

SiC 単結晶の研磨加工技術に関する基礎研究 Study on the Advanced Polishing Technology for Silicon Carbide Single Crystal

中原 良彦¹⁾、土肥 俊郎²⁾、瀬山 貴司²⁾、尾形謙次郎²⁾

1) 秩父エレクトロン株式会社

Chichibu-Electron Corporation

2) 埼玉大学 教育学部 機械技術研究室

Mechanical Engineering Lab., Faculty of Education, Saitama University

Abstract

We developed the advanced chemo-mechanical polishing (CMP) technologies for Silicon Carbide (SiC) single crystal. In O₂ atmosphere, we got the enough polishing rate on Si surface of 4H-SiC crystal. And we also got the enough polishing rate on same surface by adding H₂O₂.

SiC 半導体は有利な物性を持ち、次世代のデバイスとして注目されている。しかし SiC は難加工物質であり、従来の CMP 加工条件のままでは加工が困難である。そこで本研究では試作した Bell-Jar 型 CMP 装置を用い、加工雰囲気調整し、従来とは異なるアプローチで高品位かつ効率的な SiC の CMP 加工を検討した。また、上記結果を大気中での CMP に応用できるかどうかを検討した。

1. 緒言

シリコンカーバイド (Silicon Carbide : SiC) はシリコン (Si) と比較して、絶縁破壊電界が 10 倍、熱伝導率が 3 倍、電子の飽和速度が 2 倍という物性を有し、高温な環境でも使用可能なパワーデバイスや、放射線など過酷な状況下での半導体用基板として近年注目されてきている。しかし、SiC はダイヤモンドに次ぐ硬度をもち、耐薬品性にも優れ、難加工材料としても有名である。そこで、SiC に対して従来とは異なる効果的な加工条件の検討が切望されている。

本研究では、試作した CMP における加工部周辺の気体の種類・圧力などの加工雰囲気を調整できる新しい加工装置 (Bell-Jar 型 CMP 装置) を用いることとする。本装置を用いて、通常の大気とは異なる条件下での CMP を試み、加工部周辺の気体と CMP との関係の中から効果的な加工条件を見出していくことをねらう。

本報告では、SiC を加工する際の砥粒として Cr₂O₃¹⁾²⁾ を用い、加工雰囲気を調整することにより高品位で能率のよい加工条件を見出すと共に、Cr₂O₃ による SiC の加工メカニズムを追究する。

2. Bell-Jar 型 CMP 装置の概要および実験条件

表 1 に本装置の基本仕様を示す。Bell-Jar 型 CMP 装置は、加工部周辺の加工雰囲気をコントロールすることができ、加工部全体を Bell-Jar (チャンバー) で密閉し、Bell-Jar 内部を排気することによる減圧、もしくは各種ガスを封入することによる与圧のそれぞれの環境下で CMP を行うことができる点に特徴がある。

表 1 Bell-Jar 型 CMP 装置の基本仕様

装置サイズ	W600×D600×H750 (mm)
装置内の可能内圧 (ゲージ圧)	-0.1~+1.0 (MPa)
定盤径	φ200 (mm)
定盤の回転数	5~90 (rpm)
試料の加圧方式	デッドウエイト方式
試料保持方法	リング方式
スラリー供給方法	空気圧による供給・循環式

表 2 に実験条件を示す。SiC ウェハは 2inch の Sixon 社製のウェハを用い、スラリーは純水に Cr₂O₃ 粒子を 10wt% 加えたものを用いて液中加工方式を採用した。Bell-Jar 内封入ガスが空気とは、大気下で行われる通常の CMP (ゲージ圧 0 kPa) を示し、他のガスはゲージ圧 700kPa で加工部周辺を与圧した。

表 2 実験条件

試料	4H-SiC ウェハ
パッド	IC1000 K-groove
スラリー	Cr ₂ O ₃
Bell-Jar 内封入ガス	空気、酸素、窒素、アルゴン
Bell-Jar 内圧力 (ゲージ圧)	0,700 (kPa)
加工圧力	2.5 (psi)
定盤回転数	90 (rpm)
表面粗さ測定	AFM (Nanopics1000 Seiko Instruments Inc.)

