

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04193

研究課題名（和文）次世代半導体材料の超精密研削における砥石結合剤の粘弾性の効果

研究課題名（英文）Viscoelastic Effect of Grinding Wheel Bonding Agent in Ultra-Precision Grinding of Next-Generation Semiconductor Materials

研究代表者

大橋 一仁（Ohashi, Kazuhito）

岡山大学・自然科学学域・教授

研究者番号：10223918

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、試作した熱可塑性樹脂を結合剤とするダイヤモンド砥石で次世代半導体であるSiCウエハを研削加工し、同程度の粒度の既存結合剤の砥石では得られなかったサブナノメートルの表面粗さが得られることを明らかにした。また、同試作砥石は、研削中の砥石表面の温度により研削性能が変化し、弾性率に対する粘性率が大きくなるほど表面粗さが小さくなることが明らかになった。なお、試作砥石は無気孔であるため、砥石表面のチップポケット形成のためのドレッシング法の検討が課題であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱可塑性樹脂を砥石結合剤に用いることによって、同程度の粒度の既存結合剤砥石に比べてSiCウエハの表面粗さをかなり小さくできることはこれまでに報告されておらず、次世代半導体ウエハの高効率高精度加工技術開発につながる知見である。

研究成果の概要（英文）：By grinding SiC wafers with a prototype diamond grindstone with a thermoplastic resin binder, sub-nanometer surface roughness, which could not be obtained with a grindstone with an existing binder of the same grain size, can be obtained. In addition, in grinding with the prototype wheel, the temperature of the wheel surface during grinding affects the grinding characteristics. Since the trial grinding wheel is non-porous, it is necessary to consider a dressing method for forming chip pockets on the grinding wheel surface.

研究分野：精密加工学

キーワード：SiC 研削 熱可塑性樹脂 表面粗さ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

単結晶 SiC ウエハは、パワー半導体として Si ウエハに比べて高性能であるため、次世代パワーデバイスの素材として利用拡大が期待されている。しかし、単結晶 SiC ウエハは難削材であるため、従来の遊離砥粒を用いるラッピング加工では、加工時間が長くなり、加工コストの増大が問題とされている。そこで、加工時間を短縮するため、固定砥粒加工法である研削加工の適用が試みられている。しかし、従来のビトリファイドやレジノイドボンド砥石では、砥粒切れ刃と被削材との干渉により生じる加工変質層の深さが大きいいため、次の工程でその除去に多くの時間を要することが課題となっている。そのため、パワー半導体ウエハの高効率かつ高品質な研削加工技術が待望されている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、SiC や GaN などの次世代半導体材料のウエハを高効率かつ高品質に生産加工するため、現状の遊離砥粒加工に替わる超精密研削加工を提案し、これに用いる研削砥石の結合剤を粘弾性の観点から検討するとともに、粘弾性体を結合剤とするダイヤモンド砥石を試作し、その効果を実験的に検証することである。

### 3. 研究の方法

本研究では、熱可塑性樹脂の応力緩和特性に着目し、被削材に作用する研削抵抗の緩和が期待できる熱可塑性樹脂をボンドおよび平均粒径  $6\mu\text{m}$  の多結晶ダイヤモンドを用いた砥石を試作した。そして、熱可塑性樹脂砥石の粘弾性を評価するとともに、SiC ウエハの定圧研削実験により、砥石の研削性能を評価した。また、熱可塑性樹脂砥石特有である砥粒の挙動の観察を行った。

粘弾性の評価には、レオメータ(ティー・エイ・インスツルメント・ジャパン社、AR-2000)を用い、徐々に昇温させながらトーションビーム方式でボンドの粘弾性を評価した。粘弾性評価の主な条件は表 1 のとおりである。

SiC ウエハを湿式で定圧研削し、研削時の砥石表面温度を測定した。なお、温度測定には赤外線放射温度計を用いて、 $\text{CaF}_2$  を介して下方から測定した。なお、吸水素材によって砥石の温度測定箇所へのクーラント流入を防止し、砥石表面に付着する水分を拭き取ることで、湿式研削中の砥石表面温度測定を可能とした。測定は  $\text{CaF}_2$  などの赤外減衰率を考慮し、出力値から温度を算出した。試作砥石においてクーラント温度を  $0\sim 41$  の範囲内で変更し砥石表面温度を測定した。

試作砥石を用いて図 1 に示すように、SiC ウエハの研削実験を行った。主な実験条件を表 2 に示す。研削の際にはクーラントとして上水をスピンドル内部を介して砥石中央の穴から SiC ウエハ表面に均一に分散するように供給した。定圧研削試験における評価パラメータとして、研削後の SiC ウエハ表面粗さを Zygo 社製三次元光学プロファイラによって測定した。

