高分子隔膜を有する電子線励起プラズマ プロセス装置の作製

学生員 稲 浪 良 市 (名大先端研)

非会員 長 縄 毅 (名大先端研)

非会員 邵 春 林 (名大先端研)

正 員 森 田 慎 三 (名大先端研)

Fabrication of Electron-Beam Excited Plasma Process Reactor with a Polymer Interface

Ryoichi Inanami, Student Member, Tsuyoshi Naganawa, Non-member, Chunlin Shao, Non-member, Shinzo Morita, Member (Center for Cooperative Research in Advanced Science & Technology, Nagoya university)

The apparatus for electron-beam excited plasma (EBEP) processes with an interface of polymer films was developed, which is composed with a reactor and an electron beam source vessel, which are separated by the polyester film of 1.5 μm . The electron source is heated tungsten wire. The accelerated electron-beam was expected to be transmitted through the polymer film according to the space charge limited current law. The electron temperature in the plasma was measured to be 10~14 eV by a probe-measurement. When styrene vapor was filled at a pressure of 0.2 Torr, polymerized film was deposited on the substrate, which was confirmed to contain polymerized styrene. But the polymer interface was abraded at the large electron-beam current of 100 μA , and the abraded polymer was observed to be deposited on the substrate. In CF_4 gas, 0.5 μm lines on mask resist were transferred to Si wafer successfully by this process.

キーワード：隔膜透過電子線、電子線励起プラズマ、有機薄膜合成、エッチング、プロセス装置、プローブ測定

1. はじめに

電子線励起プラズマ(EBEP)は、 CO_2 ガスレーザの励起源として使用されている。最近、このプラズマを薄膜堆積や、加工プロセスへ使用することが検討されるようになった。電子線励起プラズマの特徴は、放電プラズマに比較してプラズマの制御性が向上することである。しかし反面、装置システムが大型化し、高価となる問題点も指摘される。最近の電子素子作製プロセスでは、材料の高品質化とプロセスの制御性の向上が求められており、新しいプロセスへの期待が高まっている。従って、電子線励起プラズマはこのようなプロセスへの適用が期待される。

電子線励起プラズマプロセス装置は、電子線源と反応槽の二つから構成される。一般に、電子線源に比べて反応槽のガス圧が高く設定されるため、電子線源と反応槽の間にはガス圧差を維持する機構を設ける必要がある。その方法の一つは、差動排気を行うことである。他の一つは隔膜を設け、電子線が隔膜を透過するようにする方法である。

Collinsらは、ホローカソード放電を電子線源として使用し、しかも隔膜を使用せず同じガス圧下で電子を反応槽に導くという、ソフトバキューム電子線励起プロセス装置を提案している⁽¹⁾。他方、原らは、放電電子線源を使用しているが、反応槽のガス圧が高いため、差動排気によってガス圧力差を保持した装置を開

発している⁽²⁾⁽³⁾。しかし差動排気するため、装置の電子線通過孔は小さくせざるをえないので、電子線は細くなるという問題が生じる。そこで彼らは、反応槽中で磁界によって再度、電子線束の拡大を行っている。

これらに対し本装置は、ガスパラメータの範囲や、反応ガスの選択の幅を広げるため、隔膜によって電子線源と反応槽間を分離する方式を採用した。

本研究では、隔膜分離型の電子線励起プラズマプロセス装置を開発するため、装置を構成する各部の構造や、材料の検討を行い、幾つかのプロセス装置を試作し、装置の性能を評価した。これらの装置を用いて、スチレン重合膜の堆積を試みた。また、Si ウェーハ上に0.5 μm 幅の微細加工エッチングを施すことができたので報告する。

2. 装置の構成

〈2・1〉 隔膜 隔膜分離型電子線励起プラズマプロセス装置は、電子線源と反応槽とを隔膜で分離するため、電子線が隔膜を通過できるように、電子線の加速電圧を設定しなければならない。隔膜の材料と膜厚の選択が加速電圧を決める重要な要素となる。

そこで著者らは、隔膜材料として、有機フィルムを選択した。その理由は、電子との衝突断面積が小さい原子でできた材料であること、薄い膜厚のフィルムの入手が容易であることである。

