高周波無電極放電によるスパッタリング方式 (Ⅲ)*

山下 睦雄**

(昭和54年12月28日 受理)

Sputtering System by RF Electrodeless Discharge (III)

Mutsuo YAMASHITA

(Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University, Neyagawashi, Osaka)

(Received December 28, 1979)

はじめに

スパッタ法における成膜速度の向上には、ターゲット近傍に高濃度のプラズマを発生させることが有効である

前報¹⁾では、直流二極スパッタ法と高周波無電極放電を組み合わせることにより高濃度プラズマを作り、これによって強磁性材料に対しても低温高速スパッタを可能にした、新しいスパッタ装置の成膜特性について述べた。

高周波放電を利用したスパッタ装置では、高周波電源と負荷の間のインピーダンス整合が重要な要素となる。特に当スパッタ方式では、高周波放電によって発生したプラズマをさらにターゲット、高周波コイル及びプラズマ遮蔽用メッシュによって囲まれた小さな空間に閉じこ

め、これによって濃度を格段に高める方法をとっているためにインピーダンスの整合は更に重要な問題となる。このため当報告では、整合回路の設計製作の際の基礎資料となるプラズマの諸特性及び高周波負荷インピーダンスの測定結果について述べる。

1. 実験装置

実験に使用した装置は前報¹⁾のものと同じであるが、**Fig. 1**に電気系統を中心とした実験装置の概要を示す。真空チェンバーは点線で示してあるが、これはステンレス製で直径 15 cm の円筒状をしている。このチェンバー内はプラズマ遮蔽用ステンレスメッシュによってスパッタ室とデポジション室の二つに仕切っている。スパッタ室には直径 10 cm の円板状コバルトターゲットを置き

Fig. 1 Schematic diagram of the sputtering system using the RF electrodeless discharge phenomenon

*昭和54年11月15日 第20回真空に関する連合講演会で講演 (15a-3)

**大阪電気通信大学工学部 (大阪府寝屋川市初町18-8)

Fig. 2 Dependence of target current I_T , bias current I_B and bias voltage V_B on bias resistance R_B

水冷を施した ターゲットの下側に直径 10 cm 巻数 4 回のプラズマ発生用高周波コイルを設置した デポジション室にはシャッター及び水冷を施した基板台を置いた 周波数 13.56 MHz の高周波電力は電力計、SWR メータ及び整合回路を通して高周波コイルに加わる このコイルは整合回路の一部にもなっており、RFCを通して接地されている このためコイルの電位は高周波的には接地から浮かし、直流的には接地電位とすることができる また、RFC と接地間に抵抗 R_B を挿入することによって、 R_B の両端に生じる直流電圧 V_B をバイアス電圧としてコイルに加えることもできるようにした

2 R_B と I_B , V_B 及び I_T の関係

バイアス電流 I_B は主として高周波コイルの電位がプラズマ電位より高くなっている間にプラズマ空間からコイルに流入する電子によって生じる電流で、プラズマ濃度やプラズマ電位に大きな影響を及ぼす

Fig. 2 はアルゴンガス圧力 $P_{Ar} = 1 \times 10^{-2}$ Torr, 高周波電力 $P_{RF} = 500$ W ターゲットに加える負の直流電圧 $V_T = 500$ V でスパッタしながらバイアス抵抗 R_B を変えたときの I_B , V_B 及びターゲットを流れる直流電流 I_T の値をプロットしたものであるが、 I_T は主としてイオンによる電流であるため、 I_B とは電流の向きが反対となる

ここで、 $R_B = 0 \Omega$ 即ち、コイルが直流的に接地された状態では、 I_B は 1.6 A と非常に大きな値を示すが、 R_B の増加とともに急激に減少する 特に R_B が 1 k Ω 以上になると放物線状の変化となり、このため V_B はほぼ一定値に保たれる 一方 I_T は 3 k Ω 位までは増加を示

すがそれ以上ではほぼ一定値 (500 mA) となる

3 スパッタ中のプラズマ電位

2 で述べたようにプラズマ空間から高周波コイルによって多量の電子を奪うことになれば、この空間は電子が不足してその電位は上昇することになる これを確認するために、 $P_{Ar} = 1 \times 10^{-2}$ Torr, $P_{RF} = 300$ W, $V_T = 500$ V でスパッタを行ないながら円柱プローブ (露出部の表面積 0.5 cm²) を用いて I_B とプラズマ電位 V_p の関係を調べた この結果、 R_B によって I_B を 100 mA 以下に制限した場合にはプラズマ電位は 17 V 程度と比較的低く、 I_B による変化は殆んど認められないが、 I_B がこれを越すと I_B の増加とともにプラズマ電位も上昇し、極端な場合として $R_B = 0 \Omega$ ($I_B = 1$ A) にすると 100 V 程度まで上昇することかわかった また、これらのプラズマ電位の値は、このプラズマ中からイオンを高真空中にビーム状に引き出してエネルギー分析を行なったときのイオンの過剰エネルギーの値に一致していた

