

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289020

研究課題名(和文) 紫外光励起研磨によるダイヤモンドウェハおよび工具の高度化技術の開発

研究課題名(英文) Development of process performance for diamond wafers and cutting / grinding tools by ultraviolet irradiation polishing

研究代表者

峠 睦 (TOUGE, Mutsumi)

熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・教授

研究者番号：00107731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：紫外線照射研磨は約15年前に熊本大学精密加工学研究室で開発された全く新しい研磨法であり、紫外線照射下で石英を用いて単結晶ダイヤモンド基板が超精密研磨される。本研究はこの研磨法の研磨メカニズムを詳細に解明すると共に、この技術をダイヤモンド製の砥石、切削工具、金型、超薄型ダイシングブレードに応用展開することを目的としたものである。その結果、ダイヤモンド基板の研磨メカニズムはほぼ解明でき、作用砥粒数の大幅な増加による超精密研削用ダイヤモンド砥石の開発や鋭利な切れ刃を有するPCD製切削工具、厚さ50ミクロンのPCD製ダイシングブレードの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：As experimental results, the polishing mechanism of the diamond substrate was almost elucidated. For the PCD dicing blade, a blade with a thickness of 50 micrometer was perfectly developed, and the chipping-free dicing of SiC substrate was succeeded. In the PCD cutting tool, the tool flank was mirror finished by the UV-polishing and at the same time, the cutting edge was ultra-sharpened. It was confirmed that the finished surface roughness by the sharpened tool was clearly improved. The electrodeposited diamond grinding wheels with small diameter were precisely trued by the UV-polishing. The improvement of the finished surface roughness on the cemented carbide grinding surface and the grinding performance with apparent longer wheel life were confirmed owing to huge increase in the number of precisely working abrasive grains.

研究分野：超精密加工

キーワード：ダイヤモンド ダイシングブレード PCD製切削工具 鋭利化 精密ツールイング 作用砥粒数 鏡面研削 高能率研削加工

### 1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは材料中最高の硬度を有し、切削工具、砥石、金型などの精密加工分野ではきわめて重要な素材となっている。一方、SiC に比べて熱伝導率が約 8 倍、絶縁破壊電界は約 9 倍、移動度も約 2 倍あり、パワーデバイスとして圧倒的に他材料を凌駕する高耐圧、低損失、高速動作等の性能が達成でき、究極の冷却フリー・高出力デバイスとして、SiC の次の世代を担う材料としても期待されている。加工ひずみや結晶の乱れがないダイヤモンド基板を原子スケールで超平滑な研磨面が得られる紫外光励起研磨(以下、UV 研磨)は、ダイヤモンドウェハの開発にきわめて重要な役割を担い、責務を負っている。

申請者らの最近の研究成果により、UV 研磨の研磨メカニズムの解明は着実に進んでいる。特に、酸素 100 %での高い研磨レートと良好な到達粗さの獲得は重要な発見であり、UV 研磨条件の最適化による研磨面品位のさらなる向上と研磨時間の短縮によるダイヤモンドウェハの実現が可能な状況にある。

この UV 研磨法はダイヤモンドウェハの無ひずみ超平滑化はもとより、工具性能を高度化できる紫外光励起精密加工技術として

- ・工具切れ刃の鋭利化 (UV-sharpening)
- ・精密ツルーイング (UV-truing)
- ・PCD 製金型の精密加工 (UV-machining)
- ・ブレードの薄肉化加工 (UV-thinning)

にも応用展開しており、その成果が期待されている。

### 2. 研究の目的

本研究はこの紫外光励起研磨法の研磨メカニズムをより詳細に解明すると共に、得られた成果を 2 インチサイズのダイヤモンドウェハを実現すること、また、工具への応用展開としてダイヤモンド製切削工具、砥石、金型および薄刃ブレードの性能を飛躍的に高度化できる 4 つの新しい UV 研磨活用技術を開発し、加工現場へ普及させることを目的としている。これにより、ダイヤモンドの優れた物理的、機械的性質および電気的特性の応用範囲を最大限に広げることができ、ダイヤモンド利用技術をこれからの技術立国日本を支える Key Technology として育て上げることを最終目的としている。

### 3. 研究の方法

4 つの新しい紫外光励起活用技術はそれぞれ若干異なる紫外光励起研磨装置を用いたが、ここでは代表的な UV 研磨装置を図 1 として示す。研磨装置は 2 組のエヤスピンドルから構成され、ダイヤモンド基板などの研磨中の被研磨材は直径 50 mm の石英板に一定荷重で押し付けられ、紫外線は石英板の反対側から照射される。荷重(研磨圧力)、石英板と被研磨材の自転数、研磨時間が主要なパラメータである。