3. 実験結果及び考察

〒368-0101 埼玉県秩父市小鹿野町大字下小鹿野 1111

TEL ; 0494-22-5955 FAX ; 0494-22-7330

Email ; nakahara@cec-kk.co.jp

錫のラップ盤で $0.5\mu\text{m}$ のダイヤモンドスラリーを用いて表面粗さを $Ra1.0\text{nm}$ とした。この前加工面にした SiC 基板を Bell-Jar 型 CMP 装置により以下検討する。空気(ゲージ圧: 0kPa)と加工部周辺を酸素、窒素、そしてアルゴンで与圧(700kPa)した条件で、 Cr_2O_3 スラリーによる CMP を行ったときの加工時間と表面粗さの関係を図 2 に示す。また、図 3 に酸素などの活性ガスと窒素やアルゴンなどの不活性ガスにより加工部分周辺で与圧下においたときの表面状態の AFM 画像を示す。

酸素と与圧下や大気下での加工では、加工時間と共に表面粗さが小さくなっていくのに対し、酸素を含まない窒素ガスやアルゴンガスにした。与圧下での加工では表面粗さが加工前よりも悪化した。これは Cr_2O_3 の媒介により、 Cr_2O_3 の酸素が C 原子と結合して CO または CO_2 として C 原子を SiC より抜き取り、さらに表面の Si が酸化を促進することで SiC の構造が崩れて加工が進行するというメカニズム²⁾によるものであると考えられている。酸素と与圧下で加工を行っている本実験結果は、その裏付けとなる。つまり、酸素と与圧下では Cr_2O_3 媒介による C 原子の抜き取り及び Si の酸化効率が大気下での通常の CMP よりも上昇し、加工が促進されて表面粗さ Ra が小さくなる。逆に酸素を含まない窒素やアルゴンで与圧したときには、 Cr_2O_3 固有の酸化能力により前加工面のスクラッチで露出した Si 面以外の部分を積極的に加工することとなる。従って、Si 面の加工は著しく遅れる。結果、スクラッチが深く残り、表面粗さが悪くなったものと考えられる。(図 3)

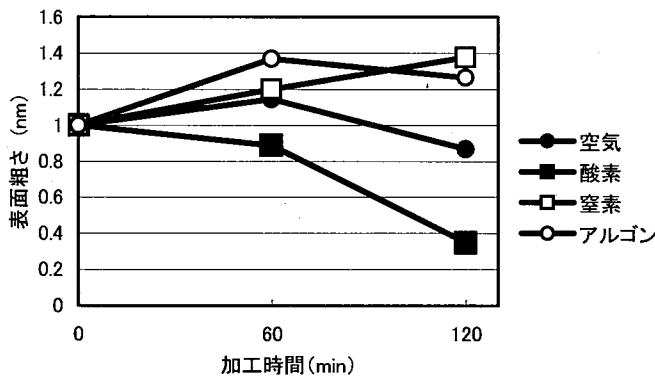


図 2 各種与圧雰囲気と大気圧による加工表面粗さ

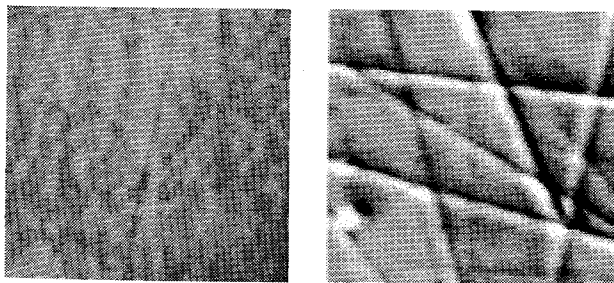


図 3 酸素と与圧による加工表面 (左) と不活性ガスの与圧による加工表面 (右)

以上の加工メカニズムのモデルにおいて、酸素を含むガスにより与圧することで、SiC 基板の Si 面の加工が促進されるならば、加工レートが高くなるはずである。

図 4 に各種ガスを与圧した時の加工レートの差異を示す。予想通り、酸素により与圧した時の加工レートが

最も高くなっている。不活性ガスである窒素とアルゴンは低い加工レートを示し、大気はその中間の加工レートを示している。これは、図 2 に示した 120min 加工後の表面粗さと相関関係にある。すなわち、酸素による加工部周辺の与圧はウェハの表面性状を整えつつ、加工レートも通常の大気下での CMP よりも高く得ることができるといえる。

