

2022年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「半導体基板の高能率・高品質研磨加工を実現する粘弾性・熱可塑性樹脂ボンド砥石の開発」

[岡山大学学術研究院自然科学学域・研究教授] [大橋 一仁]

1. はじめに

情報化社会が今日ではますます加速しており、それに伴うデータ通信の高速、大容量化が求められている。そのため、5G 通信規格がさらに普及し、やがてそれに続く通信規格の実用化も期待されているが、これに対応する情報端末や発信器等に不可欠な通信用半導体の量産技術の開発が求められている。情報通信機器に搭載される各種フィルタや発信器等の SAW〔Surface Acoustic Wave; 表面弾性波〕デバイスに用いるタンタル酸リチウムおよびニオブ酸リチウム (LT/LN) 等の化合物半導体基板や、これら基板への回路形成時に接合するサファイアやアルミナ系セラミック等の高硬度難削性サポート基板についても高能率かつ高品質な研磨加工技術が急務の課題となっている。この課題を解決するために、既存の遊離砥粒を用いる研磨加工技術をベースにした研究がなされているが、遊離砥粒加工法では加工速度の限界の問題に直面している。また、固定砥粒による研磨加工法の検討も実施されてきたが、既存の砥石を用いる限りでは如何に砥粒径を小さくすれども遊離砥粒加工法に匹敵する加工面品質を実現することは不可能で、表面粗さや加工ダメージ層の問題を十分にクリアせず、加工品質の面で本格的な実用化に至っていない。

そこで、この原因が砥石の砥粒を支持するボンド(結合剤)の材料特性にあることに着目し、新たな研削砥石の開発も含めて研究を実施した。すなわち、既存砥石のボンドは主に熱硬化あるいは焼結材料であり、そのヤング率にかかわらず砥粒の切込みに伴う加工抵抗がそのままウエハ表面に作用するためダメージ層も生成され、要求される加工面品質に到達しないが、これに対し、粘弾性を有する熱可塑性樹脂をボンドに用いると応力緩和により加工抵抗が軽減されることで、基板の高品質な研磨加工が高能率に実現できると考えた。また、熱可塑性樹脂は、温度による粘弾性の変化が顕著であり、加工条件を制御することによって基板への砥石の作用が変化することが想定される。そこで、通信用半導体関連基板の高能率・高品質固定砥粒研磨加工技術を開発することを目的として、新たな熱可塑性樹脂をボンドに用いた微粉研磨砥石の開発とともに、これを用いた加工特性を実験的に検討した。

2. 概要

既存砥石による固定砥粒加工の問題の原因が砥石の砥粒を支持するボンド(結合剤)の材料特性にあることに着目し、新たな研削砥石の開発も含めて研究を実施した。すなわち、既存砥石のボンドは主に熱硬化あるいは焼結材料であり、そのヤング率にかかわらず砥粒の切込みに伴う加工抵抗がそのままウエハ表面に作用するためダメージ層も生成され、要求される加工面品質に到達しないが、これに対し、粘弾性を有する熱可塑性樹脂をボンドに用いると応力緩和により加工抵抗が軽減されることで、基板の高品質な研磨加工が高能率に実現できると考えた。また、熱可塑性樹脂は、温度による粘弾性の変化が顕著であり、加工条件を制御することによって基板への砥石の作用が変化することが想定される。そこで、通信デバイス基板に用いられるアルミナ系セラミックを対象とした高能率・高品質固定砥粒研磨加工技術を開発することを目的として、新たな熱可塑性樹脂をボンドに用いた微粉研磨砥石の開発とともに、これを用いた加工特性を実験的に検討した。

