

◇ 砥粒加工学会技術賞 紹介記事 ◇

難加工結晶材料の高効率鏡面研磨加工技術の開発

Development of highly efficient mirror polishing technology for difficult-to-process crystalline materials

佐藤 誠\*, 奥田和弘\*, 北嶋翔太\*, 北嶋舞子\*

Makoto SATO, Kazuhiro OKUDA, Shota KITAJIMA and Maiko KITAJIMA

Key words : SiC, polishing, wide gap semiconductor, power device, CMP, KMnO4

1. 緒言

CO<sub>2</sub> 排出削減に関する取り組みが活発化するなか、電動車や、(電気)鉄道などに注目が集まっている。これらのモーター制御装置には、パワー半導体という電力を制御する部品が使われ、この部品には現在シリコン単結晶基板が主として用いられている。しかしながらシリコン単結晶基板から作られたパワー半導体は制御する電力の多くを熱エネルギーに変えてしまい効率が悪い。このため発熱量が少なく効率的で小型化が可能な SiC(シリコンカーバイド)単結晶を用いたパワー半導体が今後の主流になろうとしている。この SiC 単結晶でパワー半導体を作るには、SiC 単結晶ウェーハを作る必要があるが、シリコン単結晶ウェーハに比べて高価である。その原因の 1 つに加工コストが高つくという点が挙げられる。SiC 単結晶ウェーハはその表面を鏡面状に加工する必要があるが、SiC 単結晶はダイヤモンドや cBN(立方晶窒化ケイ素)に次ぐ非常に硬い素材である。このため、何段階にも分けて加工し、最終段階で研磨加工を行い鏡面化する。しかしながら従来の研磨加工方式では大変時間がかかり、高コストの要因の 1 つとなり、量産化の妨げになっていた。SiC 単結晶ウェーハ(SiC ウェーハ)の量産化、ひいては SiC パワー半導体の普及を目指して、研磨加工プロセスの高効率化技術の開発を開始した。

2. 適用分野とその課題

本技術は、先に述べたように SiC ウェーハの鏡面化加工の最終プロセス(CMP)における技術である。図 1 にそのプロセスの一例を示す。ここで CMP という用語は半導体デバイスにおける多層配線プロセスにも用いられているが、(SiC ウェーハの鏡面化プロセスでよく用いられているように)ここでは鏡面化加工の最終プロセスにおける化学的作用が絡んだ機械的研磨という意味で使用される。

本技術開発以前は、この最終プロセスに時間を取られ SiC ウェーハの加工コストの大きな部分を占めていた。このため SiC ウェーハの CMP プロセスの高効率化のため、さまざまな試みがなされてきた。研磨スラリーに酸化剤(過酸化水素など)を混入させて研磨したり、砥粒として酸化触媒性があるもの(例えば酸化クロムや酸化セリウム)を使用したり、光触媒を援用する方法も試みられ、ある程度の効果は確認されたが、劇的な高効率化はできなかった。

このため加工方式そのものを新しく開発する試みも多くなされた。しかしながら新たな設備導入(設備投資)を必要とするため、SiC ウェーハの量産化促進のためには負荷要因となり、現時点で SiC ウェーハはシリコンウェーハを超えるような急速な普及には至っていない。本技術開発により、ようやく量産が開始され始めたという段階である。