被研磨材は 20 mm 角の産総研より提供され

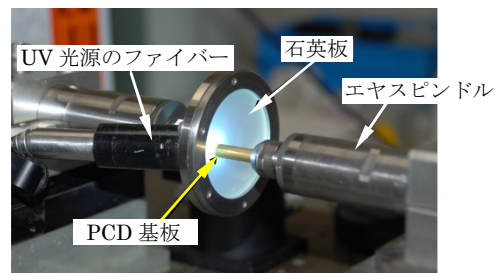


図1 紫外光励起研磨に用いた代表的な UV 研磨装置の写真

たダイヤモンド基板、直径 8 mm の小径軸付電着ダイヤモンド砥石と CBN 砥石、粒径 0.5 μm、5 μm および 50 μm の焼結ダイヤモンド(PCD)基板および切削チップである。代表的な紫外光励起研磨条件を表 1 に示す。

表1 代表的な紫外光励起研磨条件

被削材	PCD-A 5 mm×5 mm
石英板回転	2000~6000 rpm
被削材回転	1250 rpm
研磨圧力	1.0 MPa
研磨時間	1.0 h
紫外線	200 nm~400 nm

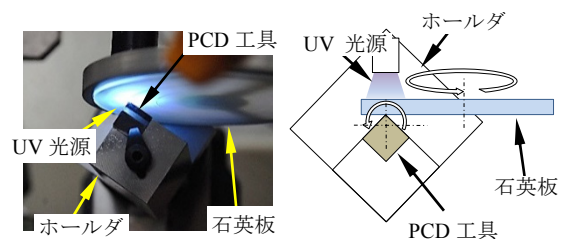
### 4. 研究成果

ここでは紙面の関係から、PCD 製切削工具の高度化、ダイヤモンド砥石の UV ツルーイングの結果を示す。

#### 4.1 PCD 製切削工具の高度化

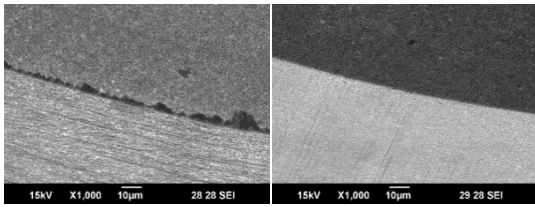
逃げ面の粗さの改善と切れ刃の鋭利化のため、ノーズアール付きの PCD 工具の逃げ面を UV 研磨した。用いた UV 研磨装置を図 2 に示す。予備実験の結果より、PCD 基板は図 1 の装置を用いた場合、石英板の回転数が 6000 rpm でもっとも良好な仕上げ面粗さが得られている。しかし、この回転数を図 2 に示した逃げ面鋭利化装置に適用すると火花が発生して研磨面が悪化することがあり、ここでは 1000 rpm で UV 研磨している。図 2(b)のように、逃げ面は石英板の自転と PCD 工具の揺動により研磨される。なお、石英板は工具刃先側から進入させ、切れ刃上の粒子の脱落や脱落した粒子による逃げ面の擦過痕の発生を抑制した。

UV 研磨前後の粒径 0.5 μm の PCD-A 工具切れ刃の SEM 写真を図 3(a)(b)に示す。UV 研磨に要した時間は 200 min である。市販工具



(a) UV 研磨中の写真 (b) UV 研磨法の模式図

図2 PCD 工具逃げ面の UV 研磨装置



(a) 市販のPCD工具 (b) 200 min UV 研磨後  
 図3 UV 研磨前後のPCD-A 工具切れ刃のSEM写真

の切れ刃上に粒径の数十倍のチッピングが発生していることから、大きな機械的負荷による粒子の脱落が起こっていることがわかるが、UV 研磨した切れ刃には明瞭な切れ刃が確認できる。鋭利化した工具を用い、直径 100 mm のアルミニウム合金 A5052 合金の切削実験を行った。切削面の仕上げ面粗さの代表例を図 4(a)(b)に示す。鋭利化により仕上げ面粗さや散乱度は市販工具より改善されていることがわかる。