3. 研究成果および今後の課題

3.1 熱可塑性結合剤の材料特性の検討

砥石結合剤に使用する熱可塑性樹脂の材料特性を把握するため、動的粘弾性測定装置 AR2000(TA

インストゥルメント社)を用いてトーション方式の粘弾性評価試験を行った。本試験では、粘弾性の損失弾性率と貯蔵弾性率および両者の比率を表す $\tan \delta$ を測定した。図 1 に本研究で試作した熱可塑性結合剤と既存結合剤であるビトリファイドおよびレジノイドの $\tan \delta$ の測定結果を示す。既存結合剤の $\tan \delta$ は、温度にほとんど影響されず $\tan \delta$ は極めて小さいが、本研究で用いた熱可塑性結合剤は、温度によって $\tan \delta$ が大きく変化すること確認できた。 $\tan \delta$ の値が大きい結合剤ほど、損失弾性率の割合が高くなり、基板に作用する加工圧を低減する効果が期待できるため、本研究では、砥粒に単結晶ダイヤモンド(8-16 μm)を採用し、熱可塑性結合剤 α を用いて図 2 に示す粘弾性・熱可塑性樹脂ボンド砥石を試作した。

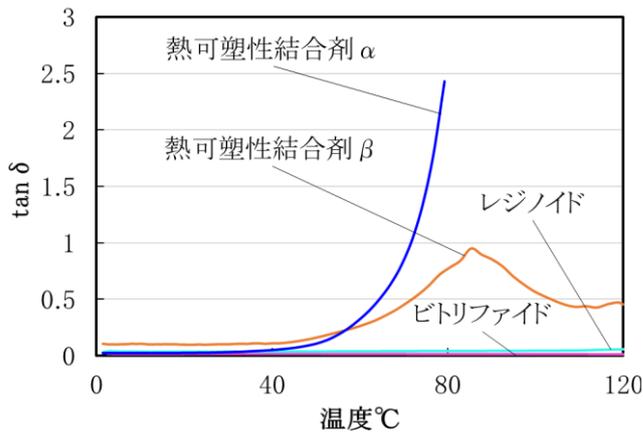


図 2. 熱可塑性樹脂ボンド砥石

図 1. 粘弾性試験による $\tan \delta$ への温度の影響

3.2 研磨雰囲気温度による研磨性能への影響

図 1 に示したように、試作した熱可塑性樹脂ボンド砥石は、温度により著しくその特性を変化させる性質を持っているため、本実験では、クーラント温度により研磨雰囲気温度を制御し、最適な研磨条件を検討した。試作した砥石定盤を GC#800, 2000 を用いて面出しを行い、格子状の溝加工を施した。図 3 に本実験で使用した設備と実験方法を示す。主な実験条件は、表 1 に示すとおりである。また、研磨後のアルミナ系セラミックウエハは図 4 に示す外周部 4 か所 A~D のウエハ厚をマイクロメータで測定することで加工レートを評価し、レーザ顕微鏡と触針式粗さ計を用いてウエハ中央部と外周部の表面観察および表面粗さ測定を実施した。

表 1. 実験条件

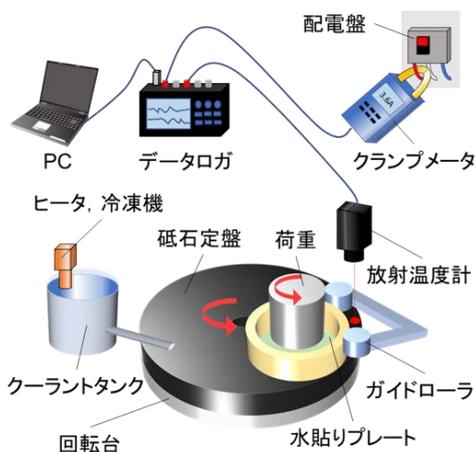


図 3. 研磨実験装置と方法

砥石定盤	砥粒	単結晶ダイヤモンド8-16 μm
	結合剤	熱可塑性結合剤 α
	外形, 内径, 高さ	300, 75, 10mm (Φ , Φ , H)
	集中度	50
ウエハ	軟化点	145 $^{\circ}\text{C}$
	材料	アルミナ系セラミック
	直径	4inc
クーラント	表面粗さ	0.34~0.36Ra
	種類	水
	流量	200ml/min
	温度	0 $^{\circ}\text{C}$ 40 $^{\circ}\text{C}$
	回転数	60rpm
荷重	重量	5.54kg
	面圧	70g/cm 2
	研磨時間	0~120min
	室温	6~24 $^{\circ}\text{C}$

