

平成 22年 5月 31日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2008 ～ 2009  
 課題番号：20760087  
 研究課題名（和文） 高性能 SiC パワーデバイス実現に必要な超平坦面形成技術の開発  
 研究課題名（英文） Development of an ultra-smooth surface formation technique required for highly efficient SiC power device fabrication.

## 研究代表者

久保田 章亀 (KUBOTA AKIHISA)  
 熊本大学・大学院自然科学研究科・助教  
 研究者番号：80404325

研究成果の概要（和文）：シリコンカーバイド（SiC）は、電力利用の効率化を担う高出力・高周波電子デバイス用材料として期待されている。これは、現在主流の Si デバイスに比べて優れた電氣的・物理的特性を有しているからである。しかしながら、SiC は、高硬度かつ化学的に安定であるために、加工することが非常に難しく、デバイス製作時における加工技術が技術的課題となっている。本研究の目的は、次世代半導体デバイスの作製に必要な SiC 基板の高効率・高精度加工技術を開発することである。本研究では、鉄触媒表面上で生成される OH ラジカルを利用した SiC 基板の新しい加工法を提案し、その有効性を明らかにし、最終的に 2 インチサイズの SiC 基板を全面鏡面化に成功するとともに、SiC と並んで次世代半導体候補材料である窒化ガリウム（GaN）基板表面の平滑化に成功している。

## 研究成果の概要（英文）：

Silicon carbide (SiC) is a promising next-generation semiconductor material for high-temperature, high-frequency and high-power device applications due to its excellent properties, such as good thermal conductivity, good carrier mobility and high chemical stability. However, SiC substrates are relatively difficult to machine because of their mechanical hardness and marked chemical inertness.

The purpose of this research is to develop the high precision and high efficiency planarization method for SiC substrate indispensable to production of a next-generation semiconductor device. In this study, we have proposed a novel planarization method for a SiC surface and GaN surface utilizing the OH radicals generated from an Fe catalyst and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> solution, and demonstrated the effectiveness and impact of the proposed method. Finally, we have succeeded in planarizing overall 2-inch SiC substrate and succeeded in smoothing GaN surface.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000円	510,000円	2,210,000円
2009年度	1,600,000円	480,000円	2,080,000円
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000円	990,000円	4,290,000円

研究分野：精密加工学

科研費の分科・細目： 生産工学・加工学

キーワード：超精密加工，SiC，平坦化，触媒支援加工，紫外光支援加工，パワーデバイス

#### 1．研究開始当初の背景

シリコンカーバイド（SiC）は、シリコン（Si）と比べ、バンドギャップが約 3 倍、絶縁破壊電界が約 10 倍であることなどから、電力利用の効率化を担うパワーデバイス用材料として有望視されている。しかしながら、SiC はダイヤモンドに次ぐ高硬度を有し、かつ化学的に安定な材料であるため、加工することが非常に難しく、有効な加工方法の開発が求められている。

#### 2．研究の目的

本研究の目的は、次世代パワーデバイス用材料として期待されている SiC の基板表面全面を高効率に原子レベルで平坦化できる加工技術を開発することである。このため、新たに大面積（2 インチ）平坦化対応型加工装置を設計・試作し、表面粗さや結晶性、加工効率など、SiC の加工特性を評価する。また、SiC 以外のワイドバンドギャップ半導体材料である窒化ガリウム（GaN）基板に対しても考案した加工法を適用し、GaN 基板の加工可能性も検討する。

#### 3．研究の方法

(1) 2 インチ SiC 基板平坦化対応型加工装置の設計および試作を行い、2 インチ基板全面の加工を実現する。試作・設計する加工装置は、高荷重下での加工を実現できるように装置剛性に配慮した構造とした。

(2) これまでに独自に試作・設計した簡易型加工装置を用いて 4H-SiC(0001) on axis 基板(5 mm 角にカットしたもの)を加工し、加工後の表面を原子間力顕微鏡で評価した。