今回、隔膜として使用したフィルムは表1に示す3種類の材質のものである。

ここで、ラクトンフィルムは大阪大学レーザー核融合研究センターで開発された3 MV パルスパワー誘導加速器の電子ビーム引出し口に使用されているものである。12 μm のポリエチレンテレフタレートフィルムは、市販されている薄膜である。1.5~0.5 μm のポリエステルフィルムは、極薄膜として最近開発されたものである。

ここでは、プラスチックフィルム中での電子の飛程を計算することにより、電子線透過の条件を考える。電子の物質中への侵入深さ R_0 は、実験式として次のように与えられている⁽⁴⁾。

$$R_0 = 2.2 \times 10^{-14} \cdot V^2 / \rho \quad (\text{m})$$

ここで、 V ：電子の加速電圧(V)、 ρ ：物質の密度(g/cm^3)

この式と各有機フィルムの密度より、各膜厚に対する必要な加速電圧は表1のように計算される。

〈2・2〉 電子線源 電子線源は、電子の発生部と電子の加速電極からなっている。電子源には、放電プラズマからの電子、熱電子、光励起電子、電界放出電

表 1 隔膜として使用した高分子フィルム
Table 1. Polymer films used as interfaces.

各膜材料	ラクトン	ポリエチレン テレフタレート	ポリエステル	
密度 (g/cm^3)	1.3~1.4	1.34	1.3~1.4	
膜厚 (μm)	100	12	1.5	0.5
計算加速電圧 (kV)	78.3	27.0	9.6	5.5
使用電源装置	3 MV パルス パワー誘導加 速器	80 kV 可変直 流電源	10 kV 可変昇 圧変圧器整流	

子、そしてトンネル接合からの放出電子などが考えられるが、ここでは簡単で実用的であることから、タングステンの熱電子を用いることにした。

電子の加速電極系は、必要な電子のエネルギーや、電子線の径、電子密度によって設計が異なる。本実験では、最も簡単なリング電極を用いた。プロセスに使用できる装置を開発するため、まず大阪大学レーザー核融合研究センターにおいて開発された3 MV パルスパワー誘導加速器を利用することを考えた。次いで、実験室規模の装置として、膜厚12 μm のポリエチレンテレフタレートを隔膜として使用した装置を設計し、ガスレーザー励起用の80 kV 直流電源を使用した。最後に、小型装置にするため、極薄膜ポリエステルを隔膜に採用した装置では、昇圧変圧器によって商用周波数の電源を昇圧し、ダイオードで整流された直流電源を用いた。これら3種類の電源を使用して、各加速電圧領域におけるプロセスの概要を調べた。

〈2・3〉 反応槽 一般に、プロセスの制御性が高いとされている放電プラズマプロセスにおいても、ガスパラメータによって制御できるパラメータが大きく制約されることが知られている。例えば、有機モノマ蒸気を大気圧付近のガス圧でプラズマ重合させることはかなり困難であることがわかっている。しかし、電子線励起方式では、反応槽外部から励起源である電子線を供給することにより、励起条件をガス圧から独立させて制御することができるという利点がある。

著者らは、通常のプロセス装置と同様に、反応ガスの供給、排気システムを有し、基板ホルダを設置したものを作製した。また、必要に応じて、プロセスの診断、制御のための電極、窓などを反応槽に設置した。電子線を反応槽に注入させるため、反応槽、隔膜はアース接地し、電子線源用タングステンフィラメントは負電位となるように設計された。

装置を小型化するために、隔膜にはできるだけ薄いフィルムを使用する必要がある。しかし、薄いフィル

ムは機械的強度が減少するので、フィルムに加わるガス圧力差を支えるため、メッシュ状金属製支持膜を使用した。更に、装置を真空排気するときは、隔膜に加わる圧力差をできるだけ小さくするため、電子源と反応槽を同時に排気できるように設計した。

3. 実験および結果

〈3・1〉 100 μ m ラクトン隔膜 EBEP プロセス装置

図1に試作装置を示すように、3 MV パルスパワー誘導加速器の電子線取出口に、プラズマ CVD 用反応容器を取り付けたものである。電子線取出口である直径 80 mm ϕ のフランジ窓には、片面にアルミニウムをコーティングした膜厚 100 μ m のラクトン膜が、アルミ面を外側にしてはり付けてある。反応槽は、内径 110 mm ϕ 、長さ 210 mm のガラス製容器で、基板ホルダは銅で作製され、隔膜から 110 mm の距離に置かれた。

基板には、Si ウェーハ、スライドガラス、および

図 1 100 μ m ラクトン隔膜 EBEP プロセス装置

Fig.1. EBEP process apparatus with a lacton film of 100 μ m.

