

プラズマ援用研磨による大面積単結晶ダイヤモンド基板のダメージフリー加工

阪大工 ○吉鷹直也, 阪大院工 劉念, 川合健太郎, 有馬健太, ◎山村和也
株式会社ティ・ディ・シー 菅原宏輝, 赤羽優子, 藤野健一
国立研究開発法人産業技術総合研究所 山田英明, 竹内大輔

要 旨

近年, 半導体デバイスの分野でダイヤモンドが注目されている. ダイヤモンドは高い熱的・電気的特性を有するため, ヒートシンクやパワーデバイスに応用すると電力の低損失化が期待できる. しかし, デバイス応用に必要な基板の平坦化において, 従来のスカイフ加工では基板表面へのダメージの導入等の問題がある. 本研究ではプラズマを援用した研磨により, ダメージフリーかつ $10 \mu\text{m}/\text{h}$ を超える研磨レートを得た.

1. 緒 言

ダイヤモンドは物質中最高硬度を持つことから切削工具として利用されており, 今後は高い熱的・電気的特性¹⁾を持つことから広いバンドギャップを利用したパワーデバイスや冷却機構が不要なデバイス, 高キャリア移動度を利用した高速動作デバイス, 高熱伝導率を利用したヒートシンクの作製と半導体分野での応用が期待されている. ダイヤモンドを半導体分野で利用するにあたり, 高品位なダイヤモンド基板を作製する必要がある. デバイスプロセスに利用される大面積ダイヤモンド基板は現在国立研究開発法人産業技術総合研究所で開発されている. この作製法はモザイク法と呼ばれており, 数ミリ角の小型単結晶ダイヤモンド板を密着して敷き詰め, この上にCVD成長させて結合させる手法である²⁾. こうして合成されたダイヤモンド基板表面には数 $10 \mu\text{m}$ のうねりが存在し, このままではダイヤモンドデバイス作製の障害となったり, ヒートシンクとして冷却するデバイスと十分な接触が取れなかったりするため, ダイヤモンド表面を平坦・平滑化する必要がある. こうして作られたダイヤモンド基板は大面積である上, 種基板の接合部の強度はバルクに比べ低下するため, 従来のスカイフ研磨や高速摺動研磨法などの物理的にダイヤモンドに強い負荷が加わる研磨法は基板の破損に繋がり, 適用できない. そこで化学的作用を利用した化学機械研磨や, 非接触の加工であるレーザー研磨なども研究が行われているが, 研磨レートが低く, 基板全面の平坦化には非常に長い時間を要するという問題がある. そこで, 我々は大量単結晶ダイヤモンド基板をダメージフリーかつ高能率に研磨するために, プラズマ援用研磨 (Plasma Assisted Polishing : PAP) の適用を提案する.

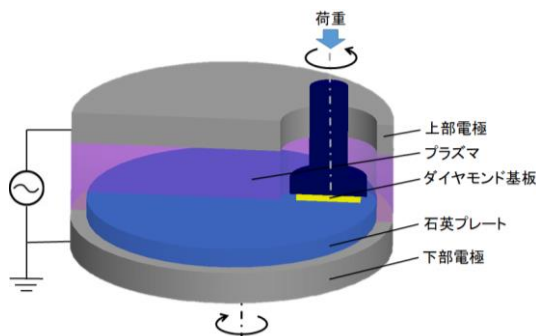


Fig. 1 PAP 装置概念図

PAP は, 減圧下で発生させた容量結合プラズマ中でダイヤモンド基板を回転させながら, 基板に対し逆回転する研磨プレートに押し付ける研磨法である. 本研究では PAP の有用性を示すため, 研磨レートの測定および研磨後の単結晶ダイヤモンド (Single Crystalline Diamond : SCD) の表面粗さの測定を行った. なお, 登壇者は本稿の内容において 20mm 角大面積基板の実験及び研磨後の計測と評価を担当した.

