

多重磁極マグネトロンスパッタ装置の研究開発  
多重磁極マグネトロンスパッタのプラズマ解析  
梶岡 秀、新田 明、宮野 忠文、藤原 義也

Development of Magnetron Sputtering System with Multi-polar Magnetic Plasma Confinement  
Plasma diagnostics of Magnetron Sputtering System with Multi-polar Magnetic Plasma Confinement

KAJIOKA Hideshi, NITTA Akira, MIANO Tadafumi, FUJIWARA Yoshiya

It is very important to diagnose magnetron sputter plasma for development of a magnetron sputter gun with multi-polar magnetic plasma confinement because the characteristics of the sputter gun depend closely on properties of the Plasma. Therefore, we have developed the plasma diagnostics system with a deposition rate monitor, a digital camera, optical spectrometer, ion analyzer which are recorded in-situ and the same time. Plasma shape of magnetron sputter gun with multi-polar magnetic plasma confinement, Ni deposition rate, optical emission, Ar ion/Ni ion energy spectra are shown and discussed.

キーワード：マグネトロンスパッタ、プラズマ診断、イオンエネルギー分布

## 1 緒 言

本研究は NEDO 地域新生コンソーシアム研究開発事業「多重磁極マグネトロンスパッタ装置の研究開発」の一環として実施した。この事業では多重磁極マグネトロンスパッタガンを開発することがポイントとなるが、そのためにはまずターゲットの概念設計・磁場シミュレーション・ターゲット設計・ターゲット試作・磁場測定により、最適磁石配置条件を確定する必要がある。次にはこの試作ターゲットをスパッタチャンバーに搭載し、真空引きした後で ( $10^{-3}$  Pa 以下) アルゴンガスを一定圧力 (例えば 0.5 Pa) 導入し、ターゲットに電力を印加してスパッタプラズマを発生させ、プラズマを評価することが重要である。なぜならば、スパッタガンとしての最適磁場条件も、今までの経験を加味して最適条件を選定しているにすぎない。実際にプラズマを発生させその特性を解明するまでは、その条件が最適か否かを最終的に判断することはできない。それゆえに、プラズマ特性がスパッタガンの特性を決定するといっても過言ではない。さらに、今後スパッタガンを商品化し販売する際には、スパッタガンの性能をプラズマ特性値で明示することで、より客観的で普遍的な情報を提供でき、販売促進に寄与できる。この点からもスパッタプラズマの解析は重要と考えられる。

サブテーマに示した本研究は、地域新生コンソー

シアム研究開発事業の分担テーマであるが、プラズマ解析に適したスパッタ装置を開発するために、スパッタ装置の概念設計段階から参加し、ターゲット搭載位置、測定用ポートの配置、ポートの形状・サイズあるいはガラスの材質を検討した。ポートの種類は (a) 成膜速度測定用、(b) プラズマ形態観察用、(c) 発光スペクトル測定用、(d) イオン分析およびイオンエネルギー測定用、(e) 電子密度などのプラズマパラメータ測定用を用意し、in-situ で同時計測が可能なプラズマ解析システムを構築した。このような多機能なスパッタプラズマ解析システムは世界的にも例を見ないものである。

## 2 実験方法

プラズマ解析システムを配備したスパッタ試作装置の概念図を図 1 に示す。基本構成は真空チャンバーとその排気系、多重磁極マグネトロンスパッタガン、アーク防止対策を施した電源およびプラズマ解析システムから構成される。プラズマ解析システムは、(a) 成膜速度測定用の水晶振動子成膜モニター (日本真空(株) CRTM5000; 分解能 0.09 nm/s: 西部工業技術センター所有)、(b) プラズマ形態観察用の一眼レフデジタルカメラ (富士写真フィルム工業(株) Fine Pix S Pro: 本事業で導入)、(c) 発光スペクトル解析用高感度型の分光光度測定システム (大塚電子(株) IMUC7000, 光分解能 0.6 nm、1 回の最大測定波長範囲は 140 nm:

