

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630029

研究課題名(和文)次世代パワーデバイス用ダイヤモンド基板の高効率加工プロセスの開発

研究課題名(英文)Development of high-efficiency polishing process of the diamond substrate for next-generation power devices

研究代表者

久保田 章亀(Kubota, Akihisa)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：80404325

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文): ダイヤモンドは、硬度、熱伝導率、絶縁特性、耐環境性に優れた特性を有し、高耐圧、低損失、高速動作を可能とする冷却フリーな次世代省エネルギーパワーデバイス用材料として期待されている。しかしながら、ダイヤモンドは、物質中で最高の硬度を有し、熱的・化学的に極めて安定であることから、その加工は困難であり、ダイヤモンドの高効率・高精度加工法の開発が急務となっている。このような背景のもとで、われわれは、乾式環境下で紫外光を援用した研磨法(紫外光援用研磨)を提案している。本研究では、提案手法によるダイヤモンドの加工特性を明らかにするなかで、高効率かつ高精度を同時に実現できる可能性を見出した。

研究成果の概要(英文): Diamond substrate has excellent physical properties, attracts attention as a material for the next-generation semiconductor devices. However, diamond substrate is hard to machine because it possess the high-hardness and high chemical inertness. Processing techniques of high removal efficiency and damage-free surface are required in recent years. In this study, we have proposed a novel polishing technique combined with ultraviolet (UV) irradiation utilizing a metal-oxide plate. In this study, while clarifying the processing characteristics of the diamond by the proposed method, we have found the possibility of precision polishing of diamond substrate with high efficiency and high precision at the same time.

研究分野：精密加工

キーワード：ダイヤモンド 精密研磨 紫外光援用研磨

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドは、物質中で最も高い硬度や高い熱伝導率、小さい熱膨張率などの優れた物性値を有する。このため、ダイヤモンドは、切削工具をはじめ、次世代のパワー半導体デバイス用材料や超合金金型の代替型、ヒートシンクなどさまざまな分野への応用が期待されている。しかしながら、ダイヤモンドは、高硬度かつ、化学的に安定であるため、加工が非常に難しい。砥粒を用いたダイヤモンド基板の加工法としては、ダイヤモンド砥粒を用いた機械研磨（スカイフ加工）や研磨剤内に含まれる金属酸化物微粒子を用いた化学機械研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）が代表的である。スカイフ加工では、高能率にダイヤモンドの加工ができるものの、砥粒の機械的作用により基板表面上にダメージが導入され、高精度な加工が難しい。一方、CMPでは、高精度な表面は得られるが、加工に長時間を有する。このため、高能率かつ高精度にダイヤモンドを加工する技術の開発が強く求められている。

今後、ダイヤモンドの持つ物性を十分に生かした良好な半導体デバイスや工具を作製するためには、ダイヤモンド基板を原子レベルで平坦、かつ無擾乱に仕上げる加工技術が必要不可欠であると言われているが、そのようなダイヤモンドの加工技術はこれまでに確立されていない。

2. 研究の目的

研究代表者は、固体表面間での化学反応を利用した超精密加工に関する研究に従事するなかで、乾式環境下において光・熱化学反応を効果的に利用した新しい加工法を考案した。本研究では、この考案加工法によって、ダイヤモンド基板の高能率・高精度加工を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

乾式環境下において、金属酸化物（シリカガラスなど）とダイヤモンド間の化学反応を安定的に進行させ、高精度な加工表面を得るためには、シリカガラス表面には、高い清浄度と高い水分吸着性（濡れ性）が求められる。また、加工能率を向上させるためには、シリカガラスとダイヤモンドの加工接触点における温度が極めて重要になる。これらの考えをもとに、乾式環境下において、金属酸化物プレートと被加工物を作用させる加工法を新たに着想した。

シリカガラス表面上に紫外光を照射することによって、ガラス表面付近の空気中の酸素が紫外光と作用してオゾンや励起状態酸素原子となり、それらがシリカガラス表面上の有機汚染を化学的に分解することで、高い清浄度と高い濡れ性を持ったシリカガラス表面が得られる。これにより、乾式環境下でありながらも、湿式環境下と同様な安定な固体表面間での化学反応を実現することが可能