2. 実験方法

Fig. 1 に PAP 装置の概念図を示す. まず PAP によって研磨が促進されることを示すために $10 \text{mm} \times 10 \text{mm}$ の単結晶ダイヤモンド (100) 基板 (10mm SCD) でプラズマの有無と研磨能率の相関を調査した. Table 1 に実験条件を示す. また, Table 1 の条件で各回転数におけるプラズマの有無と表面粗さの相関, 及び 400rpm で得られたダイヤモンドの表面形状を調査した. 表面粗さは AFM で測定を行い, 表面形状は走査型白色顕微干涉計 (SWLI) にて取得した. さらに, 研磨圧力と研磨能率の相関を調査した. 次に, 大面積基板においても PAP が適用できることを示すため, $20 \text{mm} \times 20 \text{mm}$ の大面積単結晶ダイヤモンド (100) 基板 (20mm SCD) に対しても平坦化を行った. 平坦化完了後, AFM と SWLI によって表面粗さを計測し, フィゾー干涉計によって平面度を計測した. また, PAP 後のダイヤモンド表面におけるダメージ層の有無をラマン分光測定により評価した.

3. 結果と考察

プラズマの有無と研磨能率の相関を Fig. 2 に示す. また, Table 1 の条件で各回転数におけるプラズマの有無と表面粗さの相関及び 400rpm で得られたダイヤモンド表面像を Fig. 3 に示す. 実験より, 10mm SCD においてプラズマ無しで $2.7 \mu\text{m}/\text{h}$, PAP では $5.2 \mu\text{m}/\text{h}$ と

Table 1 プラズマ無し/PAP 研磨の実験条件

研磨圧力 [kPa]	385.7
ガス組成	Ar 200 sccm, O ₂ 30 sccm
チャンバー内圧力 [Torr]	6
研磨ヘッド部回転速度 [rpm]	20
石英プレート回転速度 [rpm]	400
RF 電力 [W]	0 (プラズマ無し), 100 (PAP)
研磨時間 [h]	0.5