4 高周波負荷インピーダンスとその測定法

Fig 1 の Z_L は放電によって初めて生じる高周波負荷インピーダンスであり等価的には高周波コイルに並列に加わる形となる しかしながらこの Z_L は放電条件によって大きく変化するため、直接インピーダンスブリッジ等で測定することはできない 従って次に述べる方法で測定した (1)スパッタ室内のアルゴンガス圧力及び高周波電力を所定の値に保って放電を行ない、整合回路を調整して VSWR を 1.05 以下にする (2)整合回路はそのままにしておいて高周波電力を止め、スパッタ室内の圧力を 10^{-5} Torr 程度の高真空にする (3)コイルの二つの導入端子間に高周波用抵抗器を接続して再び(1)と同じ値の高周波電力を加える (このときには放電はおこなわないで、高周波電力は抵抗器で消費される) (4)抵抗値を加減して放電時と同じ整合状態にする (5)このときの抵抗の値を放電時の高周波負荷インピーダンスとする

5 P_{Ar} と Z_L , I_B , V_B の関係

Fig. 3 に P_{Ar} の変化に対する Z_L , I_B 及び V_B の変化を示す Z_L は測定した範囲内では殆んど抵抗分で占められており、リアクタンス分は無視しう程度であった

この Z_L は図のように、 P_{Ar} が 10^{-2} Torr 以上の領域では 500 Ω 程度の低い値となり圧力依存性も小さく、整合は非常に容易である しかしながら、 P_{Ar} がこれより低くなるにしたがい圧力に対して敏感になり、 10^{-3} Torr 付近になるとスパッタ中に整合回路の再調整を要する場合が生じた

Fig. 3 Experimentally obtained load impedance Z_L , bias current I_B and bias voltage V_B versus Ar gas pressure P_{Ar} .

また、 I_B 及び V_B についても Z_L とほぼ同様の圧力依存性を示す。この原因は、圧力がある程度低下して平均自由行程が長くなると電子とガスの衝突による電離の頻度が減少するためプラズマの濃度が低下して Z_L は増大する。この結果、コイル-接地間の高周波電圧が高くなるとともにプラズマの閉じ込め効果が弱まり、プラズマ空間からコイルによって奪われる電子の数は益々増大するようになるためと考える。

6. P_{RF} と Z_L , I_T , V_B の関係

$P_{Ar} = 1 \times 10^{-2}$ Torr, $V_T = 500$ V, $R_B = 3$ k Ω に各々保って、高周波電力 P_{RF} を変化したときの I_T , Z_L , V_B の変化を **Fig. 4** に示す。

I_T は高周波電力に対してほぼ原点から始まる直線状の変化をしている。この I_T はプラズマ濃度に対応しているものと考えられるので、プラズマ濃度は高周波電力に比例すると言える。

他方、 Z_L は P_{RF} の大きい所では 500 Ω 程度でその変化割合はをさいが、 P_{RF} の減少と共に次第に増加の割合を増し、150 W 以下では急激な立上がりを示し、放電の持続が困難となる。

また、 V_B の変化割合はプラズマ濃度等から推測されるものより遙かに小さくなっている。これは P_{RF} が増加するに従ってインピーダンスが低下するので、コイル-接地間の高周波電圧が抑制されることと、コイルに流れる高周波電流によって作られる磁界によって、プラズマがコイルから離れて中心部に集まることの二つが考えられる。このことは、低電力でスパッタしたときは、ターゲット面は全体に亘って均一にスパッタされるが、高

Fig. 4 Dependence of target current I_T , bias voltage V_B and load impedance Z_L versus radio frequency power P_{RF} .

電力になるとターゲット中心部のスパッタが余計に強められているのが認められる点からも証拠づけられる。

7. まとめ

- i) 高周波コイルを直流的に接地するとプラズマ空間から多量の電子がコイルによって奪われ、プラズマの電位は 100V 程度まで上昇する。
- ii) プラズマの濃度は高周波電力に比例することが推測される。
- iii) 通常のスパッタ条件 ($P_{Ar} = 1 \times 10^{-2}$ Torr, $P_{RF} = 500$ W) のもとでは高周波負荷インピーダンスは 600 Ω 程度の純抵抗となり、アルゴンガス圧力及び高周波電力には殆んど依存しない。しかしながら、圧力が 10^{-3} Torr の領域になるか、あるいは高周波電力が 200 W 以下になるとインピーダンスは急激な上昇を示すようになる。

〔文 献〕

- 1) 山下睦雄, 小川 潔: 真空 **22** (1979) 108.