

強磁性体用マグネトロンスパッタ装置の開発

Magnetron Sputtering System for Ferromagnetic Material

吉竹 正明* 野坂 俊紀*
Masaaki Yoshitake Toshikazu Nosaka

岡本 昭夫* 小川 倉一**
Akio Okamoto Soichi Ogawa

abstract

A magnetron sputtering system for ferromagnetic material was developed. The improved target and backing plate in the sputtering cathode causes magnetic flux leak out above the target surface. The vectors of the leaked magnetic flux had a horizontal component which enabled magnetron discharge to occur. When a Fe target was sputtered using a permanent magnet for magnetron sputtering, the deposition rate was found to be about 4 times larger than that of normal RF sputtering.

1. はじめに

薄膜作製法としてのマグネトロンスパッタ法はその高速スパッタ性から産業界で数多く用いられ、種々の材料の薄膜作製に用いられている。しかしながらターゲットがFe, Ni, Co等の強磁性体である場合は磁束がターゲット内部を通過し、表面にもれ磁場が発生せず、高速スパッタを行なうのが困難という欠点がある。これを解決するためにこれまで対向ターゲットスパッタ装置¹⁾や磁界圧着型スパッタ装置²⁾、ギャップタイプターゲット³⁾を用いたスパッタ法等種々の工夫を凝らした装置が開発されているがそれぞれ一長一短がある。前述のようにマグネトロンスパッタ装置は生産現場や実験室でこれまで数多く使われており、この装置を用いて強磁性体の高速スパッタができれば大きな意味がある。

今回我々は通常のマグネトロンスパッタ装置のカソードを利用し、ターゲットとバックングプレートの形状を工夫することにより強磁性体のマグネトロンスパッタが可能になるように開発を行なった。Feをターゲット材料に選んで実際にスパッタを行った結果、スパッタの高速化が実現できたのでその結果について報告する。

2. マグネトロンカソードの設計

マグネトロンカソードの設計は従来からある装置を容

易に改良することができるように

- 1) 通常のマグネトロンスパッタ装置に用いることができる
- 2) 加工は旋盤加工だけによる

ことを基本的な考えとして設計を行なった。マグネトロンカソードの最も重要な部分はターゲット及びバックングプレートであり、次のように作製を行なった。

(1) ターゲット

通常用いられるプレーナ型マグネトロンスパッタ装置ではターゲットは一枚の円板を使用する。ターゲットが非磁性体であれば問題は生じないが、ターゲットがFe, Ni, Coなどの強磁性体である場合磁気閉回路を作るため、ターゲットの裏面におかれたマグネットから生じるもれ磁場がターゲット内部を通りターゲット表面上に発生しない。この欠点をなくすためにターゲットを図1に示すように内側円板(内部ターゲット)と外側中空円板(外部ターゲット)の2枚に分割して磁氣的なギャップを設け、ターゲット表面にもれ磁場が発生するようにした。この場合、内部ターゲット及び外部ターゲットがそれぞれS極及びN極になる。

ギャップ幅が大きいとプラズマがギャップ内に入る可能性が考えられ、また狭すぎるとターゲット表面上でのもれ磁場が十分に発生しない。今回ギャップ幅は5 mmに設定した。

