

## MEMS・LED高生産ドライエッチング技術の開発

Development of High-Production Dry Etching Process Technology for MEMS and LED Devices

鈴木 宏之\* 置田 尚吾\*

Hiroyuki Suzuki

Shogo Okita

ウェハ基板上に微細加工を施すドライエッチング技術に関して、デバイスの高生産性を実現するにはデバイス材料を高速かつ高品質に加工することが望まれる。本稿では、デバイス材料の高速加工に有効な新開発の高密度プラズマ生成技術と基板冷却技術について解説し、TSV (Through-Silicon Via) 工法を用いたCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサや高輝度LED (Light Emitting Diode) などの新たな電子デバイス加工への適用事例について述べる。

To realize high-production of electronic devices, processing with high speed and high quality is needed for the dry etching which makes fine structures on the wafer. In this article, we explain new technologies for high-density plasma generation and wafer cooling which are effective for high-speed wafer processing. We also exhibit some examples applied to new devices such as Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) image sensor by using Through-Silicon Via (TSV) and a high-brightness Light Emitting Diode (LED).

## 1. ドライエッチングによる新たな電子デバイス加工

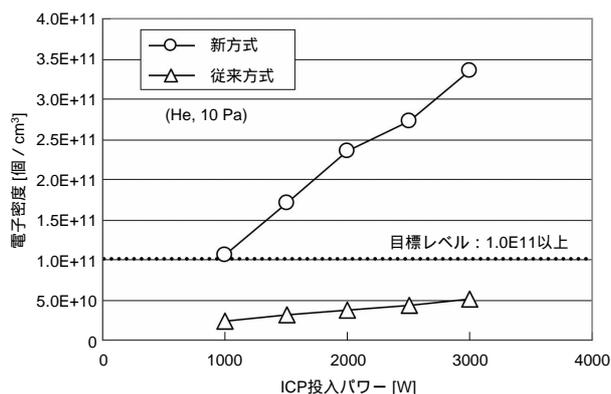
ドライエッチングでは、反応性ガスをプラズマ化して、異方性（イオン）と化学反応（ラジカル）による反応性イオンエッチング（RIE：Reactive Ion Etching）のメカニズム<sup>1)</sup>によって、高精度の微細加工を可能にしている。そのためプラズマ制御は重要な要素である。

近年、3次元実装シリコン貫通ビア（TSV）工法などのMEMS（Micro Electro-Mechanical Systems）応用技術を用いた小型CMOSイメージセンサや、次世代照明として期待される高輝度LEDなどの新たな電子デバイスの加工技術にドライエッチングが用いられている。従来の半導体生産用の薄膜加工とは異なり、CMOSイメージセンサ用途ではガラス基板上にはり合わされた単結晶シリコン膜（膜厚100 μm以上）の貫通加工が必要であり、高輝度LED用途ではn型とp型の電極間のコンタクトを取るためのGaN系結晶膜（膜厚数 μm）の加工や外部取り出し効率向上のためのサファイア基板（膜厚数 μm）の表面加工が必要とされる。膜厚とエッチング速度の関係から、いずれの加工も長時間を要し、生産コストを抑えるために高速加工が望まれるが、従来方法では加工速度の向上に限界があった。

## 2. ドライエッチング高速化技術の開発

エッチング反応に寄与するイオン種、ラジカル種を効率よく生成するには、より高密度なプラズマを生成する

ことが重要である。新たに開発した誘導結合型プラズマ源（ICP：Inductively Coupled Plasma）は高均一なプラズマ生成に最適なマルチスパイラルコイル方式<sup>2)</sup>をベースにして誘導磁界がより効率よくエッチングチャンバ内に透過する構造を採用することで、従来のICPと比べて7倍（当社従来比）の高密度プラズマを生成し、反応性の高い高速加工が可能である。第1図に示すように、従来方式ではICP投入パワーを増加しても10 Pa以上の高圧条件下で目標の $1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup> 台のプラズマ密度に達しないが、新方式では1000 W以上のパワー投入で容易に目標に達することが可能である。



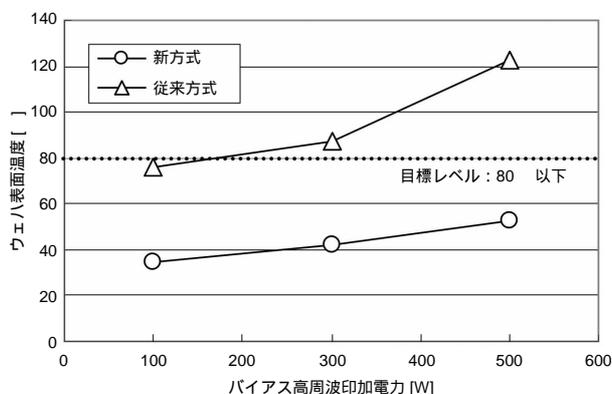
第1図 プラズマ源による電子密度の比較

Fig. 1 Comparison of electron density

より高速な加工を行うには高出力での高周波電力投入が必要不可欠であるが、その場合にフォトレジストなどのマスク材料の劣化を防止して加工形状を精密に制御するには、プラズマによる基板温度上昇を抑制するための基板冷却技術が大変重要になる。高耐久セラミックス材料を用いた新開発の静電吸着電極は、一般的なシリコン

\* パナソニック ファクトリーソリューションズ（株）  
開発センター  
Development Center, Panasonic Factory Solutions Co., Ltd.