図 4 にクーラント温度による加工レートへの影響を示す。研磨開始後 1min の研磨レートが、クーラント温度 0℃では 100 $\mu\text{m}/\text{h}$ なのに対し、40℃では 80 $\mu\text{m}/\text{h}$ であった。しかし、両条件ともに研磨開始から 3 分以降の研磨レートが著しく低下し、ほとんど研磨能力が認められなかった。図 5 にウエハ表面の観察結果を示す。クーラント温度 0℃と常温においては、研磨時間に比例して、平坦箇所の面積が大きくなっていることが確認できたが前加工のダメージ層を完全に取り除くまでには至らなかった。しかし、クーラント温度 0℃で 120min 研磨後のウエハ平坦箇所を Zygo 社 NewView7300 で測定した結果、部分的にはあるが表面粗さ 1nmRa の超精密研磨面が認められた。

また、図 6 に 120min 研磨後の砥石表面の観察結果を示す。クーラント温度 0℃で研磨した砥石

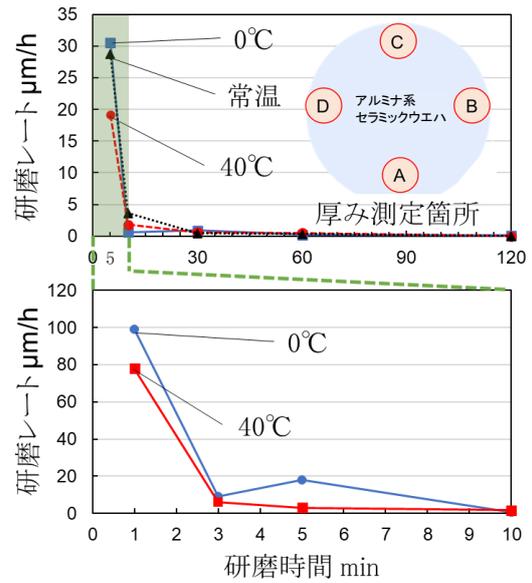


図 4. 研磨雰囲気温度と研磨レートの関係

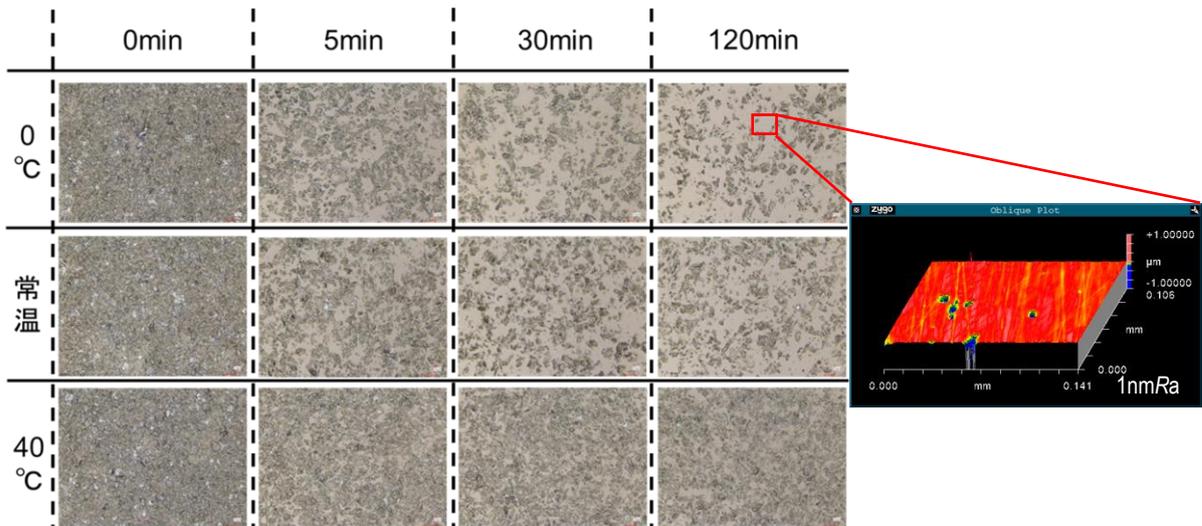


図 5. ウエハ研磨面性状(ウエハ中央)