また、上記研削実験と同じ条件で SiC ウエハを 3 分間研削し、研削前後における砥石表面の変化を SEM で観察し、ボンドの塑性変形に伴う砥粒挙動を捉えた。

表 1 粘弾性の評価条件

Equipment	Rheometer AR2000
Temperature	$0\sim 120^\circ\text{C}$
Force	0.3N
Frequency	1Hz
Strain	0.03%
Sample	$3\times 10\times 35\text{mm}$ (T×W×L)
Heating rate	$3^\circ\text{C}/\text{min}$

表 2 研削実験の主な条件

Wheel	Thermoplastic resin bond $\phi 20\text{mm}\times 10\text{mm}\times \phi 6\text{mm}$
Workpiece	2inch4H-SiC wafer (Si surface)
Peripheral wheel speed	2.09m/s
Peripheral workpiece speed	0.08m/s
Grinding pressure	72.62kPa
Grinding time	60min

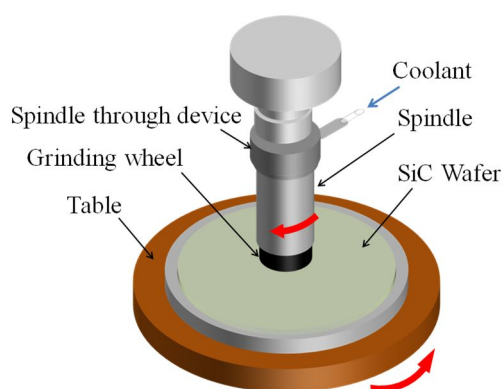


図 1 SiC ウエハ研削方法

#### 4. 研究成果

##### (1) 熱可塑性樹脂砥石の粘弾性測定結果

図2は粘弾性損失正接  $\tan\delta$  (粘性率  $G''$ / 弾性率  $G'$ ) の温度に対する変化を示している。熱可塑性樹脂ボンドは温度上昇とともに  $\tan\delta$  が上昇し、74.8 において 0.96 の最大値となった。このことは、それぞれの  $\tan\delta$  の最大となる温度環境を中心として、砥粒切れ刃から被削材に作用する研削抵抗が緩和されることを示唆している。なお、この傾向は、本報で示す試作砥石に特有の傾向であり、既存の砥石に用いられるレジノイドやビトリファイドにおいては確認できなかった。既存のボンドによる砥粒切れ刃の支持モデルは、これまで一般にボンドを弾性体とするもので、弾性率の小さいレジノイドボンド砥石が、ビトリファイド砥石より、研削時の砥粒切れ刃の高さが揃いやすい傾向にあり、表面粗さには有利とされてきた。しかし、ボンドの粘弾性に著しい特徴を有する本報の試作砥石では、砥粒切れ刃の作用に  $\tan\delta$  が関与すると考えられる。上記の結果は、粘弾性体のボンドによって砥粒切れ刃が支持される新たな概念の可能性を伺わせるものである。

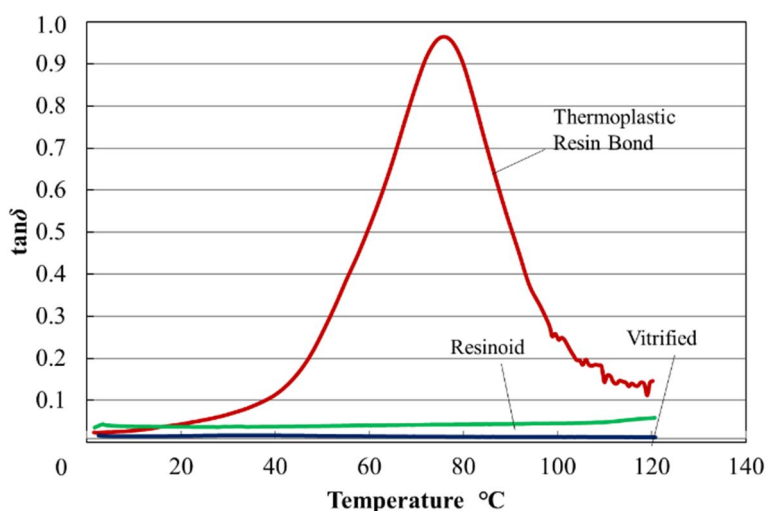


図2 結合剤の粘弾性

##### (2) 熱可塑性樹脂砥石の砥石表面温度測定

図3に試作砥石でSiCウエハを定圧研削する際のクーラント温度と砥石表面温度との関係を示す。水温が高い条件で研削するほど、砥石表面温度も高くなり、砥石表面温度は高くなる傾向がみられた。この結果を基に、砥石作用面の温度を推定した。