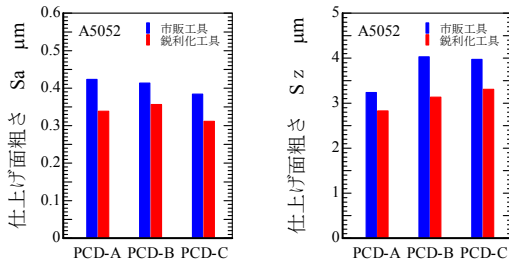
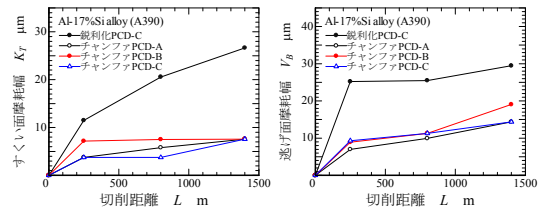


図4 軟質アルミニウム合金 A5052 の切削における PCD 工具の鋭利化の効果

鋭利化した PCD 工具は加工中に切れ刃への衝撃が集中すると、ダイヤモンド粒子の劈開や脱落が多発する。このため、工具摩耗が大きく、場合によっては工具寿命が短くなる。その対策として、刃物角を大きくできる切れ刃へのチャンファ形成法を考案した。

ここでは、チャンファの形成が切削性能に与える影響を調べるため、チャンファ角  $20^\circ$ 、チャンファ幅  $20 \mu\text{m}$  とし、鋭利化が完了した PCD 工具にチャンファを形成した。石英板回転数 1000rpm、研磨荷重 1 N の条件において UV 研磨を行い、10 min でチャンファ形成を完了させた。切削距離の増加による逃げ面およびすくい面の摩耗幅の推移を図 5(a)(b)に示す。 $K_T$ 、 $V_B$ 共に鋭利化した粒径  $50 \mu\text{m}$  の PCD-C 工具がもっとも大きく、切削距離の増加により摩耗幅は増大している。チャンファを形成した 3 種類の PCD 工具の 1400 m 切削後における摩耗幅は、 $K_T$  は  $10 \mu\text{m}$  以下、 $V_B$  は  $20 \mu\text{m}$  以下に抑制されており、鋭利な切れ刃が維持されていることがわかった。これはチャンファ形成により刃物角が大きくなり、チッピングにより刃先稜線上の粒子の脱落が抑制されたためと考えられる。

以上のように、UV 研磨により鋭利化した切れ刃を有する PCD 工具をアルミニウム合金を用いた切削実験に供し、研削仕上げによる



(a) すくい面摩耗幅と (b) 逃げ面摩耗幅と切削距離の関係

図5 鋭利化およびチャンファを形成した PCD 工具のすくい面および逃げ面における摩耗幅の切削距離ごとの変化

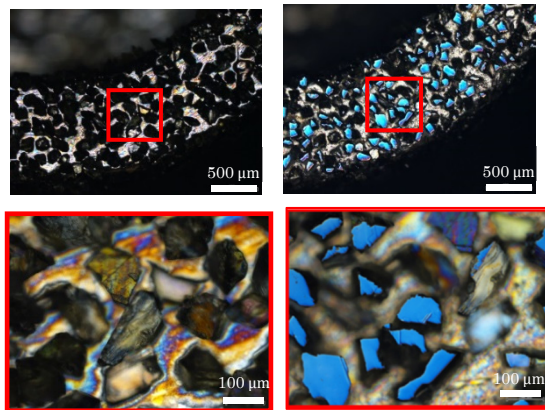
市販工具の結果を上回る良好な結果が得られた。

#### 4.2 ダイヤモンド砥石の UV ツルーイング

我々が考えるダイヤモンド砥石への UV ツルーイングの効果や特徴は

1. 砥粒先端位置のばらつきを大幅に抑制できること
2. 多くの作用砥粒数を確保できること
3. 砥粒へのダメージレスなツルーイング法であること
4. 各砥粒の先端に良好な粗さを有する平坦部が形成されること

であり、研削面の仕上げ面粗さの向上や砥粒負荷の分散による砥石の長寿命化が期待できる。図 6(a)(b)に UV ツルーイング前後の砥石作業面上のダイヤモンド砥粒の代表例を示す。図 6(b)は微分干渉像であり、青く観察されているのが UV ツルーイングされた砥粒である。砥粒先端に平滑な平坦部が形成された砥粒の増加が確認できる。これらの市販砥石および UV ツルーイングを 90 min 施した砥石を用いた研削面の仕上げ面粗さは  $2.42 \text{ nmSa}$ 、 $27.64 \text{ nmSz}$  であり、市販砥石 ( $17.72 \text{ nmSa}$ 、 $118.66 \text{ nmSz}$ ) に比べて Sa および Sz は共に大幅に改善されている。このように、UV ツルーイングを施した砥石は多くの作用砥粒数を持ち、研削面の仕上げ面粗さは通常のツルーイング方法では得られない鏡面となっている。これは図 6 で用いた粒度 120 の砥石よりさらに細かい粒度の砥石を用いても得られないレベルの