となると考えた。

また、シリカガラスを加熱する、あるいは、被加工物とシリカガラス間で生じる摩擦熱を利用することによって、シリカガラス表面上の水酸基（Si - OH）とダイヤモンド表面との固体表面間の化学反応が著しく促進され、加工能率を大幅に向上できると考えた。

本研究では、図1に示す加工装置をあらたに試作した。本加工装置は、紫外光照射部と除去加工部から構成されている。回転テーブル上に固定された金属酸化物プレート（シリカプレート等）表面に対して紫外光を照射することによって、シリカプレート表面に付着した有機物を分解・除去するとともに、プレート表面を改質（親水化）し、大気中の水分がシリカプレート表面に吸着しやすくする。そして、その改質されたシリカプレート表面とダイヤモンド表面を作用させることによって加工が実現できる。紫外光照射部とダイヤモンドサンプルは、回転テーブルの回転軸に対して対称に配置されている。これにより、紫外光照射によって洗浄・表面改質されたシリカプレート表面とダイヤモンド表面を安定的に作用し、化学反応が促進される。

この試作した装置を用いて、本研究では、以下の項目を実施した。

- (1) 紫外光援用研磨法によるダイヤモンド基板の加工特性の検証
- (2) 加熱支援を伴う紫外光援用研磨法によるダイヤモンドの加工特性の検証
- (3) 大口径ダイヤモンド基板への加工適用可能性の検討

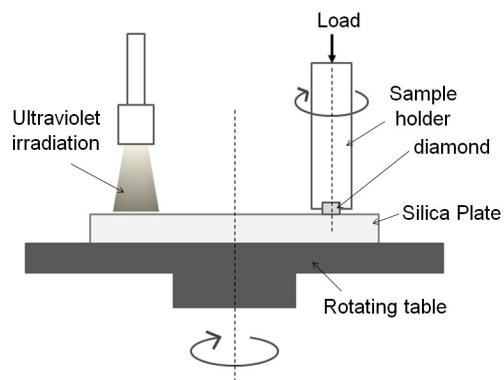


図1 乾式環境下でのダイヤモンド基板加工検証装置の概念図

4. 研究成果

- (1) 紫外光援用研磨法によるダイヤモンド基板の加工特性の検証

図2は、加工前後の走査型白色干渉顕微鏡像である。加工前（図2(a)）の表面粗さは、P-V: 38.373 nm , Rms: 7.429 nm , Ra: 5.935nm

であるのに対して、紫外光照射しながら加工した(図 2(b))表面の粗さは、P-V: 1.679 nm, Rms: 0.200 nm, Ra: 0.160 nm であり、ダイヤモンドの表面粗さが大幅に改善されていることがわかった。また、紫外光を照射せずに加工した表面の粗さ(図 2(c))は、P-V: 13.664 nm, Rms: 2.041 nm, Ra: 1.562 nm であった。

紫外光を照射しなかった場合でも、表面粗さの改善がみられた。これは、研磨中にシリカガラス表面が摩耗され、清浄な表面が表出し、高い親水性を示すとともに、シリカガラスとダイヤモンドが作用する際に生じる摩擦熱によって、シリカガラス表面とダイヤモンド表面間での化学作用が促進したためと考えられる。

