



[著者] 佐藤 誠
開発・技術本部 研究開発センター
研磨開発グループ

産業廃棄物削減に貢献する 半固定砥粒研磨工具

新しい半導体材料であるSiCで作られたパワーデバイスは、高性能である^①にも拘らず高コストが原因でまだまだ普及率が低い状態です。この高コストの原因の一端であるSiCの研磨加工に対し、ノリタケは“LHAパッド”^{②③}と新しい加工方法^{④⑤}を開発し、コスト低減のみならず産業廃棄物の大幅削減に貢献します。

砥粒入り研磨スラリーを使わない
半固定砥粒研磨工具

LHAパッド 特許取得済

[適用範囲]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Al・Cuなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
		●		●

[期待効果]

CO2削減効果	廃棄物削減効果	サイクルタイム短縮	加工品質向上	作業性改善
	●	●	●	●



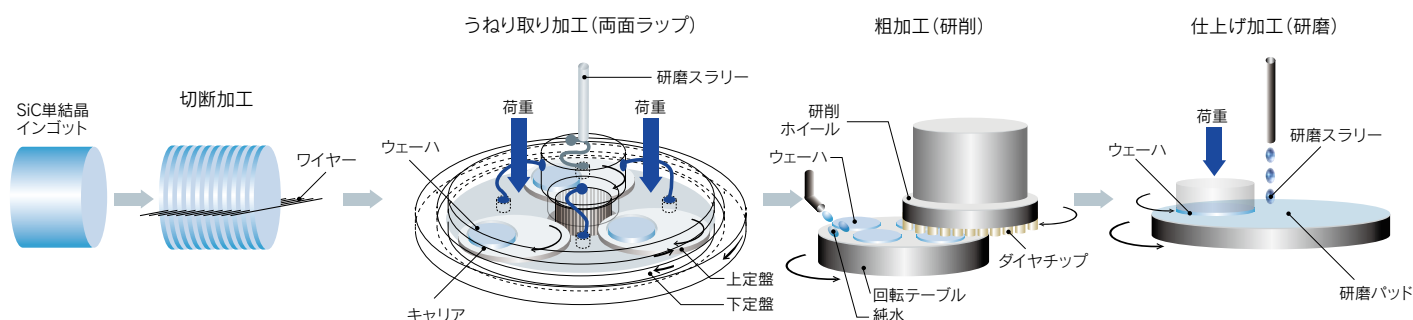
新しい半導体材料SiCは高価？

次世代自動車※や電車などの電力を制御するパワーデバイス用半導体材料はシリコンが主流ですが、これに変わる新しい材料としてSiC、GaN、Ga₂O₃、ダイヤモンド等が挙げられ、中でもSiCの量産化が先行しています。

SiCは従来のシリコンに比べて優れた特徴をいくつも持っています。例えばエネルギー損失が少ないパワーデバイスを作ることが可能である他、高耐熱なパワーデバイス※を作ることにも可能です。このようなSiCですが、現時点では高価なため、パワーデバイス市場の20分の1程度しか普及していません^⑥。SiCウェーハの価格はシリコンウェーハの50～60倍程度と非常に高価です^⑦。その原因の一つとして、結晶成長に昇華法が使われている場合が多く、シリコンより歩留まりが悪いことが挙げられます。もう一つの大きな要因は、加工に多くの時間とコストを要することです。

SiCの加工プロセスの一例を図1に示します。中でも仕上げ加工（研磨）は、SiCウェーハの最終品質を決めるプロセスなので、より慎重に長い時間をかけて行われます。特に従来方法の遊離砥粒研磨は、長時間の加工中で研磨スラリー（即ち研磨液と砥粒）と研磨パッド（もしくは研磨定盤）の消費量が多く、多量の産業廃棄物を排出することになります。そのため研磨を短時間で行うことができれば、大幅な環境負荷低減と、サイクルタイム短縮による生産性向上からコスト低減に繋がります。そこで、ノリタケではこれらの課題に対応するためLHAパッドを開発しました。