(a) 市販砥石 (b) UV ツルーイング 90 min

図6 砥粒先端の光学顕微鏡写真



ものであり、UV ツルーイングの効果が確認できた。

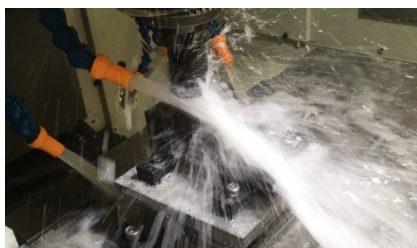
UV ツルーイング時間の適正值を研削回数の増加、レーザー顕微鏡によるチップポケットの正確な計測により判断した結果、10 min では作用砥粒密度が低いことから、20 min 以上必要であることも確かめた。

以上のように、UV ツルーイングによる研削特性の向上を確認できた。しかし、UV ツルーイングを長時間施したり、研削時間の増加に伴い、砥粒先端が研磨されるため砥粒先端位置が下がり、チップポケット体積は減少する。ここで示した研削条件では激しい目づまりは観察されなかったが、より厳しい研削条件やさらに長い研削回数においては目づまりの発生が危惧される。そこで、これらの問題の解消と、それによる高能率研削の実現を目指し、研削加工へのマイクロバブルの導入を試みた。

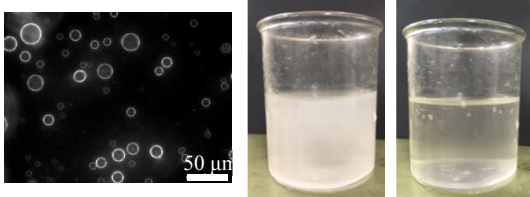
マシニングセンタのクーラントタンク内にマイクロバブル発生装置を組み込み、UV ツルーイングしたダイヤモンド砥石の研削性能のさらなる改善効果を調べた。図 7(a)にマイクロバブルを添加した研削液の供給状況を、図 7(b)にマイクロバブルの光学顕微鏡写真を示す。粒径は 15~50  $\mu\text{m}$  であるが、図 7(c)(d)に示したように、これらのマイクロバブルは時間とともに液面に浮上し、1 min 程度で白濁した研削液は透明となる。すなわち、水中でのマイクロバブルの寿命は 1 min 程度と考えている。

UV ツルーイング 60 min の砥石を用い、送り速度は 9 mm/min を基準とし、90 mm/min まで 10 倍増速させた。なお、加工前の研削面の仕上げ面粗さを統一するため、UV ツルーイングを施していない砥石（市販砥石）を用い、回転数 3000 rpm、送り速度 45 mm/min で前加工した。

図 8 は送り速度を 10 倍まで増速し、マイクロバブルの有無で比較した研削面の仕上げ面粗さの測定結果である。45 mm/min の送り速



(a) マイクロバブルクーラントによる研削加工



(b) 光学顕微鏡写真 (c) 回収直後 (d) 1 min 放置後  
図 7 マイクロバブル供給状況、マイクロバブルの光学顕微鏡写真、マイクロバブルの研削液中の寿命

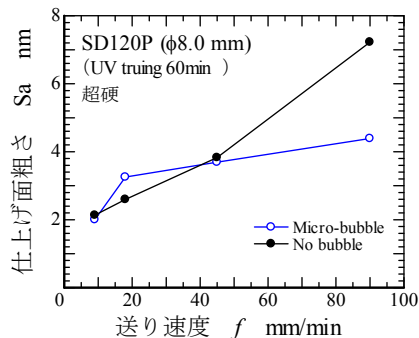


図 8 各送り速度におけるマイクロバブルを添加したときの仕上げ面粗さの変化

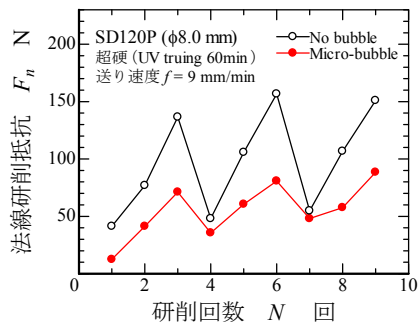


図 9 法線研削抵抗に及ぼすマイクロバブルの添加効果

度までは仕上げ面粗さにマイクロバブルの効果は認められないが、90 mm/min ではマイクロバブルを添加した方が良好な研削面が得られた。限られた研削条件ではあるが、マイクロバブルの添加により高能率研削条件での仕上げ面粗さの悪化を抑制できることがわかった。研削抵抗に及ぼすマイクロバブルの添加効果を調べた。

