巻取り式プラズマエッチングによる
ポリイミドへのビアホール加工*佐藤 昌敏^{*1}・稲川幸之助^{*2}・竹井日出夫^{*1}・川村裕明^{*1}
徳永 康宏^{*1}・水野 健二^{*1}・石橋 暁^{*1}

(受理2001年11月24日, 掲載決定2002年2月22日)

Via Hole Formation in Polyimide Film by Plasma
Etching Using a Roll Etcher SystemMasatoshi SATO^{*1}, Konosuke INAGAWA^{*2}, Hideo TAKEI^{*1}, Hiroaki KAWAMURA^{*1},
Yasuhiro TOKUNAGA^{*1}, Kenji MIZUNO^{*1} and Satoru ISHIBASHI^{*1}^{*1}Chiba Institute for Super Materials, ULVAC Inc., Yokota, Sanbu, Chiba 289-1226, Japan^{*2}Tsukuba Institute for Super Materials, ULVAC Inc., Tohkohdai, Tsukuba, Ibaraki 300-2635, Japan

(Received November 24, 2001, Accepted February 22, 2002)

The Build-up Process is very important in the production of a multilayer printed wiring board (PWB) in electric communication devices. Nowadays, laser and photolithography processes are the main methods used for forming via holes in the polyimide in the Build-up Process. In this study, as a preliminary experiment for via hole formation, etching rates in polyimides were investigated using a plasma etching process with a roll coater instead of previously utilized processes. This was carried out with a reactive ion etching (RIE) discharge, created by applying a low frequency power of 400 kHz to the main roller as a cathode, using O₂ and CF₄ gases. A high dynamic etching rate of 5 $\mu\text{m}\cdot\text{min}$ was the target value. The dynamic etching rate increased with the power applied, and the maximum values obtained were 3 and 2 $\mu\text{m}\cdot\text{min}$ for polyimide films (25 μm) of Kapton 100H and Upilex S, respectively. To realize a higher density of plasma, a high frequency power of 13.56 MHz was applied to the anode, from which the etching gasses were fed, in addition to the RIE discharge. The etching rate was found to further increase as a result. Moreover, adding N₂ gas to the etching gases increased the etching rate. These results taken together have created the possibility to surmount the target value.

1. はじめに

電子機器の性能向上はLSIの高集積化やシステム化の進展により支えられているが、LSIや電子部品は単独ではその性能を発揮することはできない。実際の機器として使用するためには、接続のためのプリント配線板

(PWB: printed wiring board)と高密度実装技術が必要である。そのなかでもビルドアッププロセスによる多層PWBの重要性が高まっている。ビルドアッププロセスは、コア基板上に樹脂層(絶縁層)と導体層(配線層)を積み上げていくプロセスである。多くの場合、樹脂層はポリイミド(PI)、導体層には銅が用いられ、上下導体層との接続のため樹脂層にビアホール(貫通孔)加工を施す。

現在、ビルドアッププロセスにおけるビアホール加工には、カットシート基板を用いたレーザーおよびフォトリソグラフィーによる手法が主に使用されている。ま

* 平成13年10月18日 第42回真空に関する連合講演会で発表(18Ba-2)

^{*1} 株式会社アルバック 千葉超材料研究所(〒289-1226 千葉県山武郡山武町横田523)^{*2} 株式会社アルバック 筑波超材料研究所(〒300-2635 茨城県つくば市東光台5-9-7)

た、低圧力 RIE (Reactive Ion Etching) 放電による PI のプラズマエッチング法についても多くの報告がなされている¹⁻⁴⁾。プラズマエッチング法は、レーザー法に比べビアホール形状およびサイズの大小を問わず広い面積に一括形成でき、しかもデスマア (レーザー加工後の残渣除去) 処理が不要な優れた方法であり、今後ホール径やピッチ寸法が微細化するのにもとない有望な加工方法といえる。しかし、プラズマエッチングの実用化にはより高いエッチング速度が望まれている。

本研究では、生産性を高める方法として、ロール状基板を用いた巻取り式の連続プラズマエッチング法により PI へのビアホール形成を試みた。動的エッチング速度の目標値は、他の手法よりも処理効率が上がるように $5 \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ とした。PI のエッチングは、酸素および四フッ化炭素の混合ガスを用いて基板側メインローラーを陰極とする RIE 法で行った。その際、エッチング速度の増大のために陽極側にも高周波を印加する 2 周波励起法や、酸素/四フッ化炭素混合ガスに窒素ガスを添加する方法等についても検討した。