図1 SiCウェーハの加工プロセスの一例



LHAパッドってどんなもの？

まず従来方法の遊離砥粒研磨と固定砥粒研磨について解説します。遊離砥粒研磨には、砥粒が働く場所である研磨パッド（もしくは研磨定盤）と、砥粒を均質に分布させ、その働きを補助・支援する研磨液が必要です。一般的な研磨は図2のような構成で、砥粒と研磨液をセットにした研磨スラリーを研磨パッド（もしくは研磨定盤）に掛けながら行われます。この時、砥粒は転がりながら研磨が進みます。ただし図3の(a)のようにワーク外周付近では砥粒の密度上昇とともに砥粒の回転が悪化し、研磨レートの部分的上昇が生じるため平坦化研磨が難しいという欠点があります。一方で、砥粒と研磨パッド（もしくは研磨定盤）をセットにして、そこに研磨液を掛けながら研磨を行う固定砥粒研磨という方法もあります。これは図3の(b)のように突出した砥粒の高さが揃っていないと研磨に関わる作用砥粒数が少なくなり、研磨レートの低下と同時に作用砥粒一粒あたりの圧力が高くなりすぎてスクラッチ傷が入り易くなります。しかしながら、砥粒の面方向の分布が良いため平坦化研磨に向いているという特性もあります。

遊離砥粒研磨と固定砥粒研磨それぞれの長所の両立を目指して半固定砥粒方式を採用したものがLHAパッドです。具体

的には図4や図5に示す通り、砥粒（シリカ砥粒）を樹脂の網で挟み込んでいるような構造で、LHAパッド表層では砥粒が移動せずに転がることができます。これにより、図3の(c)のようにスクラッチ傷は入り難く研磨レートが高くなります。余談となりますが、LHAの語源は“Loosely Held Abrasive”の省略形で、「砥粒」を、「ゆるく」、「抱える」という意味です。

図2 研磨の概略図

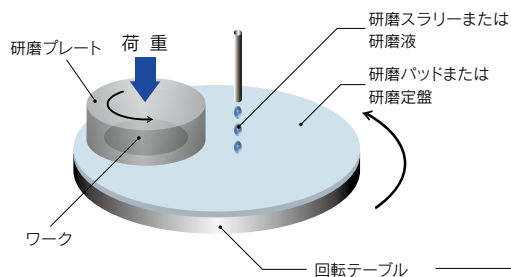


図3 砥粒の作用のしかた

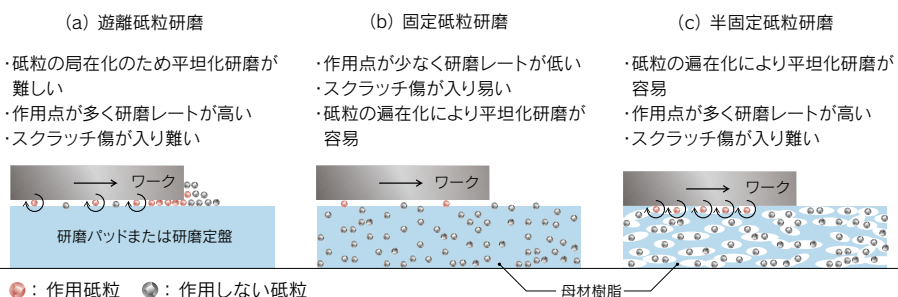


図4 LHAパッドの構造

LHAとはLoosely Held Abrasiveの略で網目状樹脂に砥粒が挟まり、砥粒が完全には固定されていない構造を有する研磨工具である。

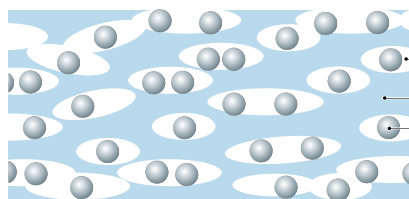
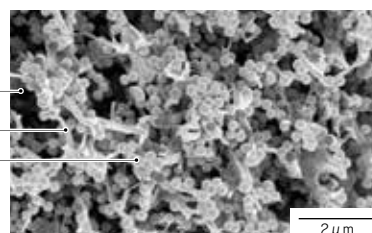