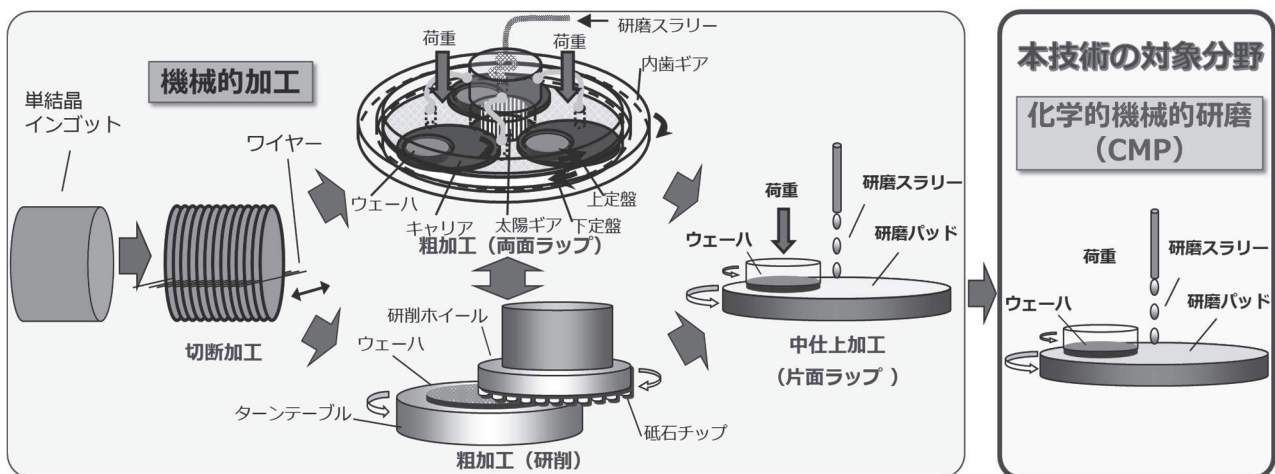


図 1 SiC 単結晶ウェーハの製造プロセス例

\* ノリタケ株式会社:〒470-0293 愛知県みよし市三好町東山300  
(学会受付日:2024年12月 1日)

### 3. 技術の構成

#### 3.1 過マンガン酸カリウム援用研磨の開発

本技術開発を行うに当たり、できる限り従来設備(研磨機)を使用できることを基本として開発を行った。そのなかで高能率化に対し効果がなかった各種の酸化剤のうち、過マンガン酸カリウム(過マンガン酸塩)のみが、使用条件を限定することにより高能率化を実現できることを見出し、2006年春に学会発表した<sup>2)</sup>。

本技術は遊離砥粒研磨における過マンガン酸カリウムの援用研磨と、砥粒内包研磨パッドに対し過マンガン酸カリウム水溶液を援用する研磨の2つのタイプから構成されている。

#### 3.2 遊離砥粒による過マンガン酸カリウム援用研磨

まず、遊離砥粒研磨に過マンガン酸カリウムを援用するタイプであるが、シリカ砥粒の入った研磨スラリーに高能率化に効果がある過マンガン酸カリウムを溶解させ、pHと酸化還元電位(ORP: Oxidation-Reduction Potential)とを変化させて研磨した結果を図2に示す。ただし図2のORPは水素電極基準値に変換した値である。

図2の破線(SiCのpH-ORP相関線)より上側がSiCに対し酸化性があるエリアであるが、酸化性があるエリアもしくは還元性があるエリア(破線の下側)が一様に研磨性能の高低があるわけではない。pHが低くORPが高いエリアでは研磨レートが援用しないもより3倍以上高い。また、pHが非常に低いエリアとpHが高くORPが高いエリアでは表面粗さが低くなって

いる。これらのことから、遊離砥粒による過マンガン酸カリウム援用研磨では研磨レートと表面粗さを両立させるエリアはpHが低くORPが高いエリアと弱アルカリでORPが高いエリアとなる。

このタイプは非常に手軽にSiCウェーハの高能率鏡面研磨ができ、酸化対策をすれば従来研磨機で使用できる。またこのタイプの技術は公開技術としたので過マンガン酸カリウム(過マンガン酸塩類)以外の添加剤が入っていない場合、知的財産権は存在しない。

#### 3.3 砥粒内包研磨パッドによる過マンガン酸カリウム援用研磨

もう1つのタイプである砥粒内包研磨パッドによる過マンガン酸カリウム援用研磨では、遊離砥粒による過マンガン酸カリウム援用研磨よりさらに高能率研磨が可能である。援用する研磨液のpHとORP(水素電極基準値に変換した値)とを変化させて研磨した結果を図3に示す。

こちら図2と同様に、図3の破線(SiCのpH-ORP相関線)より上側がSiCに対し酸化性があるエリアであるが、酸化性があるエリアもしくは還元性があるエリア(破線の下側)が一様に研磨性能の高低があるわけではない。pHが中性から強酸性でORPが高いエリアでは研磨レートが援用しないもより4~5倍高い。また、pHが低くORPも低いエリアとpHが中性から弱酸性なエリアでは表面粗さが低くなっている。これらのことから、砥粒内包研磨パッドによる過マンガン酸カリウム援用研

