。しかしながら、初期に作製した薄膜は、スパッタ条件などにより、内部応力が残留し磁氣的に硬いものが主であった。そ

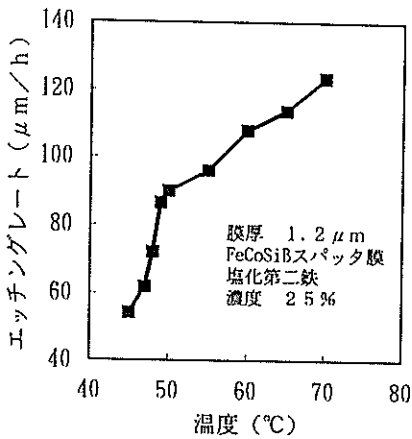


図1 塩化第二鉄溶液の温度に対するFeCoSiB薄膜のエッチングレート

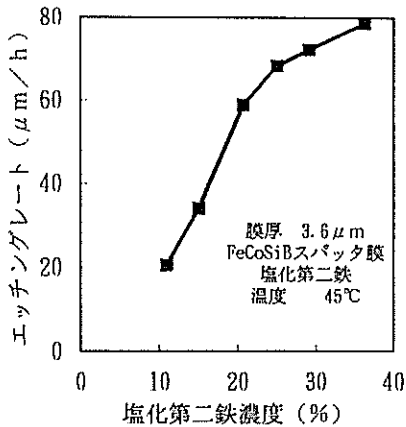


図2 塩化第二鉄溶液の濃度に対するFeCoSiB薄膜のエッチングレート

ここで熱処理による磁気特性の向上を試みた。熱処理は真空中 ( $2 \times 10^{-5}$  Torr) において、 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ 、1時間行った。また、熱処理中に1 kOeの磁界を印加することにより、誘導磁気異方性をつけた。素子の幅方向（電流と垂直方向）が磁気容易軸となるように、磁界を印加した。

#### ・電気的特性の評価

高周波電源を用いて交流電流（20MHzまで）をFeCoSiB薄膜細線（膜厚 $0.6 \mu\text{m}$ 、幅 $0.4\text{mm}$ 、長さ $10\text{mm}$ ）に通電し、両端間の電圧を観測することにより、インピーダンスを測定した。磁気インピーダンス効果の評価は試料細線の長さ方向に磁界 $H_{\text{ox}} = 61 \text{ Oe}$ を印加した際のインピーダンス変化を観測することにより行った。これまでの実験では、熱処理の条件が最適ではなかったためと思われるが、十分な軟磁性を示す試料が得られなかったことや、細線試料のもつ誘導磁気異方性が十分ではなかった。そのため顕著な磁気インピーダンス効果は測定されなかった。

#### 今後の課題と発展

得られた試料の磁気特性の再現性に問題があった。これは前述のように熱処理が必ずしも最適な条件下で行われたとは言えないことに起因する。熱処理は磁気特性に直接影響を及ぼすプロセスであるにも関わらず、装置のトラブル等により所存の実験課題を遂行できなかった。

本研究課題は引き続き検討中であり、磁気インピーダンス特性の詳細な検討やデバイス設計などを行う予定である。また、より顕著な磁気インピーダンス効果を得るためにFeCoSiBを中心とした多層構造を導入することも興味深い今後の検討事項である。

発表論文（投稿準備中）