高速マグネトロン RF スパッタ法によるタンタル薄膜*

福島 志郎**・細川 直吉**・水田 高之***

(昭和55年12月18日 受理)

High-rate Magnetron RF Sputtering of Tantalum

Shiro FUKUSHIMA, Naokichi HOSOKAWA

(Anelva Corporation, Fuchu, Tokyo)

and Takayuki MIZUTA

(Nippon Electric Company, Ltd., Yokohama)

(Received December 18, 1980)

1. はじめに

ここ数年、マグネトロンスパッタ法によるメタライズが注目され、各所で応用されてきている。しかし、タンタル薄膜の成膜は、製造ラインでは依然としてコンベンショナルタイプ（従来型の二極スパッタ法）によるものが多く¹⁾、マグネトロンスパッタ法が使われていない。この理由は従来型において、タンタル成膜条件の確立の際に種々の技術的困難さを伴ったため、マグネトロン法でも相当な困難が予想されることにあった。一部でマグネトロン DC スパッタ法による実験報告もあるが²⁾、DC スパッタ法は基板ホルダに付着したタンタル薄膜のハガレ等が原因で、異常放電が起り易いという欠点がある。我々は放電安定性の面ですぐれた高速プレーナマグネトロン RF スパッタ法でタンタル薄膜抵抗を作り評価した。

2. 実 験

実験に使用した装置は、日電アネルバ製カルーセル（円筒回転）基板ホルダ型パッチ式スパッタ装置、SPC-530H、及び5kW RF 電源である。タンタルターゲットは、5"×15"の大きさで、冷却効果を上げる為に銅の裏板にボンデングされている。基板ホルダーは幅約80mm、高さ約500mmの短冊16面から構成された正16面体で、

その中心軸のまわりに5rpmで回転される。基板ホルダーの外側に設置されたターゲットからスパッタされる原子が基板ホルダーの外周面に付着する。基板をターゲット前面に静止した時に比べて回転中の膜付着速度は約1/10になるが、比較的速度の大きい回転により全周にわたり均質な膜が得られる。基板加熱を200~300℃で約30分行い、圧力が 5×10^{-6} Torr 以下になったところで加熱を止め、次いでガス導入しプリスパッタを10~15分行ってからスパッタした。スパッタリング最中のArガス流量は80 scc/min 圧力は 5×10^{-3} Torr (6.6 Pa)、で一定とした。更に様々なレベルのN₂ガスを混入してリアクティブスパッタを行った。基板は、パイレックスガラスとアルミナ基板を使用し、重量法から求めた厚さと、4端針法から求めた面積抵抗値から比抵抗を計算した。又、異なるN₂分圧で作製された膜について、CuのK α 線(1.54Å)によるX線回折を用いて調査した。

3. 結 果

Fig. 1 は付着速度とN₂分圧の関係を示す。N₂ガスの混入によりスパッタ圧力はAr圧力とN₂分圧の和となるが、N₂分圧はArの1/10以下であり大きな変化はない。Arガスのみ(5×10^{-3} Torr)の付着速度は、RF入力電力3kWで180 Å/minであり、1kWで60 Å/minと、入力電力に比例している。これにN₂ガスを混入すると、N₂ガス圧を増すに従い、付着速度は減少する。

Fig. 2 は比抵抗とN₂分圧の関係を示す。RF入力電力3kWの比抵抗は、Arガスのみで作製した膜で160~

*昭和55年11月13日 第21回真空に関する連合講演会で講演(13a-9)

**日電アネルバ株式会社(府中市四谷5-8-1)

***日本電気株式会社(横浜市緑区池辺町4035)

Fig. 1 Deposition rate vs. nitrogen partial pressure.

Fig. 2 Specific resistivity vs. nitrogen partial pressure.