(3) SiC と同様にパワーデバイス用材料として有望視されている GaN 基板表面の平坦化の可能性を実験的に検討した。

(4) 過酸化水素水をベースにした溶液環境下において、任意荷重を付与した鉄製工具を SiC 表面上で接触させ、両表面間を相対的に運動させることによって、SiC 基板の任意領域加工の可能性を検討した。

(5) 紫外光を利用した SiC 基板の加工法を提案し、その基礎加工特性を調べた。各種環境下（大気中、水中、過酸化水素水中）における SiC の加工効率および加工時間と除去量との関係を明らかにした。

#### 4．研究成果

(1) 設計・試作した 2 インチ SiC 基板平坦化加工装置を用いて、4H-SiC(000-1) on axis 基板全面加工を試みた。図 1 は、実際に加工した 2 インチ基板の写真である。2 インチサイズの SiC 基板全面を平坦化することに成功した。また、市販されている SiC 基板と表面平坦度を比較した結果、大幅に改善されていることが確認できた。



図 1 全面加工された 2 インチ SiC 基板

(2) 過酸化水素水溶液中にて、磁場により拘束された鉄微粒子を基板に押し当てながら、相対的に運動させ、研磨加工を行った。得られた SiC 表面の表面凹凸は、位相シフト干渉顕微鏡、原子間力顕微鏡（AFM）を用いて観察した。位相シフト干渉顕微鏡で評価した加工表面は、Rz: 2.086 nm, Ra: 0.105 nm の高精度な研磨面を得ることに成功しており、As-slice 基板の表面凹凸状態を本提案加工プロセスのみでこのレベルにまで改善できることを確認した。また、加工表面（測定領域：500 nm × 500 nm）を原子間力顕微鏡で測定した結果を図 2 に示す。加工表面上には、周期的な原子ステップ/テラス構造が確認でき、ダメージのない超平坦面が提案手法で得られることがわかった。

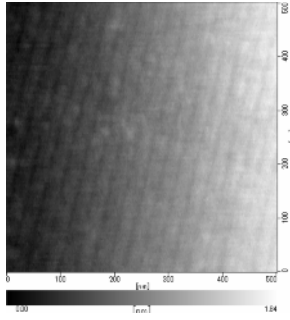
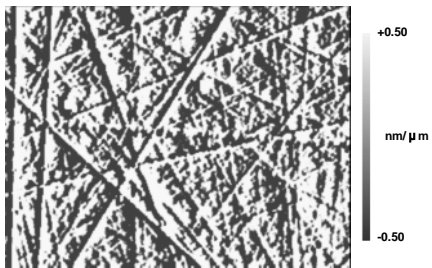
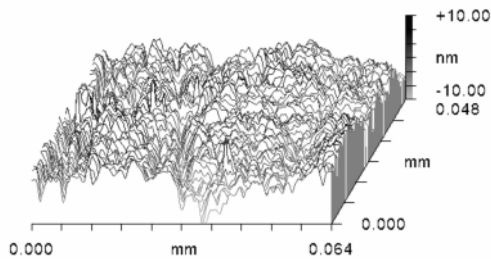


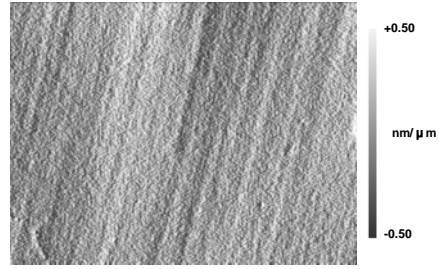
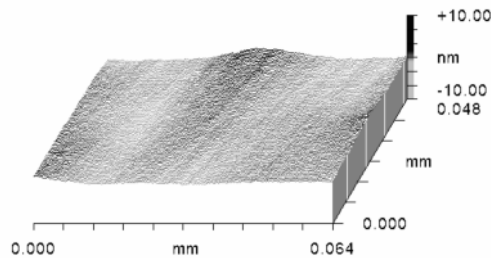
図2 4H-SiC(0001) on-axis 加工表面のAFM 像 (3)

