窒素ガスを用いたポリマ材料のイオンビームエッチング

正 員 田 口 耕 造 (福山大学)

非会員 上 口 知 彦 (福山大学)

非会員 池 田 正 宏 (福山大学)

Ion Beam Etching of Polymer Using N₂ Gas

Kozo Taguchi, Member, Tomohiko Ueguchi, Non-member, Masahiro Ikeda, Non-member (Fukuyama University)

The influence of process parameter such as kinetic energy of the ion and sample temperatures was investigated in detail in order to discuss the dry etching mechanism of polymer. Extremely smooth polymeric optical waveguide could be fabricated by chemically assisted Nitrogen ion beam etching. From these experimental results, it was found that the heating temperature was the critical parameter for polymer dry etching.

キーワード：ポリマ材料，ドライエッチング，イオンビーム，窒素ガス

1. はじめに

ポリマ材料は他の素材に比較して，加工容易性に優れており，大面積で可とう性のある光導波路シートの形成が可能である．光学部品においては，部品の低損失化が重要な課題であり，加工面の平滑性（光出射端面，加工側壁）や加工形状制御（垂直性）が必要不可欠な技術となっている．しかしながら，現実にドライエッチングで得られる加工形状は，エッチングに用いるガス種，エッチング基板材料，基板温度やエッチングに用いるプラズマの条件等に依存してさまざまな形状を呈する．そのため，加工側面が傾斜面，垂直，アンダーカット形状，これに加えて，エッチング表面の凸凹，エッチング側面の荒れも考慮すべき事柄として現れてくる．

従来，ポリメチルメタクリレート（PMMA）等のポリマ材料の加工法として，酸素ガスを用いた反応性イオンエッチングが適用されている [1]．本論文では，エッチングに関与する諸パラメータの設定の自由度が大きいイオンビームエッチング法による PMMA のエッチング特性に関して検討を行った．

2. 実験系

ドライエッチングでは，何にもまして基板を衝撃する粒子のもつ運動エネルギーが大きな役割を果たす．RIE(Reactive Ion Etching) の場合には，導入したガスの種類・圧力・放電投入電力・電極サイズ等により基板とプラズマ間の電位がセルフバイアス値として決まるため，入射粒子の運動エネルギーもこの値に応じて一意的に決まることになる．一方，RIBE(Reactive Ion Beam Etching) では被エッチング基板は反応性ガスのプラズマを発生させる領

域とは離れた場所に置かれ，プラズマと基板との間に電位を持たせることにより，プラズマから反応性ガスのイオンをビームとして引き出し，基板に向けて照射させることでエッチング作用を進行させている．そのため，基板とプラズマ間の電位を自由に設定可能であり，入射粒子の運動エネルギーを広い範囲にわたって自由に設定することができる．これらの点に着目し，本研究では RIBE 装置をベースにしたビームエッチング法に取り組んだ．実験では，PMMA を Si 基板上にスピンコートし，エッチングの際のマスクには SPP(Silicone-based Positive Photoresist) を用いており，エッチングレートとエッチング形状の評価はへき開した試料の断面走査電子顕微鏡観察によりおこなった．なお，使用するガスはマスフローコントローラを通してイオン源に導入されており，イオン化した後，イオン引き出し電極で加速を行いイオン中和用フィラメントで中和して試料表面へと輸送している．また試料加熱は試料ホルダーを取り付けているステージに埋め込んだヒータで行っており，チャンバはターボ分子ポンプで排気している．

3. 結果と検討

エッチング種が基板構成原子を衝撃により剥がし去る物理性エッチングの特徴は，エッチング効率が入射粒子と被エッチング基板のなす角に大きく依存するため，傾斜面を有する形状が発現することである．一方，化学性エッチングを発現させるためには，基板材料種と化学的反応性を有するガスをエッチングガスに用い，反応性ガスのプラズマ放電等で形成した化学的に活性な反応性ガス種に指向性を持たせて基板材料に入射させて化学反応的にエッチングを進行させる，いわゆる反応性ドライエッチングが試みられ

ている。本実験では、PMMA のような有機物系のエッチング加工には酸素 (O_2) イオンビームが適していると考え [1]、ガス圧力を 0.3mTorr と設定し、イオンの加速電圧条件と試料温度条件をパラメータにエッチングを試みた。その結果いずれの条件においても垂直性加工は得られず、加工側面・底面共に顕著な荒れを呈することを確認した。このことは、あまりに化学性が優勢すぎるとサイドエッチング等の形状不整を引き起こすことを示しており、垂直加工には物理性エッチングと化学性エッチングを適正に作用させることが必要である。