内部ターゲットと外部ターゲットのギャップがプラズマ側から見える構造であると、ギャップを通してバックングプレートがスパッタされる可能性がある。このため

* 材料技術部 電子デバイス研究室

** 材料技術部

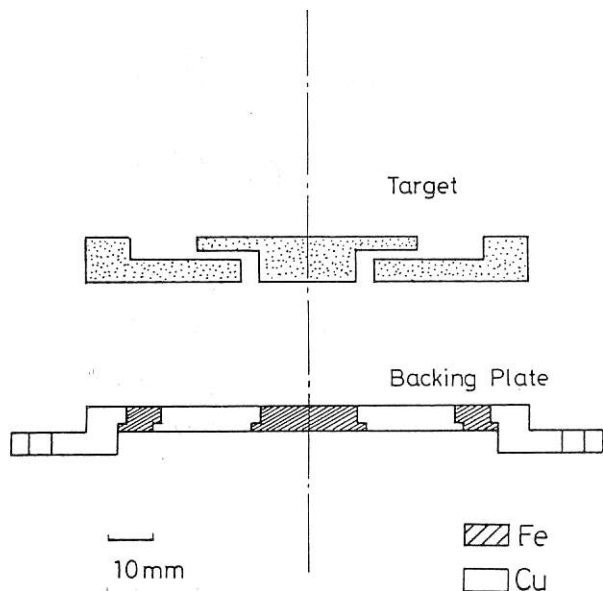


図1 ターゲット及びバックアッププレートの概略図
Schematic diagram of target and backing plate

プラズマからギャップを通してバックアッププレートが見えなくするため、またもれ磁場をなるべく外側の広い範囲に発生させるためターゲットの内部ターゲットには“つば”を設け、ターゲットの断面が凹形になるような構造にした。

(2) バックアッププレート

通常バックアッププレートは熱伝導のよい銅で作製されている。しかし銅は非磁性体であるためバックアッププレートの厚さだけ磁氣的にギャップが存在している。今回作製したバックアッププレートでは、磁束をターゲットに有効に導くためマグネットが接触する部分に強磁性体である鉄を用い、それ以外の部分には熱伝導のよい銅を用いた。この構造にすると、マグネットの極より出た磁束がバックアッププレートの鉄の部分を通り、他にもれることなくターゲットの内側及び外側の極へと有効に導くことができると考えられる。銅と鉄のシールはすべてハンダにより行なった。

ターゲットとバックアッププレートのボンディングはハンダにより行なった。ターゲットの内部ターゲットと外部ターゲットとのギャップ距離はターゲットの表面上のもれ磁場の大きさに影響を与えるため、ボンディングにあたっては非磁性体であるしんちゅうをスペーサーに用いた。ターゲットホルダーに装着したマグネトロンカソードの外観およびターゲット表面部の写真を図2および図3に示す。

今回設計したマグネトロンカソードはターゲットホルダーを一つのユニットと考えて交換するだけでよく、交換に要する時間は少ない。また従来の装置としての使用も可能であり、基板ホルダーの位置、電源系、水冷機構などまったく同じ物が使用可能であるという特徴がある。

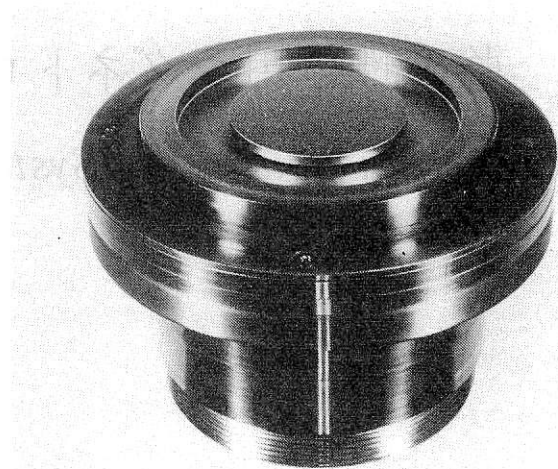


図2 ターゲットカソードの外観
Photograph of target cathode

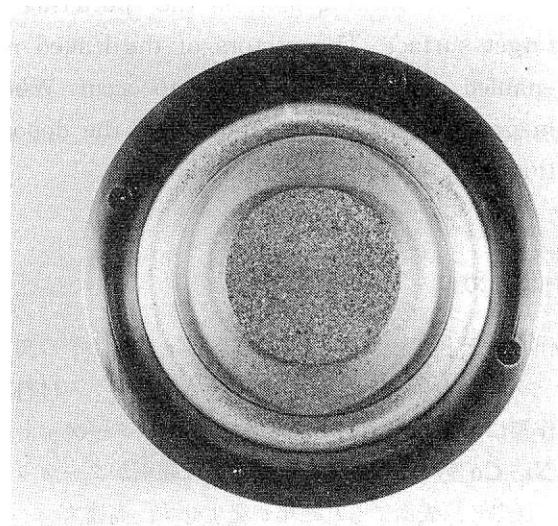


図3 ターゲット表面
Photograph of target surface

3. 実験方法

(1) 磁場分布の測定

ターゲット表面上に発生する磁場のベクトルおよび分布はガウスメータにより測定した。磁場分布はターゲットの形状が軸対象であるためターゲットの中心を原点にとり、ターゲット表面上及び前面の空間の各座標点で磁場の水平方向および垂直方向成分を測定した。各座標点の間隔は水平方向、垂直方向とも2mmとした。

