

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：81406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420068

研究課題名(和文) SiC半導体デバイス基板の汎用加工技術を実現する電界ラッピング技術の開発

研究課題名(英文) Development of electric field assisted lapping technology for SiC semiconductor substrate

研究代表者

久住 孝幸 (KUSUMI, Takayuki)

秋田県産業技術センター・素形材プロセス開発部・主任研究員

研究者番号：40370233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：炭化ケイ素パワー半導体普及に貢献するため、基板加工のラッピング工程において、表面品位向上と加工効率向上の両立を図る新たな「電界ラッピング技術」を提案し、その研磨加工メカニズムの解明を試みた。観察実験を通して、電界による砥粒の集散には印加周波数依存性があり固有周波数が存在することが分かった。また、サファイアを試料とした電界ラッピング実験を実施し、研磨効率向上効果と、研磨品位向上効果を確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to contribute to the spread of silicon carbide wafer semiconductors, we propose a new "electric field assisted lapping technique" compatible with improvement of surface quality and processing efficiency in lapping process of substrate processing. Through observation experiments, it was found that the dispersion of abrasive grains due to electric field has applied frequency dependency and natural frequency exists. We also performed an electric field assisted lapping experiment using sapphire as a sample to confirm the effect of improving lapping efficiency and the effect of improving surface roughness.

研究分野：精密加工

キーワード：スラリー 研磨 ラッピング 電界 半導体 ウェーハ

1. 研究開始当初の背景

今日の社会において、電気エネルギーの利用効率の向上をはかる技術の確立が大望され、特に、その電気エネルギーの輸送や変換において電圧・周波数制御に多用されているパワー半導体デバイスの大幅な性能向上が希求されている。現在、パワー半導体デバイスのほとんどが Si で作製されているが、いまや物性に起因する性能限界に近付いており、ワイドギャップ半導体である炭化ケイ素（以下 SiC）の導入への期待が高まっている。しかしながら、SiC パワー半導体はサンプル出荷を経て市販化が始まったばかりで、ウェーハ用基板製造技術など、様々な量産化・汎用化技術が未だ発展途上である [1]。

この SiC ウェーハは、インゴットから、切断、研削、ラッピング、ポリッシングの工程を経て、洗浄後ウェーハとして出荷されるが、SiC は硬い材料であるため、それぞれの加工工程に時間を必要とする。特に高品位な面を創成するラッピング、ポリッシング工程は長時間を要し、量産化・汎用化へのボトルネックの一つとなっている。

一般的にラッピング、ポリッシングなどの遊離砥粒研磨加工は、砥粒と潤滑剤で構成されるスラリーを研磨パッドなどに散布しながら加工を進展させる技術である。しかし、研磨定盤の回転運動によって、遠心力が発生し、スラリーに含まれる研磨屑、潤滑剤とともに砥粒も研磨領域外へ散逸する。これによって、研磨領域における砥粒の供給や砥粒が偏在し、研磨効率の低下を招くことが知られている [2]。

一方、在来の方とらわれない新しい研磨加工法として、磁性流体利用の磁気研磨や電気泳動現象を利用した研磨法など機能性流体を用いた電界、磁界援用の精密研磨加工などが提案されている [3]。

赤上らは、機能性流体を用いた加工法のひとつとして、溶媒にシリコンオイルを用いた砥粒分散型機能性流体を作製し、この流体に交流電界を印加することで、砥粒の挙動や配置制御を行って、研磨効率を高める技術である電界砥粒制御技術を提案している [4]。

2. 研究の目的

本研究は、SiC パワー半導体普及に貢献するため、ダイヤモンド砥粒による SiC 基板加工のラッピング工程において、表面品位向上と加工効率向上の両立を図るための研究開発である。

具体的には、品位向上を狙う研磨副資材と砥粒保持をアシストする電界砥粒制御技術を組み合わせ「電界ラッピング技術」を提案する。そして、高品位・高効率化を実現するにあたって、以下の検討項目を明らかにする。