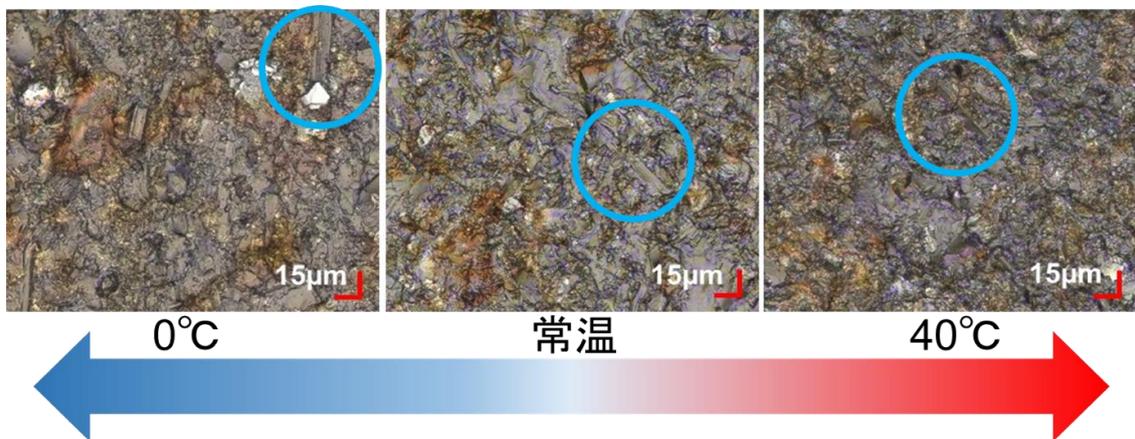


図 6. 120min 研磨後の砥石表面性状

表面では、熱可塑性樹脂の砥粒保持力が大きいため、加工抵抗により砥粒が砥石表面を研磨方向に移動するものの砥石表面に留まり、結果的に研磨レートも大きくなったと思われる。一方、クーラント温度40℃の砥石表面においては、砥粒が研磨方向に移動した痕跡は確認できたが、熱可塑性樹脂の砥粒保持力が小さいため砥粒が脱落し、研磨レートが低下したと思われる。以上のことから、今後は樹脂の配合を見直し、砥粒保持力がより高い組成の砥石を試作する予定である。また、前加工面のダメージ層を取り除くまで加工レートを持続させるため、適切な粒度のダイヤモンド砥粒の検討も併せて実施予定である。

4. おわりに

本研究では、通信デバイス基板の研磨工程の高エネルギー・高品質化を目的として、砥石に使用する熱可塑性樹脂の物性評価と研磨実験の結果を元にした熱可塑性樹脂ボンド砥石を試作し、その研磨性能・最適研磨条件の検討を行った。加工エネルギーの観点からは、従来の遊離砥粒加工法を大幅に上回る加工レートが得られ、固定砥粒加工としての有効性を確認することができた。また、研磨雰囲気温度により研磨性能が変化し、研磨雰囲気温度が低いほど高い研磨性能を示すことが明らかとなった。一方、砥石切れ味の持続性など、実用化に向けて検討すべき課題が明らかとなった。

5. 本研究の今後の計画

他の熱可塑性樹脂や配合を変えた砥石を試作し、粘弾性試験による $\tan \delta$ と研磨性能の相関関係を検討する。また、ダイヤモンド砥粒の粒径を大きくすることで研磨性能の持続性を向上させるとともに、研磨雰囲気の温度制御による研磨性能への効果発現の検証を行い、粗加工から仕上げ加工に加工モードをシフトさせるハイブリッドな研磨工程の実現を検討する。さらに、これらの成果を生産現場に実装するため砥石の大型化を図り、本技術の実用化を目指す。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

検討中

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

データ等を補足整理して論文投稿を考慮中

(3) 本研究会の参加企業・団体名

株式会社新興製作所



この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp>