円筒マグネトロンスパッタ装置の電極構造の改良

金子 忠夫*・桜井 美恵子*・入戸野 修**

(受理1995年2月16日, 掲載決定1995年5月6日)

Improvement on the Target Structure in a Cylindrical Magnetron Sputtering Apparatus

Tadao KANEKO*, Mieko SAKURAI** and Osamu NITTONO**

*(Gunma College of Technology, 580 Toriba-cho, Maebashi-shi, Gunma 371)

**(Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152)

(Received February 16, 1995, Accepted May 6, 1995)

1. ま え が き

筆者らが既に開発した円筒マグネトロンスパッタ装置^{1,2)}は、陽極に正電圧を印加して放電させる構造であることから、基板を接地電位以下の負電位としての被覆が可能である。このような電位状態の純銅線にチタンを被覆すると密着性の良い被膜が得られる事を前報³⁾で報告した。しかしながら、この方式の装置では、接地電位よりも-100 V 以下で密着性が逆に低下した。これは基板を衝撃する正イオンに対する加速電圧を増大させ過ぎたことを示唆する。イオン衝撃効果を密着性のよい被膜の成膜に最大限利用するためには、バイアス電圧を変化させないで基板を衝撃する正イオン量のみを増加させる技術的改善が必要である。平板マグネトロンスパッタ装置の場合には、非平衡マグネトロンスパッタ方式を採用しプラズマの一部を基板側に引出す方法がある。本研究ではこの方法を参考にして円筒形ターゲットの形状を変更することで同等の効果を生み出すことを目的とした。以下に試作装置のターゲット形状と装置の特性及び得られた被膜の構造について述べる。

2. 試作装置の基本的構造

試作装置のターゲット形状および陽極の配置を Fig. 1 に示す。主な特徴は、(1)円筒形ターゲット (図の A 部)

Fig. 1 A new type of sputtering target for wire coating.

下部に円錐形ターゲット部 (図の B 部) を設けたこと、(2)円錐形ターゲット部の下部にホローカソード放電用小穴 (図の C 部) を設けたこと、および、(3)陽極を円筒形ターゲット部の上部のみに設けたことである。円筒と円錐で構成されるターゲット方式を採用したのは、プラズマがターゲット表面付近のみに集中しないこと、さらに、円錐部分で線材 (基板) とターゲットを接近させ、線材 (基板) をプラズマにさらしやすくすることの 2 点を意図したためである。このような構造は円錐部で電子を放電空間へ追い返す傾向を示すので、陽極を一個使用するだけでも良いと考えられる。しかし円筒ターゲット部が短いので大きな成膜速度が得られにくいと予想される。そのため小穴部を設け穴内部にも放電を発生させることによってターゲット部へ電子を供給することと

* 群馬工業高等専門学校 (〒371 群馬県前橋市島羽町580番地)

** 東京工業大学 (〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

した。

3. 実験方法

3.1 試作装置

試作装置の概略を Fig. 2 に示す。工業用純チタン丸棒 (JIS H4650, 2 種) を施盤加工しターゲットとした。リング状陽極はステンレス鋼製とした。ターゲットをステンレスパイプ内に置き、この外周に電磁コイルを巻いた。アルゴンガスは、微量流量バルブを介して円筒形ターゲット上部から導入し、ターゲット部の上下 2 カ所から排気した。

3.2 放電特性及びバイアス電流の測定

装置の基本的性能を把握するため放電特性を調べた。この際基板は設置しなかった。バイアス電流の測定に際しては、基板として熱電対用素線の鉄線あるいはコンスタンタン線 (おのおの直径 0.508 mm, 長さ約 400 mm) を用いた。放電を開始するとこれらの線に電流が流れる。以下ではこの電流をバイアス電流という。

3.3 被膜の観察

基板にはタフピッチ純銅線 (JIS H3260, C1100, 直径 1 mm, 長さ 300 mm) を用いた。基板電位を、(1) 電氣的に絶縁する。(2) 10 k Ω あるいは 5 k Ω の抵抗を介して接地することによって変化させた。成膜条件は、スパッタ電圧; 310 V, スパッタ電流; 400 mA, アルゴン圧; 5.3 Pa, 成膜時間; 900 秒とした。電磁コイルに 4.4 A を通電し、磁場を測定したところターゲット中心軸上付近で約 7×10^{-3} T であった。得られた被覆純銅線をニッパで切断し、切断面を SEM (日本電子 (株) 製, FE-SEM, JSM-6301F) で観察した。

Fig. 2 A sputtering apparatus fabricated in this study.

4. 実験結果および考察

4.1 放電特性とバイアス電流

試作装置の組立後、ブリスパッタを行った。数時間後にはチタン原子の発光と考えられる青色の発光色となった。ターゲットの中心部 (基板の置かれる位置) での発光が著しく、プラズマはターゲットの表面付近には集中しないことが確認された。スパッタ電圧を僅かに下げると小穴内部でも放電しているのが見えた。放電特性を Fig. 3 に示す (測定時にスパッタ電圧を変えた方向を矢印で示した)。スパッタ電圧 400 V で 500 mA 程度のスパッタ電流が得られ、前報¹⁾の円筒マグネトロンスパッタ装置の特性と比較して大差ないことがわかった。この放電特性図ではターゲットに小穴部を設けた効果は不明であるが、小穴内部でも放電していることから若干のホローカソード放電による効果はあると考えている。

