

## 加工環境を制御したCMP装置によるSiCウエハの高効率加工に関する研究

尹, 涛

<https://doi.org/10.15017/1398355>

---

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：全文ファイル公表済

氏名・(本籍・国籍)	尹 涛 (中国)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博甲第2268号
学位授与の日付	平成25年9月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学府 機械工学専攻
学位論文題目	加工環境を制御したCMP装置によるSiCウエハの高エネルギー加工に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 黒河周平 (副査) 教授 澤田廉士 名誉教授 土肥俊郎

## 論文内容の要旨

第三代半導体材料 SiC はシリコン半導体材料と比べ、バンドギャップが約 3 倍、絶縁破壊電界が 7 倍、熱伝導率が 3 倍と大きいため、SiC を基板とする半導体デバイスでは、低電力損失・高速スイッチ動作・高温動作などを実現することができる。その性能を利用して、特に低電力損失性能が必要とされる自動車(電気自動車、燃料電池自動車、およびガソリンハイブリッド自動車)、LED 照明、IT/CPU 電源、汎用インバータを始め、電力機器、鉄道など省エネルギー分野への導入により、広範な効果が生ずることが期待されている。

ところが、SiC は半導体基板材料としてはダイヤモンドに次ぐ硬度を持ち、熱的・化学的に極めて安定であることから、加工を施すには非常に困難を伴う材料である。特に表面平坦性と表面粗さに非常に厳しい要求がある SiC ウエハの CMP(CheMical Mechanical Polishing)工程では、加工レートが非常に低く、その結果製造コストが高くなるなどの問題が多数存在している。

現在の CMP 技術は、従来のポリシングと同様に加工(研磨)部周りの環境を気にせず剥き出しになった状態で加工を行っている。ところが、CMP の加工特性は加工部周囲の温度や雰囲気(湿度)に敏感であり、小さな変化でも大きな影響を与えることから、不安定になりがちであった。

そこで、本研究では、加工中の加工部周囲の環境や雰囲気の影響に注目し、新たに開発された密閉式両面同時 CMP 装置を用いて、加工雰囲気(気体種、気圧、添加剤など)が加工レートにおよぼす影響を調査した。そして、SiC ウエハの高エネルギーかつ高品質な加工条件を確立するため、コロイダルシリカスラリー中に強酸化剤を添加し、SiC ウエハの C 面および Si 面それぞれについて加工特性を調査した。また、スラリー中の砥粒種の違いによる SiC の加工特性を実験的に把握するとともに、レアアースの代替材料として酸化マンガン系スラリーの適用を試みた。最後に SiC ウエハの CMP 加工メカニズムを加工レートの観点から検討し、次世代半導体 SiC 材料の高エネルギー CMP 加工プロセスの構築を目指すものである。

本論文では、これらの研究成果をまとめたもので、全 6 章で構成される。

第 1 章では、現在にいたるまでの半導体技術の発展、パワーデバイス材料である SiC の歴史、その性能・特性、応用例およびその製造法と加工法を調査・紹介した。また研磨技術の発展経緯と現在の問題点を述べ、SiC ウエハ研磨における問題点を抽出し、本研究の目的と概要について述べた。

第 2 章では、加工雰囲気の違いによる効果を評価するため、ベルジャー密閉型雰囲気環境コントロール式両面同時 CMP 装置を用いて、現在よく使われている半導体材料であるシリコンウエハについて基礎実験を行った。加工部周囲の雰囲気は Si-CMP の加工レートに影響を及ぼし、加工圧力、相対速度などの機械的作用が高いとその影響は大きくなる。特に機械的作用が高い条件下において、高圧酸素雰囲気中での加工レートは常圧大気中の加工レートの約 1.3 倍になった。高圧酸素雰囲気中での Si-CMP では、スラリー

