

研究報告アーカイブ

本装置を用いて提案する融合加工法の検証実験を行った。試料として、4H-SiC (0001)基板を10 mm角に切り出したものを用い、表面には平坦化性能評価のため、プラズマエッチングによって図4のようなMESA構造を形成したものをを用いた。

CMP処理部において、被加工物表面凹部へのダメージ導入を極力避けたいため、今回は遊離砥粒では無く#8000ダイヤモンド砥粒含有の研磨紙を研磨盤に貼り付けて用いることにした。機械加工条件を検討するため、研磨時間、研磨圧、研磨盤回転数をパラメータとして研磨サンプルを形成し、機械研磨処理後の表面からFIB (Focused Ion Beam)によって断面TEM用サンプルを切り出して表面の断面観察を行った。その結果、加工変質層の厚さは研磨圧の増大とともに増す(図5)が、研磨時間や研磨盤回転数には依存しないことが分かった。一方で、研磨量は、研磨時間、研磨圧、研磨盤回転数にほぼ比例して増大しており、いわゆるプレストンの式に則った結果となっている。本加工における機械加工条件として、プロセス時間短縮のため研磨時間は5秒に、回転数は試料エッジのチッピング等を避けるため低速(5 rpm)に設定した。研磨圧は大きいほど加工変質層の深さが増大するが、その深さのばらつきも大きくなり、後に続くP-CVM処理を経た後に大きな凹凸が残留する可能性がある。また、図5(c)中の矢印で示すように、研磨圧を90 kPaとした実験では、最表面の加工変質層から少し内部に侵入した領域に潜傷のような欠陥が形成されていた。このような欠陥は後に続くP-CVM処理で除去しきれない可能性もあり、加工後表面の結晶性の観点からも過大な研磨圧は望ましくない。そこで、本実験では、図5(b)に相当する30 kPaを用いることとした。次にP-CVM処理部における条件を検討した(図6参照)。反応ガスとして、一般にP-CVMにおいてよく用い

られるSF6をHeで希釈して使用することとし、大気解放下で安定にプラズマを発生させるためその濃度は0.6%とした。大気解放下で発生させたプラズマ中には空気の混入があるため、発光分光測定を行うと窒素の発光ピークが観察される(図6(a))。窒素の発光ピークがヘリウムのピークに対して大きい時には、プラズマ中に多くの空気成分が混入しており、加工面の面粗度が悪化することが予備実験結果から分かっている。プラズマ中の窒素発光ピーク強度比のガス流量依存性を調べたところ(図6(b))、1500 mL/min未満では同強度比が増加することが分かったため、ガス流量としては1500 mL/minを用いることにした。その条件で安定にプラズマを発生できるように、投入電力は50 Wと設定し、処理時間はCMP処理部にて形成された加工変質層をほぼ全て除去できるよう15秒と設定した。

上記条件によってCMP処理部における機械研磨とP-CVM処理部におけるプラズマエッチングを交互に繰り返すCMP/P-CVM融合加工実験を行った。繰り返し回数は合計320回とし、40回終了後、100回終了後、200回終了後には、試料を一旦取り出して表面形状の計測を行った。計測結果を図7に、図8に図7におけるある断面形状の推移をそれぞれ示す。図7より、当初6 μm程度あった凹凸の高さは0.5 μm程度にまで減少しており、凸部からの優先的な加

成功したと言える。この時の段差解消速度を比較した結果を図9に示す。純粋なP-CVMにおいては、前述の通り表面凸部も凹部も同じように加工が進行するため、段差解消速度はほぼゼロとみなすことができ、純粋な機械研磨においては約13 nm/minであった。機械研磨とプラズマエッチングを融合することで、段差解消速度は約7倍に向上することが確認でき、本加工法の優位性を示すことが出来たとと言える。

加工後表面の顕微干涉計による計測結果の一例を図10に示す。本加工法では、機械加工におけるダメージ導入部が選択的にエッチングされるため、同図のように砥粒の軌跡に対応するようなスクラッチ状の形状が観察されるが、加工後表面を断面TEMで観察した結果、表面に加工変質層は観察されない。従って、同図のスクラッチ状の形状はあくまで表面に形成された微細な凹凸であり、結晶学的ダメージを伴ういわゆるスクラッチとは異なる。より平滑な表面が必要な場合は、本加工法による平坦化の後に、ごく浅くCMP等の研磨を行えば良いと考えられる。