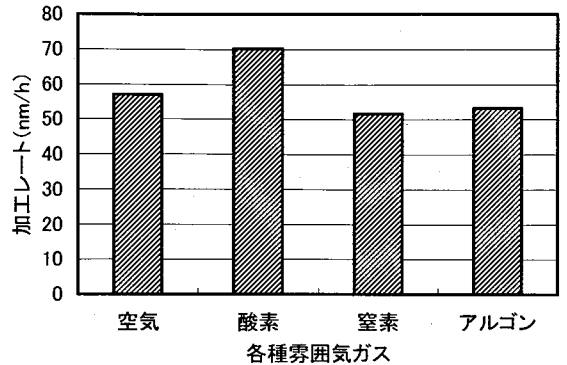


図 4 各種ガスと与圧による加工量の差異

酸素と与圧による加工で好結果が得られたため、大気中での CMP 加工においても同等な効果を得られないかどうか検討した。

図 5 に、 Cr_2O_3 に過酸化水素水 ($10\% \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$) を添加して加工した表面の Nomarski 顕微鏡写真を示す。左上に示したダイヤモンドラップ面と比較して、60 分 CMP 加工を行った面はスクラッチがより深くなっている。これは、ラップ面には物理的研磨による破砕層が存在し、その部分が CMP ではより速く研磨されるためである。続いて 120 分加工面では、スクラッチが残留しているが、240 分の加工面ではスクラッチは消滅している。即ち、過酸化水素の存在により、酸素と与圧と同様に Si 面の加工が促進され、表面荒さが改善されていくものと考えられる。

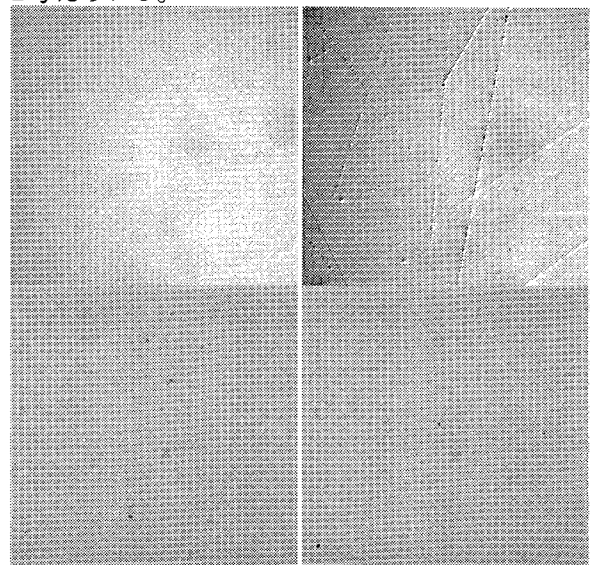


図 5 Cr_2O_3 に $10\% \text{H}_2\text{O}_2$ を添加した系での加工面
 左上: $0.5\mu\text{m}$ ダイヤモンドラップ後、右上: CMP 60分後
 左下: CMP 120分後、右下: CMP 240分後

4. 結言

Bell-Jar 型 CMP 装置を用いて、加工部周辺の雰囲気ガスの種類と圧力を調整し、SiC に対する Cr_2O_3 スラリーの酸化作用と表面粗さおよび加工速度について検討した。その結果、SiC 結晶のエッチングに対する異方性より、CMP 前のウェハの大きなクラックや深いスクラッチは表面性状に大きく影響することが分かった。また、 Cr_2O_3 を用いて CMP を行う場合、加工部周辺への酸素与圧は表面粗さならびに、加工速度を向上させることを明らかにした。これから、 Cr_2O_3 で SiC ウェハを加工する場合、酸素の働きによる Si 面への酸化作用が非常に重要であり、 Cr_2O_3 スラリーによるスクラッチなどへの化学的作用と合わせて良好な表面粗さの加工が進むメカニズムのモデルを提案した。

参考文献

1)

M. KiKuchi, Y. takahashi, and T. suga: J. Am. Ceram. Soc., Vol. 75, No1 (1999) 190

2) 月刊トライボロジー、No198(2004, 2)50