(2) Feのスパッタ

マグネトロンカソードは、対向二極プレーナ型スパッタ装置に装着しスパッタを行なった。排気は油拡散ポンプ及びロータリーポンプにより行い到達真空度は約 6×10^{-7} Torrである。真空排気後Arガスを導入してスパッタを行った。Arガス圧は 6×10^{-3} Torrと一定にした。ターゲットには強磁性体であるFeを用いた。スパッタ条件を表1に示す。膜の作製を行う場合は成膜前に約10分間のArによるプレスパッタを行った。到達真空度およびガス圧はB-

Aゲージ及びシュルツゲージにより行った。またターゲットのバイアス測定には高耐圧プローブを用いオシロスコープにより測定した。

表1 スパッタ条件
Sputtering condition

到達真空度	約 6×10^{-7} Torr
RFパワー	20~450W
Arガス圧	6×10^{-3} Torr
ターゲット	Fe (外径100mmφ)
電極間距離	60mm
基板温度	室温
基板	7059ガラス

4. 実験結果及び考察

(1) 磁場分布

ターゲット表面上の鉄粉による磁場分布を図4に示す。磁場はターゲットの外側から中心に向かって放射状に分

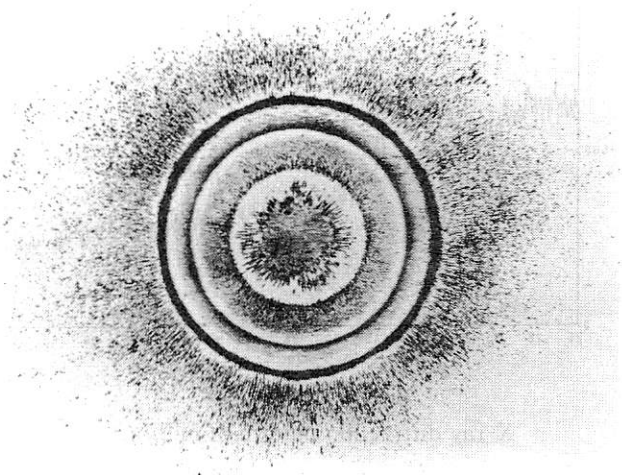
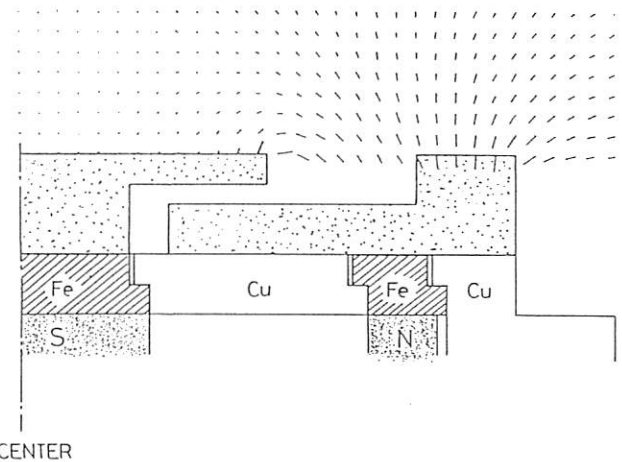


図4 ターゲット表面の磁場分布

Magnetic field distribution on the target surface

布していることがわかる。図5にターゲット前面の空間の磁場分布を示す。磁束は内部ターゲットの上面からは



CENTER

図5 ターゲット前面空間の磁場分布

Magnetic field distribution in the space above the target surface

あまり発生せず、主として内側円板のエッジより外側円板の凹部並びに外周部へと入る。これは鉄が強磁性体であり、N極に近い部分へ磁束が鉄内部を通過するため、内部ターゲットのエッジ付近に磁束が集中するためであると考えられる。磁場ベクトルの方向から凹部上方でマグネトロン放電に必要な磁場の水平方向成分が大きく発生していることがわかる。磁場の水平方向成分の強度は内側円板のエッジ付近が最も大きく400ガウス以上の値が得られた。通常マグネトロンスパッタ法ではターゲット表面上で必要な磁場の水平方向の強さは200~300ガウス程度であり、今回開発したマグネトロンカソードはマグネトロン放電に必要な磁場が発生している。ターゲットのエロージョンエリアは主として外側円板凹部および内側円板のエッジ付近であり、磁場の水平方向成分が最も強い領域に対応している。