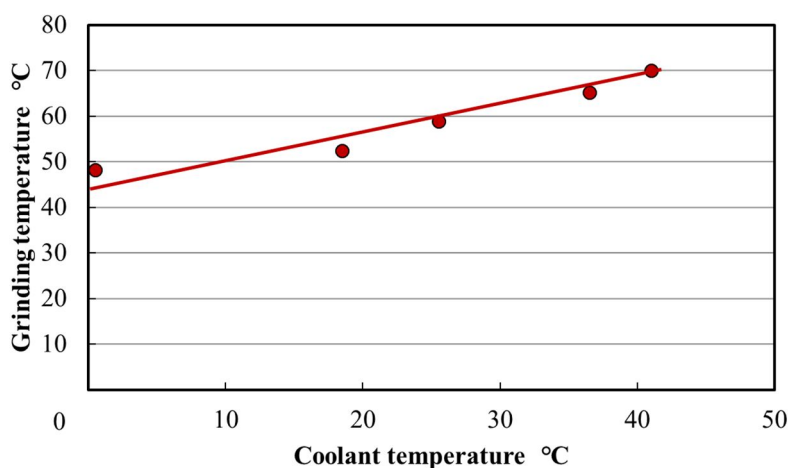


図3 砥石表面温度

### (3) SiC ウエハの砥石表面粗さ

図 4 に SiC ウエハの  $\tan\delta$  と表面粗さ  $Ra$  の関係を示す。  $\tan\delta$  は図 1 の温度依存性の結果と図 3 の砥石表面温度測定の結果から算出した。  $\tan\delta$  が大きいほど表面粗さは減少する傾向にあることがわかる。 また、表面粗さは CMP 工程へ移行する目安となる 1nm  $Ra$  以下が得られた。 この結果から、水温を変化させ、ボンドの  $\tan\delta$  の値を大きくすることで、SiC ウエハ研削面粗さが良好になることが明らかになった。これは、既存の砥石にはない粘弾性の効果により、砥粒切れ刃から被削材に作用する研削抵抗が緩和されることで、加工時の SiC ウエハへのダメージが軽減され、表面粗さが良好になったと考えられる。

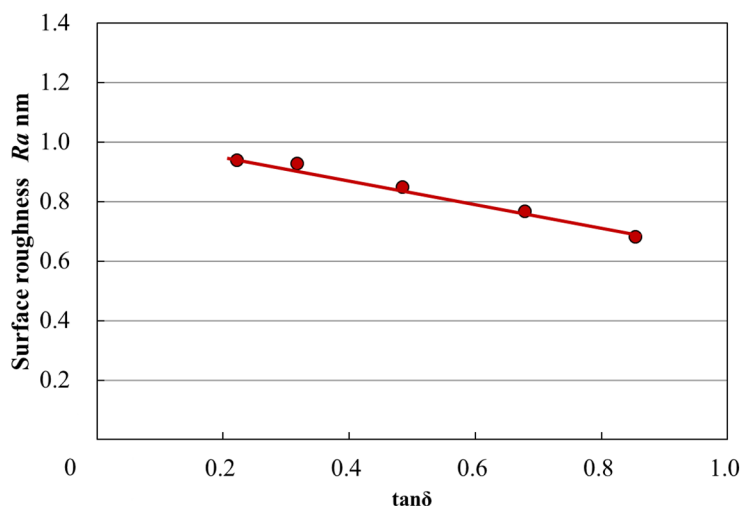


図 4 SiC ウエハ表面粗さ

### (4) ボンドの塑性変形に伴う砥粒挙動

研削前後の砥石表面を SEM により観察した結果、既存の砥石には見られない研削による砥粒のわずかな移動が確認された。図 5 にその概略を示す。砥石表面の砥粒の内、砥粒切れ刃として作用していると思われるものは、砥石の回転方向と逆の方向にわずかに移動していることが確認され、その移動量は 3min の研削でサブミクロンレベルであった。また、研削による砥粒の脱落も確認された。これは、研削熱により、砥粒を支持する熱可塑性樹脂ボンドが軟化し、砥粒切れ刃に研削方向と反対方向の力が作用するため、ボンドの塑性変形によって砥粒が加工抵抗の作用方向に周囲のボンドの塑性変形を伴わずかに変位したと考えられる。

図 6 に砥粒の砥石径方向の位置と砥粒の変位量との関係を示す。砥石の中心からの距離が増加するにつれて、砥粒変位量は増加する。これは、外周に近い砥粒ほど、周速度が増加することによって砥粒に作用する研削エネルギーが増加するためと考えられる。また、 $\tan\delta$  が大きくなるほど、砥粒の変位量も大きくなる。以上の結果から、 $\tan\delta$  が大きい条件で研削する場合、ボンドの塑性変形に伴う砥粒の変位によって、良好な表面粗さを得られることがわかった。