195 $\mu\Omega$ -cm に分布し、平均 180 $\mu\Omega$ -cm であった。N₂ ガス混入により、はじめ減少し、N₂ 分圧 3.5×10^{-5} Torr で最小値となる。更に N₂ 分圧を高くすると今度は徐々に増加し、 2×10^{-4} Torr で plateau 領域に入る。N₂ 分圧 3×10^{-4} Torr から再び増加する。RF 入力電力 1 kW ではより低い N₂ ガス分圧でこのことが起る。

Fig. 3 は RF 入力電力 3 kW の TCR と N₂ 分圧の関係を示す。図の縦軸 +600 ~ -300 ppm/°C は等間隔、-400 ~ -2000 ppm/°C は対数目盛となっている。Ar ガスのみでスパッタした膜の TCR は、-60 ~ -200 ppm/°C である。N₂ 分圧 3.5×10^{-5} Torr で最大値で +590 ppm/°C となる。 1×10^{-4} Torr で plateau 領域に入り 2×10^{-4}

Fig. 3 TCR vs. nitrogen partial pressure.

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of tantalum nitride thin film.

- (a) P_{N_2} 0 Torr
- (b) P_{N_2} 1.8×10^{-4} Torr
- (c) P_{N_2} 3.6×10^{-4} Torr

Torr から再び減少する。比抵抗と TCR のカーブを比較した場合、TCR の plateau 領域は N₂ 分圧の低い方にシフトしている。

Fig. 4 は異なる N₂ 分圧で作製したタンタル膜の X 線

Fig. 6 Resistance change through accelerated aging at 450°C in atomospheric circumstance.

ディフラクトパターンである。

(a)はArガスのみで付着させた膜のパターンである。(200), (400)のピークのための配向性の強いβ-Taであることを示している。

N₂混入により $2\theta=37.4^\circ$ にピークをもつα-Taができる。更にN₂分圧を高くし、 1.6×10^{-4} Torrになると 38.3° にTa₂Nの(101)のピークが現われる。

(b)はN₂分圧 1.8×10^{-4} Torrの条件で作製した膜のものである。各ピークはhcp構造のTa₂N(002), (101), (004)である。この条件はTaNができる条件に近い。

(c)はN₂分圧 3.6×10^{-4} Torrの条件で作製した膜のものである。(b)から(c)にN₂分圧を徐々に高くすると $2\theta=35.1^\circ$ のピークが少しずつ低くなり、それと共に 40.9° のピークが高くなっていく。このことから 35.1° のピークはTa₂Nの(002)と考えられるが、N₂分圧が変わると配向性も変わってくると判断し、(c)はfcc構造を有するTaNの(111), (200), (220), ((311)のピークと同一とした。

X線回折の結果、各N₂分圧下の結晶構造が決められたが、Ta₂N, TaNについてのピークの出方がすでに報告されているコンベンショナルタイプのものと若干異なる^{3,4)}。これらの現象は、マグネトロン方式特有のもの

か、成膜条件によるものか更に検討する必要がある。

Fig. 5は異なるN₂分圧で作った抵抗膜の大気中450°Cのエージング特性を示す。抵抗変化率の大小により、膜質の緻密さがわかるが、抵抗膜の表面から酸化が進み、抵抗膜が薄い程抵抗変化が大きくなる。このことを考慮すると 2×10^{-4} Torrのものが最も良好な緻密な膜で、従来法で作製した膜に比し、約 $\frac{1}{2}$ の変化となっている。

N₂分圧 2×10^{-4} Torrで作製した抵抗膜は、陽極化成法によるトリミング特性も良かった。

4. ま と め

高速プレーナマグネトロンRFスパッタ法で作製したタンタル薄膜の膜質は、比抵抗、TCR、及び結晶構造的に、従来報告されているものと同質であり、かつ、抵抗膜のエージング特性では従来法のものより優れていることがわかった。RF方式はDC方式に比較し放電安定性に勝る。マグネトロン方式では、付着速度が従来型の5~10倍となるため、1サイクルの作業時間が $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ になり生産性が高まることが確認された。

謝辞

本研究の実施にあたり助言をいただいた日本電気株式会社積回路事業部佐藤恵彦氏、X線回折データを提供していただいた岩崎通信機電子部品部大沢猛氏に深く感謝します。

〔文 献〕

- 1) 例えば、麻蔭立男、他：応用物理 **43** (1973) p 368.
- 2) M. H. Rottersman et al: Proc. of 27th ECC. (1977) p 462.
- 3) M. Nakamura et al: JJAP **12** (1973) p 30.
- 4) W. D. Westwood et al: *Tantalum Thin Films* (Academic Press Inc, London, 1975)