

# 対向ターゲット式スパッタリング法の 放電特性と堆積薄膜特性

武井重人\*・森迫昭光\*\*・松本光功\*\*\*

(平成7年5月31日受理)

## Discharge Characteristics in Facing Targets Type of Sputtering Method and Properties of Deposited Thin Films

Shigeto TAKEI\*, Akimitsu MORISAKO\*\*, Mitsunori MATSUMOTO\*\*\*

Facing targets type of sputtering (FTS) method gets notable attention to be very useful for preparing magnetic films at a high deposition rate without extreme rise of substrate temperature. In this paper, the discharge characteristics in the FTS system, the crystallographic characteristics and magnetic properties of iron films have been studied. It was found that the magnetic properties such as saturation magnetization and coercive force in this study are almost independent on the introduced argon gas pressure and the preferential orientation for iron crystallite changes from (200) to (110) orientation with increasing of applied power without the change in magnetic properties.

### 1. はじめに

今日の磁気記録デバイスは、より一層の細密化・高密度化が進められている。この基盤を支える主要技術の一つとして薄膜形成法が発展してきた。なかでもスパッタリング法は、さまざまな材料を用いた薄膜作製が可能であり、また、膜厚の制御が比較的簡単であるために薄膜形成法のなかで一般的な技術の一つになっている。しかしながら一般的に用いられているスパッタリング法では、薄膜の堆積速度が遅く、しかもターゲット表面から放出される熱放射や $\gamma$ 電子により基板温度が著しく上昇する。

---

\* 情報工学科 助手  
\*\* 情報工学科 助教授  
\*\*\* 情報工学科 教授

そこでマグネトロンスパッタリング法が考案され、現在広く使用されている。この方法では、Fig.1(a)に示すようにターゲットの後方に配した永久磁石によりターゲット表面上に直交電磁界が発生するので高密度プラズマが形成される。したがって、高速かつ低温のスパッタリングが可能である。しかしながら、厚い強磁性体ターゲットを用いると磁石から発生する磁束はほとんどターゲット内部を通過してしまうので高エネルギーを持った $\gamma$ 電子を閉じこめられず、高密度プラズマが形成できないため高速スパッタリングは行えない<sup>1)</sup>。

最近、この問題を解決する試みの一つとして、2枚の同一寸法の平板ターゲットを向かい合わせた対向ターゲット式スパッタリング(FTS)法が提唱された<sup>2)</sup>。これは、Fig.1(b)に示すように各々のターゲットの後方に永久磁石を配置してターゲット表面から垂直にプラズマ収束磁界を発生している。したがって、厚い強磁性体ターゲットであっても高速スパッタリングが可能である。この方法では、 $\gamma$ 電子が収束磁界と垂直な成分を持つとローレンツ力を受け螺旋運動を行うためターゲット