2. 実験方法

巻取り式プラズマエッチング装置の概念図を Fig. 1 (a) に示す。装置内部は、大きく分けて基材の巻出し (UW : Unwind), 巻取り (W : Wind) をする巻取り室 (winding chamber) と、圧力差を確保し異常放電を防止するための中間室 (medium chamber) およびプラズマエッチング室 (plasma etching chamber) の 3 室で構成されている。基材の取付け可能な最大幅は 200 mm で、巻取り速度は $0.1 \sim 60 \text{ m}/\text{min}$ (本実験では $0.1, 0.5 \text{ m}/\text{min}$)、中央のメインローラー (MR) は媒体により $-20 \sim 40^\circ\text{C}$ の範囲で温度制御が可能である。エッチングガスには酸素 (O_2)、四フッ化炭素 (CF_4) および窒素 (N_2) ガスを用い MR 下部に設置したシャワープレート (SP) より導入した。

PI フィルムは、カプトン 100H (東レ・Du-Pont 社製) およびユーピレックス S (宇部興産社製) で、それぞれ $25 \mu\text{m}$ 厚さのフィルムを用いた。Fig. 1 (b) にフィルムセティング状態を示す。各 PI フィルムは、段差測定用に PI テープでマスクした後所定のサイズ ($10 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$) に切断し、ステンレス製フィルム (厚さ $20 \mu\text{m}$) に開けられた開口部に PI テープで固定した。エッチング速度は、触針式表面形状測定器 Dektak 3030 による段差測定から求めた。

エッチングは、カソードとなる MR 側に 400 kHz の低周波を印加する場合と、カソード側およびアノードとなる SP 側両方へそれぞれ 400 kHz および

Fig. 1 (a) Schematic diagram of the continuous plasma etching system using a roll coater.
(b) Sample set up for step measurement.

13.56 MHz の高周波を印加する場合の 2 つの方式で行った。なお、カソード側の放電面積は約 1000 cm^2 、アノード側は約 1700 cm^2 である。

3. 実験結果および考察

3.1 RIE 放電

カプトン 100H、ユーピレックス S 各 PI フィルムについてのエッチング圧力と動的エッチング速度との関係を Fig. 2、Fig. 3 に、また CF_4 濃度との関係を Fig. 4 に示す。ここで、動的エッチング速度を成膜の場合の動的成膜速度と対比して定義する。動的成膜速度は、基板フィルムが一定巻取り速度 $v \text{ m}/\text{min}$ で一定領域内を通過する時に厚さ $t \mu\text{m}$ の膜が形成された場合の $t \times v \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ である。動的エッチング速度は、前記の「膜厚」を「エッチング加工深さ」に置き換えたものとする。カプトン 100H、ユーピレックス S の動的エッチング速度はともに圧力、 CF_4 濃度に対して似た依存傾向を示した。動的エッチング速度は CF_4 濃度の増加とともに増大する傾向を示している。圧力については、 $\text{CF}_4 = 10, 30\%$ に対しては圧力とともに増大し、また、より高圧力まで実験した $\text{CF}_4 = 50\%$ では $35 \sim 40 \text{ Pa}$ で最大となり、その

Fig. 2 Relation between the etching pressure and the dynamic etching rate for various CF₄ concentrations (Kapton 100H).

Fig. 3 Relation between the etching pressure and the dynamic etching rate for various CF₄ concentrations (Upilex S).

後減少している。カプトンH、ユービレックスSそれぞれの最大動的エッチング速度は $1.4 \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ 、 $1 \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ であり、静的エッチング速度では $2.8 \mu\text{m}/\text{min}$ 、 $2 \mu\text{m}/\text{min}$ に相当する。本実験では、フィルムが走行してエッチングを受ける距離は 0.5 m であるので、静的エッチング速度としては $(t \times v \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}) / 0.5 \text{ m} = 2 \times v \mu\text{m}/\text{min}$ となる。ユービレックスの動的エッチング速度は、カプトンのそれよりも小さい。ユービレックスは、カプトンに存在するエーテル結合がなく、より剛直な化学構造をしており、耐熱性も高い⁵⁾。この安定した構造がエッチング速度に対しても影響していると考えられる。

O₂ + CF₄ 混合ガスを用いた低圧力RIE放電によるPIのエッチングについては多くの報告がなされているが、

Fig. 4 Relation between CF₄ concentration and the dynamic etching rate.

Fig. 5 Relation between the power density of the low frequency applied to the main roller and the dynamic etching rate ($1 \text{ sccm} = 1.68875 \times 10^{-3} \text{ Pa m}^3/\text{s}$).