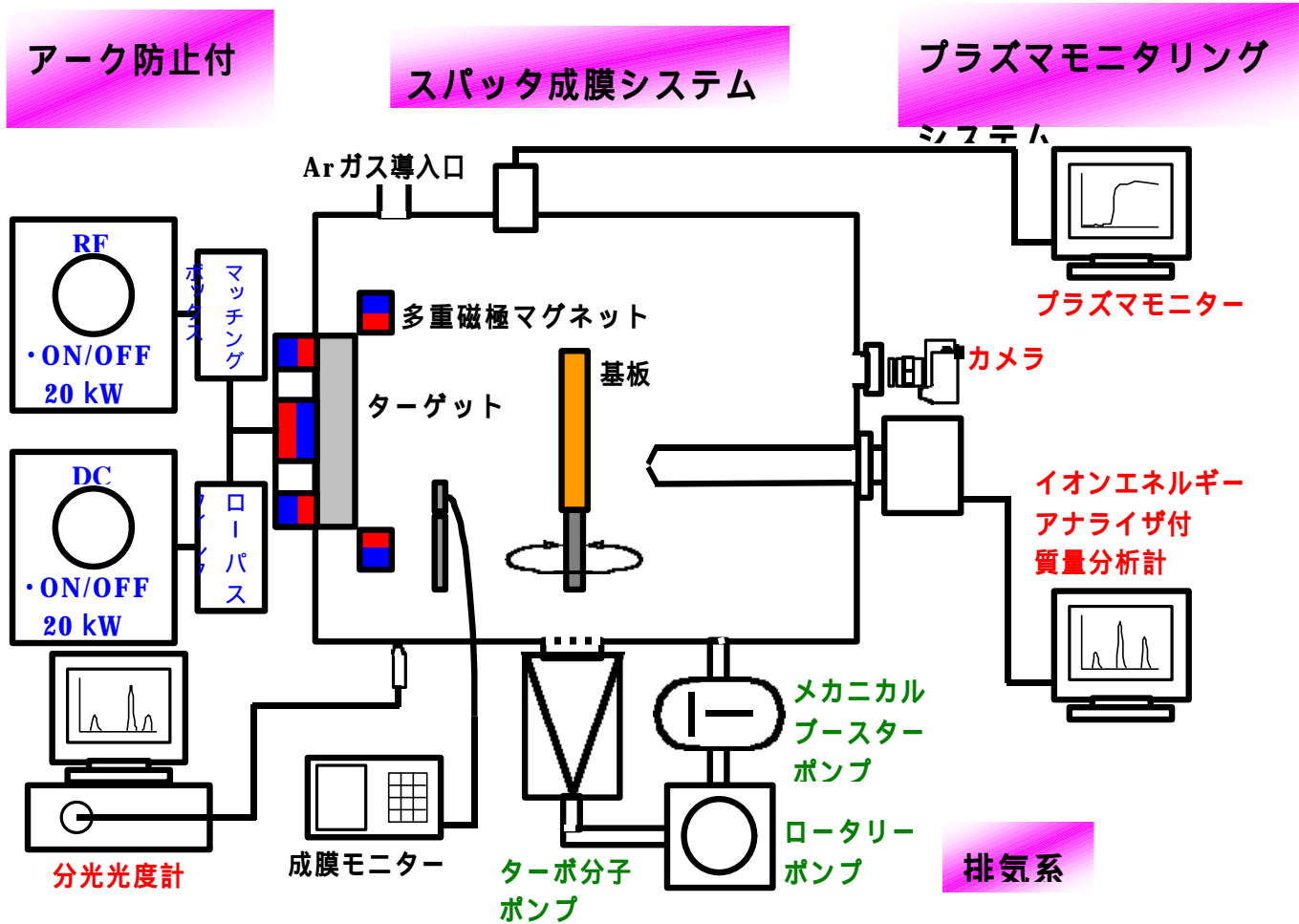


図 1 プラズマ解析システムを配備したスパッタ試作装置の概念図

西部工業技術センター所有) (d)イオン分析およびイオンエネルギー計測用のエネルギーアナライザ付き質量分析システム(バルザース株)プラズマプロセスモニターPPM422: 測定可能マスレンジ  $M/e=1\sim 500$ 、最大測定可能イオンエネルギー;  $\pm 500\text{eV}$ 、最小イオンエネルギー分解能;  $0.3\text{eV}$  以下、スパッタ時測定可能; ターボ分子ポンプ付き、オンラインモニタリング可能; 専用ソフト付きコンピューター: 本事業で導入) (e)プラズマパラメータ測定用のプラズマモニターシステム: 本事業で導入)で構成される。