また、紫外光照射の有無による加工能率を比較した結果、紫外光を照射した場合は、紫外光を照射しなかった場合に比べて 10 倍以上の加工能率であることがわかった。

これらの実験結果から、紫外光照射しながら研磨することが有効であることがわかった。

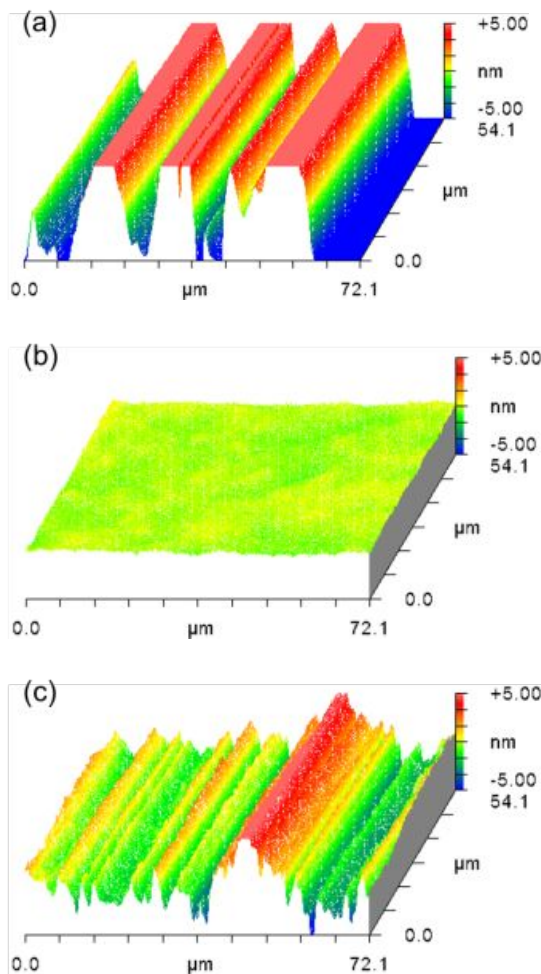


図 2 ダイヤモンド表面の凹凸
(a)加工前の基板, (b)紫外光照射しながら研磨した基板, (c)紫外光を照射せずに研磨した基板

(2) 加熱支援を伴う紫外光援用研磨法によるダイヤモンドの加工特性の検証

本研究では、紫外光照射に熱照射を重畳することによる加工能率の更なる向上の可能性を検証した。紫外光照射と熱照射の効果を評価するために、同一条件で紫外光照射有無と熱照射有無のそれぞれを組み合わせた実験を行い、それぞれの表面粗さ(測定領域: $72.1 \mu\text{m} \times 54.1 \mu\text{m}$)と加工能率の関係を調査した。図 3 は、その結果をまとめたものである。

紫外光照射と熱照射をせずに加工したときの加工能率は、33.3 nm/h(表面粗さ: 2.595 nm RMS)であり、熱照射のみで加工したときの加工能率は、240.4 nm/h(表面粗さ: 0.563 nm RMS),紫外光照射のみで加工したときの加工能率は、237.5 nm/h(表面粗さ: 0.221 nm RMS)であるのに対し、提案手法で加工したときの加工能率は、335.5 nm/h(表面粗さ: 0.206 nm RMS)であった。熱照射のみで加工したとき、未照射のときと比べ、熱的效果による加工能率の向上はみられるものの、紫外光照射しながら加工したときほどの表面粗さは得られなかった。これは、プレート表面がダイヤモンドにより磨耗したときに生じる高い親水性を示す新生面に空気中の水分が吸着し、その新生面とダイヤモンド表面間のトライボケミカル反応により加工が進行するが、プレート表面が紫外光を照射したときほどの水分吸着を得ることができなかつたためと推察される。

また、紫外光照射と熱照射を併用しながら加工することによって、プレート表面とダイヤモンド表面間のトライボケミカル反応を安定的にかつ積極的に得ることができ、高精度でありながらも高効率に加工が進行したと考えられる。

このほかにも、加工能率の向上への取り組みとして、オゾンガスや酸素ガス、窒素ガスを導入することによる加工能率向上への取り組みや、ダイヤモンドとプレート間への水分を供給することによる加工能率の向上への取り組みにより、その有効性が確認された。

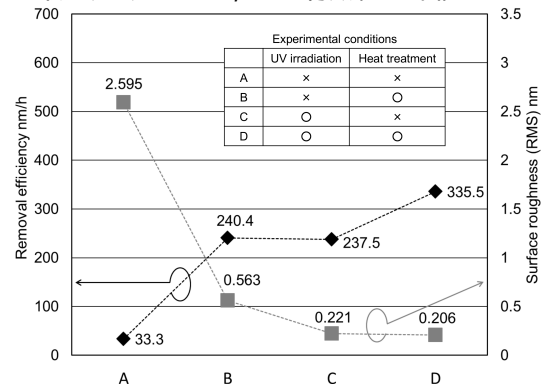


図 3 紫外光照射, 熱照射の有無によるダイヤモンドの加工特性(加工能率と表面粗さ)

(3)

大口径ダイヤモンド基板への加工適用可能性の検討

現在、ダイヤモンド基板は、化学気相成長法(CVD)技術を高度化することによって、数cm角サイズの基板の作製が可能になりつつあり、本研究では、産業技術総合研究所が作製した1cm角程度のダイヤモンドの基板の加工に対して、本研究で提案する紫外光援用研磨の適用可能性を実験的に検証した。