すべて静止基板についてである。いずれにおいてもCF₄量を変化させており、1～3)ではCF₄濃度20%近傍、4)では40%近傍で最大のエッチング速度が得られている。これらの多くは $1 \mu\text{m}/\text{min}$ 程度のエッチング速度であるが、最大値としては文献1)によれば、カプトン基板に対してCF₄濃度30%、圧力106 Pa、600 kHzの低周波電力印加で $2.7 \mu\text{m}/\text{min}$ が達成されている。今回の結果(Fig. 2の最大値を静的エッチング速度に換算した値)はこれと同等の値である。

MRへの印加電力を増大させ、プラズマ密度を増大させた時の実験結果として、エッチング圧力40 Pa、CF₄濃度50%の場合をFig. 5に示す。各PIの動的エッチング速度は、電力の増加とともに増大し、カプトンH、ユービレックスSに対してそれぞれ約 $3 \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ 、約 $2 \mu\text{m} \cdot \text{m}/\text{min}$ である。静的エッチング速度にすればそれ

Fig. 6 Variation of the dynamic etching rate in the case of the application of high frequency power to the shower plate together with RIE discharge.

ぞれ $6\mu\text{m}/\text{min}$, $4\mu\text{m}/\text{min}$ である。なお、最近の、He と O_2 の混合ガスを用いた大気圧プラズマージェットによる PI (カプトン) のエッチング実験では、最大値として、基板温度 250°C で $8\mu\text{m}/\text{min}$ という大きなエッチング速度が報告されている⁹⁾。著者らによるエッチングは低圧法であるが、前述の静的エッチング速度の最大値は大気圧プラズマージェット法の最大値に近い大きな値が得られたことになる。

3.2 2 周波励起放電

プラズマ密度を増大する方法として、MR をカソードとする RIE 放電に加えて、SP へ高周波を印加した 2 周波励起放電の場合の動的エッチング速度と投入電力との関係を Fig. 6 に示す。SP への印加 RF 電力を 0 (SP の電位は接地) から 900 W まで増加させると、動的エッチング速度は直線的に増大し、接地時の値に比べカプトン H、ユービレックス S とともに約 2.4~2.5 倍になり、エッチング速度の増大効果が大きい。900 W 以上の電力投入ではさらに高いエッチング速度が期待できる。

3.3 窒素ガス添加効果

PI のエッチング速度に対する窒素ガスの影響については、 $\text{O}_2 + \text{CF}_4 + \text{N}_2$ ガスや $\text{O}_2 + \text{NF}_3$ ガス系を用いた実験が報告されている¹⁷⁾。それによれば、エッチング後の反応生成物である CO_2 や COF_2 が窒素ラジカルと反応し、再度エッチング活性種である酸素やフッ素を発生させるため、エッチング速度が増大するとされている。本実験の RIE 放電法において、 $\text{O}_2 + \text{CF}_4$ のガス系に N_2 ガスを添加したときの動的エッチング速度の変化を Fig. 7 に示す。動的エッチング速度は、 N_2 ガスの導入量増加とともに上昇し、100 sccm の添加で未添加の場

Fig. 7 Relation between the additional N_2 flow rate and the dynamic etching rate.

合の約 1.5 倍が得られた。この結果は、前述の報告と同様、窒素ラジカルの効果を表しているものと考えられる。

4. ま と め

巻取り方式による PI フィルムの連続プラズマエッチングを $\text{O}_2 + \text{CF}_4$ 混合ガスを用いて実施した。動的エッチング速度は、MR のみに低周波電力を印加した RIE 放電では最大 $3\mu\text{m}\cdot\text{m}/\text{min}$ (カプトン 100H) が得られた。この値は静的エッチング速度 $6\mu\text{m}/\text{min}$ に相当する。さらに、MR での RIE 放電に加えて SP への高周波電力印加によりエッチング速度が約 2.5 倍に増大すること、および窒素ガス添加によっても約 1.5 倍に増大することがわかった。これらの方法を組み合わせた最適条件により、レーザー法を上回るより大きなエッチング速度が期待できる。

〔文 献〕

- 1) G. Turban and M. Rapeaux: J. Electrochem. Soc. SOLID-STATE SCI. AND TECHNOL., 130 (1983) 2231.
- 2) F. D. Egitto, F. Emmi, R. S. Horwath and V. Vukanovic: J. Vac. Sci. Technol., B3 (1985) 893.
- 3) V. Vukanovic, G. A. Takacs, E. A. Matuszak, F. D. Egitto, F. Emmi and R. S. Horwath: J. Vac. Sci. Technol., B6(1) (1988) 66.
- 4) A. S. Dawson, M. S. K. Chen and C. C. Dong: Proc. ISHM '94, 512.
- 5) 太田隆之: プラスチック事典 (朝倉書店, 1992) p. 626.
- 6) J. Y. Jeong, S. E. Babayan, A. Schutze, V. J. Tu, J. Park, I. Henins, G. S. Selwyn and R. F. Hicks: J. Vac. Sci. Technol., A17(5) (1999) 2581.
- 7) 岩森 暁, 奈良亮介, 柳川紀行, 貞本 満: 真空, 43 (2000) 518.