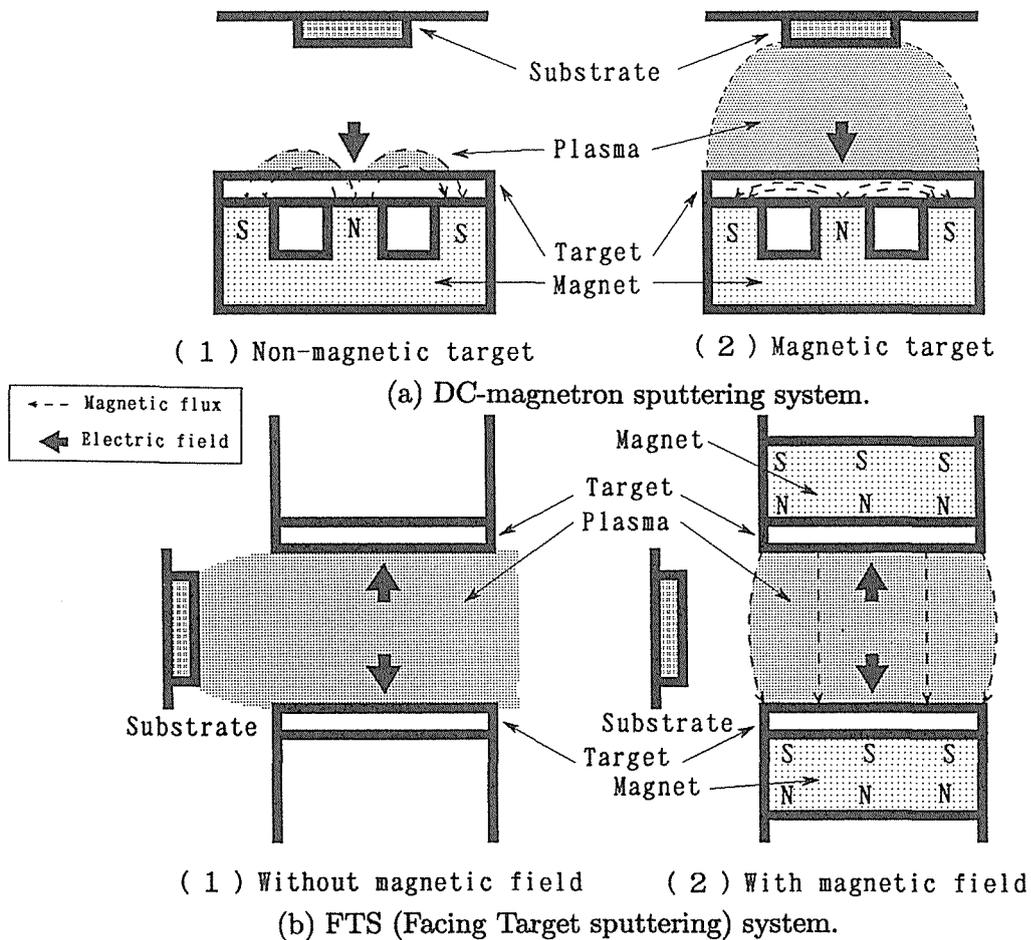


Fig.1 The position of targets and plasma region in FTS system and DC magnetron sputtering method.

間に閉じこめられる。さらに、 $\gamma$ 電子はターゲット間を往復運動して中性ガスの電離を促進し、高密度プラズマが形成される。基板はプラズマ発生領域外にあるために、 $\gamma$ 電子や放電ガスイオンの基板衝突による成長過程にある膜面の損傷や基板温度の上昇がほとんどないと言われている。したがって、近年いろいろな磁性体薄膜を作製するためにFTS法が用いられるようになってきている<sup>3)4)</sup>。

そこで本研究では、FTS法における放電特性を明らかにし、Fe薄膜を作製したときの膜厚分布ならびにその結晶性と磁気特性との関連を調べた。

## 2. 実験方法

本研究に用いたFTS装置の概略図をFig.2に示す。ターゲット間の距離は130mmであり、ターゲット間の中心軸から基板ホルダーまでは110mmである。基板ホルダーは70mm×70mmのサイズの基板まで取り付けが可能となっている。ターゲットは半径50mmのものまで使用可能であるが、シールドリングがあるために実際にはターゲットの半径39mmの部分がスパッタリングされる。またシールドリングとターゲット間は10mmである。使用したFeターゲットは純度99.9%で直径100mm、厚さ0.5mmのものを2枚使用した。また基板にはガラスを用いた。実験では、 $5.07 \times 10^{-5}$ Pa以下の圧力に排気した後純度99.999%のArガスを導入した。

FTS法における放電特性は、Feターゲットを取り付けた状態で導入Arガス圧( $P_{Ar}$ )を0.07~0.80Paに変化させたときの放電電圧に対する放電電流を、放電電流が低くなる方向に測定した。