一方、柳沢らは既に窒素イオンビームを用いたポリイミド膜の微細加工法 [2] を提案しており、高アスペクト比パターン形状を得ることが可能であることを確認している。それゆえ、本実験においても、窒素ガスを用いて PMMA のエッチング特性に関して検討を行った。実験では、ガス圧力を 0.3mTorr と設定し、イオンの加速電圧条件と試料温度条件をパラメータにした一連の実験を行った。エッチング結果を図 1 に示す。図 1(a) および (b) は、加速電圧 $V_{acc}=100V$ 、窒素ガス圧力 $N_2=0.3mTorr$ のビーム条件によるエッチング結果であり、試料温度条件はそれぞれ、 $T_s=60^\circ C$ および $T_s=90^\circ C$ に設定している。 $T_s=60^\circ C$ においてはエッチング形状は傾き側壁であり、加工側面・底面共に荒れを呈しており物理性スパッタ効果の強いエッチングである。このようなエッチングが発現する原因として、エッチングガス種と試料材料の間で化学反応が生じていない、または化学反応は生じているが反応生成物が蒸発して表面から脱離するのではなく、スパッタ粒子により物理的に脱離していることが考えられる。 $T_s=90^\circ C$ 付近の高温においては図 1(b) に示すように加工面の平滑性が得られ垂直性エッチングへと移行することが確認できた。なお、このときのエッチングレートは 200nm/min であった。また、図 1(c) に示すように、加速電圧を $V_{acc}=60V$ に減少させた場合には、加工側面・底面共に荒れを呈することを確認した。これらの実験結果から、窒素イオンビームを用いたエッチングでは、イオン源で生じたイオンが衝撃し基板材料の結合 (C-H-O) を切断して揮発性の反応物を生成し、それを衝撃エネルギーで脱離させて起こっていると考えられる。すなわち、C と H のバランスを保った脱離が重要となる。試料加熱を行うことで、それぞれの反応生成物が十分な蒸気圧を持つようになり、反応生成物が充分すみやかに蒸発脱離するため平坦表面が得られることになると思われる。図 1(d)-(f) は穴掘り加工を行った実験結果を示しており、エッチング条件は図 1(b) と同様である。結果から加工側面・底面の平滑性が確認できる。しかし、いずれの結果においても加工形状制御 (垂直性) に関しては十分でなく、現在、窒素と酸素の混合ガスを用いたエッチングの検討を行っている。

一般に、反応性ガス圧の高い状態では反応性ガスが放電に寄与し、中性活性種 (ラジカル) が生成される。この場合、生成された中性活性種がエッチングに関与し、試料表面との化学反応を誘発することでエッチングが進行するためア

ンダーカット形状が発現する原因となっている [3]。

一方、 N_2-O_2 混合ガスを用いるエッチングにおいて、 O_2 分圧の低い状態では、ビーム中に O 種は含まれず、 N_2 種のみであり、試料に入射した N_2 は雰囲気中に存在する O_2 と PMMA との化学反応を誘発すると考えられる。反応生成物は N_2 のスパッタで試料表面から離脱するとともに、蒸発でも脱離していく。この場合、 N_2 ビームの入射してくる部分でのみ反応が起こるためビームの指向性を反映して垂直性に富む加工形状が得られるものと思われる。

図 1 PMMA のエッチング結果

Fig.1 SEM photographs of PMMA achieved by N_2 ion beam etching. (a) $V_{acc}=100V$, $T_s=60^\circ C$. (b)(d)- $(f)V_{acc}=100V$, $T_s=90^\circ C$. (c) $V_{acc}=60V$, $T_s=90^\circ C$.

4. ま と め

本論文では、 N_2 ビームを用いた PMMA のドライエッチングに関して検討を行い、エッチング特性は試料温度に大きく依存しており、試料温度を上昇させることで加工面の平滑加工が実現できることを確認した。今後、加工形状制御を実現するため N_2-O_2 混合ガスを用いてエッチングパラメータの検討を行う必要がある。

(平成 12 年 05 月 29 日受付)

文 献

- (1) 今村, "光部品," 高分子, vol.43, no.4, pp.271-275, April, 1994.
- (2) 柳沢, 桑野, 中野, "窒素イオンビームを用いたポリイミド膜の高アスペクト比微細加工," 電気学会論文誌, vol.117-E, no. 1, pp. 39-44, Jan. 1997.
- (3) S. Oku, Y. Shibata, K. Ochiai, "Controlled Beam Dry Etching of InP by Using $Br_2 - N_2$ Gas," J. Electronic Materials, vol.25, pp. 585-591, 1996.