図 9 に法線研削抵抗の結果の一例を示す。送り速度は 9 mm/min であるが、4 回および 7 回での法線研削抵抗の大きな減少は、砥石作業面の観察のため砥石を外し、その後超音波洗浄したためである。法線研削抵抗はマイクロバブルの添加により最大で 50% 減少しており（研削回数 3 回目）、大きな効果が認められる。超音波洗浄後の法線研削抵抗の減少も、マイクロバブルを添加していない通常の法線研削抵抗と比べて小さい。したがって、マイクロバブルによる切りくず排出の促進効果、すなわち目づまり発生は低いと考えられる。その他、マイクロバブルを添加すると切りくずが微細化されることも SEM を用いて確認しており、マイクロバブルの添加効果は研削抵抗の減少、切りくずの微細化、目づまりの抑制効果などにより、送り速度を 10 倍に増加させた高能率研削の実現に強く寄与することを確認した。

以上のように、紫外光励起研磨により PCD 切削工具の鋭利化とチャンファ付加、小径軸付着ダイヤモンド砥石の UV ツルーイングに成功し、工具摩耗の抑制や超硬研削面の鏡面化とマイクロバブルの供給による砥石目づまりの抑制や高能率研削の実現が確認できた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 和泉康夫, 藤田 隆, 南 久, 渡邊純二, 峠 睦: SiC 半導体基板用 PCD ダイシングブレードの開発, 砥粒加工学会誌, 査読有, 第 60 巻, 第 11 号, 2016, 597-602 頁.
- ② 和泉康夫, 後藤健太, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: 紫外線照射研磨による PCD 製切削工具の高度化と切削性能, 砥粒加工学会誌, 査読有, 第 61 巻, 第 4 号, 2017, 210-215 頁.
- ③ 柴元翔太郎, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: UV ツルーイングした電着ダイヤモンド砥石の研削性能の向上, 砥粒加工学会誌, 査読有, 第 61 巻, 第 4 号, 2017, 204-209 頁.
- ④ 宮本竜成, 峠 直樹, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: 石英ツルーイングした小径軸付 CBN 砥石の研削性能, 砥粒加工学会誌, 査読有, 第 61 巻, 第 6 号, 2017, 331-336 頁.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 後藤健太, 和泉康夫, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: 紫外線照射研磨を用いた PCD 製工具の切削性能の改善, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 兵庫県立大学, 2016.8.31-9.2
- ② 宮本竜成, 峠 直樹, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: 石英ツルーイングした CBN 軸付砥石の研削性能評価とツルーイングメカニズムの解明, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 兵庫県立大学, 2016.8.31-9.2
- ③ 柴元翔太郎, 坂本武司, 久保田章亀, 峠 睦: UV ツルーイングによるダイヤモンド砥石の研削性能の向上と寿命評価, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 兵庫県立大学, 2016.8.31-9.2
- ④ Y. Izumi, M. Touge: Development of Ductile mode grooving with PCD(Poly-Crystalline Diamond) Blade , 16th International Conference on Precision Engineering (ICPE2016), Hamamatsu, 2016.11.14-16
- ⑤ K. Goto, Y. Izumi, T. Sakamoto, A. Kubota, M. Touge: Cutting Performance of PCD Tools Improved by Ultraviolet-ray Irradiation Polishing, International Committee for Abrasive Technology , ISAAT 2016, Stockholm, Sweden, 2016.10.2-10.5

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/Info/lab/prec/tkgroup/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

峠 睦 (TOUGE, Mutsumi)

熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・教授

研究者番号: 00107731

### (2) 研究分担者

久保田章亀 (KUBOTA, Akihisa)

熊本大学・大学院先端科学研究部 (工学系)・准教授

研究者番号: 80404325

### (3) 研究分担者

横井裕之 (YOKOI, Hiroyuki)

熊本大学・大学院先端科学研究部 (工学系)・准教授

研究者番号: 50358305

### (4) 研究協力者

岩本知広 (IWAMOTO, Chihiro)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号: 60311635