SiCの加工と同様の手法を用いて、GaN基板の加工を試みた。図3は、加工前後のGaN表面を位相シフト干渉顕微鏡像で評価した結果である。加工前の表面上には、無数の研磨痕や表面凹凸が存在していたものの、加工後の表面上では研磨痕が完全に消失し、表面凹凸の大幅な改善が確認された。(表面粗さ加工前：Rz: 55.44nm, Ra: 2.63nmから加工後：Rz: 3.37nm, Ra: 0.40nmにまで低減することができた。)

本実験はGaN基板平坦化の可能性を確認する目的で行ったものであり、今後、装置の高精度化、および加工条件の最適化を進めることによって、さらに高精度な平坦化が可能であることが予想される。



(a) 未加工面の3D像およびslope像



(b)加工面の3D像およびslope像

図3 加工前後のGaN基板の表面観察像 (4)

図4は、鉄製工具を利用して得られた加工領域の位相シフト干渉顕微鏡像である。測定領域は、1.2mm×0.94mmである。鉄製工具が通過した500μm×500μmの領域が加工されている。また、加工された領域の加工深さは、およそ25nmであった。この加工された64μm×48μmの領域を観察した結果、表面粗さは、Rz: 1.56nm, Ra: 0.14nmと超平滑面が実現できた。今後、超平滑面が安定に得られるように、装置の振動抑制や工具の高精度化を進める必要がある。

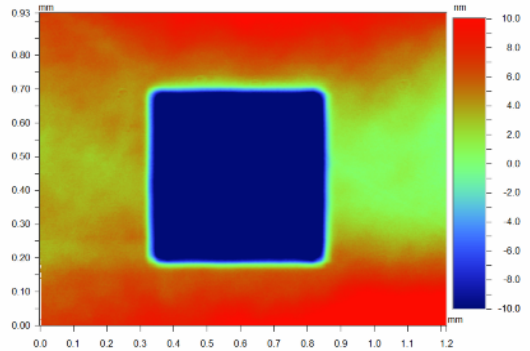


図4 任意領域の加工を施したSiC基板観察

(5)

過酸化水素水を充填させた加工槽内にSiC基板を固定し、そこに任意荷重を付加した石英を接触させる。そして、SiC基板と石英の接触点近傍に紫外光を照射し、両表面を相対的に往復運させる。これにより、SiCの最表面が酸化改質され、母材であるSiCよりも加工されやすくなり、その改質部分を石英による機械的・化学的作用によって除去し、SiCが加工できるのではないかと考えた。

この考えを検証するために、大気中、純水中、過酸化水素水中で紫外光照射下でのSiC加工を行い、それぞれの環境下における除去量の比較を行った。実験条件は表1に示すとおりである。また、各環境下におけるSiCの除去量を比較した結果を図5に示す。紫外光未照射下では、どの環境下においても加工できなかったが、紫外光照射下ではどの環境下においても加工がなされ、その中でも特に過

酸化水素水中での除去量が一番大きいことがわかった。これは、紫外光による表面酸化効果に、過酸化水素水の分解により生成されたOHラジカルによる表面酸化効果が重畳され、SiC基板表面上の酸化が大気中、純水中よりも促進し、効率よく最表面部が除去されたためと考えられる。

また、本提案加工法によるSiC基板の除去量と加工時間との関係を調べた結果を図6に示す。加工時間の増加とともに除去量の増加が確認できる。しかし、加工時間と除去量とは比例的関係ではなく、加工時間の増加とともに、除去量の増加率は減少している。これは加工中に石英表面の摩耗が進行し、加工中のSiC基板と石英との接触面積が増え、単位面積当たりに加わる加工力が減少したことにより起るものと考えられる。また、本実験での加工量のばらつきは、加工点での紫外光照射度のばらつきが影響していると考えられる。今後、紫外光ファイバを定位置に固定し、照射度が均一になるようにし、より精度の高い実験を試みる。

