高周波イオンプレーティングの基板入射イオン電流特性*

塚 田 勉**・細 川 直 吉**

(昭和50年9月6日 受理)

The Ion Current Characteristics of Cathode Circuit in a rf Ion Plating System.

Tsutomu TSUKADA and Naokichi HOSOKAWA

(Nippon Electric Varian Ltd., Fuchu, Tokyo)

(Received September 6, 1975)

高周波励起イオンプレーティング方式¹⁾は、直流方式²⁾に比較して種々の特長を持つ。即ち、前者の動作領域は、ガス圧 10^{-3} Torr 以下でも可能であり、高周波の振動電場によるイオン化率のコントロールが可能であるため、動作条件を適当に選択することで、目的に適した膜を作ることが出来る。又、装置の機構から見て、蒸発源を電子ビーム加熱方式としても、特別に差圧機構などを設けずに通常の電子ビームに蒸着と同様に操作出来る。

筆者らは、この高周波イオンプレーティング装置において、イオン化機構としての高周波コイルに、高周波電力を有効に供給するためのマッチング回路について考察し、又、基板に入射するイオン電流を、基板印加電圧、高周波電力、真空度、蒸発材料並びに蒸発速度及び磁場などをパラメーターとして測定したのでその結果を報告する。

Fig. 1 は本実験に用いた実験装置の構成図である。真空容器はステンレス鋼製タンク及びガラスベルジャーより構成されている。到達圧力は 10^{-5} Torr である。蒸発源には最大出力 10 kW の電子銃を用い、電子ビーム加速電圧を定格 (-8 kV) よりも低くして ($-7 \sim -4$ kV) 用いた。高周波コイルは、 6ϕ Cu 管を直径 150 mm 長さ 150 mm に 7 回巻かれたものから構成され、一端はアースより浮かし、他端は真空容器外のマッチングボックスに接続されている。最大出力 1 kW の高周波電源より、特性インピーダンス 50Ω の同軸ケーブルで、高周波電力がマッチングボックスに供給される。基板支持体は直径 200 mm のステンレス鋼製であり、直流電源より $0 \sim -5$ kV の電圧が印加出来る。ガラスベルジャー周囲に磁場発生コイルを置き、高周波コイルの中央部で、コイル

Fig. 1 Schema of the rf ion plating system.

A: Substrate holder, B: rf coil, C: crystal monitor, D: Magnetic Coil, E: rf power supply, F: Matching box, G: Electron beam gun, H: EB gun power supply, I: Substrate bias power supply, J: Pumping system with 6-inch Diffusion Pump and 300L/min mechanical pump, K: Argon leak valve, L: Argon bombe, G₁, G₂: Vacuum gauge.

の軸方向に $0 \sim 75$ gauss の磁場を発生出来るようにした。さらに水晶式膜厚計でイオンプレーティング中の蒸発速度をモニターした。

高周波イオンプレーティングでは、放電抵抗が、圧力 $1.0 \times 10^{-3} \sim 7.0 \times 10^{-2}$ Torr の変化に対し、高周波電力 500 W では $6.5 \text{ k}\Omega \sim 0.5 \text{ k}\Omega$, 150 W では $20 \text{ k}\Omega \sim 0.8 \text{ k}\Omega$ のごとく大幅に変動する。このため負荷インピーダンスの大きな変動に追従出来るマッチング回路が必要となる。筆

* 昭和50年4月4日 第22回応用物理学関係連合講演会で講演

** 日電パリアン株式会社 (東京都府中市四谷)

Fig. 2 Matching circuit.