最後にダイヤモンド基板の平坦化を試みた。試料には株式会社イーディービー製の3mm角の単結晶ダイヤモンド基板を用い、機械加工条件として圧力20 kPa、時間1分、プラズマ発生条件として、反応ガスをHe : SF6 = 99 : 1、時間19分として、3回の繰り返し加工を行った。加工前後の試料表面断面形状の変化を図11に示す。本基板は加工前にP-CVMの予備実験に用いていたため、深さ約50 nmの凹形状を有していたが、融合加工によってその段差を約10 nm減少させることができ、本加工法がダイヤモンドに対しても適用可能であることを実証した。段差解消速度が小さいのはダイヤモンド基板に対してP-CVMにおける加工速度が十分得られていないからと考えられ、今後、電極形状を工夫する等して、より大電力をプラズマに投入することで改善することが期待される。

【本研究のまとめ】

- 1) SiC、GaN、ダイヤモンド基板のP-CVM加工において、加工変質層における加工速度は通常の加工速度よりも増大することを明らかにした。
- 2) 被加工物凸部に選択的にダメージを導入して加工変質層を形成する機械加工と、加工変質層を選択的に除去するP-CVMを繰り返すことで高効率な平坦化を実現する新しい加工法を提案した。
- 3) 提案した加工法を具現化する加工装置(革新的CMP/P-CVM融合加工装置(基本型;Aタイプ))を設計製作した。
- 4) 機械加工部にて形成される加工変質層の厚さは、研磨圧の増加とともに増加するが、研磨時間および定盤回転数には依存しないことを明らかにした。
- 5) 予め凹凸を形成したSiC基板に本加工法を適用し、平坦化性能を実証した。
- 6) 本加工法におけるSiC基板の段差解消速度は、同条件における機械研磨と比較して約7倍高速であることが分かった。
- 7) 本加工法がダイヤモンドに対しても適用可能であることが実証でき、今後の加工特性の向上が期待される。

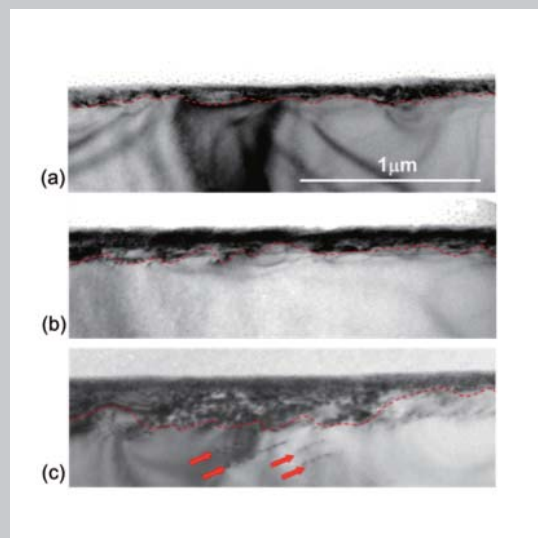


図5 機械研磨後の試料表面断面 (研磨圧:(a)10 kPa, (b)30 kPa, (c)90 kPa)

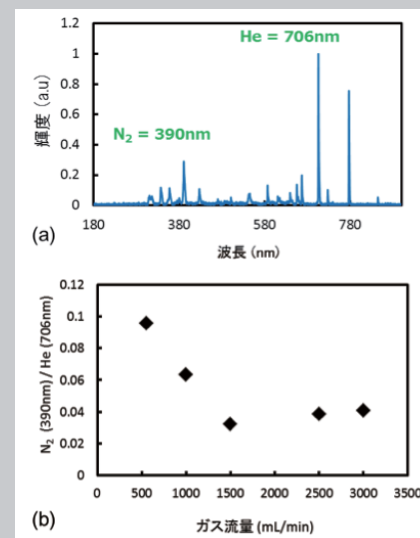


図6 プラズマの発光分光測定結果例(a)とN2に由来するピーク強度比のガス流量依存性(b)