電界ラッピング技術にて研磨下にダイヤモンド砥粒を集める砥粒保持メカニズム発現を探る。与える電界強度や印加周波数並びに研磨環境を最適化して究明する。

加工品位への貢献については、適する粒度の砥粒など研磨副資材を用いて、前述の相互作用の効果を加味した形で加工性や品位について明らかにする。さらに試料と砥粒ならびに溶媒の組み合わせについても加工実験を通して加工メカニズム明らかにする。

3. 研究の方法

電界ラッピング技術における作用砥粒数増加及び研磨屑排出のメカニズムを解明するために、【電界挙動可視化実験装置】を製作し、スラリーを滴下して、電界下での挙動を観察した。そして各種電界挙動から作用砥粒数増加の条件を探索し、実際の電界ラッピング実験を通してその効果を確認した。

3.1 電界挙動可視化実験

電界挙動可視化実験装置の概略図を図 1 に示す。電界ラッピング時における流体挙動と研磨加工時の様子を観察するために上定盤は可視化実験が可能な透明電極とした。被加工物とラップ工具に相対運動を発生させるため、上下定盤を回転する方式とし、遠心力の影響を十分に検討可能なように高速回転が実現できるよう設計を行った。下定盤と上部透明電極間には高電圧発生装置にて高電圧を印加可能な給電システムを準備した。滴下スラリーの様子は上部に配置された高速度カメラで観察する。スラリーを滴下し、その集散状態を観察して、電界印加周波数との関係を調べた。

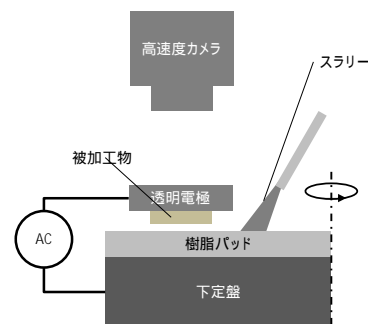


図1 電界挙動可視化実験装置

3.2 硬質樹脂製ラップ工具の検討

電界ラッピング技術において、電界印加時の絶縁性の確保と、加工品位向上並びに加工変質層低減を目的として、硬質樹脂パッド定盤を金属定盤の代わりにラップ工具として用いる。そこで、この加工メカニズムを明ら

かにするため、ラップ加工時の樹脂ラップ工具上に存在する砥粒の状態について、銅定盤との比較評価実験を行った。実験には、卓上研磨装置（定盤径 180）を用い、その定盤に、樹脂定盤、銅定盤（ $t=1\text{mm}$ ）をそれぞれ貼り付けた。電着ダイヤモンド砥石でそれぞれの形状修正を行ったものをラップ工具とした。形状修正後、2 インチサファイアウェーハ 3 枚を上部定盤に貼り付け、加工時間 6 分間のラップ加工実験を行って、加工前後のラップ工具の表面観察を行った。図 2 に硬質樹脂ラップ工具評価試験装置の概観を示す。

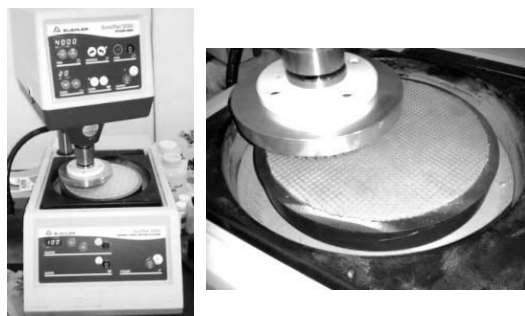


図 2 硬質樹脂ラップ工具評価試験装置

3.3 電界ラッピング実験

図 3 は、電界ラッピング技術を導入した片面研磨装置（下定盤径 910mm）の装置概観及び上部定盤概観である。上下定盤は電極とするため SUS 材を用いる。また、電界強度は電極間距離に依存することから、試料研磨界面の電界強度が他部のプレート内と比して強くなるように、図 3 右に示す通り上定盤の試料貼り付け部に凸形状部位を設ける構成としている。下部定盤上には硬質樹脂パッド定盤を貼り付け、ラップ工具として用いる。試料は 6 インチサファイアウェーハとし、3 枚を上部定盤突起部に張り付けラップ加工を行った。

