

**P C Dブレード工具による微細加工技術に関する研究【第2報】**  
**フェムト秒レーザーで形成した切れ刃の結晶性評価及びSiC 基板への加工評価**  
**Study of fine groove machining using poly-crystalline diamond (PCD) blade tool 【2nd report】**

- Evaluation of crystallography of cutting edges formed by femtosecond laser and processing assessment on SiC substrates -

近畿大学 ○小西遥大, 藤田 隆, 福永涼太  
 株式会社新日本テック 和泉 康夫, 渡邊 純二

Kindai University. Haruto Konishi, Takashi Fujita, Ryota Fukunaga,  
 Shin-Nihon Tech. Inc. Yasuo Izumi, Junji Watanabe

**1. 緒言**

次世代 EV 車のモータ制御において、インバータ等の電力変換装置の電力損失を抑えることが求められている。ワイドギャップ半導体として知られるSiC(炭化ケイ素)は、スイッチング時に発生するリーク電流を極めて低く抑えることから、脱炭素化社会における省電力化を図る SiC パワーデバイスの普及が強く求められる。

しかしながら、SiC 基板は、極めて高強度かつ高硬度であるため、微細に切断加工することが極めて難しい。現在、SiC 基板加工では、基板にクラックを誘発させて加工効率化を図るものが一般的であるが、精度が確保できない上に、基板内に残るクラックのため、抗折強度の低下が懸念される。

そこで、SiC 基板などの硬脆性材料を微細かつクラックがない鏡面微細加工する技術として、一体の PCD(焼結ダイヤモンド)を切れ刃とするブレードによる高精度ダイシング技術に着目し、結晶粒界からなる高密度な三次元連続切れ刃により、加工対象にクラックを発生させない延性モードを実現するダイシング加工技術を開発した<sup>2)</sup>。

前報では、ピコ秒レーザーを PCD ブレードの切れ刃先端にピコ秒レーザーを照射して、切れ刃を形成したが、切れ刃先端の鋭利性の評価と均等作用性の更なる向上が重要である<sup>4)</sup>。特に切れ刃先端部の鋭利性において、SiC 基板に所定の切り込みを与えて加工していく上では、切れ刃形状もさることながら、先端部の硬度も必要となる。そこで本報では、フェムト秒レーザーを PCD 面に照射して形成する切れ刃部に対し、ダイヤモンドの結晶性を調べ、先端部の鋭利性を評価した。そして、PCD ブレードの切れ刃先端にフェムト秒レーザーを照射し、連続的な切れ刃形状を得た PCD ブレードで SiC 基板に溝入れ加工評価を行ったので報告する。

**2. フェムト秒レーザーを用いて形成した切れ刃の鋭利性評価**

今回 PCD ブレード先端部の切れ刃形成において、フェムト秒レーザーを使用し、等間隔の切れ刃形成を試みた。図 1 に使用したフェムト秒レーザーの外観を示す。フェムト秒レーザーは光響製 femt-pro を使用した。表 1 にレーザー照射条件を示す。

フェムト秒レーザーで形成した切れ刃の鋭利性を確認するために、PCD 平板にレーザーを照射し、レーザー痕部分におけるダイヤモンドの結晶性を評価することとした。図 2 に PCD 面を連続的に加工を行った結果を示す。約 20 $\mu$ m 程度のレーザー痕となり、表面粗さが 32nm であった。また表面のアブレーションによって、0.2- 0.5 $\mu$ m 程度の鋭利な凹凸が形成された。図 3 に平板加工部の断面を切断し、電子線後方散乱回折(EBSD : Electron Back Scattered Diffraction Pattern)を用いて、PCD 加工断面の結晶性を評価した結果を示す。PCD の極表面までダイヤモンド結晶性があり、ほとんどがグラファイト化していないことを確認した。よって、フェムト秒レーザーがもつ短パルス幅によるアブレーション加工によって、切れ刃の結晶性を確保した状態で鋭利な切れ刃が形成できることを確認した。

次に、同条件にてブレードを 2rpm で回転させながら、ブレード刃先にフェムト秒レーザーを照射して、切れ刃を形成した。図 4 にレーザー照射位置と、レーザー加工後の PCD ブレードの表面粗さ結果を示す。ブレード先端の切れ刃の表面粗さは Ra 56nm となり、レーザー痕によって切れ刃となる凸部が均等に形成された。このブレードを用いて SiC 基板に対して溝