紫外光援用研磨前後における基板の平坦性と平滑性を評価するために、走査型白色干渉計を用いて測定を行った。図4に加工前後におけるダイヤモンド基板の断面プロファイルを示す。加工前の基板のうねりは、約6μmであるのに対して、加工後の基板のうねりは、約0.5μmであり、紫外光援用研磨によって、基板の平坦性が大幅に向上していることがわかった。

次に、微小領域における加工前後の基板表面の表面粗さの測定像(72.1μm×54.1μm)を図5に示す。加工前の基板表面(P-V:2817.819nm, RMS:169.194nm, Ra:80.112nm)には、ダイヤモンド砥粒による機械的作用によって、大きな凹凸が形成されているが、加工後の基板表面(P-V:2.122nm, RMS:0.215nm, Ra:0.171nm)は、加工前の表面粗さを大幅に改善しており、非常に平滑な表面が得られた。

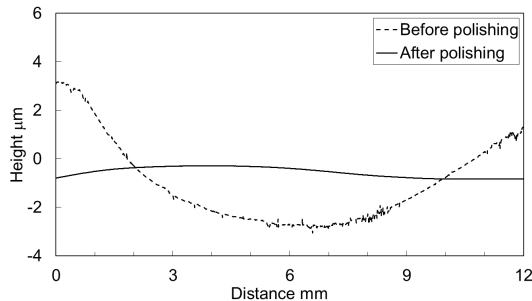


図4 加工前後の基板のうねり成分の変化

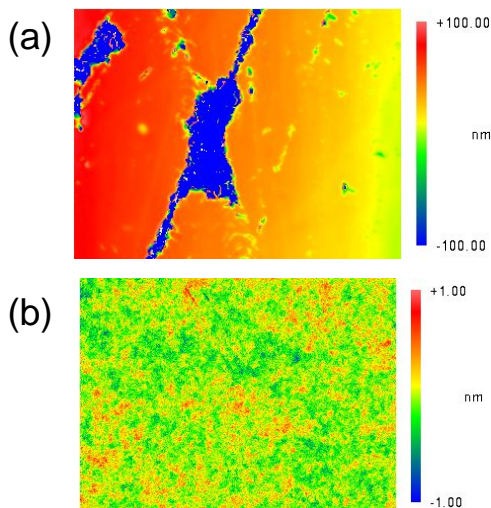


図5 加工前後の表面粗さの比較

また、紫外光照射が加工能率に及ぼす影響を評価するために、紫外光照射の有無におけるダイヤモンドの加工能率を比較した。あらかじめ、基板にミクロンオーダーの溝加工を行い、加工前後の溝深さの変化量から加工能率を算出した。その結果、紫外光を照射せずに加工を行ったときの加工能率は、356.0 nm/hであるのに対し、紫外光を照射しながら加工を行ったときの加工能率は、602.1 nm/hであり、紫外光照射によって、約1.7倍の加工能率向上がみられた。

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

- 久保田章亀, 田北隆浩, 峠 睦, 紫外光援用研磨によるダイヤモンドの平坦化 - 1cm角サイズの単結晶ダイヤモンド基板の加工 -, 2015年度精密工学会春季大会学術講演会, 2015.3.17, 東洋大学.
- 田北隆浩, 久保田章亀, 峠 睦, 紫外光援用研磨によるダイヤモンド基板の平坦化 - 研磨定盤の表面改質効果 -, 2014年度公益財団法人精密工学会九州支部鹿児島地方講演会第15回学生研究発表会, 2014.12.6, 鹿児島大学.
- 田北隆浩, 久保田章亀, 峠 睦, 紫外光照射と加熱併用による新しい研磨法の開発-単結晶ダイヤモンド基板の加工特性の調査-, 2014年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2014.9.17, 鳥取大学.

〔産業財産権〕

出願状況(計 3 件)

名称: 加工方法及び加工装置
 発明者: 久保田章亀
 権利者: 熊本大学
 種類: 特許
 番号: 120131540(台湾)
 出願年月日: 2013年9月2日
 国内外の別: 国内

名称: 加工方法及び加工装置
 発明者: 久保田章亀
 権利者: 熊本大学
 種類: 特許
 番号: PCT/JP2013/73469
 出願年月日: 2013年9月3日
 国内外の別: 国内

名称: 加工方法及び加工装置
 発明者: 久保田章亀
 権利者: 熊本大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2014-266464
 出願年月日: 2014年12月26日
 国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 章亀 (Kubota Akihisa)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：80404325