図5 LHAパッドの断面写真

網目状樹脂に砥粒が挟まっている



LHAパッドの研磨性能

不織布研磨パッドとLHAパッドを用いて表1の条件でSiCを研磨しました。その結果、LHAパッドは不織布研磨パッドに対し研磨レートが68%向上し、表面粗さはほぼ同等となりました（図6）。また、スクラッチ傷と平坦性についてもLHAパッドの優位性が確認できました（図7）。不織布研磨パッドではスクラッチ傷が数箇所確認できましたが、LHAパッドはスクラッチ傷はありません。局所的な平坦度を表すLTV※についても不織布研磨パッドでは高低差が1μm以上の箇所が多数存在しますが、LHAパッドでは1μm未満の箇所のみで、平坦性も良好でした。

これらの結果から、LHAパッドによる研磨は、意図したとおりウェーハ中心部まで均等に砥粒が作用し、遊離砥粒研磨の長所である高い研磨レートと、固定砥粒研磨の長所である高い平坦性を同時に実現できていることが確認できました。

さらに、LHAパッドが長時間使用に耐えるかを確認するため、強酸化研磨液を用いて200時間の連続研磨試験を実施しました。表1の条件で研磨を繰り返し、2時間ごとにLHAパッドに対し30秒間のドレッシングを行いました。その結果、従来の遊離砥粒研磨より高い研磨レートを200時間という長時間安定して維持できました（図8）。現在SiCの研磨において主流である高研磨レートを実現できる強酸化剤研磨スラリーを使用した場合、不織布パッドは30時間程で使用できなくなるため、LHAパッドは6倍以上長く使用できます。

これらの結果は、LHAパッドが高い研磨レートとスクラッチ傷レス研磨の実現といった生産性向上と、研磨パッドの長寿命化による工具交換頻度低減によるコストカットの可能性が高いことを示しています。

表1 試験条件

	不織布研磨パッド	LHAパッド
研磨方式	遊離砥粒研磨	半固定砥粒研磨
研磨ワーク	SiC単結晶[4Hタイプ]基板 Si(シリコン)面[0001] 切り出し角※4° 6インチ×3枚	
研磨圧力	30kPa	
テーブル回転数	35rpm	
研磨液	強酸化剤研磨スラリー	ノリタケルブリカントLSC-1 (LHAパッド用強酸化剤研磨液)
	研磨液流量: 100ml/min	
加工時間	2h	

図7 SiCウェーハのスクラッチ傷と平坦性の比較

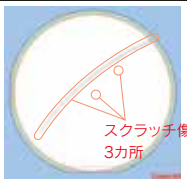
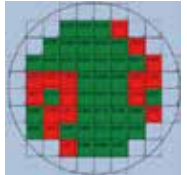
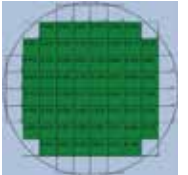
	不織布研磨パッド	LHAパッド
(a) スクラッチ傷の 比較	 スクラッチ傷 3カ所	 スクラッチ傷 0本
(b) LTV※の比較 赤色部分は 高低差1μm以上 緑色部分は 高低差1μm未満		

図6 試験結果

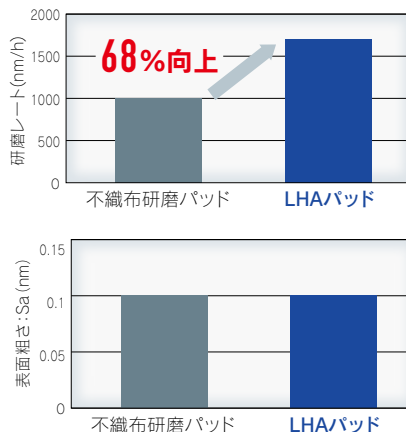
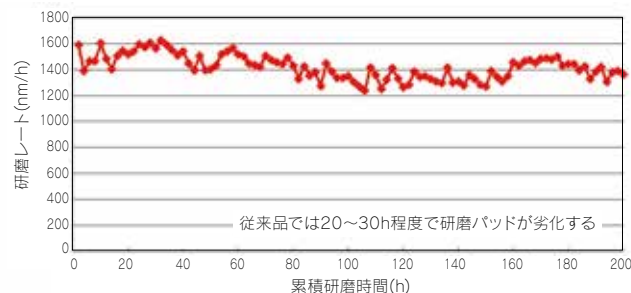