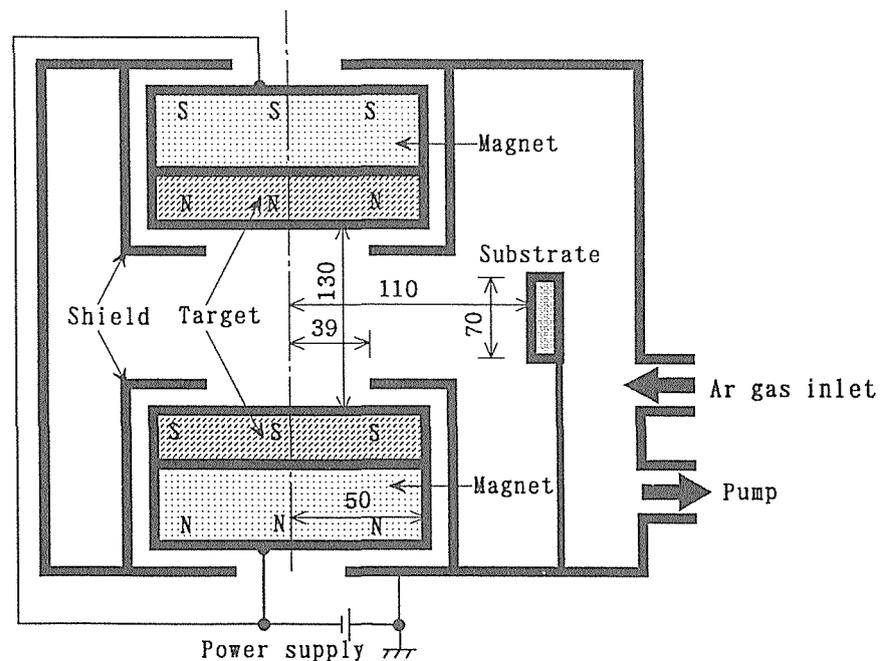


Fig.2 An illustration of FTS system used in this study. (unit in mm)

膜厚分布を調べるため導入 Ar ガス圧  $P_{Ar}$  を 0.80 Pa, 投入電力  $P_{in}$  を 470 W, スパッタ時間 12 分で室温にて Fe 薄膜試料を作製し, 触針式表面粗さ計を用いて測定した. このとき用いた基板は  $76 \times 26 \times 1$  mm のガラス基板である.

Fe 薄膜は, それぞれ室温において, 次の条件で作製した.

(1)  $P_{in}$  を 30 W 一定で  $P_{Ar}$  が 0.07 ~ 0.80 Pa

(2)  $P_{Ar}$  を 0.80 Pa 一定で  $P_{in}$  が 30 ~ 480 W

このとき膜厚は 65 ~ 100 nm になるようにした. 試料の比抵抗は四端子法により, 結晶学的性質は X 線回折 (Cu  $K\alpha$ ) により求めた. 磁気特性の測定には最大印加磁場 10 kOe までの振動試料型磁力計 (vibrating sample magnetometer ; VSM) を用いた.

### 3. 実験結果と考察

FTS 法による放電特性を Fig.3 に示す. 放電電流が 0.3 A を境として放電特性が変化することがわかった. すなわち, 放電電流が 0.3 A 以上では定電圧放電に近い特性を持つが, 単純な定電圧放電特性ではなく, 電流の増加とともに放電電圧が定

