誘導結合プラズマ支援型多重磁極マグネトロンスパッタ法による ニッケル成膜時の基板電流特性*

竹迫 寿晃^{*1}・宮本 嗣久^{*1}・川畑 敬志^{*1}

Characteristics of Substrate Current in Magnetron Sputtering of Nickel with Multipolar Magnetic Plasma Confinement Assisted by Inductively Coupled Plasma

Kazuaki TAKESAKO^{*1}, Tsuguhisa MIYAMOTO^{*1} and Keishi KAWABATA^{*1}

^{*1}Department of Electronics and Photonic Systems Engineering, Hiroshima Institute of Technology,
2-1-1, Miyake, Saeki-ku, Hiroshima 731-5193

(Received October 28, 2004, Accepted February 12, 2005)

The discharge characteristics in magnetron sputtering of Ni with multipolar magnetic plasma confinement (MMPC) assisted by inductively coupled plasma (ICP) were investigated. When sputtering with MMPC assisted by ICP, the current flowing into the substrate due to Ar⁺ ions and sputtered Ni⁺ ions is increased up to 46 mA, about 2.7 times that of a conventional magnetron sputtering system. The substrate current significantly increases in comparison with a conventional magnetron sputtering system as the target dc bias voltage increases. It is shown that a nickel film with the orientation of (111) plane is formed by using ICP.

1. はじめに

薄膜作製技術の一つであるスパッタ法において、エネルギー粒子の基板照射は表面拡散による膜質の高密度化、膜表面の平坦化、基板と膜の付着力強化など成膜に重要な役割を果たす¹⁾。基板に照射されるエネルギーは基板への入射イオンとスパッタ原子の入射束比とイオンエネルギーの積に依存する¹⁾。このことから効率的にエネルギー粒子を基板に照射するには基板付近までプラズマを拡大させ、基板に入射するイオンを増加させる必要がある。しかし、通常マグネトロンスパッタ法ではターゲット表面に形成される磁場の影響でプラズマがターゲットの表面上に生じ、基板がプラズマから離れるため入射するイオンを増加させることは困難である。イオンを効率的に基板に入射させる方法として開発されたアンバランスマグネトロンスパッタ法²⁾では、通常マグネトロンスパッタ法と異なりターゲット上表面に磁場を分布するだけでなく、基板方面に向かう磁場も形成している。そのため電子が基板方向へスパイラル運動し、プラズマが基板の近傍まで広がる。また、誘導結合プラズマ支援マグネトロンスパッタ法はプラズマの高密度化と共に低圧力化を狙い開発された手法である³⁾。この方式を前述したスパッタ法によって形成される磁場中に設置することでさらにスパッタ中のイオン化が促進され、基板に入射するイオン束の増加が期待できる。

本研究では、従来のマグネトロンスパッタ法のターゲット上側面に永久磁石を配置することで、ターゲット上により広い磁場を形成できる多重磁極マグネトロンスパッタ法⁴⁾を用いた。そして、誘導結合プラズマ支援による通常マグネトロンスパッタ法と多重磁極マグネトロンスパッタ法における基板電流特性について検討した。

2. 実験方法

実験装置構成図を Fig. 1 に示す。排気系は液体窒素トラップ、油拡散ポンプ及び油回転ポンプで構成されている。ターゲット表面上の磁場分布を変化させるため通常の磁石内蔵式平板マグネトロンのターゲット外部に永久磁石を配置した。さらに、ターゲット上にプラズマ発生用の高周波コイルとして SUS304 製パイプ (直径 3 mmφ) を 165 mmφ でスパイラル状に 3 回巻いて設置した (ターゲットからコイル中央までの距離 60 mm)。ターゲットにローパスフィルタを介して直流電源を接続している。基板に流れ込む電流を測定できるように基板は浮遊バイアスとし、ローパスフィルタを介して電圧を印加した。ターゲットには Ni (直径 200 mm, 厚さ 5 mm)、スパッタガスに Ar (純度 99.9999%) を用いた。圧力を 4.0×10^{-5} Pa まで排気した後、ガスを導入して、放

Fig. 1 Schematic diagram of a dc magnetron sputtering system with a multipolar magnetic plasma confinement assisted by inductively coupled plasma.