図 2 3 MV パルスパワー誘導加速器による電子線照射時の反応槽

Fig.2. Photograph of the reactor with electron-beam irradiated in the lacton apparatus.

KBr 結晶板が使用された。

スチレン蒸気を 1.2~1.3 Torr のガス圧で反応容器内に導入し、電子線パルスを 3 MV, 200 A, パルス幅 50~100 ns で照射した。この照射時の様子を、CCD ビデオカメラで撮影した。その写真を図 2 に示す。

図 2 に見られる像は、中央で強く発光しているのがガラス基板で、右手に見える容器状のものがガラス製反応容器である。この発光は、高エネルギー電子線が誘電体中を通過したとき観測される、チェレンコフ発光と考えられる。

スチレン蒸気中での 10 回の電子線パルス照射によって、ガラス基板は茶褐色に、KBr 結晶板は青色に着色した。KBr 結晶板の青色は 1 日経過後消失した。この着色は、KBr 結晶中に形成された発光中心によるものと考えられる。

基板表面の付着物を、IR, AES で分析した。IR スペクトルには、付着物によると考えられる吸収が観測されなかった。AES 分析では、図 3 に示すように、ガラス基板上に、炭素 C の存在が認められた。

200 A, 50 ns のパルス電流を 10 回照射することによって、約 100 μ C の電子が照射されたことになる。これは、 6×10^{14} 個の電子数に等しい。均一に電子が照射されたとして、1 nm $\times$ 1 nm の面積に 1 個以下の電子数である。従って、1 個の電子でスチレン 1 分子が付着したとしても、1 分子層程度の膜厚にしかない。従って、本実験結果は、電子照射によってせい

a : surface
b : after 10 seconds sputtering
c : after 20 seconds sputtering
sputtering velocity $\approx 60 \text{ \AA/min}$ (SiO_2)

図 3 ラクトン隔膜 EBEP プロセス装置による堆積物の AES 分析結果

Fig.3. AES analysis of the deposit in the lacton-apparatus.

ぜい1分子層程度の膜堆積が生じたことを示唆している。しかし、一般に大気にさらされた基板上では、この程度の炭素層の吸着が自然に生じることも知られており、AESで観測された炭素層がプロセスで作製されたものが、自然吸収によるものかは、この実験結果だけでは判定できない。

パルスパワー誘導加速器による電子線照射は、1回の照射に約15分程度の充電時間を要した。従って、10回の照射に4時間近くもかかった。また、加速器に使用されているコンデンサの昇温が認められ、これ以上の照射は1日では不可能であった。これらのことから、パルスパワー誘導加速器を用いた電子線励起プロセスは、実用には難しいことがわかった。

〈3・2〉 12 μ m ポリエチレンテレフタレート隔膜 EBEP プロセス装置 厚さ12 μ mのポリエチレンテレフタレート膜を電子線が透過するには、計算では約30kVの加速電圧が必要である。そこで、最大80kV、1.2mAの直流電源を用いた装置を図4のように作製した。電子源はタングステンの熱フィラメントで、電池によって加熱した。容器は内径25mm ϕ のパイレックスガラス管を使用し、加速電極には直径10mm ϕ の銅製リング電極を用いた。

ポリエチレンテレフタレート膜は直径3mm ϕ の穴を開けた銅板上にはり付けて、電子線に対して垂直に置き、銅板は接地した。また、基板も接地した。

スチレンモノマ蒸気を0.08 Torrとして、20kVの加速電圧、カソード電流1.5mAで30分間照射した。

AES測定の結果、基板上には3MVパルスパワー誘導加速器による場合よりも多くの炭素膜の堆積が観測されたが、IRの測定では、スチレン構造は観測されなかった。このとき、基板電流は観測されなかった。そこで電圧計を接続したところ、基板の電位が照射とともに負に帯電することが確認された。この負の