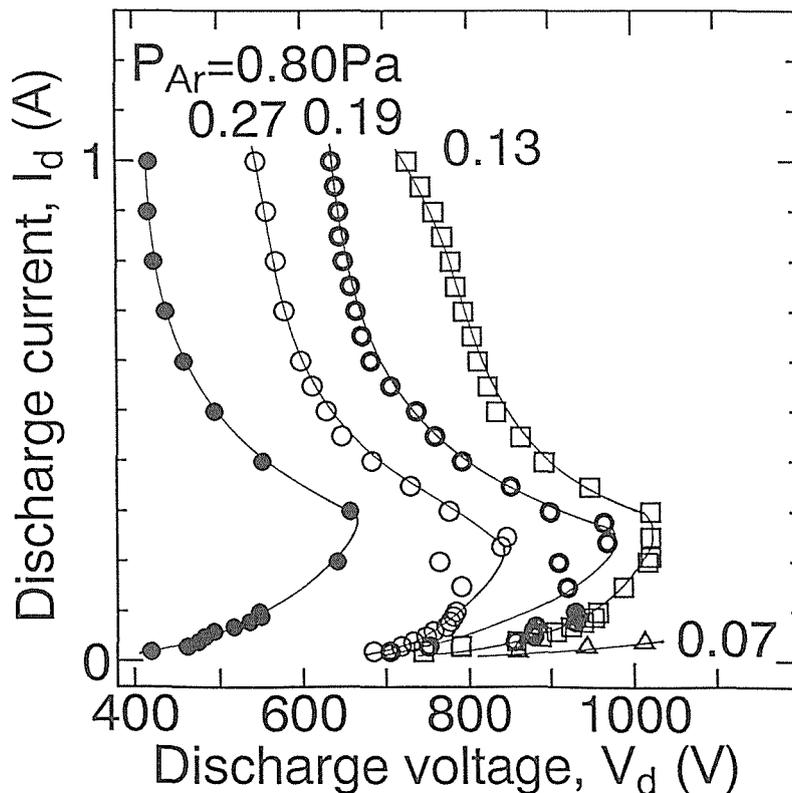


Fig.3 Discharge voltage,  $V_d$  versus discharge current,  $I_d$ .

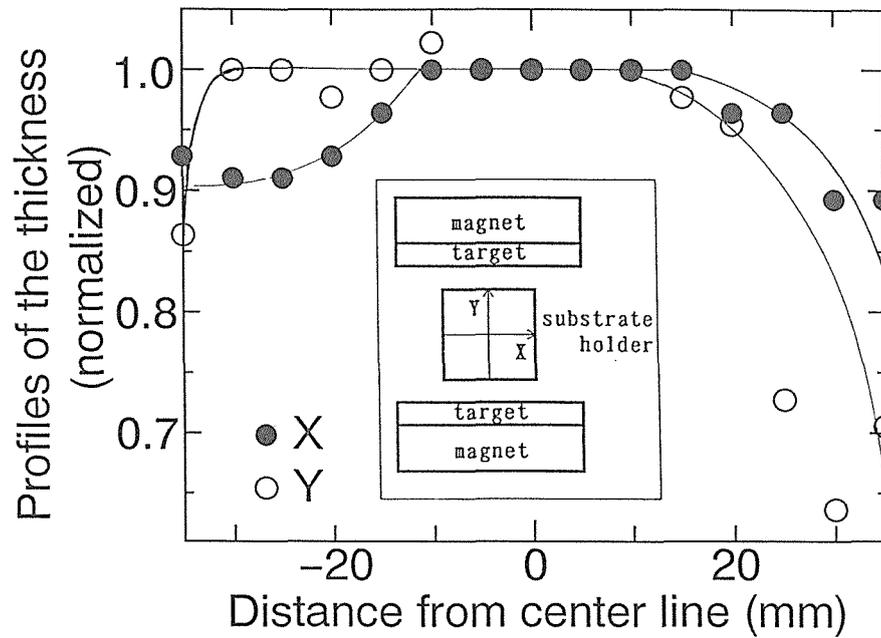
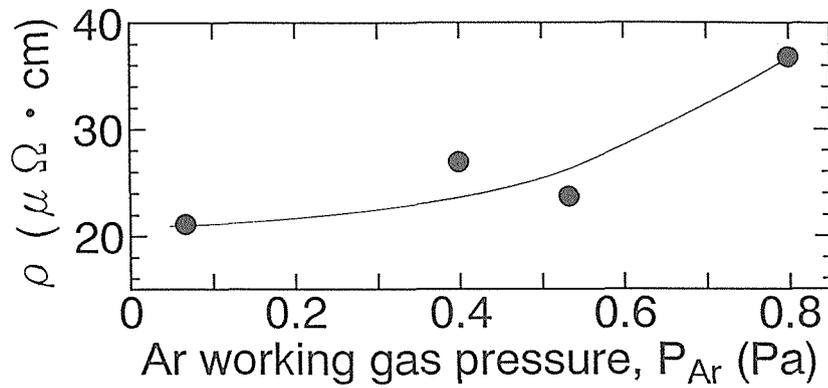
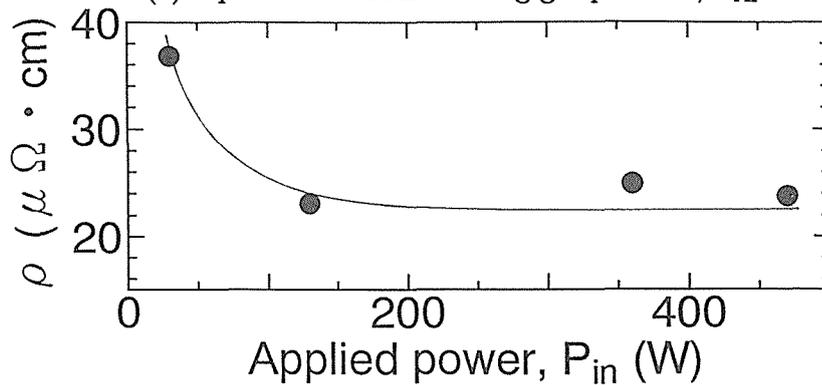