スパッタ成膜条件は、アルゴンスパッタ圧  $0.5\text{Pa}$  一定、高周波電力  $50\text{W}$  一定で直流電力を  $0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0\text{kW}$  と重畳し、スパッタガンに印加してプラズマを発生させ、上で述べた (a) から (e) までを同時に計測した。

Ni 成膜速度の測定結果を図 2 に示す。成膜速度は印加直流電力に対して直線的に増加し、直流電力  $5\text{kW}$  では  $400\text{nm/分}$  に達する。この結果から Ni 膜厚は直流電力で制御できることがわかる。ただし、高周波電力  $50\text{W}$  (直流電力  $0\text{kW}$ ) での成膜速度  $0.025\text{nm/分}$  と非常に小さく、直流電力  $0.5\text{kW}$  印加持の成膜速度:  $40.8\text{nm/分}$  の  $6/10,000$  にすぎない。

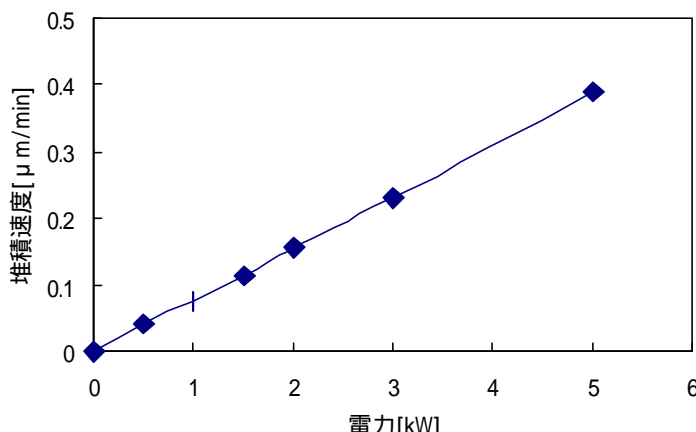


図 2 成膜速度と印加電力の関係

### 3 実験結果

#### 3.1 Ni 成膜速度

### 3.2 プラズマ形態

ターゲット試作に当たっては、既に述べたようにターゲット設計・磁界シミュレーション・磁界分布計測を繰り返すことで、外部の多重磁極配置による磁界分布の最適化を図る。試作したターゲットガンチャンバーに装着し、スパッタプラズマを発生させてプラズマの形態をターゲット正面方向や側面方向から観察することで、プラズマの対称性やプラズマの拡散状況を把握することができる。プラズマ形態の対称性など異常であればターゲットガンを脱着し、再度外部多重磁極の調整・磁界分布計測を行い、チャンバーに再装着してプラズマ形態観察を行った。最適と判断されたスパッタプラズマ写真を図3に示す。リング形状を示す典型的な平板マグネトロンスパッタプラズマと異なり、外部多重磁極の効果でプラズマ形態に現れており、6個の外部磁石配置と対応している。