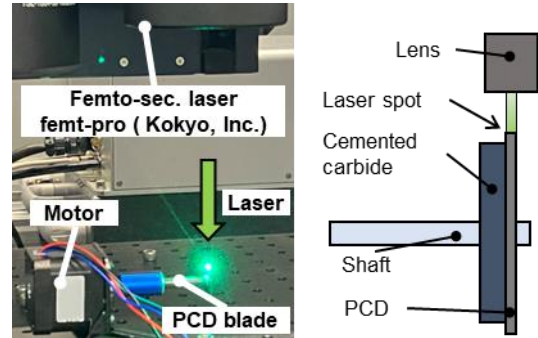


図 1. フェムト秒レーザーによるブレード先端加工の外観図

表 1. フェムト秒レーザー照射条件

Blade	PCD material (DA200) Diamond approx.90Vol% Abrasive diam. <1 $\mu$ m		
Spot diameter	10 $\mu$ m	Blade rotation	2 rpm
Pulse width	500 fs	Blade diameter	17 mm
Frequency	50 kHz	Spot diameter	531.2 nm

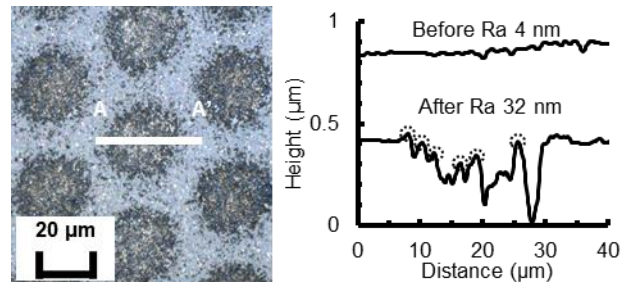


図 2. レーザ加工後の PCD 平面の状態と表面粗さ結果

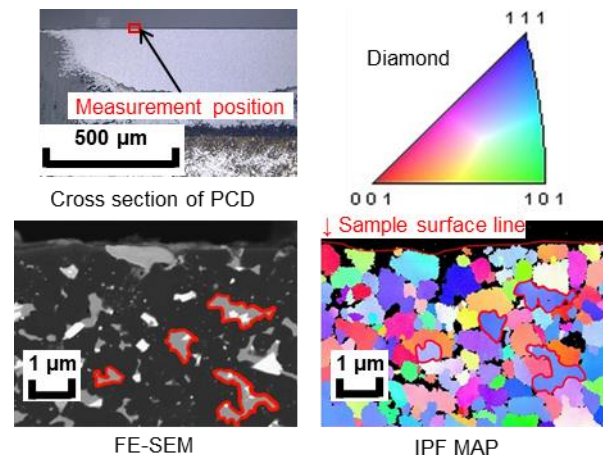


図 3. EBSD による測定結果

入れ加工を行った。

### 3. 切れ刃付けしたPCD ブレードをによる溝加工評価

図5に、レーザで切れ刃付けしたブレードを使用して、SiC基板に溝入れ加工した加工装置外観を示す。スピンドルは、ナカニシ製高速スピンドルNR-2351を使用した。ブレードは軸付きブレードを使用し、直径は17mmとし、ブレード幅は20 $\mu$ mとした。PCDブレードを使用して切れ刃を均等に高精度に作用させてSiC基板の加工を行うにあたり、50000rpmの振れを超高速・高精度レーザ変位計(サンプリング周期392kHz)でブレード回転時の振れを測定した。ブレードの振動を含むの動的な振れは軸方向4 $\mu$ m、径方向は7 $\mu$ mとなった。

図6に、溝加工した表面状態と溝底の状態を示す。溝の側面はブレードの振れの影響でワレが生じているが、これはブレードの軸方向に4 $\mu$ m振れていることによる。また、径方向の振れからもブレード円周内の一部分のみしか作用していないため、軸方向、径方向とも振れの低減が必要である。しかし、溝底の表面粗さはRa 1nm以下となり、鏡面状態を得た。また、ブレードの進行方向に対して垂直な方向であるC-C'において、Ra 19nmであり、明瞭な線状の研削条痕は見受けられず、鏡面となった。これは、ブレード円周の一部であっても、PCDの作用表面が高密度な切れ刃群で構成されており、1つの切れ刃の加工量が極めて小さいためであると考えられる。

以上を踏まえ、図7にPCDの表面に形成された微小凹凸による模式図を示す。従来の電鍍ブレードは、設定した切り込みが実際の切り込みとならず、一部ダイヤモンドの砥粒は押し戻される。局所的には応力伝播の遅延が起こり、結果として先端部はたとえ形状が鋭利であっても鈍化して作用する。一方、PCDはダイヤモンド粒子同士が結合した極めて硬質な材料であるため、SiCからの反力を受けてもPCD側へ押し戻されず、微小切り込みがそのまま切り込みとして与えられる。その結果、応力伝播の遅延なく局所的な応力が作用し、鋭利に除去されることが考えられる。一方、図6の溝底面上に黒点が見受けられ、微小なクラックが残った。高速回転による径方向の振動が大きな要因であり、今後振動を低減していく。