(2) セルフバイアス電圧

図6にターゲットのセルフバイアス電圧 (V_{self}) とRFパワー (P_{rf}) との関係を示す。セルフバイアス電圧の値はターゲットに印加される高周波電圧の最大値と最小値

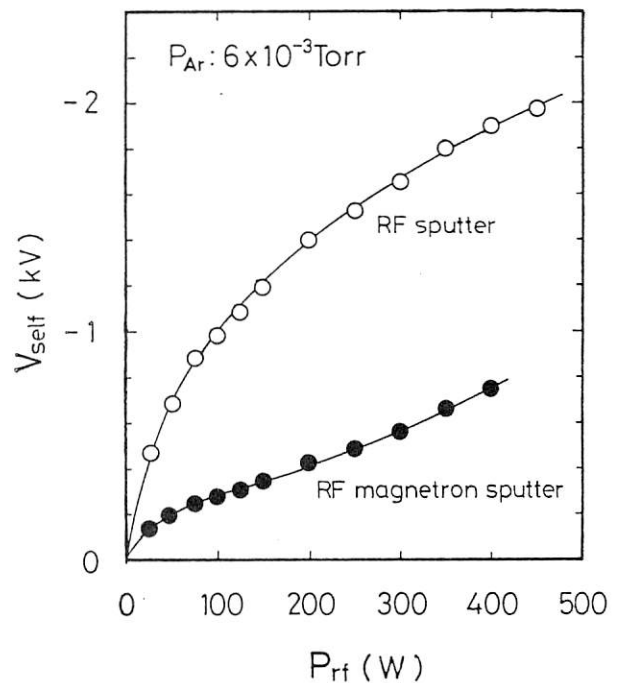


図6 セルフバイアス電圧とRFパワーの関係

Relationship between self-bias voltage and RF power

を測定し平均をとることにより求めた。100W以上のRFパワーで、マグネットを用いない場合、 V_{self} は1kV~2kVと大きい。マグネットを用いることにより数百V程度の大きさに低下する。これはマグネットのもれ磁場の水平方向成分の働きによりマグネトロン放電がocこり、荷電粒子がターゲット表面上でサイクロイド運動を行って他のAr原子との衝突確率が増えるため、Arイオンが増加し放電電流が増加する。このためRFパワーが一定であるとターゲット電圧が低下する。即ちマグネトロンスパッ

タの特徴である低電圧大電流放電が実現していると考えられる。

(3) 堆積速度

図7にFe膜の堆積速度とRFパワーの関係を示す。堆積速度は膜厚をスパッタ時間で割った値を用いた。マグネットを用いた場合、用いない場合ともに堆積速度はRFパワーに比例して増加し、通常の一枚ターゲットのスパッタの

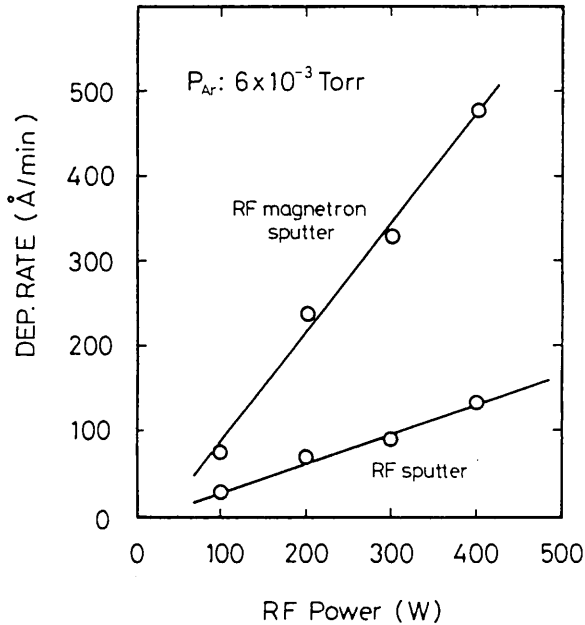


図7 Fe膜の堆積速度とRFパワーの関係
Relationship between deposition rate of Fe film and RF power