* 平成16年10月28日 第45回真空に関する連合講演会で発表

^{*1} 広島工業大学工学部電子・光システム工学科
(〒731-5193 広島市佐伯区三宅 2-1-1)

電圧力及びガス流量はそれぞれ 1.33×10^{-1} Pa, 1 sccm 一定とした。146 mm ϕ の基板ホルダーを用い、ターゲット-基板間は150 mmとした。誘導結合プラズマ支援による従来のマグネトロンスパッタ法 (without external magnets) と多重磁極マグネトロンスパッタ法 (with external magnets) における基板に流れ込む電流の変化を測定した。結晶構造は基板に Corning 社の1737ガラス基板を用い、X線回折法 (XRD, CuK α) により評価した。

3. 実験結果及び考察

設置したコイルの中心部でNiターゲットの表面から60 mmの位置において、テスラメータを用いてターゲットと垂直方向の磁束密度を測定した結果を Fig. 2 に示す。ターゲット上の広い範囲において高い磁束密度を得ることができ、その値はターゲット中心から80 mmの位置で最も高く3倍以上に増加していることがわかる。これは、ニッケルのような磁性体をターゲットとする場合、通常のマグネトロンスパッタ法に比べ、多重磁極マグネトロンスパッタ法では外部磁石の影響により基板方向への磁力線が形成されているためであると考えられる。

多重磁極マグネトロンスパッタ法と通常のマグネトロンスパッタ法において、ターゲット直流バイアス電圧 (V_T) を -400 V一定、高周波電力をパラメータとしたときの基板電流の基板直流バイアス電圧 (V_S) 依存性を Fig. 3 に示す。基板に負の直流バイアス電圧を印加した領域でのイオンによる電流が多重磁極マグネトロンスパッタ法を用いることで増加していることがわかる。 $V_S = -100$ V, 高周波電力30 Wのとき、イオン電流は通常のマグネトロンスパッタ法では17 mA, 多重磁極マグネトロンスパッタ法では46 mAの値を示し、約2.7倍に増加している。これは Fig. 2 で示したように基板方向への磁力線によりプラズマが基板方向へ引き出され、アシスト用イオンが有効に活用できるためであると考えられる。また内部に設置した高周波コイルによる誘導結合プラズマの効果でイオン化が助長され、イオン電流が増加していることも確認できる。また $V_S = -80$ V 一定としたとき

Fig. 2 Magnetic flux density measured at the point of 60 mm on the nickel target.

の基板電流の V_T 依存性を Fig. 4 に示す。 $V_T = -500$ V, 高周波電力30 Wのとき、イオン電流は通常のマグネトロンスパッタ法では25 mA, 多重磁極マグネトロンスパッタ法では117 mAの値を示し、約4.7倍に増加している。この結果より多重磁極マグネトロンスパッタ法において、スパッタ中に発生する2次電子が基板方向への磁力線により基板方向へ引き出されるため、 V_T の増加に伴い効率よくイオン化されていることがわかる。

Fig. 5 に $V_T = -450$ V, $V_S = -80$ V一定とし、各スパッタ法において作製したNi薄膜のX線回折パターンを示す。各スパッタ法においてNi(111), Ni(200)のピークが観測された。Fig. 5より多重磁極マグネトロンスパッタ法を用いることでNi(200)の相対強度は減少し、Ni(111)の相対強度が増加していることがわかる。また高周波電力30 Wを印加し

Fig. 3 Substrate current as a function of substrate DC bias voltage at the rf power 0 W and 30 W with and without external magnets.

Fig. 4 Substrate current as a function of target DC bias voltage at the rf power 0 W and 30 W with and without external magnets.

Fig. 5 X-ray diffraction patterns of the films prepared at the rf power 0 W and 30 W with and without external magnets.

た場合、通常のマグネトロンスパッタ法ではNi(111), Ni(200)の相対強度が共に増加しているのに対し、多重磁極マグネトロンスパッタ法ではNi(200)のピークがほとんど観測されなくなった。これはイオン電流の増加に伴うイオンアシスト効果の影響によると考えられる。

4. ま と め

ニッケル板をターゲットとして、誘導結合プラズマ支援によるプレーナ・マグネトロンスパッタによる成膜を試みた。この際、通常のマグネトロンスパッタ法に比べ、多重磁極を

付加することで基板電流特性の向上が見られ、結晶配向性のよいニッケル膜が得られた。

〔文 献〕

- 1) 小林春洋, 細川直吉: 部品・デバイスのための薄膜技術入門, (総合電子出版社, 東京, 1992) 209.
- 2) B. Window and G. L. Harding: J. Vac. Sci. Technol., **A8**(3) (1990) 1277.
- 3) M. Yamashita: J. Vac. Sci. Technol., **A7** (1989) 151.
- 4) K. Kawabata, T. Tanaka, A. Kitabatake, Y. Mikami, H. Kajioka and K. Toiyama: J. Vac. Sci. Technol., **A19** (2001) 1438.