バイアス電流の測定結果を Fig. 4 に示す。バイアス電流はスパッタ電流の 1 割近い値であった。基板に直径 1 mm の純銅線を用いて、バイアス電流を 65 mA まで上昇させたところ、純銅線は Fig. 5 に示すように約 15 mm にわたり溶融した。溶融箇所は円錐形ターゲットの上部付近 (円筒形部に近い方) であった。この位置が最もイオン衝撃の著しい場所と推定される。これらの結果から、基板表面を多数の正イオンおよび高速粒子で衝撃しながら成膜することが可能であることがわかった。

4.2 被膜の観察

電氣的に絶縁した場合の被覆純銅線は、一部分剝離していた。密着している上下 2 カ所の被膜の SEM 像を Fig. 6 に示す。これらの被膜は柱状晶構造を示した。既に報告したように円筒マグネトロンスパッタ装置によるチタン被膜は、イオン衝撃が著しい場合には柱状晶構造

Fig. 3 Current-voltage characteristics of the present apparatus.

Fig. 4 Bias current measured through a wire set in the central line of the apparatus.

Fig. 5 A partially melted copper wire on account of particle bombardment.

が発達しない³⁾。したがって柱状晶構造になっていたことは、イオン衝撃が不足した状態で成膜されたと解釈される。

純銅線を10 k Ω あるいは5 k Ω の抵抗を介して接地した場合ではいずれの被膜も剥離しなかった。バイアス電流は、10 k Ω の抵抗では22 mA、5 k Ω の抵抗では25 mAであった。これから抵抗両端の電圧降下は220 V、125 Vと計算されるので、純銅線の電位はスパッタ電圧 (310 V) よりそれぞれ90 V、185 V 低いと推定される。10 k Ω の抵抗を使用して被覆した純銅線 (電氣的に絶縁した際剥離した場所と同一位置) のSEM像をFig. 7に示す。被膜の内部にはわずかに柱状晶構造が認められ、被膜表面は著しく平坦である。このことからFig. 7の被膜の構造は、スパッタ膜の構造に関するThorntonのモデ

Fig. 6 Cross sectional surfaces of titanium films deposited under an electrically isolated condition. (a) the upper part film and (b) the lower part film nearby a partially peeled off part.

Fig. 7 Cross sectional surface of a titanium film deposited by using a 10 k Ω electric resistance.

ル⁴⁾におけるZone Tに属するものと考えられる。次に5 k Ω の抵抗を使用した場合の被覆純銅線について述べる。Fig. 8(a)は、円筒形ターゲット付近の被膜であり、柱状晶構造は認められず被膜表面は平坦である。これに対し、円錐形ターゲット部の上部付近の被膜は、Fig. 8(b)に示すように被膜破面に延性破壊に特有な大きさ約200 nmの微小なdimpleが見られる。基板温度を測定していないので断定はできないが、イオン衝撃による基板温度の上昇を考慮すると、これらの被膜は、ThorntonのモデルのZone IIあるいはZone IIIに属する可能性がある。

前報³⁾でのチタン被覆は、-200 Vのバイアス電圧で成膜した場合に破面にdimpleが認められた。したがっ

Fig. 8 Cross sectional surface of a titanium film deposited by using a 5 k Ω electric resistance. (a) nearby the cylindrical target part and (b) the conical target part.

て Fig. 8(b)の被膜は、著しくイオンの衝撃を受けつつ堆積したために延性が増大したものと推定される。また、被膜と基板との界面が明確でないことから、被膜は基板に強く密着していることが期待される。直径10 mmの鋼棒に巻き付けた被覆純銅線のSEM像を Fig. 9に示す。(a)、(b)は、それぞれ Fig. 7, Fig. 8(b)の被膜観察箇所と一致している。割れや剝離の様子は(a)、(b)で著しく異なり、(b)では引張り変形側の被膜の割れは観察されない。これらの結果から、基板を適当な値の抵抗を介して接地すれば、破断伸びが大きくしかも密着性の良い被膜が得られることがわかった。最適な抵抗値に関する詳細な実験と、線材（基板）を移動させながら、連続的に成膜した場合の密着性に関する実験を現在行っている。

5. あとがき

基板の線材を衝撃する正イオン量を増加させることを目的として円筒マグネトロンスパッタ装置の電極構造を変更・改良した。電極は、円筒部、円錐部及び小穴から

Fig. 9 SEM micrographs of bending titanium-coated wires. (a) using the 10 k Ω and (b) the 5 k Ω .

構成されるターゲットと、リング状陽極一個で構成した。ターゲット内部の中心軸上に純銅線を置くと、イオン衝撃効果に起因する延性の高い被膜が堆積した。抵抗を介して基板を接地することで成膜中の基板電位は簡単に制御でき、比較的密着性の良い被膜を得るのに効果的であった。

〔文 献〕

- 1) 金子忠夫, 飯田美恵子, 小島 昭, 大谷杉郎: 炭素, 1993 [NO. 159] 197-201.
- 2) 金子忠夫, 桜井美恵子, 入戸野修: 真空 36 (1993) 918-923.
- 3) 金子忠夫, 桜井美恵子, 入戸野修: 真空 37 (1994) 639-643.
- 4) R. F. Bunshan et al: Deposition Technologies for Films and Coating, 214, NOYES PUBLICATIONS (USA).