

紫外線を利用した鏡面加工の試み

山口 桂 司*
ykaemgch@kit.ac.jp

1. はじめに

研磨加工は、現在の科学技術を根底から支える極めて重要な技術の1つである。私が研磨加工の世界に足を踏み入れたのは、大学4年生のときである。当時を振り返ると、研磨加工に興味があったわけではなく、漠然と半導体材料の加工技術に興味を持っていた。各研究室の研究内容を調べると、次世代半導体基板材料として注目される単結晶 SiC（炭化ケイ素）を加工対象としている研究室があることを知り、その研究室に配属希望を出した。そこで紫外線を利用した鏡面加工の研究に携わったのが始まりである。それから現在に至るまで、単結晶 SiC の研磨加工を中心として、各種硬脆材料の紫外線を利用した鏡面加工に関する研究を続けている。

本稿では、紫外線を利用した鏡面加工において、学生時代から現在までに得られたいくつかの知見を紹介する。

2. 紫外線と光化学反応

一般的に、波長 100 ~ 400nm の光（電磁波）を総称して紫外線と呼ばれており、波長が短いためエネルギーの高い光である。人体に悪影響を及ぼすことでも知られているが、工業的にも露光技術や印刷、接着、コーティング、塗装、洗浄、改質など幅広い分野で応用されている。本稿で紹介する紫外線を利用した加工は、改質の効果を応用した技術といえる。

半導体表面に紫外線を照射すると、表面に存在する原子中の電子が、価電子帯から伝導帯に励起する場合がある。半導体や絶縁体では価電子帯と伝導帯との間に禁制帯（バンドギャップ）と呼ばれる電子が存在できないエネルギー帯が存在する。このバンドギャップを超えるエ

ネルギーを与えると電子が励起されることになる。4H-SiC を例にとって光化学反応の説明をすると、(1) 式で示される光のエネルギー式に 4H-SiC のバンドギャップ ($E_B=3.26$ eV)、真空中の光速 ($c=3.00 \times 10^8$ m/s)、プランク定数 ($h=6.63 \times 10^{-34}$ J·s) を代入する (1 eV= 1.60×10^{-19} J) と、波長 λ は約 381 nm と算出できる。

$$E_B = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

したがって、波長が 380 nm 以下の光を照射することで 4H-SiC 表面の電子を励起することができる。電子が励起されるとホール（正孔）が発生し、電子とホールの一部が大気中の酸素分子や水分子などと化学的な反応を起こして非常に酸化力の高い原子状酸素やヒドロキシルラジカルが生成される。これらの非常に反応性の高い活性種が SiC 表面に化学的に作用し、比較的軟質な酸化膜が形成される。このように、光化学反応によって SiC 表面を軟質に改質し、形成された軟質な層を除去することで鏡面加工を実現するというのが、ここで紹介する加工法の原理である。

3. 紫外線照射による SiC の酸化反応

4H-SiC の紫外線照射による光化学反応を確認した結果が図 1 である [1]。紫外線を 1 時間

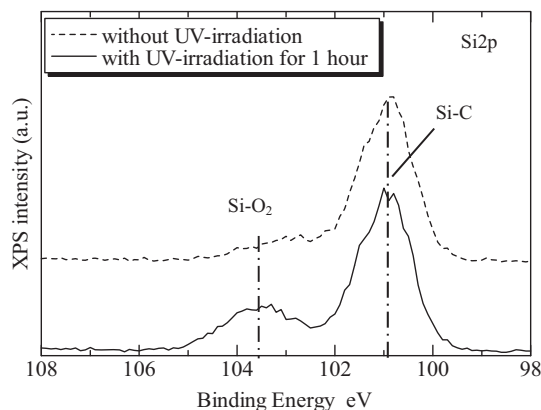


図1 紫外線照射前後のSiC表面のXPSスペクトル[1]

* 機械工学系 助教

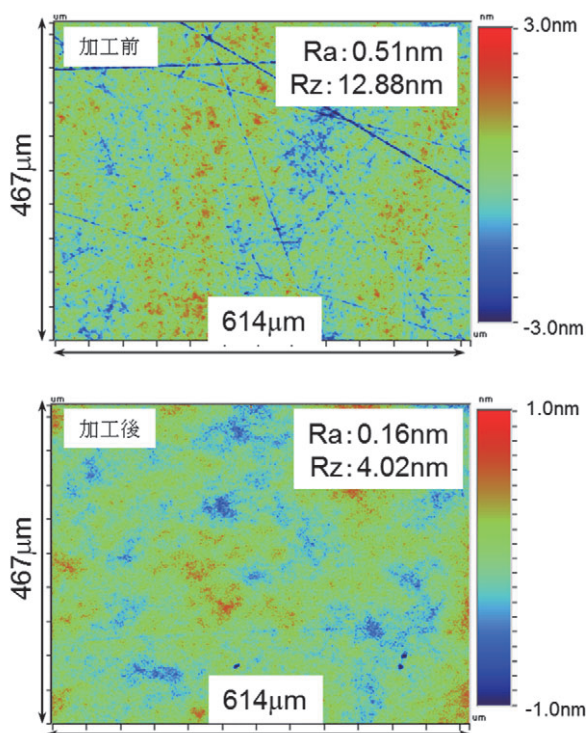


図2 UVアシスト研磨前後のSiC表面 [2]

照射したSiC表面をXPSによって化学分析した結果である。実線で示した紫外線照射後のSiCには、酸化物の存在を示す103.5 eV付近のピークがはっきりと現れている。この結果をうけて、SiCの鏡面研磨に対して紫外線が有効であることを確信した。SiC母材よりも軟質な酸化膜を、SiCよりも軟質かつ酸化膜よりは硬い材料で除去すれば、改質層のみを除去することが可能となるため、理想的な加工法になることを確信したのである。