図8 LHAパッドによるSiCの連続研磨性能



コスト低減と産業廃棄物削減を両立するLHAパッド

前章ではLHAパッドによるコスト低減の可能性を示しました。ここでは、産業廃棄物削減の効果についてご紹介します。

まず、研磨における廃棄物で大きなウエイトを占めるものが砥粒です。遊離砥粒研磨では、作用しない砥粒が多く効率が悪い、量産する場合は研磨スラリーを循環させながら研磨しますが、この方法はスクラッチ傷が入りやすいという大きな欠点があります(図9)。これを回避するため、研磨スラリー循環の際、異物混入を防ぐフィルターを通しますが、砥粒はフィルターを通過させないといけなため、砥粒の大きさより細かい目のフィルターは使えません。実際にはかなり粗目のフィルターを使わないと砥粒による目詰まりを起こします。もし砥粒の大きさより小さく硬い粒子が混入した場合、スクラッチ傷が発生し、ワークの再製造や再研磨の必要が出てきます。さらに、異物除去のために研磨パッドと研磨スラリーを交換し、研磨機を洗浄する必要があります(研磨スラリーの消費量がさらに増えることを意味します)。

この研磨スラリーを循環しながら表1の条件でSiCを研磨する場合を想定して、砥粒の消費量と研磨パッドの消費枚数を計算した結果を図10に示します。LHAパッドでは図9の右側ようになりますが、砥粒はLHAパッド内にしかないので、LHAパッドの摩耗量から計算できます。ただし、2時間の研磨中、LHAパッドの摩耗は計測不可能なほど少ないため、ドレッシング時の摩耗がLHAパッドの摩耗量となります。そのため、LHAパッドの砥粒消費量は遊離砥粒研磨の約0.4%(約99.6%削減)と大変少なく、砥粒の廃棄は極わずかとなります。また、LHAパッドの場合は細かい目のフィルターを使用できるため、異物混入によるスクラッチ傷発生リスクはかなり低くなり、再製造・再研磨の可能性はほとんどありません。

研磨パッドの消費枚数については、遊離砥粒研磨で使用する不織布パッドが30時間、LHAパッドが200時間使用できる

とすると、LHAパッドは従来の不織布パッドに対し約85%の削減となります。

これらの事から、LHAパッドはコスト低減を実現しつつ、大幅に産業廃棄物を削減できる可能性を秘めた研磨パッドと言えます。

図9 研磨スラリー・研磨液を循環する場合

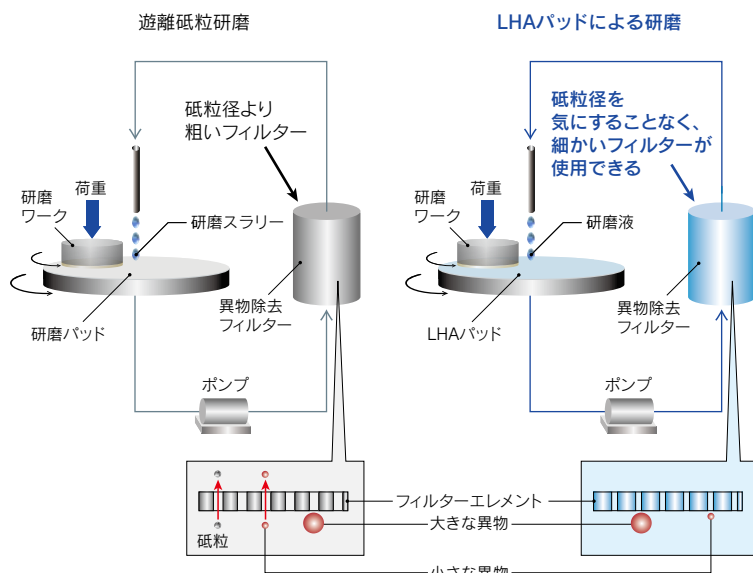
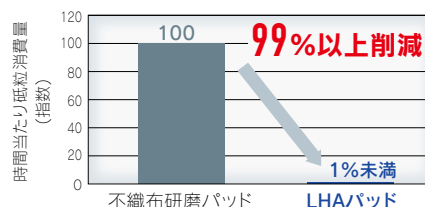
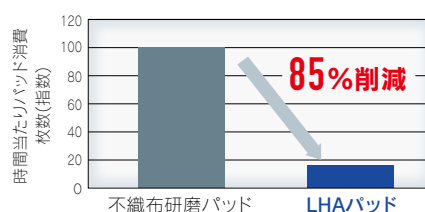