場合と同じ特性を示す。マグネットを用いた場合の堆積速度は用いない場合に比べ約4倍程度増加し、所期の目的である強磁性体の高速スパッタを実現できた。これは前述のようにマグネトロン放電によりArイオンが増加し、Fe原子がより多くスパッタされるためであると考えられる。

(4) 膜厚分布

図8に堆積したFe膜の中心の膜厚で規格化した膜厚分布を示す。中心から約30mmの範囲で約10%の分布を示す。マグネットを用いた場合は用いない場合に比べ距離による膜厚の変化が少ない。これはマグネットを用いない場合は放電の最も強い部分がターゲットの中心であるのに対し、マグネットを用いると放電がリング状になり、最も強い部分がターゲットの凹部になる。このため最も多くスパッタされるターゲットの部分が中心からリング状に外側の凹部へ移るため、より外側までスパッタ原子が到達するためであると考えられ、この結果膜厚の分布がマグネットを用いない場合に比べてよくなると考えられる。スパッタされたFe膜は図9のX線回折パターンに見られるようにα-Fe (110) 及び (200) 面からの回折が得られBCC構造を示す。

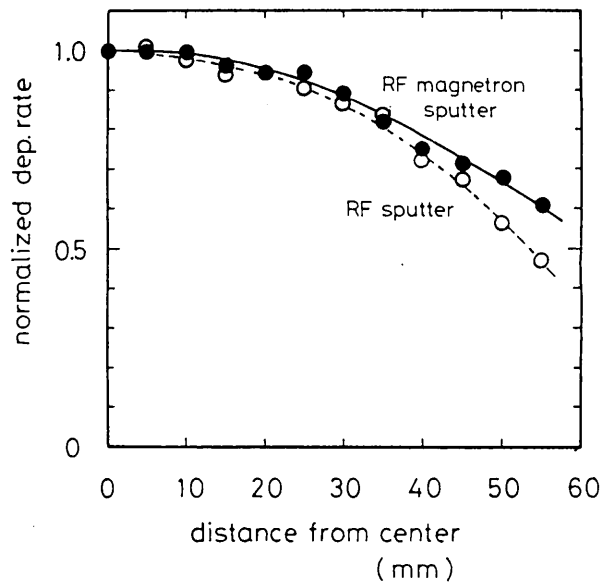


図8 スパッタ膜の膜厚分布
Distribution of deposition rate

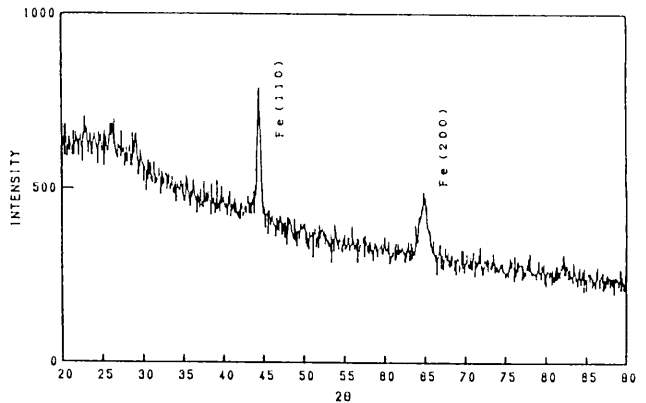


図9 Fe膜のX線回折パターン
X-ray diffraction pattern of Fe film

5. まとめ

ターゲット及びバックグプレート形状を改良することにより、強磁性体の高速スパッタ装置の開発を行った。この結果、強磁性体ターゲット表面上にもれ磁場を発生させることができ、マグネトロン放電が可能になった。FeをターゲットにArでスパッタを行った結果、マグネットを用いた場合には用いない場合に比べ約4倍の堆積速度が得られた。この装置はCo、Niなどの他の強磁性体への応用が期待でき、また形状等の改良を加えることによりスパッタ速度の向上が期待される。

参考文献

- 1) 星 陽一, 直江正彦, 山中俊一, 電子通信学会論文誌, **J65**, 490 (1982)
- 2) 高橋隆一, 宮田 努, 吉田順作, 電子通信学会論文誌, **J67**, 559 (1984)
- 3) K.Nakamura et.al, IEEE Transactions on Magnetics, **MAG-18**, 1080 (1982)