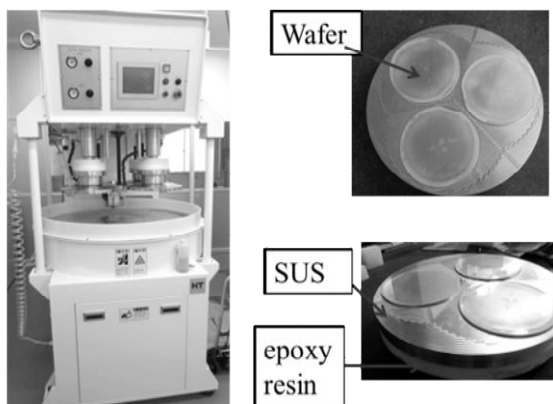


図 3 片面電界ラップ研磨装置

4. 研究成果

4.1 電界挙動可視化実験結果

電界挙動可視化実験結果を図 4 に示す。図 4 (a) の観察領域概観に示す通り、研磨試料に見立てた 22.7mm のサファイア基板 3 枚を透明定盤に貼り付けた。その張り付け位置に透明電極膜が製膜してある。電極膜は半田配線で通電し、高電圧が印加する構成となっている。図 4 (b) にスラリーを滴下した際の解析エリアの高速カメラの観察像を示す。滴下したダイヤモンドスラリーはサファイア試料部に供給されている様子が見られる。この像の試料部の画像解析を実施したところ、電界印加周波数に依存性がみられ、1Hz 以下の周波数にて無電界に比べて 10 倍の砥粒分布指数を示した。

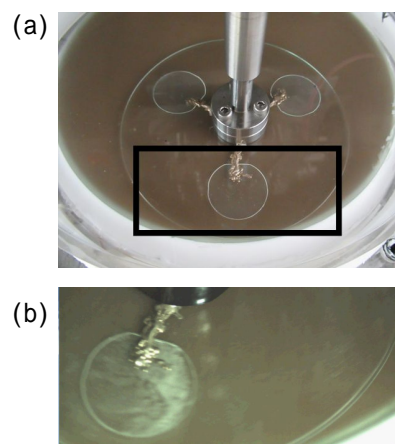


図 4 スラリーの電界挙動可視化実験概観

4.2 樹脂製ラップ工具の検討結果

ラップ工具評価試験後のラップ工具表面観察結果を図 5 に示す。図 5 (a) で示したように、ラップ加工後の銅定盤上には、多数の細かく破砕されたダイヤモンドが観察された。また、粒径に対して高さの低い突起が見られた。これは、砥粒が銅定盤に埋め込まれ、その後、表面より突出した部分は破砕したものと考えられる。一般に知られるラップ加工メカニズム通りであることを確認した。

一方、樹脂定盤では、形状修正を行うと、樹脂伸びと呼ばれるひだ状の表面を呈する。この樹脂伸びは、図 5 (b) 中、縦方向にひだ状に形成されている。ラップ時に散布されたダイヤモンド砥粒はこのひだで保持されている。保持されたダイヤモンド砥粒は通常のラップ加工とは異なり、砥粒が定盤に埋め込まれていない。また、破砕砥粒が少なく初期粒径のまま維持され残存している。これらより、樹脂定盤では、ダイヤモンド砥粒自体に破砕可能な加工圧力が加わっていないことが考えられ、砥粒が被加工物に与える局所的な加工力も低いものと予想される。さらに、

砥粒が定盤上に埋め込まれていることが少ないことから、ダイヤモンド砥粒は遊離砥粒として作用し、研磨加工を進展させているものと考えられる。

このように樹脂製ラップ定盤を用いた場合、金属製ラップ定盤と異なり、ダイヤモンド砥粒は遊離砥粒として振る舞い、定盤上の砥粒保持には電界砥粒制御技術が必要不可欠であることが明らかになった。加えて、初期粒径が維持されることからスラリーの循環形式が採用できる可能性があることも分かった。