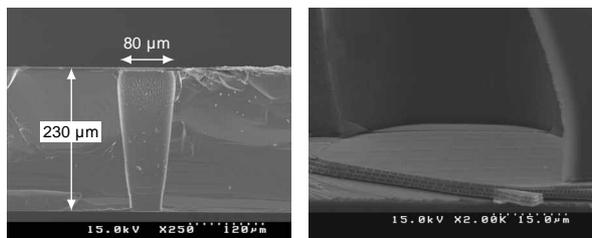
基板に比べて吸着が困難なガラスはり合わせシリコン基板やサファイア基板などの非導電性材料の吸着性能に優れている。また、サファイアなどの小口径の基板に対しては、トレーによる複数枚同時搬送に対応しながら枚葉処理方式と同様に基板裏面にHeガスを導入して各基板の直接冷却を可能としている。第2図に、2インチサイズのサファイア基板を7枚同時処理した際の基板温度（平均値）を示す。新方式では従来方式と比べて被エッチング基板の冷却能力が飛躍的に向上し、高出力の高周波印加でもレジスト焼けの発生しない180℃以下に基板温度を制御できている。これにより、複数の基板を同時に、高速かつ高均一にエッチングすることが可能である。



第2図 基板冷却方式によるウェハ表面温度の比較  
Fig. 2 Comparison of wafer surface temperature

### 3. デバイス加工への適用事例

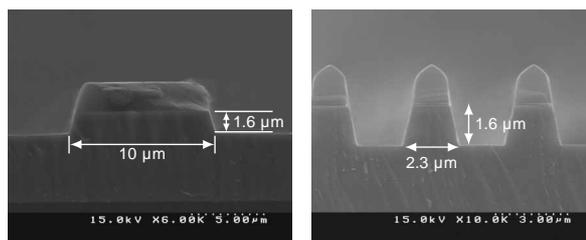
初めに前項で説明した高密度プラズマ生成技術を用いたTSV用ディープシリコン加工（8インチガラスはり合わせ基板）の実施例を、第3図に示す。この例ではSF6ガスを主ガスとしてFラジカルとSiが反応し、SiFxが主な反



第3図 TSV用Deep-Siエッチング加工事例  
（左：幅80 μm×深さ230 μm加工断面，右：ホール底部，  
試料提供：（株）ザイキューブ）  
Fig. 3 Examples of deep-Si etching for TSV  
（LEFT：80 μm (W)×230 μm (D) cross section, RIGHT：hole  
bottom, Sample from ZyCube Co., Ltd.)

応生成物となるエッチングプロセス<sup>3)</sup>を使用している。シリコンのエッチング速度・面内均一性は、20 μm/min±3.0%（基板周辺5 mm内）であり、当社従来方式と比べて約30%速く、実用レベルで業界トップ水準の加工速度を高均一で実現している。さらに、シリコン層の下層（SiO<sub>2</sub>/メタル）との界面は滑らかで、ノッチングなどの形状異常もなく、貫通電極埋め込みなどのエッチング後工程との整合も良好であることが確認されている。

次に、前項で説明した小口径基板一括処理による高輝度LED用GaNおよびサファイア基板の加工事例（2インチ基板×7枚一括処理）を、第4図に示す。いずれも塩素系ガスを主ガスとしており、Clラジカルとの主反応によってエッチングが促進されるプロセスを使用している。GaN加工の平均エッチング速度は460 nm/minであり、一括処理した7枚の基板すべてにわたるエッチング速度面内均一性は、±3.5%（基板周辺1 mm内）である。サファイア加工のエッチング速度は110 nm/min±3.4%（基板周辺1 mm内）である。当社従来方式と比べて、GaN加工速度は約200%速く、サファイア加工速度は約40%速い。いずれの加工速度も業界トップ水準である。また、各基板の面内均一性、加工再現性は良好で、デバイス試作による発光特性やダメージのテストをクリアしており、高生産性と加工品質を両立したエッチングを実現している。



第4図 高輝度LED用GaN，サファイアエッチング加工事例  
（左：GaN，右：サファイア）  
Fig. 4 Examples of GaN and Sapphire etching for HB-LED  
（LEFT：GaN, RIGHT：Sapphire）

### 4. 今後の展望

ドライエッチングによるデバイス加工の生産性向上に大きく寄与する高密度プラズマ生成および基板冷却の制御技術と、MEMS（TSV）、LEDデバイスへの適用事例について述べた。現在、これら技術の200 mm基板対応プラットフォーム設備への展開を完了し、より生産性の高い300 mm基板対応プラットフォーム設備への展開を進めて

いる。エッチング条件のプロセスウィンドウが大きく広がったことは、加工速度の向上だけでなく、今後デバイス設計から要求される精緻なテーパ角制御などエッチング形状の制御性向上に期待できる。

世界的な環境意識の高まりによって、今後ますます電子機器の小型化、省エネ化に有効なデバイスの生産が伸びると考えられ、これらのデバイス開発を担うデバイスメーカーの加工ニーズにタイムリーに応えて行けるよう技術開発を進めて行きたい。

### 参考文献

- 1) 徳山巍：半導体ドライエッチング技術（産業図書（株））pp.48-51 (1992).
- 2) T. Okumura, et al. : New inductively coupled plasma source using a multispiral coil. Rev. Sci. Instrum. 66, No.11, pp.5262-5265 (1995).
- 3) 鈴木宏之 他：3次元実装・MEMS対応プラズマエッチング装置 電子材料 7, pp.81-84 (2007).