電子サイクロトロン共鳴加熱プラズマを用いた リニアスパッタリング装置の作動特性*

安井 利明^{*1}・松本 友宏^{*1}・田原 弘一^{*1}・吉川 孝雄^{*1}

(受理1998年12月1日, 掲載決定1999年2月6日)

Operational Characteristics of Linear Sputtering Source Using Electron Cyclotron Resonance Plasma

Toshiaki YASUI^{*1}, Tomohiro MATSUMOTO^{*1},
Hirokazu TAHARA^{*1} and Takao YOSHIKAWA^{*1}

^{*1}(Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Machikaneyama 1-3, Toyonaka, 560-8531, Osaka)

(Received December 1, 1998, Accepted February 6, 1999)

A linear sputtering source using electron cyclotron resonance (ECR) plasma was developed for reactive sputter deposition with large area. It is composed of slot antennas on a rectangular waveguide with 268 mm long, permanent magnets around the slots and a target within the discharge chamber. Microwaves of 2.45 GHz are radiated from the slots and generated plasma along the waveguide. A sputtering target is placed within the discharge chamber to achieve high deposition rate. Moreover, this plasma source prevents microwave window contamination by sputtered particles. The spatial uniformity of Ar plasma at 0.146 Pa was $\pm 7.8\%$ within 180 mm in the long direction. By using Ti target and mixture of Ar and N₂ gases, TiN films were successfully deposited with thickness uniformity of $\pm 11.3\%$ within 160 mm and deposition rate of 16.2 nm/min.

1. はじめに

将来の大面积プラズマプロセスを可能にする一つの手法として、細長いシート状プラズマを用い、流れ工程で等価的に大面积処理を行う方法が考えられている。このシート状プラズマの生成にマイクロ波を用いたプラズマ源はその簡素な構造にもかかわらず、クリーンかつ高密度プラズマを一樣に生成できることから注目を集めている¹⁻⁷⁾。特に磁場を併用した電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECR) を用いたシート状プラズマ源³⁻⁷⁾は、低圧下での放電が可能のため、スパッタ源・イオン源のソースプラズマとしての応用も期待できる。本研究室では、これまで方形導波管上に切ったスロットアンテナと永久磁

石を用いたシート状 ECR プラズマ源の開発を行い、そのプロセス応用としてスパッタ成膜実験を行ってきた⁵⁻⁷⁾。シート状 ECR プラズマ源をスパッタリング成膜に用いる場合、マイクロ波投入窓へのスパッタ蒸着を低減するために、ターゲットを放電室出口にプラズマ流と平行に配置する必要があった。このため、プラズマ密度の低下を避けられず成膜速度を高めることができない上、マイクロ波投入窓へのスパッタ蒸着を完全に防ぐことはできなかった。

そこで、成膜速度を高めるために放電室内部にターゲットを配置し、さらにマイクロ波投入窓へのスパッタ蒸着を防ぐためにターゲットの死角となる後方よりマイクロ波の入射が可能な構造を持つリニアスパッタリング装置を新たに考案した。本報告では、本装置の作動特性として放電室内で生成されるプラズマの特性と反応性スパッタリングによる窒化チタン薄膜の成膜特性を調べた結

* 平成10年11月12日 第39回真空に関する連合講演会で講演

^{*1} 大阪大学大学院基礎工学研究科 (〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町1-3)

Fig. 1 Linear sputtering source using electron cyclotron resonance plasma.

Fig. 2 Spatial profile of plasma along the linear sputtering source. (50 mm downstream from slot antenna.)

果について報告する。

2. 実験装置

Fig. 1 にシート状 ECR プラズマを用いたリニアスパッタリング装置を示す。方形導波管の側面にマイクロ波投入窓とスロットアンテナ板が設置されている。導波管の管軸方向に沿って 2 本のスロットがスロットアンテナ板に切られており、このスロットを通じてマイクロ波を放電室 (W268×H21×D19 mm) に入射する。ターゲット (L240×W10 mm) は、2 本のスロットの間に下流に向けて設置される。各スロット周りを永久磁石列で囲みターゲット近傍に 875 G の ECR 面を生成し、ターゲット近傍での高密度プラズマの生成を可能にする。基板はターゲット表面から 35 mm 下流の放電室出口に正対させて配置する。ターゲットは、放電室壁面からセラミック板により絶縁支持されており、放電室壁面に対しタ

Fig. 3 Electric field distribution along the linear sputtering source.

ーゲット材にのみスパッタ電圧を加えることができる。基板は放電室壁面と共に接地されており、加熱などは行わない。磁石の固定されているスロットアンテナ板を水冷する事により磁石の温度上昇を抑制しているが、磁石表面の局所加熱を避けるため主に 600 W 以下のマイクロ波入力で行った。本装置では、ターゲット位置からスロット後方のマイクロ波投入窓は死角となるため、窓へのスパッタ蒸着を防ぐことができる。更にターゲットと基板を正対して配置する事により、高い成膜速度とプラズマ流による基板表面での反応促進が期待される。得られた膜は X 線光電子分光法 (XPS) を用いて分析した。