電位の変化量から、 μ A以下の電流が流れていることが堆積された。

一般に μ A以下の放電はタウンゼント放電と呼ばれ、発光しない暗放電とも称される。しかし、本実験の場合、注入電子流と放電電流の合計値を示しており、どの程度電離を伴ったものかは判定できない。

また、重合膜の堆積は予想されるものの、堆積速度は極めて小さく、通常の目的にはこの方法は使用できないことがわかった。

以上の実験から、タングステンの熱電子電流の大部分は、加速用リング電極や、隔膜支持用銅板に流れてしまい、極めて限られた電子が隔膜を透過して基板に照射されていることがわかる。隔膜透過電子数を増すためには、電子銃の高性能化が必要である。しかし、プロセスには電子線のエネルギーが小さいほうがよいので、ここでは隔膜の薄膜化を目指した。

〈3・3〉 1.5 μ m ポリエステル隔膜 EBEP プロセス装置 1.5 μ m ポリエステルは、10kV以下の低加速電圧で電子を透過させることが見積もられることから、隔膜として使用することを試みた。しかし膜厚が極めて薄いことから、ガス圧力差を支えるために銅製メッシュ板を使用した。反応槽として図4のものを使用した。加速電源は昇電圧変圧器を用い、出力側で整流した。銅メッシュは、60 lines/in 透過率75%、100 lines/in 透過率50%の二種類のものを用いた。ポリエステルフィルムは、0.5 μ mのものと1.5 μ mの二種類を用いた。1.5 μ mのものは、片面にアルミニウムが蒸着されている。0.5 μ mのものは、アルミニウムは蒸着されていない。

加速電圧に対する、基板に流れる電子電流を測定したところ、図5に示すような特性が得られた。0.5 μ mのポリエステルでは、2kV付近で電流が観測され始め、4~5kVで急激な電流の増加が観測される。しかし、電流値が120 μ A程度で電流は飽和し、膜が破壊するのが確認された。この傾向はメッシュの種類には依存せず、ほぼ同様な特性を示した。

1.5 μ mのポリエステルフィルムについては、1~2kVの加速電圧で電子電流が観測され始め、3~4kVで急激に増加する。そして、130~140 μ Aで飽和し、膜が破壊した。

そこで、図4での実験結果をもとに、より実用的な反応槽とするため、図6のような装置を作製した。反応容器はステンレス鋼製とした。タングステンフィラメントは、10kV程度の絶縁耐性を有するヒータ変圧器で加熱する。電子線透過窓は、30mm ϕ とした。

この装置で、アルミニウムを片面にコーティングし

図4 12 μ m ポリエチレンテレフタレート隔膜 EBEP プロセス装置

Fig. 4. EBEP process apparatus with a polyethylene terephthalate film of 12 μ m.

図 5 ポリエステル隔膜 EBEP プロセス装置の電圧-電流特性
Fig. 5. V - I characteristic in the EBEP process apparatus with a polyester film.

図 6 実用的な 1.5 μm ポリエステル隔膜 EBEP プロセス装置
Fig. 6. Practical EBEP process apparatus with a polyester film of 1.5 μm.

た 1.5 μm のポリエステル隔膜を使用したとき、各部に流れる電流は図 7 のようになり、基板上には図 5 と同様の電流が流れることが確認された。

スチレンモノマ蒸気を 0.2 Torr として、12 kV を印加したとき、初め基板には 180 μA の電流が流れ、次いで急激に減少した。そして、5 分後には 10 μA となった。このとき基板上には、褐色の重合膜が堆積した。

このとき、電子が陽極により集束させられているため、ポリエステルフィルムは部分的に(約 5 mm φ の円状に)薄くなっているのが確認された。

IR スペクトルは、図 8 のように、3,000 cm⁻¹ に主鎖の CH による吸収ピークと、700 cm⁻¹ にベンゼン環に起因するピークを示した。重合膜の厚さは、膜が NaCl 結晶板に堆積されたこともあり測定されていないが、IR 測定の結果から、0.1~1 μm の範囲と考え

図 7 実用的なポリエステル隔膜 EBEP プロセス装置の電圧-電流特性
Fig. 7. V - I characteristic in the practical polyester-apparatus.

図 8 実用的なポリエステル隔膜 EBEP プロセス装置によるプラズマ重合膜の IR スペクトル
Fig. 8. IR spectra of plasma polymerized film in practical polyester-apparatus.