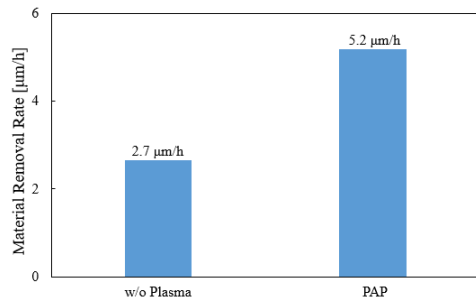


Fig. 2 プラズマ無し/PAPの研磨レート

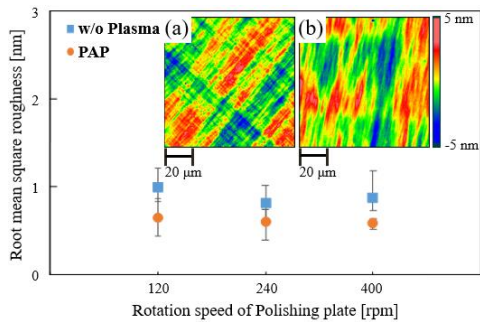


Fig. 3 プラズマ無し/PAPの各回転数における表面粗さ (a) プラズマ無し (b) PAP

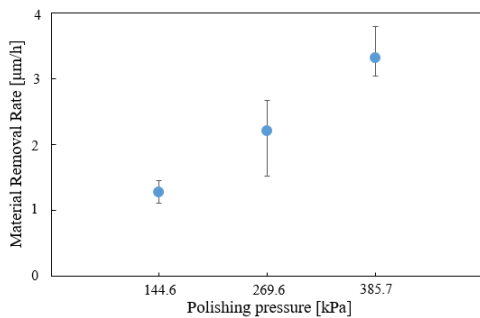


Fig. 4 研磨レートと研磨圧力の相関

2倍近い研磨レートが得られ、PAPによって研磨能率が向上することが示された。表面粗さに関しても、PAPでは各回転数で表面粗さが低減することが示された。また、SWLI像より、プラズマ無し的时候には格子状の研磨痕が見られたが、PAPでは見られなかった。ダイヤモンドの機械研磨においては研磨時のダイヤモンドの面方向によって研磨レートが異なることが知られている³⁾。実験装置では研磨はダイヤモンド表面の全方向に対して行われ、プラズマ無しの時は<100>と<110>方向における研磨レートの差が顕著に出たため、格子状の研磨痕が形成されたと考えられる。これは機械研磨に近い物理的な研磨作用が支配的であることを示唆する。一方、PAPでは格子状の研磨痕が見られないことから、プラズマによる化学的な研磨作用が加わることによって基板全面が等しく研磨されたと考えられる。また、研磨圧力と研磨レートの相関をFig. 4に示す。これより、研磨圧力を上昇させることで研磨レートが増加することが確認された。

次に、20 mm SCDの平坦化結果を述べる。研磨前後のダイヤモンド表面像をFig. 5に示す。ダイヤモンド表面像はSWLIにて取得した。本実験は回転数、荷重を変更しながら行い、最終的に219.5 hで平坦化を完了した。研磨後の表面をフィゾー干渉計によって測定したところ、0.5 μmという平面度が得られ、加えて研磨初

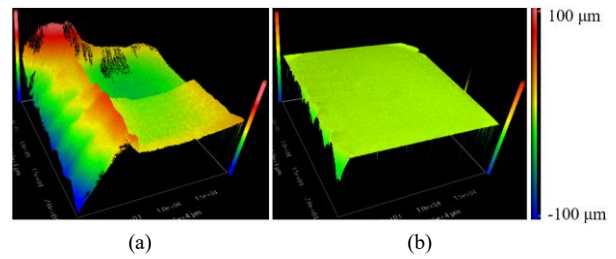


Fig. 5 研磨前後20 mm角ダイヤモンド表面 (a)研磨前, (b)219.5 h 研磨後

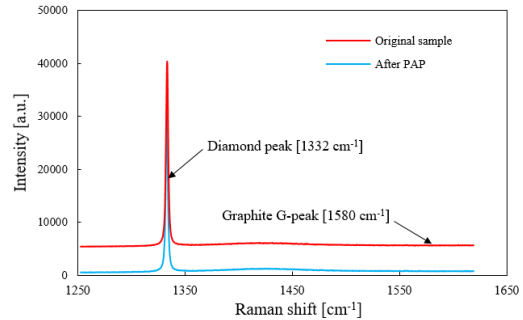


Fig. 6 研磨前後ダイヤモンドのラマンスペクトル

期においては13.3 μm/hの研磨レートを得た。また、AFMにより表面粗さ計測を行った。結果、5 μm x 5 μmの範囲でSq 0.329 nmを達成した。これらより、PAPによって20 mm SCDで平坦かつ平滑な表面が高能率で得られたことが示された。Fig. 6に、PAP前後におけるラマン分光測定結果を示す。Fig. 6からわかるように、532 nmの入射光の侵入深さ1 μm程度の範囲では新たにグラファイト層や残留応力の導入は確認されなかった。これらの結果から、PAPではダメージフリーかつ高能率に平坦化が可能であることが示された。

4. 結 言

ダイヤモンド基板のダメージフリーかつ研磨能率が高い研磨法として、PAPの適用を提案した。プラズマの有無における研磨結果を比較したところ、PAPによって研磨能率および表面粗さが向上することを示した。また、研磨圧力を上昇させることで研磨能率がさらに向上する可能性が示された。次に、PAPによって20 mm SCDにおいて最終的な平面度0.5 μm、最大研磨レート13.3 μm/hを達成した。加えて、ラマンスペクトルを取得することで表面から1 μm程度の範囲でグラファイト層や残留応力の導入がないことを確認した。これらによってPAPが大面積単結晶ダイヤモンド基板に適用可能な、ダメージフリーかつ高能率に平坦化・平滑化可能な研磨法であることを示した。

謝 辞

本研究の一部は、JST A-STEP (AS3015040S)の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/faq/diode_sic-sbd/sic-sbd001.html
- 2) 茶谷原照義 *et al.*, Synthesiology 3 (2010) 272-280
- 3) Zong, W. J., *et al.* Carbon 99 (2016): 186-194.