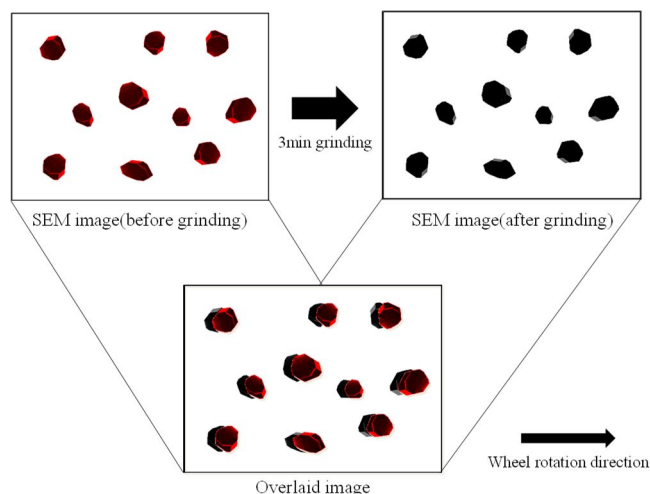


図 5 研削による砥石表面の変化形態の概略

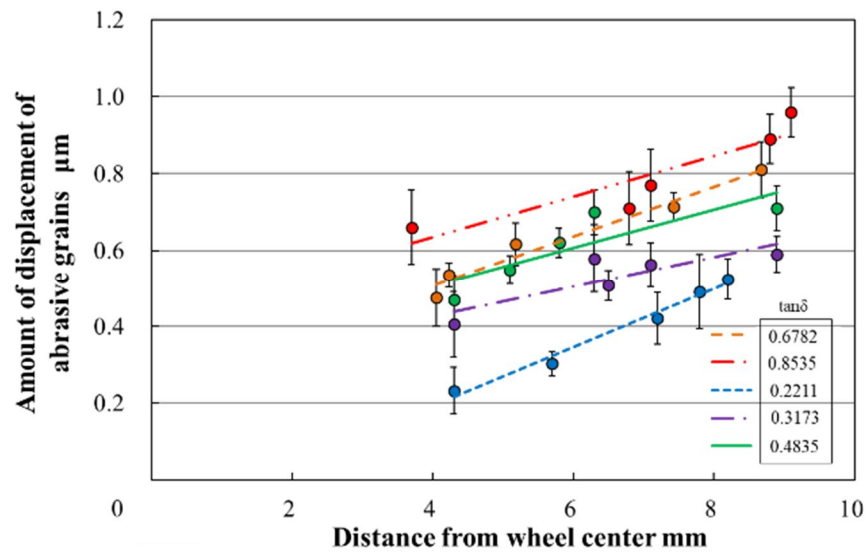


図 6 砥粒変位置量

なお、試作砥石は砥石層に気孔を持たないため、ドレッシングによる適度なチップポケットの形成が更なる課題であることがわかった。

<引用文献>

中島利勝, 宇野義幸, 森谷 守: レジノイド砥石の研削性能に関する研究(第1報) アルミニウム粉混入無気孔砥石の特性, 精密機械, 47, 10 (1981) 12

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yi Zhang, Kohei Muta, Kaito Yamada, Takashi Onishi, Kazuhito Ohashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation of behavior of abrasive grains in superfinishing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of 2022 International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (2022 IC3MT)	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Sakamoto, Y. Fukushima, K. Sakai, H. Kodama, K. Ohashi	4. 巻
2. 論文標題 Effect of Viscoelasticity of Thermoplastic Resin Bonded Wheel on Ultra-Precision Grinding of SiC Wafers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 23rd International Symposium on Advances in Abrasive Technology	6. 最初と最後の頁 193-198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yi Zhang, Kohei Muta, Kaito Yamada, Takashi Onishi, Kazuhito Ohashi
2. 発表標題 Investigation of behavior of abrasive grains in superfinishing
3. 学会等名 2022 International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (2022 IC3MT) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Sakamoto, Y. Fukushima, K. Sakai, H. Kodama, K. Ohashi
2. 発表標題 Effect of Viscoelasticity of Thermoplastic Resin Bonded Wheel on Ultra-Precision Grinding of SiC Wafers
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福嶋洋志, 小川和範, 坂井孝三, 児玉紘幸, 大橋一仁
2. 発表標題 SiCウェハの精密研削における熱可塑性樹脂ボンド砥石の砥粒挙動に基づく研削特性の検討
3. 学会等名 2020年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	児玉 紘幸  (Kodama Hiroyuki)  (60743755)	岡山大学・自然科学学域・講師   (15301)	
研究分担者	大西 孝  (Onishi Takashi)  (90630830)	岡山大学・自然科学学域・助教   (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------