図10 計算結果



※研磨スラリー中の砥粒消費量の計算：前提条件として研磨屑の蓄積と強酸化剤の効果の継続期間を考慮して1週間毎に研磨スラリーを交換する事とします。また研磨スラリー中の砥粒の量は10%とし、供給量は100ml/minとして時間当たりの砥粒消費量を計算し指数値で100とします。



LHAパッドの技術でこんなことも…

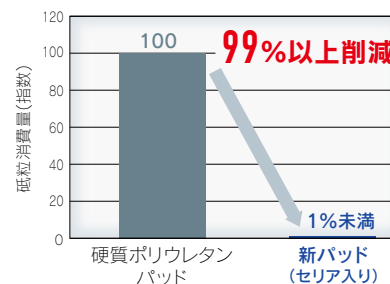
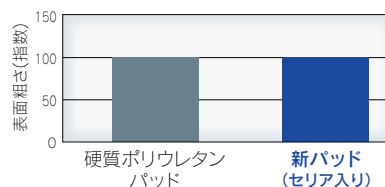
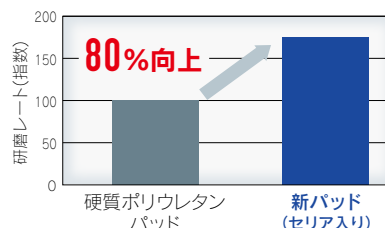
ここまで、LHAパッドはSiCの研磨に対してはコスト低減と産業廃棄物の削減に大きく寄与できる可能性を示してきました。一方で、ノリタケではLHAパッドのもつ優れた研磨性能から、その技術をもって他の市場ニーズに応えられる多岐の可能性を検証してきました。そして、現在までに「研磨の用途に合わせてパッドの構造の最適化を行うことで高能率研磨を実現できる」という可能性を見出しています。ここでは、その検証成果の一例をご紹介します。

ガラスの研磨で特異的に作用する砥粒であるセリア(酸化セリウム)に着目し、LHAパッドの構造を変化させたセリア砥粒入りの新パッドを開発しました。表2の条件で研磨試験を実施したところ、新パッド(セリア入り)は硬質ポリウレタンパッドに対し研磨レートが約80%向上し、表面粗さはほぼ同等という結果になりました(図11)。産業廃棄物に関しても、今回

表2 試験条件

	硬質ポリウレタンパッド	新パッド(セリア入り)
研磨方式	遊離砥粒研磨	半固定砥粒研磨
研磨ワーク	ガラス(合成石英基板) φ65mm×1枚	
研磨圧力	20kPa	
テーブル回転数	60rpm	
研磨液	セリアスラリー [濃度5%]	水
加工時間	30min	

図11 試験結果



の試験を基にLHAパッドと同様の計算を行うと、従来の遊離砥粒研磨に対して1%未満となり、大幅な削減が可能と考えられます。

今後これらの技術をさらに多くの用途へ展開することで、「こんなこともできるんだ」と言われる製品を開発し、より一層のコスト低減と産業廃棄物の削減の両立を目指します。

[注釈]