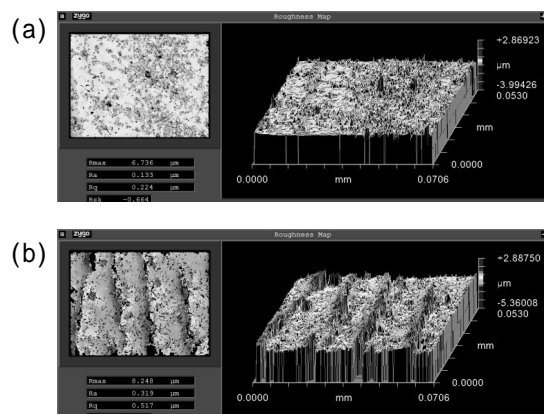


図5 ラップ工具上のダイヤ砥粒観察結果

4.3 電界ラッピング実験結果

図3に示す装置を用いた6インチサファイア基板3枚のラッピング試験の研磨レートを電界の有無で確認した。無電界時の11.5 μm/hに対し、電界印加を行うと電界周波数依存性がみられ、5.5Hz付近で極大となり、17 μm/hの研磨レートが得られた。研磨加工効率は47%向上する結果となり、これは、通常の銅定盤を用いた研磨レート13 μm/hと比較しても27%向上する結果を示した。

一方、図6に銅定盤によるサファイア加工面と、樹脂定盤で得られたサファイア加工面の基板表面性状を比較した結果を示す。銅定盤を用いた従来法の表面粗さはPV 35.85nm, Ra 2.14nm, 電界ラップ技術により得られた試料の表面粗さはPV 16.01nm, Ra 1.48nmで加工品位の向上が見られた。特にPVは大幅に低減されており、後工程であるCMP工程の除去量を抑制できる可能性を示している。

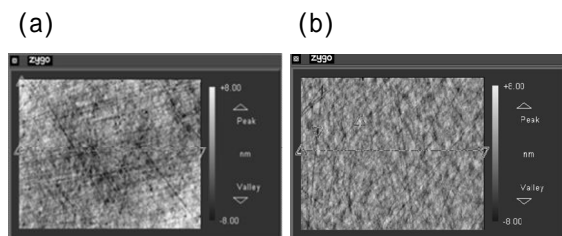


図6 ラップ加工表面粗さ
(a)従来ラップ(PV 35.85nm, Ra 2.14nm),
(b)電界ラップ(PV 16.01nm, Ra 1.48nm)

4.4 まとめ

ダイヤモンド砥粒によるSiC基板加工のラッピング工程の高品位・高効率加工技術の実現を図るため、品位向上を狙う研磨副資材と砥粒保持をアシストする電界砥粒制御技術を組み合わせた電界ラッピング技術を提案した。そして、電界ラッピング技術における研磨加工メカニズムの解明を試みた。

片面研磨装置を模した電界挙動可視化実験装置を構築し、その画像解析結果から、研磨試料部に集まる砥粒分布には電界印加周波数依存性があることが分かった。

電界ラッピング技術に用いる硬質樹脂パット定盤を検討し、従来法の銅定盤との比較から、ダイヤ砥粒の破碎が少なく、埋め込みが見られないことから、砥粒保持には電界援用効果が必須であることが分かった。

6インチサファイア基板をサンプルとした実際の電界ラッピング加工を行い、研磨効率向上効果および表面品位向上効果を得た。また、研磨効率向上には周波数依存性があることが分かった。