4. 紫外線を利用したSiCの鏡面研磨

結論から述べれば、紫外線を利用することで極めて平滑な鏡面を比較的高能率に得られることを明らかにした。とくに、SiCの酸化膜と同成分であるガラスの研磨剤として用いられるセリア(CeO₂)を使用することで、極めて高品位な加工面を得ることができた。図2に示したのは、紫外線を照射しながら研磨(UVアシスト研磨)した際の研磨前後のSiC表面を光干渉式の非接触形状測定装置で測定した結果である [2]。研磨前後でカラーレンジが異なる点に注意してほしい。研磨前には表面粗さこそ1 nmRaを下回っているが、線状の細かい

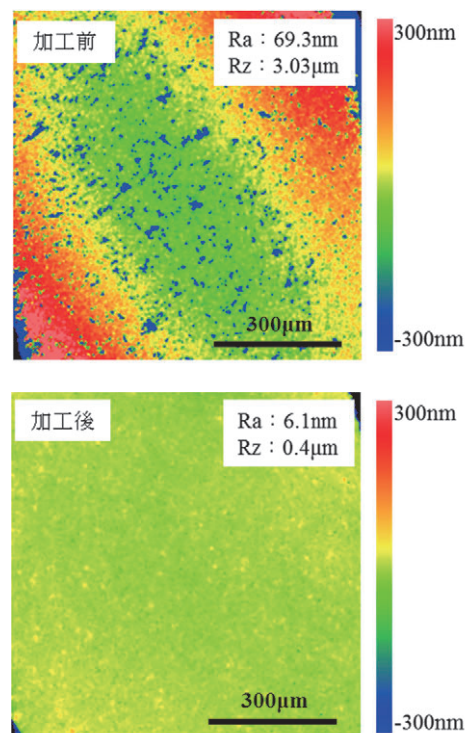


図3 UVアシスト固定砥粒研磨前後のPCD表面 [3]

引っかき傷(スクラッチ痕)が多数残留している。これは、実験前の状態を常に等しくする目的で行った、ダイヤモンドスラリーを用いたポリシングの際にダイヤモンド砥粒によって除去された除去痕である。SiCよりも硬度の高いダイヤモンドを砥粒として用いるため、SiCは機械的に除去されることとなり、スクラッチ痕は非常に多く残留する結果となる。一方、UVアシスト研磨後のSiC表面には、目立ったスクラッチ痕は存在しない。表面粗さも0.2 nmRaを下回る極めて平滑な面を得ることができた。この時の除去能率(単位時間当たりの除去量)も紫外線照射によって約40%向上した。

5. ダイヤモンドのUVアシスト固定砥粒研磨

最後に、現在進めているダイヤモンドの研磨事例を紹介する。ダイヤモンドと言えば聞こえは良いが、ここで紹介するのは工業用ダイヤモンド、とくにPCD(PolyCrystalline Diamond: 焼結多結晶ダイヤモンド)の研磨事例である。ダイヤモンドもバンドギャップの極めて大きい半導体の1つとして知られており、理論上では220 nm以下の波長の紫外線を照射すれば励起が可能である。固定砥粒研磨とは、

研磨剤となる砥粒を固定化した砥石を用いて研磨を行う加工法である。図3はUVアシスト固定砥粒研磨による加工前後のPCD表面である。試料のサイズ上、一部見切れた箇所があるため、表面粗さは中央付近の0.6 mm四方の領域で算出した。加工前には非常に大きなうねりと深いくぼみが多数存在しているのに対し、加工後には極めて平滑な鏡面が得られた。PCDは焼結体であるためダイヤモンド粒子間にコバルトなどの焼結助剤が含まれる。したがって、粒界に段差を生じることがある。実際に加工前のPCDには、粒界段差あるいはダイヤモンド粒子の脱落によると考えられるくぼみが多数存在している。しかしながら、UVアシスト研磨を行うと、これらの段差は極めて小さく抑えることができた。これは、PCD中のダイヤモンド粒子そのものを凸部から選択的に、さらに粒子の脱落を伴うことなく加工が進展していることを示している。紫外線を利用した加工法が、SiCと同様にダイヤモンドに対しても極めて効果的な加工法であることが明らかである。

6. おわりに

ダイヤモンドやSiCなどの超硬質材料を極め

て平滑な鏡面に仕上げるうえで、紫外線による光化学反応は非常に有用な現象といえる。紫外線には、光化学反応による表面改質の効果以外にも洗浄作用等もあることから、さまざまな効果が複合的に作用することで鏡面加工が可能になっているものと考えられる。今後も、研磨における紫外線の利用はもちろん、研磨以外でも紫外線の新たな魅力を探索していきたい。

参考文献

- [1] 山口桂司, 峠睦, 久保田章亀, 中野貴之, 渡邊純二, “単結晶SiC基板の高エネルギー鏡面仕上げに関する研究”, 精密工学会誌, Vol.77, No.1 (2011), pp.116-120.
- [2] 山口桂司, 峠睦, 久保田章亀, 室田忠俊, 渡邊純二, 豊福陽樹, 沢見有輝, “単結晶SiC基板の紫外光支援研磨特性における粒子の影響”, 砥粒加工学会誌, Vol.55, No.4 (2011), pp.220-225.
- [3] 北村龍太郎, 野村寛志, 太田稔, 江頭快, 山口桂司, 三輪紘敬, 恩地好晶, 棚田憲一, “PCDの固定砥粒研磨におけるUV照射の影響”, 2017年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, pp.112-116.