者らが用いて良い結果を得ることが出来たマッチング回路を Fig.2 に示す。

基板ホルダーへ入射する電流は、(1) Ar ガスを導入して高周波放電を行なったのみの場合、(2) Ar ガスを導入し電子ビーム蒸発源から蒸発を行ないながら Ar と金属蒸気の両者を電離した場合（通常のイオンプレーティングと呼ぶ）及び、(3) Ar ガスを導入せず蒸発を行ないながら金属蒸気のみを電離した場合（高真空イオンプレーティングと呼ぶ）の3つの場合につき測定した。蒸発材料としては、Cu, Ti, Al, Si, Ni, Cr 及び Ag を選んだ。

Fig.3 は通常のイオンプレーティング中の基板電圧依存性を、Fig. 4 は同じく高周波電力依存性を示すものである。両図より、実験した蒸発材料の範囲内では、通常のイオンプレーティング中における基板入射イオン電流は、Arガス放電に比較し減少することがわかる。減少の割合は蒸発物質によって異なり、Tiの場合が最も顕著である。Alのイオンプレーティングの場合は他の蒸発材料

Fig. 3 Ion current vs. substrate voltage in normal ion plating. Argon pressure is 1×10^{-3} Torr, and rf input power is 340 W.

- Argon gass only, △ Al(1650 Å/min),
- Cu(950 Å/min), □ Si(1000 Å/min),
- × Ni(440 Å/min), + Ag(120 Å/min),
- # Cr(330 Å/min), ○ Ti(1850 Å/min),

Fig. 4 Ion current vs. rf input power in normal ion plating. Substrate bias voltage is 1.0 kV, and argon pressure is 1×10^{-3} Torr.

- Argon gass only, △ Al(1500 Å/min),
- Cu(260 Å/min), □ Si(520 Å/min),
- × Ni(280 Å/min), + Ag(1000 Å/min),
- # Cr(70 Å/min), ○ Ti(640 Å/min).

Fig. 5 Effect of evaporation rate on ion current. Argon pressure is 1×10^{-3} Torr, and rf input power is 340 W.

(a) Cu, (b) Ni.

と異なり、イオン電流は Ar だけの場合より大きな値となる。Fig. 5 に Cu 及び Ni について、蒸発速度が異なる場合の基板電圧依存性を示す。これより明らかなように、イオン電流の蒸発速度依存性は小さい。このような物質による基板入射イオン電流の変化は、基板支持体からの二次電子放出係数、蒸発物質の蒸気圧及びそのイオン化率の違いによって生じると考えられる。Fig. 3 でイオン電流の飽和領域でも基板電圧の増加とともにイオン電流が増大するのは、基板支持体よりの 2 次電子放出係数の電圧依存性と、基板印加電圧による電離効果によるものであると考えられる。Fig. 4 では、高周波電力とイオン電流の間に直線関係が成立することが示され、このことから、イオン化はほとんど高周波コイルによる振動電場で行なわれていることが予測される。

Fig. 6 は通常のイオンプレーティング中の磁場依存性を示すものである。実験したすべての蒸発物質に対して磁場が 20~30 gauss の時にイオン電流が最大となった。

Fig. 6 Ion current vs. magnetic field in normal ion plating. Argon pressure is 1×10^{-3} Torr, substrate bias voltage is 1.0 kV, and rf input power is 340 watt.

● Argon gas only, Δ Al(2900 Å/min),
 ● Cu(300 Å/min), $\square$ Si(390 Å/min),
 × Ni(270 Å/min), + Ag (1100 Å/min),
 # Cr(120 Å/min), ○ Ti(720 Å/min),

Fig. 7 Ion current vs. substrate bias voltage in high vacuum ion plating. Rf input power is 340 watt. Evaporated material, deposition rate and pressure are as follows;

Δ Al(2750 Å/min, 8.0×10^{-5} Torr),
 ● Cu(840 Å/min, 8.0×10^{-5} Torr),
 × Ni(870 Å/min, 3.5×10^{-5} Torr),
 + Ag(2000 Å/min, 1.0×10^{-4} Torr),
 □ Si(1800 Å/min, 1.8×10^{-5} Torr),
 ○ Ti(1600 Å/min, 2.5×10^{-5} Torr),

Table 1 Ratio of ion current in normal ion plating vs. ion current in high vacuum ion plating.

Evaporated material	Ratio of ion current
Al	1.08
Cu	1.12
Ni	1.13
Ag	1.08
Si	1.43
Ti	1.75

Substrate bias voltage is 1.0 kV, rf input power is 340 watt, argon pressure in normal ion plating is 1×10^{-3} Torr, and pressure in high vacuum ion plating is in the range of 10^{-5} Torr.