ている。AES は図 9 のように、300 eV 付近に炭素に起因する単一信号を観測した。

以上から、スチレン重合膜堆積には、ポリエステル隔膜の分解ガスの混入が考えられる。特に、電子電流が 100 μA 以上と大きいときは、ポリエステル隔膜の分解が顕著になることが観測された。

しかし、IR スペクトル中にベンゼン環に起因する 700 cm⁻¹ のピークが見られることから、スチレン重合膜も同時に堆積していることが考えられる。

図 6 の装置で、Langmuir プローブ(シングルプローブ)測定⁽⁵⁾を行った。電子電流は次式で示されるように、電子温度の関数となることが知られている。

$$I_e = J_{e0} A_p e^{-eV_p/kT_e}$$

$$J_{e0} = \frac{1}{4} N_0 e v_e = N_0 e \left(\frac{kT_e}{2\pi m_e} \right)^{1/2}$$

ここで、 V_p : プローブ電圧、 J_{e0} : プローブ

図 9 実用的なポリエステル隔膜の EBEB プロセス装置によるプラズマ重合膜の AES スペクトル

Fig. 9. AES spectra of plasma polymerized film in practical polyester-apparatus.

図 10 プローブの電圧-電流特性の一例(反応ガス: Ar, 0.1 Torr)と、使用したプローブ

Fig. 10. Typical V - I characteristic of the probe (reactive gas: Ar, 0.1 Torr) and an used probe.

表面におけるランダム電子電流密度, N_0 :
プラズマ密度, v_e : 電子の平均速度, T_e :
電子温度, A_p : プローブの表面積

これらの式から, 次のような式が得られ,

$$T_e = 1.16 \times 10^4 \Delta V_p$$

電子温度は, 電子電流 I_e の値の比が, ちょうど $1:\epsilon$ (ϵ は自然対数の底) であるような電圧の差 ΔV_p の関数として, プローブ電流とプローブ電圧の片対数プロットより得られる。

実際の測定では, プローブは隔膜から 3 cm 離れた反応槽内に固定し, 反応ガスとして, Ar, O_2 , CO_2

表 2 プローブ測定による電子温度
Table 2. Electron temperature by a probe measurement.

反応ガス	ガス圧 (Torr)	加速電圧 (kV)	電子温度	
			(K)	(eV)
Ar	0.1	6	1.33×10^4	11.4
		8	1.45×10^4	12.5
	0.3	6	1.28×10^4	11.0
		8	1.28×10^4	11.0
	0.5	6	1.22×10^4	10.5
		8	1.33×10^4	11.4
O_2	0.1	6	1.62×10^4	14.0
		8	1.62×10^4	14.0
	0.3	6	1.45×10^4	12.5
		8	1.39×10^4	12.0
	0.5	6	1.33×10^4	11.4
		8	1.28×10^4	11.0
CO_2	0.1	6	1.39×10^4	12.0
		8	1.33×10^4	11.4
	0.3	6	1.33×10^4	11.4
		8	1.28×10^4	11.0
	0.5	6	1.33×10^4	11.4
		8	1.28×10^4	11.0

を使用した。そして, それぞれのガスに対し, 反応槽内圧力を 0.1, 0.3, 0.5 Torr, 電子線の加速電圧を 6, 8 kV に変化させて測定を行った。

このとき用いたプローブの形状, および, この結果得られたプローブ電圧-電流特性の一例を図 10 に示す。また, 反応ガス Ar, O_2 および CO_2 について, プローブの電圧-電流特性から推定したプラズマ温度を表 2 に示す。このときのプローブ電圧は, $-40 \sim 40$ V である。

推定される電子温度は, 十数 eV, 通常のグロー放電の数 eV と比べてかなり高い値が得られた。また, 通常のグロー放電と違って, 放電パラメータによる電子温度の変化が少ないことから, 電子線は雰囲気ガスをほとんど電離せずに直接プローブに照射されていることが考えられる。

4. 考 察

3 MV, 80 kV, および 10 kV の各加速電源を用いた電子線励起プラズマプロセス装置を試作し, スチレン蒸気中で電子線を照射した。その結果, 3 MV のパルスパワー誘導加速器では, Si ウェーハ上に炭素原子の付着を AES で分析できたものの, 電子線照射量から計算すると, 十分な膜堆積を期待できないことがわかった。次いで, 80 kV の加速電源を用いた場合, 炭素の付着量は増加したが, やはり十分な膜堆積は得