3. 実験結果と考察

3.1 プラズマの特性

静電単探針により測定した飽和イオン電流密度の放電室長軸方向の空間分布を Fig. 2 に示す。作動ガス Ar、放電室圧力 0.146 Pa の時、180 mm の範囲でプラズマの空間変動は $\pm 7.8\%$ 以下であった。この時、中央でのプラズマ密度は $1.04 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ と高い値が得られている。しかし、作動ガス N_2 、放電室圧力 0.142 Pa の時、空間変動は 90 mm の範囲で 19.1% と大きくなり、そのプラズマ密度も $7.87 \times 10^{16} \text{ m}^{-3}$ と低かった。Fig. 3 にスロットアンテナから放射されるマイクロ波電場の z 方向成分の空間分布をプラズマ負荷のない状態で測定した結果を示す。Fig. 2 との比較から電場のピークの位置にプラズマが強く生成されていることが分かる。作動ガスに混合ガス ($\text{N}_2/\text{Ar}=1$)、放電室圧力 0.142 Pa の時、飽和イオ

Table 1 Sputtering condition.

Target	Ti
Working gas	$N_2/Ar=0.5\sim2.0$
Pressure	$0.132\sim0.141$ Pa
Microwave power	600~700 W
Target bias voltage	200 V
Substrate	glass

ン電流密度はArと N_2 のほぼ平均的な値をとるが、その空間分布は N_2 の場合を強く反映した分布となった。

作動ガスAr、放電室圧力0.146 Paで、ターゲット電圧に対するターゲット電流の変化を調べた。ターゲット電流は200 V前後で最大値をとり、更に電圧を加えると緩やかに減少する傾向が見られた。マイクロ波電力600 Wの時、ターゲット電圧200 Vで82 mA (3.21 mA/cm^2)の最大のターゲット電流が得られた。そこで、このターゲット電圧200 Vで成膜実験を行った。

3.22 成膜特性

ターゲットにTi、作動ガスにArと N_2 の混合ガスを用いて反応性スパッタリングによる窒化チタンの成膜実験を行った。成膜条件をTable 1に示す。5時間の成膜の間、基板ホルダー中央部での基板温度はどの成膜条件においても大きな変化はなく $110\sim130^\circ\text{C}$ であった。流量比 N_2/Ar の増加と共に成膜速度は低下するが、 $N_2/Ar=1.5$ の時に最も高い原子組成比 $N/Ti=0.48$ が得られた。この時、成膜速度は 14.0 nm/min であった。ターゲットを放電室出口に設置した場合も、流量比の変化に対し同じ傾向を示したが $N_2/Ar=1.5$ で $N/Ti=0.96$ のほぼ理論組成比に一致する膜が得られていた。しかし、この時の成膜速度は 7.5 nm/min と低かった^{5,6)}。

そこで投入電力700 Wで成膜を行ったところ、 $N/Ti=1.1$ とほぼ理論組成比に一致する膜が得られた。また、XPSスペクトルの波形解析からもはっきりとしたTi-N結合の存在が確認できた。本装置ではターゲットを放電室内部に設置した結果、ターゲットを放電室出口に設置した場合と比較してスパッタによるTiの基板への蒸着量は高くなったが、投入電力600 Wでは十分な量の活性なNラジカルを基板表面に供給できていなかったと推測される。

投入電力600 W、 $N_2/Ar=1.5$ で得られた膜厚及び原子組成比の空間分布をFig. 4に示す。160 mmの範囲で $\pm 11.4\%$ の一様性をもつ膜厚分布が得られた。しかし、膜の原子組成比 N/Ti の空間分布には強い不均一性が現れた。これはFig. 2に示した窒素プラズマの空間的な

Fig. 4 Spatial distribution of deposited film thickness and atomic composition ratio along the linear sputtering source.

不均一が強く影響していると考えられる。基板の各位置でのスパッタされたTiと活性なNラジカルの輸送比が異なっていることが主な原因と考えられる。

4. 結 論

本研究ではターゲットを放電室内に設置する事により成膜速度を高め、更にマイクロ波投入窓へのスパッタ蒸着を防ぐことができるリアスパッタリング装置を新たに開発し、その作動特性を明らかにした。本装置では、Ar (0.146 Pa) で空間分布が180 mmの範囲で $\pm 7.8\%$ 以内の一様性を持つプラズマが生成できた。また、反応性スパッタリングによりTiN膜を160 mmの範囲で $\pm 11.3\%$ 以内の一様性で成膜し、その成膜速度を 14.0 nm/min と高めることができた。

【文 献】

- 1) K. Komachi: J. Vac. Sci. Technol., **A12** (1994) 769.
- 2) T. Tahara, J. Kitayama, T. Yausi, K. Onoe and Y. Tsubakishita and T. Yoshikawa: Rev. Sci. Instrum., **65** (1994) 669.
- 3) A. Ishii, S. Amadatsu, S. Minomo, M. Taniguchi and M. Sugiyo: J. Vac. Sci. Technol., **A12** (1994) 1068.
- 4) 吉木宏之: 真空, **41** (1998) 802.
- 5) T. Yasui, K. Nakase, H. Tahara and T. Yoshikawa: Jpn. J. Appl. Phys., **35** (1996) 5495.
- 6) 安井利明, 西土井健, 中瀬清隆, 田原弘一, 吉川孝雄: 真空, **40** (1997) 224.
- 7) T. Yasui, T. Nishidoi, H. Tahara and T. Yoshikawa: Proc. 13th Int. Symp. Plasma Chemistry, Beijing (1997) 444.