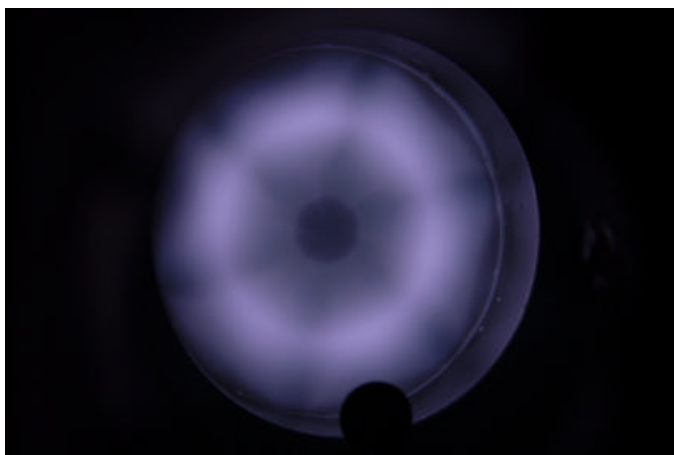


図3 多重磁極マグネトロンスパッタのプラズマ写真

### 3.3 発光スペクトル

既に述べたスパッタ条件下でのプラズマの発光スペクトルの測定結果を、図4(a)と図4(b)(測定波長範囲: 200nm-340nm)に示す。直流電力0kWは実線で、2kWは細い破線で、5kWは太い破線で重ねて表示した。しかし、実線は小さくてピークの同定が困難であるので、実線のスペクトルのみを図4(b)に示した。この条件ではNiの成膜速度は非常に小さいので、当然スパッタされたNiの原子密度も小さい。それゆえ図4(b)のスペクトルはAr励起種の発光スペクトルであると考えられるが、310nm付近のブロードなピークはMIT Wavelength TableでAr励起種の発光スペクトル

であることを確認した。図4(a)の破線で示すスペクトルはArのスペクトルと一致しないので、太い破線、細い破線スペクトルともNi励起種に帰属すると判断でき、また主要なピークはMIT Wavelength TableのNiデータと一致した。しかもNi原子以外にもNiイオン励起種に帰属するピークも認められた。

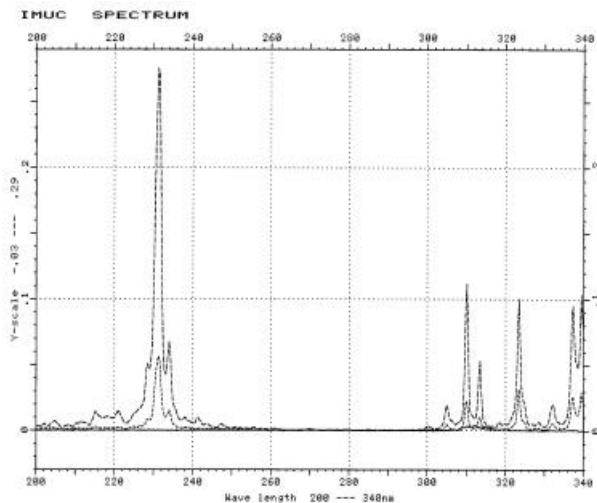


図4(a) 発光スペクトル(200nm-340nm)

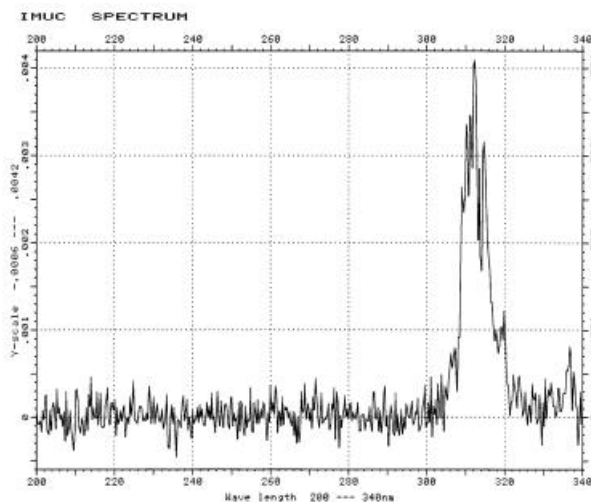


図4(b) 発光スペクトル(200nm-340nm)

### 3.4 ArイオンとNiイオンのエネルギー分布

上で述べたのと同じ条件下でのスパッタプラズマのArイオンとNiイオンのエネルギー分布を測定した。その結果を図5と図6に示す。

高周波電力50W印加した時、Arイオンのエネルギー分布ピークは約22eVで、重畳する直流電力の増加に伴って直流電力2.0kWまではエネルギー分布は3.4eVと低エネルギー側に大きくシフ

トする。直流電力 2.0kW 以上ではわずかに減少のみで、5.0kW でも 2.8eV へと減少するのみである。スペクトルのピークイオン強度は直流電力 0kW で約  $2 \times 10^5$ (cps)であり、0.5kW までは急増するが、これ以上で飽和傾向が見られる。