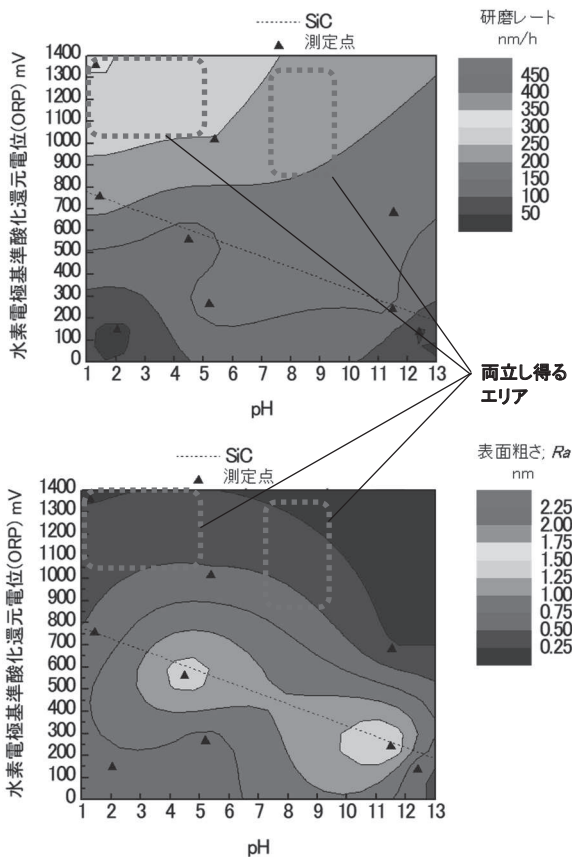


図2 pH-酸化還元電位と研磨性能との関係  
(遊離砥粒研磨)<sup>3)</sup>

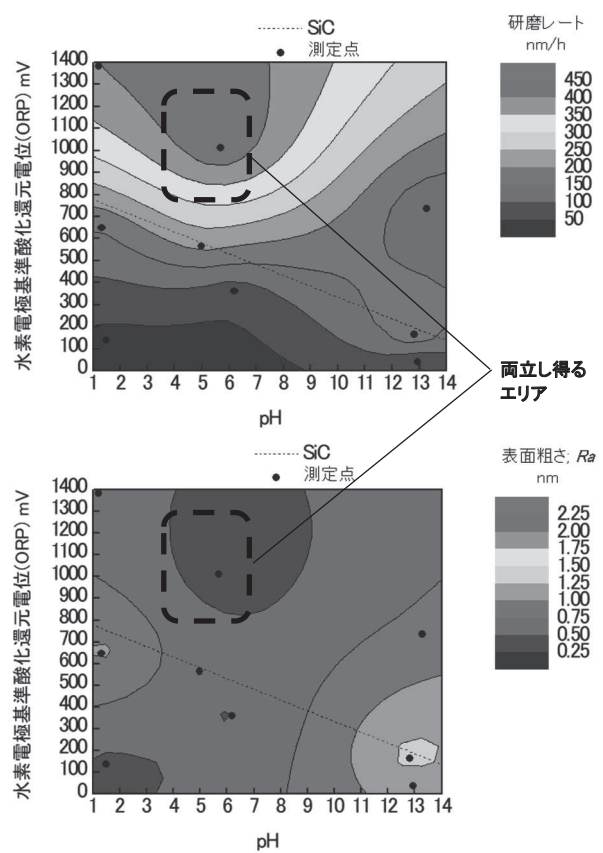


図3 pH-酸化還元電位と研磨性能との関係  
(砥粒内包研磨パッドによる研磨)<sup>3)</sup>

磨における研磨レートと表面粗さを両立させるエリアは pH が中性から弱酸性で ORP が高いエリアとなる。

こちらのタイプの研磨は図 4 に示す砥粒内包研磨パッドを用いる必要があるが、研磨レートが非常に高く砥粒の入っていない研磨液のみを使用するため、異物除去フィルターの入った循環系で液を循環させながら研磨を行うことが容易である。これに対し研磨スラリーを用いた場合は、研磨スラリー中の砥粒の大きさより細かい目のフィルターを用いることができなため、フィルターの目開きの大きさを砥粒の大きさに合わせると砥粒と同サイズ以下の大きさの異物がフィルターを通過してしまう可能性がある(図 5 参照のこと)。

さらに、遊離砥粒研磨では使用後の研磨スラリー中の砥粒は廃棄物となるが、砥粒内包研磨パッドでは内包されている砥粒しか使用せず、パッドのドレス時に生ずる廃棄砥粒(廃棄物)が生ずるのみなので環境負荷も少ない<sup>4)</sup>。

### 3.4 過マンガン酸カリウム援用研磨のメカニズム

SiC ウェーハに対し過マンガン酸カリウム(過マンガン酸塩系酸化物)のみが高い研磨レートを実現できる理由であるが、過マンガン酸カリウム水溶液から過マンガン酸カリウムが析出し、その析出した粒子がメカノケミカル反応を起こしながら研磨が進むものと考えられる。研磨スラリーや砥粒内包研磨パッド中の砥粒は析出物を SiC ウェーハに強く押し付けメカノケミ

カル反応を誘発する役割を担っているものと考えられる<sup>5)</sup>。

図 6 に示すように遊離砥粒による過マンガン酸カリウム援用研磨を行う際に研磨パッドとしてポリウレタン樹脂を代表とする従来樹脂を用いた場合、二酸化マンガ粒子が多く析出する。二酸化マンガは過マンガン酸カリウムと比較すると酸化力が低いため、メカノケミカル反応が弱く研磨レートが低くなる。これに対し、図 7 に示す砥粒内包研磨パッドを用いて過マンガン酸カリウム援用研磨を行うと二酸化マンガが析出しにくく過マンガン酸カリウムが効率的に析出するため研磨レートが高くなる。

図 8 に砥粒内包研磨パッド上への過マンガン酸カリウムの析出の実例 SEM 写真を示す。pH と ORP によりこの過マンガン酸カリウムの析出状態が変化することにより研磨性能も変わるものと考えられる<sup>5)</sup>。

### 4. 従来技術との比較

図 9 にφ900mm の研磨パッドにおける6インチ SiC ウェーハへの研磨の従来技術(従来研磨)との性能比較を示す。技術開発を始めた当初は従来技術の研磨レートに対し数倍程度であったが、研磨液の pH や ORP の最適化により、現在では10倍から16倍程度の研磨レートが得られるようになった。また、表面粗さも Ra で 0.1nm 以下を実現できるようになった。

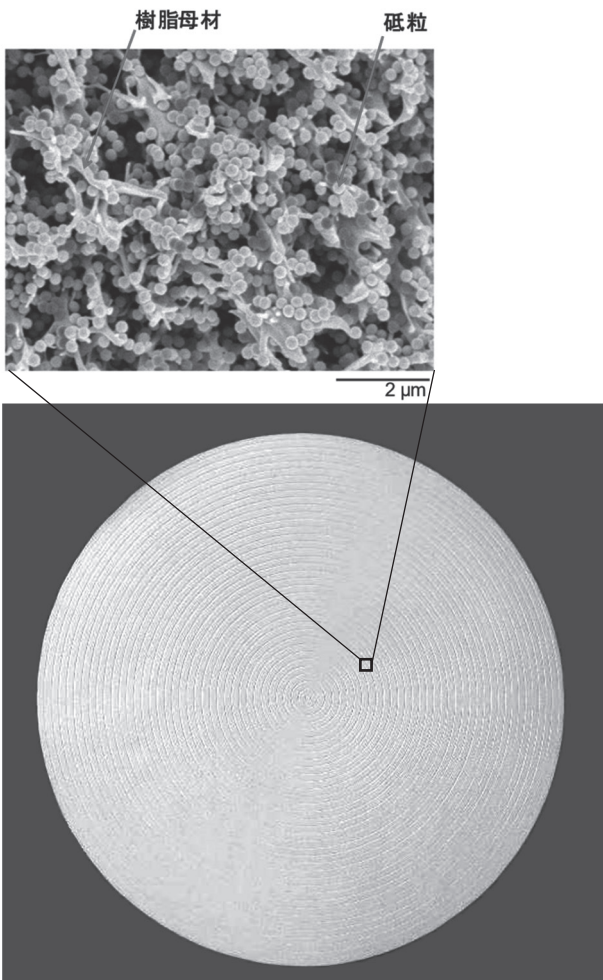
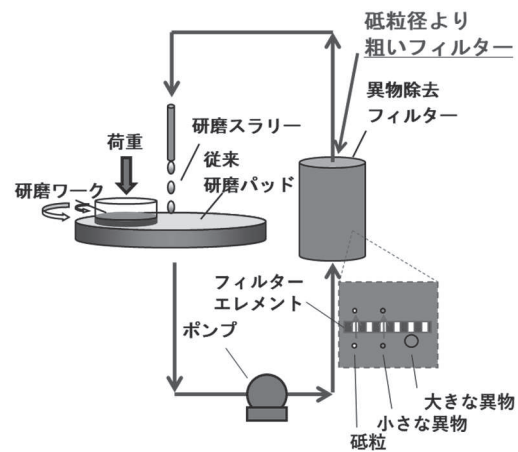
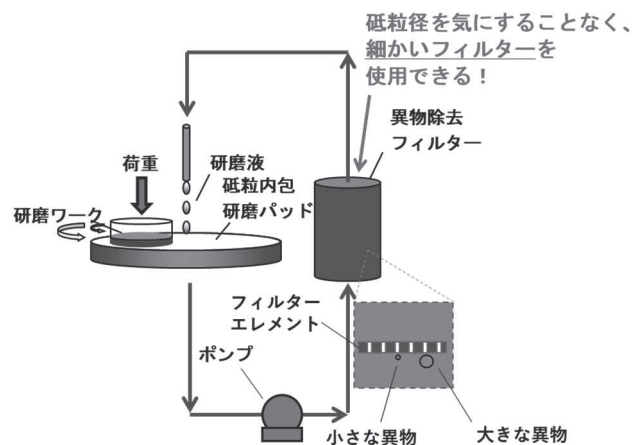