つぎに、紫外光を利用したSiC基板平坦化の可能性を確認するために、簡単な実験装置を構築し、SiC基板の平坦化を試みた。具体的には、過酸化水素水中において、紫外光を透過させた石英定盤とSiC基板とを相対的に運動させることによって平坦化加工実験を試みた。図7(a)、(b)は、研磨前後のSiC基板表面のAFM像である。加工前はRz: 4.36 nm, Ra: 0.46 nmであるのに対し、加工後はRz: 1.19 nm, Ra: 0.089 nmとなり、加工前後のSiC基板表面の凹凸は大幅に改善されていることを確認した。

表1 実験条件

Sample	4H-SiC (0001) wafer
Tool	Quartz stick
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%)
Environment	H <sub>2</sub> O atmosphere
Process time	1 h
Load	200 g
Reciprocating distance	3 mm
Reciprocating speed	1 mm/s

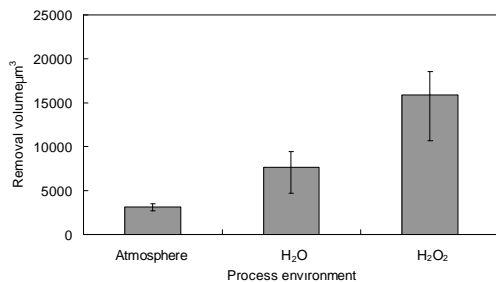


図5 各種環境下における加工量の比較

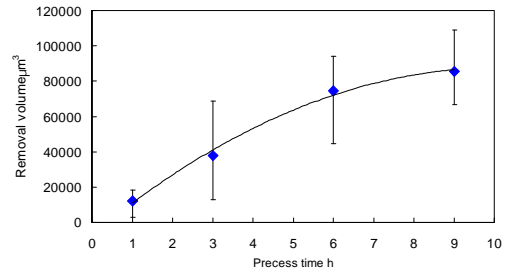
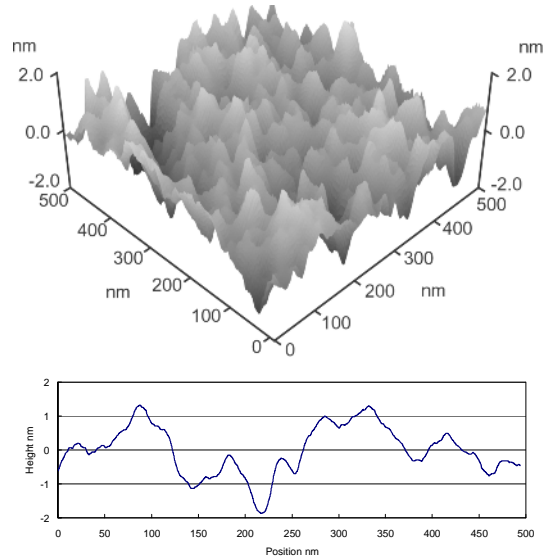
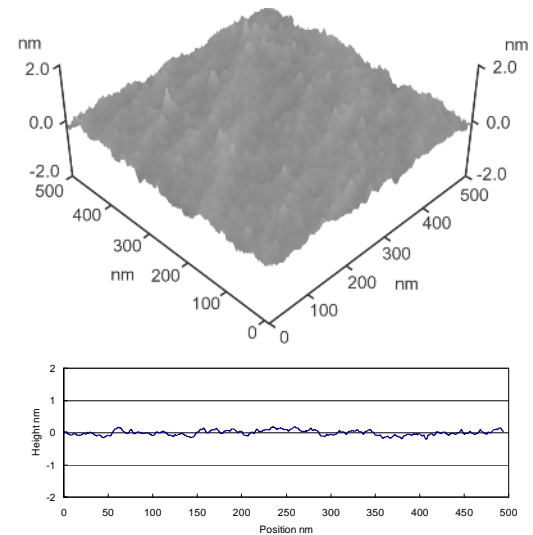