一中の溶存酸素によるウエハ表面の酸化により表面に酸化物を生成し、それを機械的作用により除去することで高い加工レートを実現できることを明らかにした。

第3章では、SiC ウエハの CMP 加工実験を行った。SiC ウエハは表面 (Si 面) と裏面 (C 面) で異なる性質を持つため、気体種類や気圧に着目した加工環境の影響を調べる際、片面ごとに別々に調査を行う必要がある。加工実験の結果、スラリーに酸化剤を添加することで一層の加工レート向上効果が得られることを明らかにした。酸化剤に  $\text{KMnO}_4$  を用いた場合、スラリー中への酸化剤の添加量が多いほど SiC-CMP の加工レートが増大することが分かった。また、いずれの場合も Si 面より C 面の加工レートの方が高いことが明らかとなった。特に酸性スラリーを使用した場合、C 面と Si 面の加工レートの差がもっとも大きくなり、その差は比率にして約 170 倍にまで達した。さらに加工雰囲気を変更すると、SiC 加工に一定の促進効果が現れる場合と、逆に加工の抑制作用が現れる場合があることが分かった。特に高圧  $\text{O}_2$  ガス雰囲気の場合、基板表面 (Si 面) に生成した  $\text{SiO}_2$  が保護膜の役割をすることで表面下の酸化が抑制され、薄い酸化膜層の生成にとどまっていることが、浸漬実験を行ったウエハの XPS 観察結果から明らかとなった。

第4章では、SiC の CMP 加工の高能率化を実現するため、両面同時 CMP 装置を用いた加工実験を行った。両面同時加工を行うことで、予想通り加工能率は向上した。特に、強酸化剤・加工雰囲気・両面同時加工の複合作用により、加工時間の短縮が見込まれ、SiC ウエハの高能率加工を実現する可能性を見出した。

第5章では、第3章で検討した強酸化剤添加コロイダルシリカスラリーの酸化膜生成効果が顕著であったため、さらに砥粒の化学的作用に着目し、 $\text{CeO}_2$  砥粒による CMP 研磨実験を行った。 $\text{CeO}_2$  スラリーを用いるとコロイダルシリカスラリーと比較して高い加工レートが得られた。特に、Si 面の CMP においては、コロイダルシリカスラリーを用いたときより約 5 倍の加工レートが得られた。しかし  $\text{CeO}_2$  砥粒はレアアースであるセリウムを含んでおり、入手しにくく価格が高いなどの問題点があるため、レアアースの替代材料として、ここでは  $\text{MnO}_2$  スラリーに着目し、さらにその加工特性を検討した。その結果、 $\text{MnO}_2$  スラリーによる加工レートは、 $\text{CeO}_2$  スラリーを用いた場合よりも低いものにとどまったが、研磨後の加工面表面粗さは 1nmRa 未満となり、加工品質は極めて良好であることが分かった。さらに、酸化剤を添加することで加工レートは 3 倍以上高いものが得られ、砥粒のコストを考慮すれば  $\text{CeO}_2$  の代替材料として十分適用可能であることが示された。また、実験結果をふまえ、 $\text{MnO}_2$  スラリーの加工メカニズムについて考察を行った。ウエハ表面が酸化され、その酸化膜表面の水和反応が起こるとともに、砥粒も水和反応を経ることで、高能率加工が行われる点が重要であり、単に硬度の高い砥粒を用いることが有効ではなく、砥粒自身の化学反応性が加工を促進することを明らかにした。また、填充気体において  $\text{O}_2$  ガスと  $\text{N}_2$  ガスの比率が 1:8 の場合、加工レートが極大値をとり、常圧大気雰囲気より約 20%加工レートが増加することを実験的に明らかにした。

第6章では、本研究において得られた事象を項目別にまとめ、本論文の結論と今後の課題について述べた。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、加工中の加工部周囲の環境や雰囲気の影響に注目し、高圧酸素雰囲気中での高加工レートの実現とそのメカニズムの解明を行うとともに、さらなる加工レート向上を目指し強酸化剤を添加剤として用いた場合の SiC ウエハ表面および裏面の研磨特性の違いの把握を行い、化学的作用のみに着目したウエハ浸漬実験を通してその加工メカニズムを解明し、さらに砥粒

の化学的作用に着目し酸化マンガン系砥粒の研磨性能把握とその研磨メカニズムを明らかにするとともにレアアースの代替材料としての適用可能性の提案を行った研究であって、機械工学上寄与するところが極めて大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。