磁場の強い領域では、Ar ガス放電中のイオン電流に比べ、イオンプレーティング中のイオン電流の方が多くなることも予測された。

Fig. 7 に高真空イオンプレーティング中における基板電圧依存性を示す。蒸発速度が遅い範囲では、蒸発速度の増大とともにイオン電流が増すが、ある蒸発量に達すると、それ以上イオン電流が増大しなくなる現象が観測された。Fig. 7 の測定値は、その飽和値を示す蒸発速度で得られた。Fig. 3 と Fig. 7 とから、通常のイオンプレーティングの場合と、高真空イオンプレーティングの場合の基板入射イオン電流の比をとると Table 1 のよう

になる。この表から、実験したいずれの物質についても、Ar が存在する方が基板入射電流は多いことがわかる。しかし、その割合は、Ti で約2倍、Si で約1.5倍、その他の Al, Cu, Ni, Ag ではわずかに1より大きい程度であり、ほとんど差が認められなかった。

〔文 献〕

- 1) 村山, 松本, 柏木: 電気学会, 電子装置研究会資料 EDD-74-25 (1974)
- 2) D.M. Mattox; J. Electrochem. Techn. 2 (1964) 295.

ニ ュ ー ス

Solid-Vacuum Interface IV

1. 開催場所: Technical University Eindhoven
2. 開催期日: 1976年6月23~25日
3. 予定課題: (a)表面の幾可学的構造, 電子の性質, 及び化学的組成の間の関係, (b)表面と中性粘子, 荷電粒子との相互作用, (c)実験法よりも表面の物理的及び化学的現象
問合わせ先: Dr. A. Van Oostrom,
Philips Research Laboratories,
Eindhoven, NETHERLANDS.

真空と薄膜技術に関する国際シンポジウム

- (International Symposium on Vacuum and Thin Film Technology)
1. 開催場所: ウプサラ (スウェーデン)
 2. 開催期日: 1976年8月31日~9月3日
 3. 内 容: 基礎, 薄膜作成技術, 測定技術, とくにスパッタリング技術とイオンプレーティング技術, 真空ポンプ, 真空計測等. 招待講演として10~20件を予定.
 4. 講演申込: 400語以内のアブストラクトを1976年3月1日までに送る.
Dr Peter Andersson
Institute of Technology, Box 543, S-751 21
UPPSALA, Sweden
 5. 会議の公用語: 英語, 6. 参加費: 300 skr,
 7. International Advisory Dommittee
Dr P.S. Choumoff, Paris
Dr R.D. Dobrozemsky, Austria
Prof. O.S. Heavens, Heslington, York
Prof. H. Jahrreiss, Köln

Dr. I.M. Lafferty, General Electric USA
Prof. T. Stubb, Helsinki
Prof. I.P. Valko, Budapest
Prof. J. Yarwood, London
Dr. G.J. Zinsmeister, Balzers

8. 組織委員長 Prof. K. Siegbahn
9. 問合わせ先 Mr Hans Ottosson
Linköping University, S-581 83 LINKÖPING,
Sweden

第5回 真空冶金国際会議

(5th International Conf on Vacuum Metallurgy)

1. 開催場所: ミュンヘン (西独)
 2. 開催期日: 1976年10月11~15日
- なお詳細は下記に問合わせて下さい.

Prof. Dr.-Ing. M. Wahlster
c/o Leybold-Heraeus GmbH & Co. KG
D-6450 Hanau (Main)
Postfach 549

第7回 真空科学国際会議

第3回 固体表面国際会議

7th International Vacuum Congress (7th IVC) rd
International Conf on Solid Surfaces. (3rd ICSS)

1. 主催団体: IUUVSTA
2. 開催場所: ウィーン (オーストリア)
3. 開催期日: 1977年9月12~17日
4. 予定課題: 表面物理, 表面化学, 表面分析, 薄膜, 真空科学, 真空技術等.
5. 公式用語: 英語, 独語, 仏語.
6. 問合わせ先: IR.R.W. DOBROZEMSKY,
Österreichische, Studiengesellschaft für Atomenergie, Ges. m.b.H., A-1082 WIEN, Len-
augasse 10, AUSTRIA.