図6 加工時間と除去量の関係



(a) 未加工面のAFM像 (500 nm×500 nm)



(b) 加工面のAFM像 (500 nm×500 nm)

図7 加工前後のSiC基板表面のAFM像

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

**Akihisa Kubota**, Keita Yagi, Junji Murata, Heiji Yasui, Shiro Miyamoto, Hideyuki Hara, Yasuhisa Sano and Kazuto Yamauchi: A Study on a Surface Preparation Method for Single-Crystal SiC Using an Fe Catalyst, Journal of Electronic Materials, **38**, (2009), 159-163. 査読有り

〔学会発表〕(計 8 件)

**久保田章亀**, 濟陽崇志, 中西義孝, 峠睦: 触媒工具を利用した SiC 基板表面の任意領域平坦化 2010 年度精密工学会春季大会学術講演会学術論文集, 297-298 (2010) (2010 年 3 月 17 日: 埼玉大)

**久保田章亀**, 栗原宗也, 中西義孝, 峠睦: 紫外光支援ウエットエッチングによる単結晶 SiC 基板の平坦化, 応用物理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第 18 回講演会予稿集, 37-38 (2009). (2009 年 12 月 17 日: 神戸国際会議場)

**久保田章亀**, 宮本土郎, 中西義孝, 峠睦: 鋳鉄定盤を用いた単結晶 SiC 基板のラッピング加工に関する研究, 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会学術論文集, 165-166 (2009) (2009 年 9 月 10 日: 神戸大)

栗原宗也, **久保田章亀**, 中西義孝, 峠睦: 紫外光支援ウエットエッチングを利用した単結晶 SiC 基板の超精密加工に関する研究 - 基礎加工特性の検討 - , 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会学術論文集, 167-168 (2009) (2009 年 9 月 10 日: 神戸大)

**久保田章亀**, 宮本土郎, 濟陽崇志, 安井平司: 単結晶 SiC 基板の精密研磨技術, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会学術論文集, 297-298 (2009) (2009 年 3 月 13 日: 中央大学)

**久保田章亀**, 宮本土郎, 村田順二, 八木圭太, 原 英之, 安井平司, 佐野泰久, 山内和人: 鉄微粒子を利用した単結晶 SiC および GaN 基板の平坦化加工, 応用物理学会 SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会 第 17 回講演会予稿集, 67-68 (2008). (2008 年 12 月 8 日: 大田区産業プラザ)

宮本土郎, **久保田章亀**, 安井平司, 山内和人: 遷移金属微粒子を用いた研磨法に

よる GaN 基板の平坦化 - 基礎加工特性の検討 - , 2008 年度精密工学会精密工学会秋季大会学術講演会学術論文集, 445-446 (2008) (2008 年 9 月 18 日: 東北大学)

**久保田章亀**, 宮本土郎, 濟陽崇志, 安井平司, 山内和人: SiC 表面上への微細構造形成プロセスに関する研究 - 微細溝構造の形成 - , 2008 年度精密工学会精密工学会秋季大会学術講演会学術論文集, 449-450 (2008) (2008 年 9 月 18 日: 東北大学)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 2 件)

名称: 加工方法  
発明者: 久保田章亀 峠睦  
権利者: 熊本大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2010-68021  
出願年月日: 2010 年 3 月 24 日  
国内外の別: 国内

名称: 触媒支援型化学加工方法及びそれを用いた加工装置  
発明者: 久保田章亀  
権利者: 熊本大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2009-37182  
出願年月日: 2009 年 2 月 19 日  
国内外の別: 国内

〔その他〕  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

久保田 章亀 (KUBOTA AKIHISA)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号: 80404325