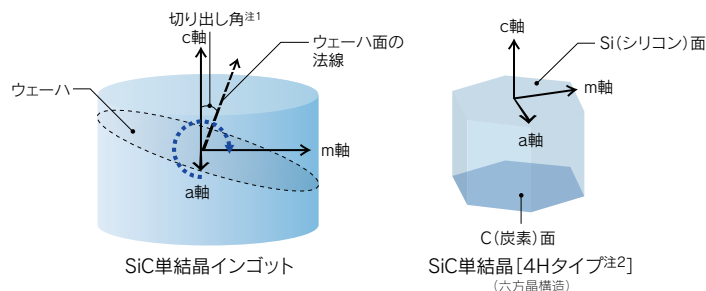
※次世代自動車：電気自動車、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車などの電気による駆動部を内蔵する自動車の総称。

※高耐熱なパワーデバイス：耐熱性が高いパワーデバイスは大きな放熱器が不要となるため、そのパワーデバイスを使用した装置を小型化できる。

※LTV:Local Thickness Variationの省略形でウェーハをある大きさのマスで細かく仕切り、ウェーハの裏面基準で各マスの最大高さと最小高さを測り、その高低差を各マスごとに表したものの。

※切り出し角：図12のようにSiC単結晶の結晶c軸面（c軸を法線とする面）はシリコン（SiC）面[0001]とC（炭素）面[000-1]があり、ほとんどの場合Si面側にデバイスを作る。一般的にはSi面側が研磨しにくくなる。

図12 SiC単結晶の構造とウェーハの切り出し角



注1：パワーデバイス用ウェーハの場合、a軸周りに2〜4°傾けて切り出したものが多い
注2：パワーデバイス用にはポリタイプが4Hタイプのものを使う場合が多い

[文献]

- ① 岩室 恵幸：SiCパワーデバイスの開発と最新動向 一普及に向けたデバイスプロセスと実装技術一，S&T出版，(2012)3.
- ② M.Sato, T.Nonami, J.Ishizaki:Polishing Pad with Loose Held Abrasive Structure, Journal of the Ceramic Society of Japan Supplement 112-1, (2004)S1341-S1346.
- ③ Makoto SATO:Abrasive Body and Method of Manufacturing the Same,US7527662, (2005).
- ④ M.Sato, K.Okuda:Polishing of Single Crystal SiC with the LHA Pad,The 11th International Conference on Precision Engineering Proceedings, "Towards Synthesis of Micro-/Nano-system", (2006)271-275.
- ⑤ 佐藤 誠, 奥田 和弘：結晶材料の研磨加工方法，特許第5336699号，(2006).
- ⑥ 株式会社富士経済インダストリアルソリューション事業部：2022年版次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望，富士経済，(2022)4.
- ⑦ 株式会社富士経済インダストリアルソリューション事業部：2022年版次世代パワーデバイス&パワエレ関連機器市場の現状と将来展望，富士経済，(2022)124.

[特許]

- ・ NORITAKE CO., LIMITED. Makoto SATO. Abrasive Body and Method of Manufacturing the Same. US7527662. 2005/1/24
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 奥田 和弘、佐藤 誠. シート状研磨体の製造方法. 特許5172401. 2008/3/11
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 奥田 和弘. 研磨体の製造方法. 特許5511266. 2009/8/25
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 佐藤 誠、奥田 和弘. 結晶材料の研磨加工方法. 特許5336699. 2006/9/15
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 山口 貴哉、大森 恒、北嶋 将太、後藤 崇将. 研磨パッド積層体. 特許6914216. 2018/2/21
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 佐藤 誠、大森 恒、高橋 舞子. GaN単結晶材料の研磨加工方法. 特許6243009. 2015/3/26
- ・ 株式会社ノリタケカンパニーリミテド. 大森 恒、山口 貴哉、北嶋 将太、佐藤 誠. 研磨体およびその製造方法. 特許6636634. 2017/7/10

Q LHAパッドのラインナップはどのようなものがありますか？

A 標準では最大36インチサイズまであります。ただし、さらに大きなものも製造可能ですのでご相談ください。溝入れ品やクッション付き品もラインナップしています。こちらについてもご相談ください。

Q LHAパッドのドレッシングはどのようなドレッサで行えば良いのでしょうか？

A 専用のドレッサがありますのでご相談いただければ研磨装置に合わせて設計・製造します。

Q 乾式研磨はできますか？

A 基本的にできません。水もしくは水系の研磨液を掛けながらご使用ください。