<引用文献>

- [1] ワイドギャップ半導体 光・電子デバイス, 高橋清(監修) 長谷川文夫・吉川明彦(編著), 森北出版(2006)
- [2] 液体ボンド砥石を用いた高能率研磨法の開発, 谷泰弘・河田研治, 日本機械学会論文集C編, 51巻471号(1985), pp.3145-3148
- [3] 電場・磁場援用の精密研磨加工, 黒部利次, 潤滑, 第31巻第4号(1985), pp.221-226
- [4] 粒子分散型機能性流体を用いた精密研磨方法の開発, 赤上陽一他4名, 日本機械学会論文集C編, 66巻649号(2000), pp.270-275
- [5] 炭化ケイ素基板研磨のための電界砥粒分布制御研磨に関する研究 - 電界による研磨率向上メカニズムの検討 -, 久住孝幸, 赤上陽一 他3名, 精密工学会誌, 79巻1号(2013), pp.87-92

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

電界砥粒制御技術を応用した電界非接触微粒子攪拌技術の開発, 中村竜太, 赤上陽一, 池田洋, 久住孝幸, (5番目) 他4名, 精密工学会誌, 第80巻9号, pp.862-866, (2014) 査読有

研磨スラリーの電界活性化技術, 久住孝幸, 池田洋, 越後谷正見, 中村竜太, 赤上陽一, 砥粒加工学会誌, 第61巻5号, pp43-44, (2017) 査読有

〔学会発表〕(計 17 件)

電界スラリー制御技術を適用した硬脆材料向け高効率研磨技術の開発, 池田洋, 中村竜太, 久住孝幸, 佐藤安弘, 赤上陽一, 2014 年度砥粒加工学会学術講演会, 岩手大学 (岩手県・盛岡市), 2014/9/13

炭化ケイ素研磨剤を用いた電界砥粒制御技術の基礎検討-第 3 報-, 久住孝幸, 中村竜太, 池田洋, 佐藤安弘, 赤上陽一, 2014 年度砥粒加工学会学術講演会, 岩手大学 (岩手県・盛岡市), 2014/9/13

電界砥粒制御技術における研磨下の砥粒挙動の基礎検討, 久住孝幸, 池田洋, 中村竜太, 佐藤安弘, 赤上陽一, 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 鳥取大学 (鳥取県・鳥取市), 2014/9/16

電界スラリー制御技術を適用した硬脆材料向け高効率 CMP 技術の開発, 池田洋, 中村竜太, 久住孝幸, 赤上陽一, 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 鳥取大学 (鳥取県・鳥取市), 2014/9/16

サファイア電界 CMP 用複合砥粒の開発と研磨特性, 川原浩一, 鈴木俊正, 須田聖一, 池田洋, 中村竜太, 久住孝幸, 赤上陽一, 2014 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 鳥取大学 (鳥取県・鳥取市), 2014/9/16

電界砥粒制御技術を用いた単結晶サファイア基板の高効率研磨加工 (第 1 報), 久住孝幸, 池田洋, 中村竜太, 赤上陽一, 他 2 名, 日本機械学会 第 10 回生産加工・工作機械部門講演会, 徳島大学 (徳島県・徳島市), 2014/11/16

電界砥粒制御技術を用いた単結晶サファイア基板の高効率研磨加工 (第 2 報), 池田洋, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 他 2 名, 日本機械学会 第 10 回生産加工・工作機械部門講演会, 徳島大学 (徳島県・徳島市), 2014/11/16

新たな酸化セリウム砥粒再生技術及び再生装置の開発, 久住孝幸, 赤上陽一, 松下大作, 佐々木健二, 照井伸太郎, 2015 年度精密工学会春季学術講演会, 東洋大学 (東京都・文京区), 2015/3/19

CBN 工具刃先に及ぼす電界砥粒制御研磨の効果, 田中浩, 川瀬憲嗣, 久住孝幸, 赤上陽一, 2015 年度精密工学会春季学術講演会, 東洋大学 (東京都・文京区), 2015/3/19