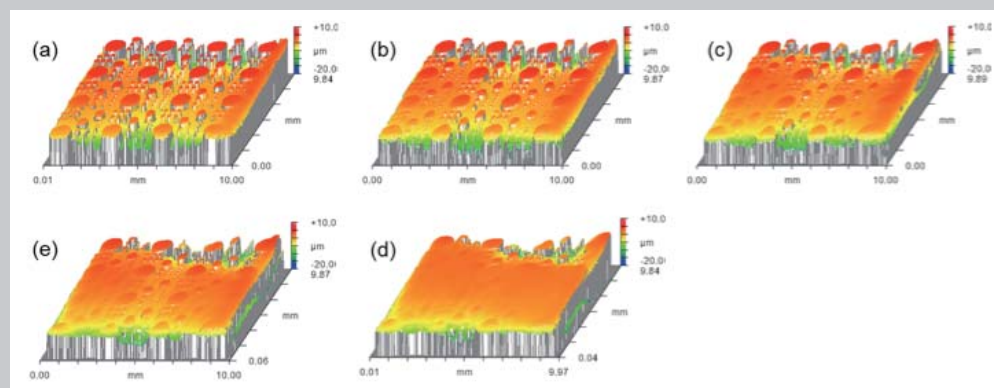


図7 加工前(a)、40回繰り返し加工後(b)、100回繰り返し加工後(c)、200回繰り返し加工後(d)、320回繰り返し加工後(e)の表面形状

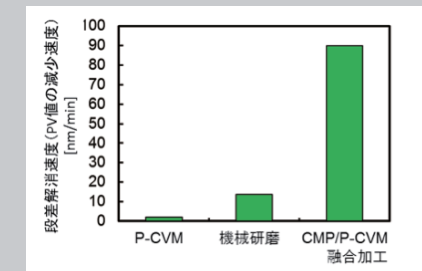


図9 段差解消速度の比較

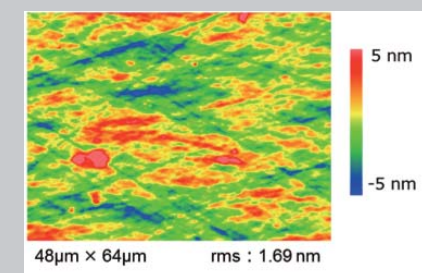


図10 加工後表面の表面粗さ

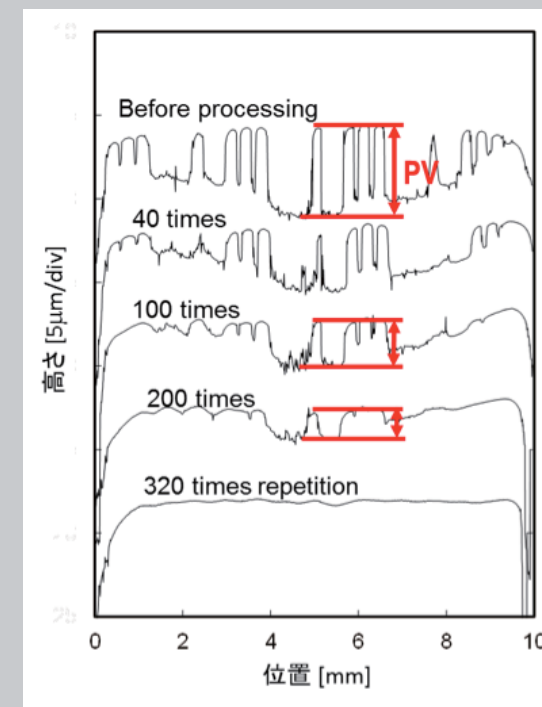


図8 加工による試料断面形状の推移

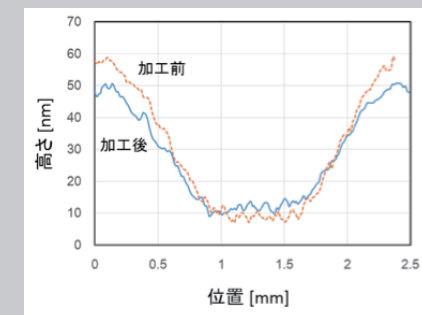


図11 ダイヤモンド基板の加工前後の断面形状