図 4 砥粒内包研磨パッドの外観と拡大写真



(a) 遊離砥粒研磨の場合



(b) 砥粒内包研磨パッドの場合

図 5 液循環研磨を行う場合

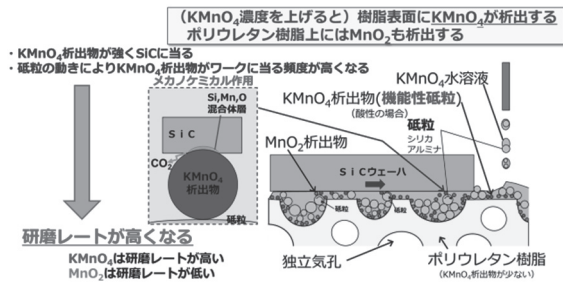


図6 遊離砥粒研磨による過マンガン酸カリウム援用研磨のメカニズム

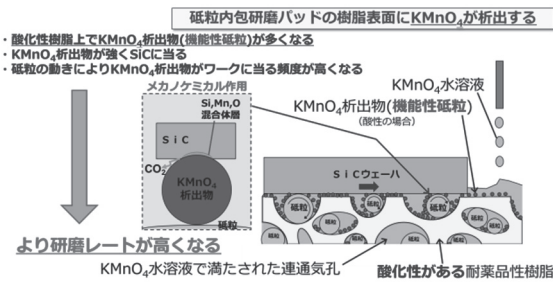


図7 砥粒内包研磨パッドによる過マンガン酸カリウム援用研磨のメカニズム

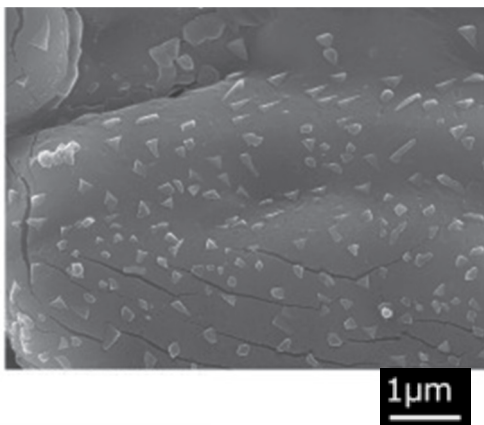


図8 研磨パッドに析出した過マンガン酸カリウム<sup>5)</sup>

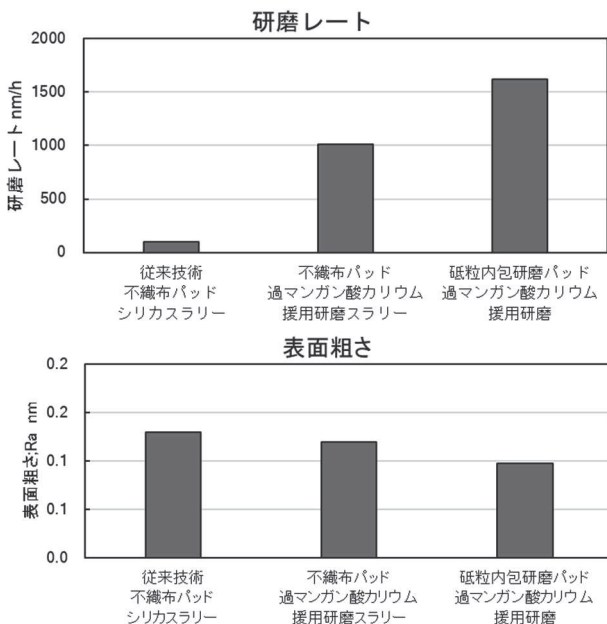


図9 従来技術との研磨性能の比較<sup>6)7)</sup>

## 5. 結言

本技術は難加工材料である SiC 単結晶に対し高能率研磨を実現させるため、過マンガン酸カリウム(過マンガン酸塩)を析出させながら、その析出物を用いてメカノケミカル反応を起こさせながら研磨を行うという技術である。この仕組みを用いることにより、従来の設備を利用できるよう(新規設備投資が不要)になり、SiC ウェーハ量産の立ち上げをスムーズに行うことができた。これにより SiC パワーデバイスの量産化へ貢献し、結果的に CO<sub>2</sub> 削減にも寄与できている。

また、本技術を GaN ウェーハ研磨へ応用した技術<sup>8)</sup>やダイヤモンドウェーハへの適用についても研究中である。今後、これらの難加工材料の鏡面化に適用をすすめ、新たなデファクトスタンダード研磨技術の開発を進めていきたい。

## 6. 参考文献

- 1) 渡邊純二, 黒田規敬, 藤本誠, 江龍修:加工表面の分析評価に基づいた SiC 半導体の加工メカニズムの研究, 2002 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, 140.
- 2) 佐藤誠, 奥田和弘:砥粒内包研磨パッドの開発(3), 2006 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2006), 555.
- 3) Makoto Sato and Kazuhiro Okuda: Polishing of Single Crystal SiC with LHA Pad, Towards Synthesis of Micro-/Nano-systems [The 11th International Conference on Precision Engineering (ICPE2006) conference paper] (5), 271.
- 4) Makoto Sato, Toru Nonami and Junji Ishizaki: Polishing pad with loose held abrasive structure, Journal of the Ceramic Society of Japan, 112, 5 (2004), s1341.
- 5) 特許第 7409815 号「半導体ウェーハの研磨方法」, 佐藤誠, 北嶋将太, 北嶋舞子.
- 6) 佐藤 誠: 半固定砥粒研磨パッド“LHA パッド”と SiC 単結晶の研磨, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL(2018),62.
- 7) 佐藤 誠: 鏡面仕上げ用具の進化半固定砥粒研磨パッド(Loosely Held Abrasive 構造)による鏡面研磨メカニズム, 砥粒加工学会誌,65,8(2021), 417.
- 8) 特許第 6420939 号「GaN 単結晶材料の研磨加工方法」, 佐藤誠, 北嶋将太, 高橋舞子.