### 4. 結言

- PCD表面にフェムト秒レーザを照射した後、EBSDを用いてレーザ痕のダイヤモンド結晶性を評価した結果、極表面でもグラファイト化することなくダイヤモンド結晶性を確保した状態で鋭利な切れ刃を形成できることを確認した。
- フェムト秒レーザでブレード先端部に切れ刃形成したブレードを用いてSiC基板に溝加工した結果、溝底面が1nm以下の鏡面となった。またブレード進行方向に対して垂直方向でもRa 19nmとなり、明確な研削条痕はなく鏡面となった。これは、PCD表面の切れ刃が形状として鋭利であり、また、応力伝播の遅延なく極微小に研削され、加工範囲が微小であるためと考えられる。

### 参考文献

- ローム社 Web サイト, <https://www.rohm.co.jp/products/sic-power-devices>
- 藤田 隆, 和泉康夫, 渡邊純二, PCDブレードによる超精密ダイシング技術の開発(第1報), 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2013)263-263 【D37】
- 藤田 隆, 和泉康夫, 渡邊純二, 特許第5885369号
- 小西遥大, 藤田 隆, 福永涼太, 和泉康夫, 渡邊純二, PCDブレード工具による微細加工技術に関する研究, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2023)248-249 【C09】

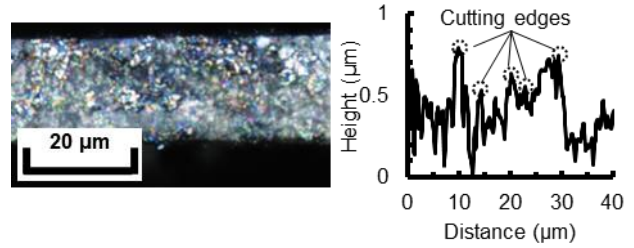


図4. レーザ加工後のPCD平面の状態と表面粗さ結果

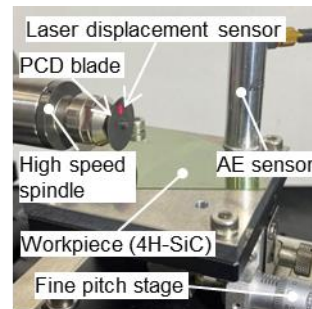


図5. 実験装置構成

表2. 加工条件

Blade	PCD DA200
Blade diameter	17 mm
Blade thickness	20 $\mu$ m
Blade rotation	50000 rpm
Feed speed	0.1 mm/s
Wafer	4 H-SiC
Cutting depth	16 $\mu$ m

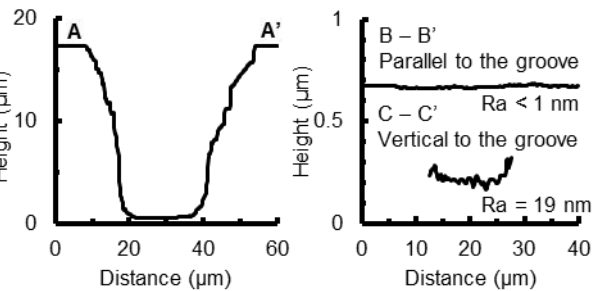
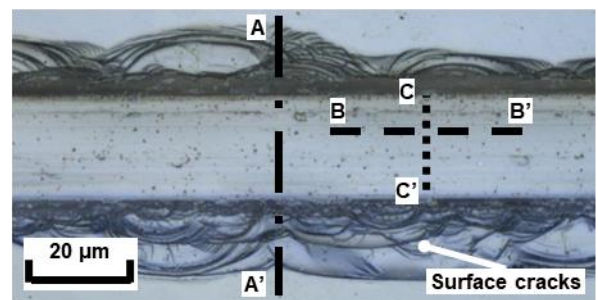


図6. レーザ照射位置及び加工前後のPCDブレード表面粗さ評価

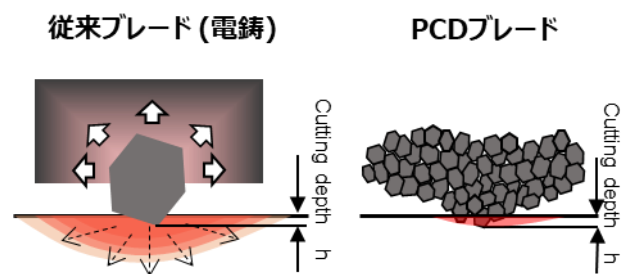


図7. 先端の鋭利性による微小切り込みによる加工形態