Ni イオンのエネルギー分布の直流電力に対する図 6 の挙動は、図 5 の Ar イオンの場合とよく似た挙動を示すが、高周波電力 50W のみ印加した場合は、Ni イオン強度は検出限界( $1 \times 10^{-3}$  cps)以下であったため、図中に示さなかった。印加電力の増加に伴って、Ar イオン、Ni イオンともエネルギーは減少したが、一般的にはプラズマ密度が増加するとプラズマ電位も増加し、その結果イオンのエネルギーも増加すると考えられる。図 5、

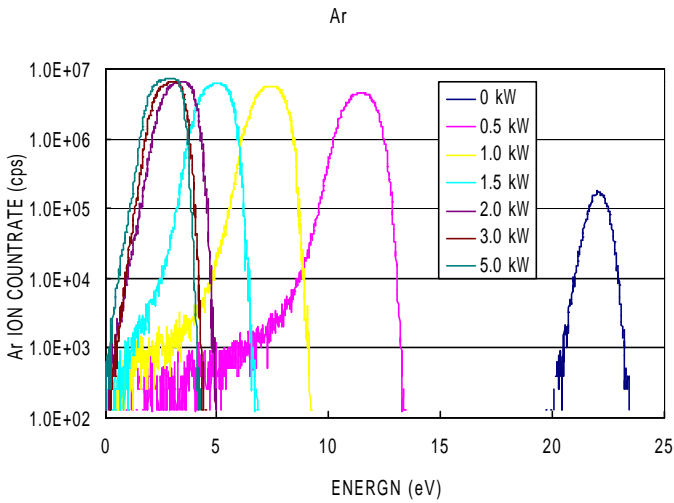


図 5 Ar イオンのエネルギー分布

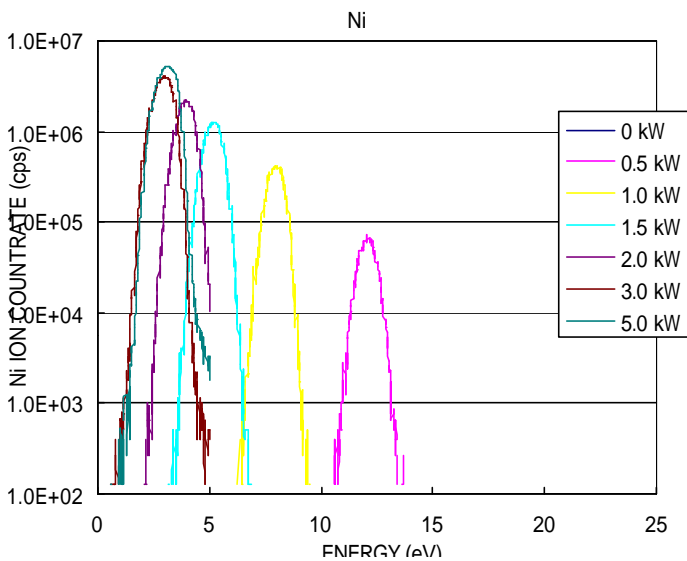


図 6 Ni イオンのエネルギー分布

図 6 のようにイオンエネルギーが減少するのは、印加電力の増加によりスパッタ Ni 原子は増加し、これらの中性の Ni 原子によって Ar イオンと Ni イオンともクウェンチされるためと考えられる<sup>1)</sup>。

#### 4 まとめ

(1) スパッタプラズマ解析に適した装置を試作し、成膜速度、プラズマ形態観察、プラズマ発光スペクトル、イオンエネルギー分布の測定が同時にできることを確認した。

(2) 高速成膜時でもプラズマ解析が可能で、スパッタガスとしての Ar だけでなく、スパッタされた Ni がプラズマに大きく寄与することがわかった。すなわち、多重磁極マグネトロンスパッタの特徴を明らかにすることができた。

(3) 詳細な研究は今後進めるが、多重磁極マグネトロンスパッタガンの商品化に貢献する予定である。

#### 文献

1) E. Kusanoら :Surface and Coatings Technology, Vol.108-109(1998)177.

謝辞 本研究は平成 12 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「多重磁極マグネトロンスパッタ装置の研究開発」で NEDO から委託され実施したものである。ここに感謝の意を表す。また実験に当たっては広島工業大学電子工学科川畑研究室の皆さんの協力を得た。合わせて感謝の意を表す。