られなかった。これらは、いずれも十分な電子線電流が得られていないことによるもので、実用的な装置にするにはより低い加速電圧で十分な電子電流が得られる、極めて薄い隔膜が必要であることを示唆している。

そこで、現在得られる最も薄いプラスチックフィルムである $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$ のポリステルフィルムを採用して、プロセス装置を試作した。この装置では、 $2 \sim 10 \text{ kV}$ の加速電圧で電子線透過が可能であることから、通常の変圧器を使用し、それを整流することによって容易に大電流電源が得られる。そして、実際にスチレン重合膜の堆積が確認された。しかし、電子電流が $100 \mu\text{A}$ 以上になると、隔膜の分解を伴うこともわかった。

また、この装置における電圧-電流特性は、図 5 のようになったが、加速電圧に対する隔膜通過電流の特性を、両対数目盛りに描くと図 11 となった。加速電圧 5 kV 以上では、電流は電圧の二乗則に従っていることがわかる。加速電圧 5 kV 以下の部分を遷移領域と考えると、電圧-電流特性は隔膜の空間電荷制限伝導⁽⁶⁾に集速されているものと考えられる。しかし、電圧電流特性が反応槽のガス圧にも依存しており、ガス圧が高くなるほど電流が流れやすいことを示していることから、反応槽側の隔膜付近の空間電荷の形成が電圧電流特性に影響していることが考えられる。空間電荷の分布の実際は、電子ビームの電子分布、フィルムの凹凸、蒸着アルミニウムの影響、隔膜と基板との

図 11 $1.5 \mu\text{m}$ ポリステル隔膜 EBEP プロセス装置の電圧-電流特性(両対数目盛り)
Fig. 11. V - I characteristic in the polyester-apparatus (log-log plot).

距離などの影響が大きいことから、詳細は本実験では明らかではない。

電子線励起プラズマのプロープ測定から、電子温度として $10 \sim 14 \text{ eV}$ が得られた。この値は、通常のプラズマの電子温度と比べると数倍大きい値であり、注入電子の励起によるプラズマであることが考えられる。しかし、先にも触れたとおり、電子線はある程度集束させられており、反応槽中のプラズマは均一ではないと思われる。またこのように高い電子温度を、各パラメータとはそれほど関係なく示す理由としては、反応槽中のプラズマの電子温度というよりも、反応槽に打ち込まれる電子のエネルギーを測定しているためと考えられる。

実用的な電子線励起プラズマプロセス装置とするため、装置を更に改良した。それらは、電子線源に冷陰極を設け、不要な熱電子を除去したこと、初期排気中の高いガス圧力差を緩和するための差動排気系を設けたこと、網目の大きい銅メッシュを追加したことである。更に、放電を制御するため、基板に直流電圧を加

図 12 改良された EBEP プロセス装置
Fig. 12. Improved EBEP process apparatus.

図 13 エッチングした Si 基板の SEM 写真
Fig. 13. SEM photograph of etched Si wafer.

表 3 Si ウェーハのエッチング条件
Table 3. Conditions of Si etching.

反応ガス圧	CF ₄ , 0.15 Torr
電子線源側圧力	1.0×10^{-6} Torr
隔膜-基板間距離	3 cm
フィラメント温度	約 2,000 K
電子線加速電圧	6 kV
Si ウェーハに印加した直流電圧	700 V
エッチング時間	30 分
各部の抵抗	$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 5 \text{ k}\Omega$
Si ウェーハを流れる電流	140 μ A

えた。この直流電圧は、単独では放電できない電圧に設定した。従って、電子線を反応槽に注入することによって放電が開始し、電子注入をやめると放電を維持できない。

この改良された反応槽を図 12 に示す。そして、CF₄ ガスを用いて Si のエッチング加工を試みた。Si ウェーハ上にはシリル化したレジストがコーティングされており、0.5 μ m の線幅のレジストパターンが形成されている。CF₄ ガスを用いたエッチングで、図 13 に示すような 0.5 μ m の線幅を Si ウェーハ上にエッチング加工することができた。エッチング条件は、表 3 のとおりであった。