Fig.4 Distribution of film thickness in the directions of X and Y.



(a) Dependence on Ar working gas pressure,  $P_{\text{Ar}}$ .



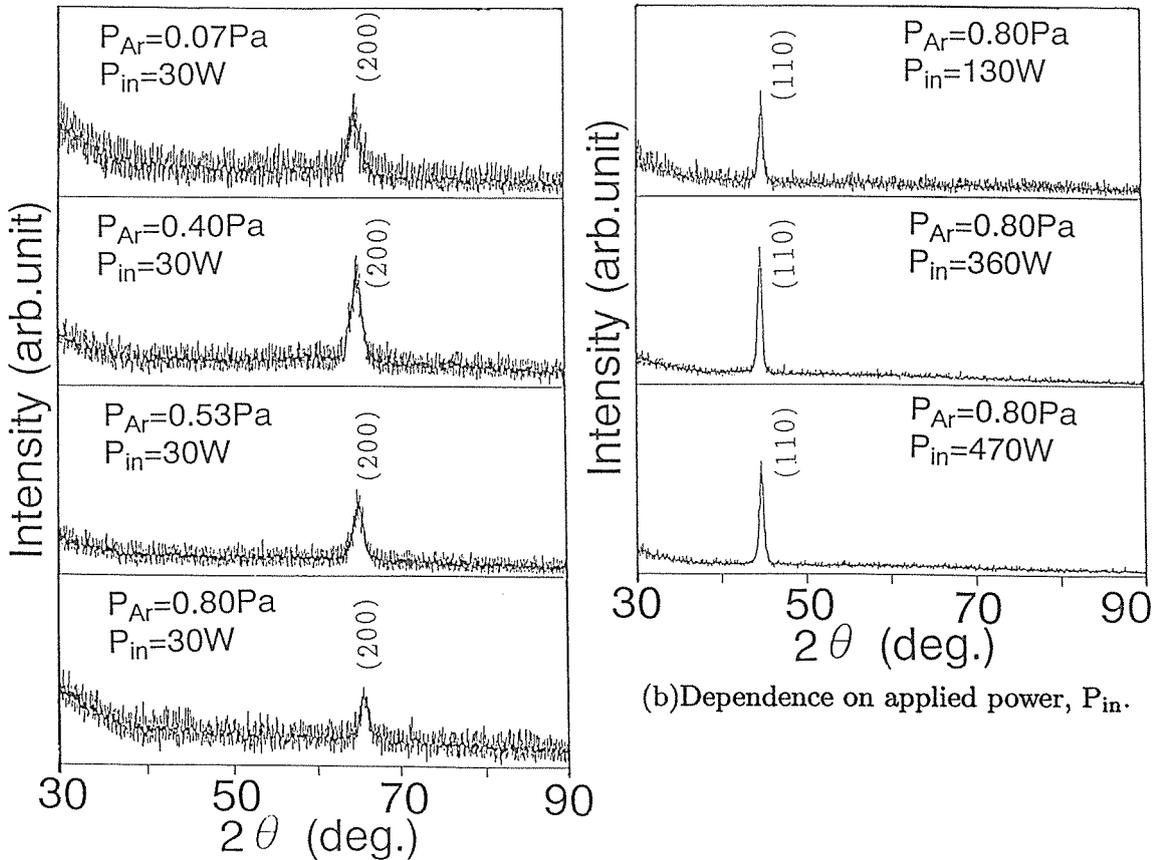
(b) Dependence on applied power,  $P_{\text{in}}$ .