新たな酸化セリウム砥粒再生技術の開発及び再生装置の開発-第 2 報-, 久住孝幸, 中

村竜太, 赤上陽一, 松下大作, 照井伸太郎, 2015 年度精密工学会秋季学術講演会, 東北大学 (宮城県・仙台市), 2015/9/6

新たな酸化セリウム砥粒再生技術の開発及びその電界砥粒制御技術, 久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 池田洋, 他 2 名, 2015 年度砥粒加工学会学術講演会, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市), 2016/9/10

電界砥粒研磨技術をシーズ技術とした研究開発【招待講演】, 久住孝幸, 2016 年度精密工学会春季学術講演会, 東京理科大学 (東京都・新宿区), 2016/3/15

コロイダルシリカスラリーの電界活性化技術, 久住孝幸, 池田洋, 越後谷正見, 中村竜太, 赤上陽一, 2016 年度精密工学会春季学術講演会, 東京理科大学 (東京都・新宿区), 2016/3/16

研磨スラリーの電界活性化技術, 久住孝幸, 池田洋, 越後谷正見, 中村竜太, 赤上陽一, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会, 兵庫県立大学 (兵庫県・姫路市), 2016/9/2

新たな酸化セリウム砥粒再生技術及び再生装置の開発-第 3 報-, 久住孝幸, 池田洋, 中村竜太, 赤上陽一, 松下大作, 照井伸太郎, 2016 年度精密工学会秋季学術講演会, 茨城大学 (茨城県・水戸市), 2016/9/7

電界ラッピング技術における研磨砥粒挙動の基礎検討, 久住孝幸, 池田洋, 中村竜太, 赤上陽一, 日本機械学会第 11 回生産加工・工作機械部門講演会, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市), 2016/10/23

電界スラリー制御技術を用いた小計工具による研磨加工の基礎検討, 久住孝幸, 越後谷正見, 中村竜太, 赤上陽一, 2017 年度精密工学会春季学術講演会, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市), 2017/3/13

先端結晶材加工の技術動向と援用研磨技術【招待講演】, 千葉翔悟, 久住孝幸, 赤上陽一, 2017 年度精密工学会春季学術講演会, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市), 2017/3/13

〔産業財産権〕

取得状況 (計 3 件)

名称: 砥粒の回収方法, 及び回収装置
発明者: 赤上陽一, 久住孝幸, 池田洋
権利者: 秋田県
種類: 特許
番号: 特許第 5548860 号
登録年月日: 平成 26 年 5 月 30 日
国内外の別: 国内

名称：ゼータ電位制御法を用いた処理方法
発明者：赤上陽一, 中村竜太, 久住孝幸, 池田洋, 佐藤安弘, 南谷佳弘, 南條博
権利者：秋田県, 秋田大学
種類：特許
番号：特許 5891320 号
登録年月日：平成 28 年 2 月 26 日
国内外の別：国内

名称：酸化セリウム砥粒再生方法
発明者：赤上陽一, 久住孝幸, 松下一幸, 千葉翔悟, 佐々木健二, 佐藤六廣, 佐藤純, 尾澤伸樹, 久保百司
権利者：秋田県, サイチ工業(株), (有) さとう技研
種類：特許
番号：特許 5938589 号
登録年月日：平成 28 年 5 月 27 日
国内外の別：国内

〔その他〕

電界砥粒制御技術を用いた表面創生技術～
研磨用技術から医工連携へ～【招待講演】,
久住孝幸, 中村竜太, 赤上陽一, 理研シンポジウム第 18 回『トライボコーティングの現状と将来』シンポジウム Green tribo-coating 技術および医工連携への取り組み, 岩木賞大賞記念講演, 2016/2/ 26

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久住 孝幸 (KUSUMI, Takayuki)
秋田県産業技術センター・素形材プロセス
開発部・主任研究員
研究者番号：40370233

(2) 研究分担者

池田 洋 (IKEDA, Hiroshi) 2014 年度のみ
秋田県産業技術センター・素形材プロセス
開発部・非常勤研究員
研究者番号：90573098

(3) 連携研究者

赤上 陽一 (AKAGAMI, Yoichi)
秋田県産業技術センター・副所長
研究者番号：00373217