5. 結 論

1.5 μ m のポリエステル隔膜を有する電子線励起プラズマプロセス装置を新しく作製した。隔膜通過電流は、隔膜の空間電荷制限伝導に依存していることが推測された。プローブ測定により電子温度が通常の放電プラズマの場合よりも数倍大きい 10~14 eV であることを観測した。そして、スチレンの重合を行えることを確認した。重合膜の堆積は、基板に吸着したモノマガス分子の電子線照射励起によることが推測された。また、Si ウェーハのエッチングを CF₄ ガスを用いて、電子線励起プラズマを発生させることにより行い、0.5 μ m の線幅のエッチングを行うことができ、小型で、実用的な装置になり得ることを確認した。

今後の課題として、平均透過電子線電流密度を増加させること、必要に応じて、隔膜材料として高融点材料の使用が検討される。また、超微細加工エッチングに関しては、低ガス圧下での実験を検討している。

本実験に用いた 3 MV パルスパワー誘導加速器は、大阪大学レーザー核融合研究センターで開発されたものであり、実験は大阪大学で行われた。実験に御協力いただいた今崎一夫教授に感謝いたします。また、80 kV の直流電源と静電電圧計は本学工学部水谷研究

室より貸出し、ポリエチレンテレフタレートフィルムは同じく水谷研究室より提供いただいた。昇圧変圧器は、PC 変圧器を本学工学部鬼頭研究室より貸出した。0.5 μ m、1.5 μ m のポリエステルフィルムは、本州製紙(株)の鴨谷壽敏様から提供していただいた。0.5 μ m の線幅で加工したレジスト塗布膜を有する Si ウェーハ試料は、日本合成ゴム(株)の酒井直己様より提供を受けた。試料の分析は(株)豊田中央研究所、名城大学理工学部縄田研究室、名古屋工業大学梅野研究室で行われた。関係者の皆様に深く感謝いたします。

本研究の実施に関して、種々御助言、御支援をいただきました本学工学部内山 晋、後藤俊夫教授、服部秀三名誉教授、ならびに名古屋工業大学梅野正義教授に心から感謝いたします。

(平成 5 年 2 月 24 日受付, 同 5 年 6 月 1 日再受付)

文 献

- (1) Z. Yu, G. A. Moore & G. J. Collins: *IEEE Trans. Plasma Science* 1989 send
- (2) T. Hara, M. Hamagaki, A. Sanda, Y. Aoyagi, & S. Namba: "New high current low energy ion source", *J. Vac. Sci. Technol. B*, 5 No. 1, 366 (1987)
- (3) T. Meguro, M. Hamagaki, S. Modaressi, T. Hara, & Y. Aoyagi: "Digital etching of GaAs: New approach of dry etching to atomic ordered processing", *Appl. Phys. Lett.*, 56 No. 16, 1552 (1990)
- (4) 谷口紀男: ナノテクノロジーの基礎と応用 (昭 63) 工業調査会
- (5) 放電ハンドブック (昭 59) 電気学会
- (6) 家田正之: 現代高電圧工学 (昭 56) オーム社

稲 浪 良 市 (学生会員)

昭和 44 年 5 月 27 日生。平成 4 年名城大学理工学部電気電子工学科卒業。同年名古屋大学大学院工学研究科電気工学・電気工学第 2 および電子工学専攻修士課程に在籍、現在に至る。

長 縄 毅 (非会員)

昭和 41 年 10 月 13 日生。平成 4 年名古屋大学大学院修士課程修了。同年 YKK 吉田工業(株)入社。現在、プラズマによる硬質薄膜の研究を行っている。

邵 春 林 (非会員)

1944年12月10日生。昭和61年名古屋大学大学院博士課程後期課程修了。工学博士。主として、センサ、半導体結晶成長、光電デバイスに関する研究に従事。現在、名古屋大学先端技術共同研究センターで微細加工プロセスの研究に従事。

森 田 慎 三 (正員)

昭和47年名古屋大学電気・電子工学博士課程修了。同年名城大学、51年カリフォルニア大学バークレー校研究員、61年より名古屋大学。プラズマ重合、それをベースとしたリソグラフィプロセスのドライ化、光学システムなどに関する研究、平成元年より電子線励起プロセスの研究に従事。現在、名古屋大学先端技術共同研究センター助教授。