Fig.5 Resistivity of Fe films.

電圧になるという特異な特性が認められる。これは放電インピーダンスが電流値の増加にともなって減少するためと考えられる。一方、放電電流が0.3A以下では放電電圧と放電電流は指数関数的な放電特性を示した。

本装置によって形成したFe薄膜の膜厚分布をFig.4に示す。中央の膜厚は250nmであった。これからY方向の膜厚分布はX方向の膜厚分布より広がっていることがわかる。これはFTS装置のシールドリングとターゲット間が10mmと比較的間隔があるため、基板方向に飛来するFe粒子がこのシールドリングによってかなり遮られているためではないかと考えられる。また、膜厚の誤差を5%まで許容するならば半径約20mmまでのディスク状の試料の作製が可能であるが、さらに大きな直径のディスクを作製するにはシールドリングの高さの調節が必要であることがわかった。

条件(1)および(2)で作られたFe薄膜の比抵抗 $\rho$ の結果をFig.5に示す。これらから、Fe薄膜の比抵抗はほぼ20~30 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ であるが、 $P_{\text{Ar}}$ および $P_{\text{in}}$ をそれぞれ0.80Paおよび30Wとした条件で形成したFe薄膜のみ36.8 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ と大きな値を持った。Fig.6(a)は条件(1)で作製した試料のX線回折パターンである。JCPDSカードにおいて



(a) Dependence on Ar working gas pressure,  $P_{\text{Ar}}$ .

Fig.6 X-ray diffraction patterns of Fe films.

相対強度 19 を持つ (200) 回折ピークのみが  $2\theta=65.1$  度に現れ、粉末試料における最強線である (110) ピーク ( $2\theta=44.7$  度) あるいは相対強度 30 の (211) ピーク ( $2\theta=82.4$  度) は現れなかった。すなわち、このときの Fe 薄膜は (200) 面配向していることがわかった。一方、条件 (2) で作製した Fe 薄膜の X 線回折パターン (Fig.6(b)) から、(110) 面が配向していることがわかった。したがって、 $P_{Ar}$  が 0.80 Pa の場合、 $P_{in}$  が 30 W から 130 W の間に配向面が変化していると考えられる。VSM による磁化曲線から求めた飽和磁化ならびに保磁力の  $P_{Ar}$  依存性と  $P_{in}$  依存性を Fig.7(a), (b) に示す。飽和磁化はいずれもバルクの値 ( $2.15 \text{ Wb/m}^2$ ) より小さい値をとるが、 $P_{Ar}=0.80 \text{ Pa}$  かつ  $P_{in}=30 \text{ W}$  という条件で作製した試料以外は著しい依存性は認められない。このときの保磁力はほぼ  $2.0 \text{ kA/m}$  であることがわかった。このような高 Ar 圧かつ低電力である条件で作製した試料は、不純物として Ar や残留ガスが膜内に取り込まれたため、Fig.5 のように他の試料に比べて大きな比抵抗を持ち、膜面内の実効的な密度が減少したために飽和磁化が減少したものと考えられる。

