

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 次世代パワーデバイス材料およびダイヤモンド関連材料の紫外光支援加工による超精密加工技術に関する研究
(Ultra-precision machining method by UV-rays assisted machining of next-generation power device material and diamond related materials)

熊本大学大学院自然科学研究科産業創造工学専攻先端機械システム講座
(主任指導 峠 睦 教授)

論文提出者 山口 桂司
(by Keishi Yamaguchi)

主論文要旨

《本文》

SiC およびダイヤモンドは Si に比べてバンドギャップが大きく、機械的に非常に高硬度であり、なおかつ耐薬品性・放射線性に優れることから、高温・高圧環境下、および宇宙領域における次世代半導体基板材料などへの応用が期待されている。このような半導体基板の実用化のためには、各種研磨技術による鏡面仕上げなどの超精密加工技術は欠かせないものである。また、CVD ダイヤモンド膜や PCD はダイヤモンドが安価に得られることや任意の形状を得ることが可能であるため、非鉄金属材料や非金属材料の切削工具や金型材料として利用されている。特に金型として使用する際は、被加工物に金型表面粗さが転写されるため鏡面仕上げ加工技術を確立しなければならない。しかし、SiC およびダイヤモンドは、非常に硬い上に化学的に安定であるため、加工が極めて困難な材料である。通常の SiC 基板の超精密加工技術は、ウェハを切り出した後、複数回の研削加工やダイヤモンド砥粒を用いたラッピングにより平面度出しが行われ、その後、コロイダルシリカ等を用いた化学的作用と機械的作用の複合加工であるケミカルメカニカルポリッシング (CMP) が複数回行われて最終的に仕上げられており、基板製造にかなりの時間やコストを要している。また、ダイヤモンド材料に関しては、機械的加工法であるスカイフ法による研磨が主となっており、加工面には研磨痕や加工変質層が残留しており、加工表面上にダメージのない新しい加工プロセスの開発が求められている。そこで、本研究では、紫外光照射による光化学反応を応用した新しい超精密加工技術 (紫外光支援加工) を開発した。

本論文の構成は、全 6 章からなり、第 1 章は序論として研究の背景および目的、そして第 2 章では、本研究で開発した単結晶 SiC 基板の前加工技術について述べる。第 3 章で述べる紫外光支援研磨は SiC の鏡面加工に有効であるが、加工能率が低いいため長時間の加工

を要する。そこで、その前加工として GC 砥粒によるラッピングおよびダイヤモンドホイールによる定圧研削による加工法を検討し、最終的にメタルボンド#200 ダイヤモンドホイールによる定圧研削を適用することで、延性モード研削が可能であり、高精度研削面を高能率に得ることに成功した。表面粗さは、原子力顕微鏡 (AFM) による $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ の測定領域において 1nmRa 以下の超平滑研削面が得られた。この内容は国際会議 ISAAT2009 で口頭発表を行い、Advanced Materials Research (Vols.76-78) に論文として掲載している。また、定圧研削については、第 3 章の内容とあわせて精密工学会誌第 77 巻第 1 号に掲載した。

第 3 章では、紫外光支援研磨による単結晶 SiC 基板の超平滑鏡面加工について述べる。紫外光による酸化作用を促進させることを目的として光触媒の代表例である酸化チタン (TiO_2) および酸化ジルコニウム (ZrO_2)、半導体材料の研磨剤として広く利用されているシリカ (SiO_2)、ガラスの研磨剤として利用されている酸化セリウム (CeO_2) の 4 種類の粒子を導入し、削除率および研磨面性状の比較を行ったところ、酸化セリウムがもっとも能率が高く、研磨面性状も非常に平滑な超平滑面となった。これは SiC の酸化物がガラスと同じ成分 (SiO_2) であるため、光化学反応によって生じた酸化膜を、ガラスの研磨剤である酸化セリウムが効率的に除去したためと考えられる。これらの内容については、砥粒加工学会誌第 52 巻第 8 号に掲載したほかに、1 編が砥粒加工学会誌に掲載決定した。

第 4 章では、単結晶ダイヤモンドについて述べる。物質中最高の硬度を有する単結晶ダイヤモンドの面方位に依存することなく、表面粗さ 0.5nmRa 以下の超精密研磨面が得られることを明らかにした。また、XPS による表面成分分析を行うことでダイヤモンドが石英定盤への凝着もしくは炭素原子の拡散を伴って加工されることを明らかにした。

第 5 章では、CVD ダイヤモンドおよび PCD (焼結ダイヤモンド) の紫外光支援研磨加工について述べる。CVD ダイヤモンドについては、削除率および研磨面性状の両観点から、加工における機械的要因を可能な限り小さくすることで、材料除去の紫外光による化学的要因の占める割合が大きくなり、研磨面性状が向上するという仮説を実証した。最終的には、結晶方位の差による段差もなく、表面粗さ 0.5nmRa 以下の非常に平滑な鏡面を得ることに成功した。PCD については、ダイヤモンド粒径 $0.5\mu\text{m}$, $2\mu\text{m}$, $25\mu\text{m}$ の 3 種類の PCD に対して実験を行った。その結果、コバルト部分が優先的に除去され、ダイヤモンド粒子間にくぼみが生じてしまったものの、ダイヤモンド粒径にかかわらず、 10nmRa 以下の高精度な研磨面が得られた。この結果は、Key Engineering Materials (Vols.407-408) に論文として掲載している。

最後に第 6 章には、本論文の研究結果を総括してまとめた。