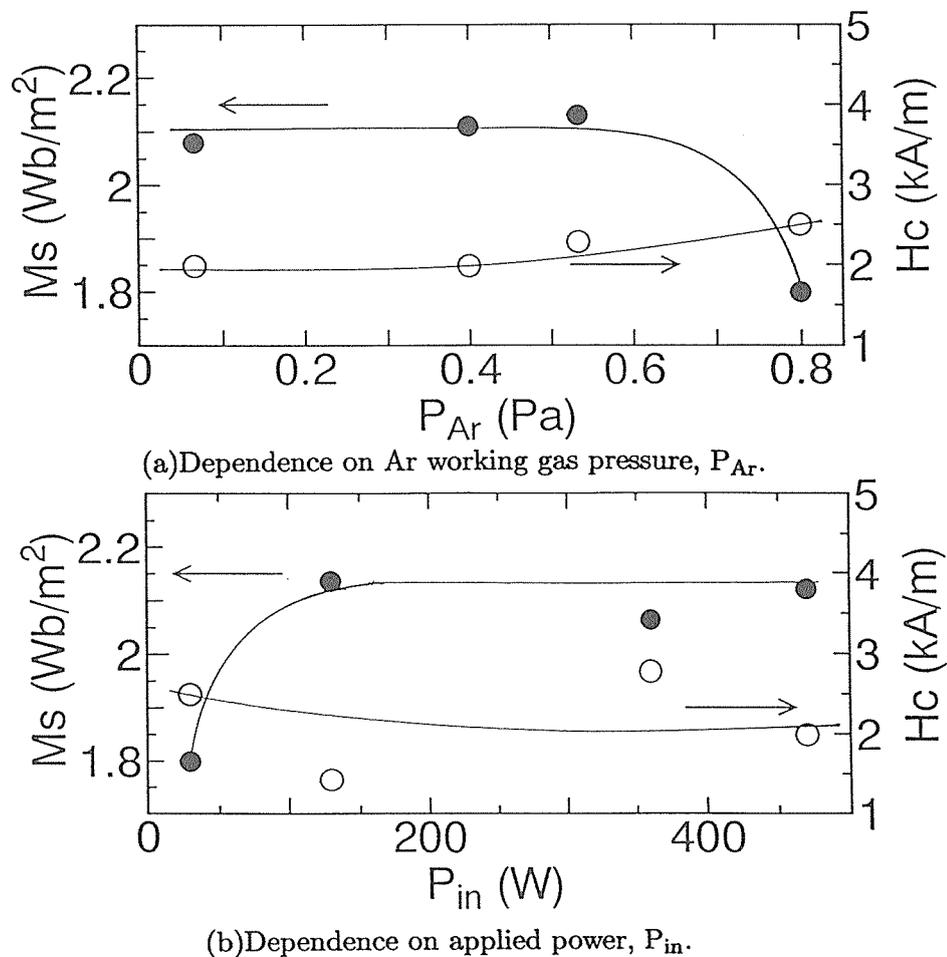


Fig.7 Properties of the saturation magnetization,  $M_S$  and coercive force,  $H_C$ .

#### 4. まとめ

本研究では、FTS法における放電特性は放電電流が約0.3Aを境としてその特性が変化することを明らかにした。特に約0.3A以上における大電流領域での放電電圧の減少という負性抵抗を示す特異現象を見いだした。この原因については不明であるが、今後、詳細な検討を行う予定である。一般のスパッタリング法で作製された試料が結晶配向を持たないのに対し、FTS法で作製されたFe薄膜は結晶配向を持ち、さらに投入電力に依存して結晶配向性が変化することがわかった。このとき、 $P_{Ar}$ を0.80Paおよび $P_{in}$ を30Wとした条件で作製した試料を除いて膜面内の飽和磁化ならびに保磁力に著しい変化が見られなかった。このことはFTS法を用いることによって他の材料系においても配向面の異なる薄膜を形成できる可能性を示唆しており、他のスパッタリング法とは異なる大きな特徴である。

#### 謝辞

本研究は平成6～7年度文部省科学研究費補助金試験研究(B)(課題番号06555093)によって行われた。

#### 文献

- 1) 金原 稔：スパッタリング現象(東京大学出版会，1984)pp.137～166.
- 2) M.Naoe, S.Yamanaka and Y.Hoshi：IEEE Trans. Magn. Magn. Mat. MAG-16, 646 (1980).
- 3) A.Morisako, M.Matsumoto and M.Satoh："Possibility of Synthesis of  $\alpha'$ -Fe<sub>16</sub>N<sub>2</sub> Films by Sputtering", Proc. of the 1st Magneto-Electronics Int. Symp., 409 (1994).
- 4) A.Morisako, M.Matsumoto and H.Yamada："Soft Magnetism of Fe-Al-Si sputtered films", Proc. of the 1st Magneto-Electronics Int. Symp., 405 (1994).