



Title	触媒表面を基準面とする化学エッチング法の開発
Author(s)	原, 英之
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/49529">https://hdl.handle.net/11094/49529</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	原 英 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 9 2 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学 位 論 文 名	触媒表面を基準面とする化学エッチング法の開発
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 山内 和人 (副査) 教 授 安武 潔 教 授 森田 瑞穂 教 授 片岡 俊彦 教 授 桑原 裕司 教 授 渡部 平司 教 授 遠藤 勝義

### 論 文 内 容 の 要 旨

最先端科学技術分野のものづくりにおいて、原子分子サイズの加工精度が要求されている。加工面への欠陥の導入が避けられない機械加工ではこういった精度に対応できないため、化学反応を利用した制御性の良い加工法が必要であると考えられている。本論文は、加工変質層のない平坦面を高能率に加工できる可能性を秘める加工法として、触媒基準エッチング法(Catalyst-Referred Etching ; CARE)を提案し、その表面創生機構を解明するとともに、結晶表面を原子レベルで平坦化する表面創成技術として確立することを目的とした、一連の研究成果についてまとめたものである。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。

第2章では、研究初期のCAREの実証実験とCAREの概念について述べるとともに、他の加工法との比較について述べた。また、これまでに開発されてきたCAREの反応過程について示し、その加工原理について示した。

第3章では、CAREを用いた溝加工装置を作成し、省エネルギーパワーデバイス用基板として注目されるSiCの加工速度向上について調査した結果について述べた。Pt触媒とフッ化水素酸溶液を使用したCAREにおいて、フッ化水素酸濃度と加工圧力を上げることで平坦化加工においても速度が向上する可能性について示すとともに、Pt触媒以外にMo触媒が有望であることを示した。また、多結晶Siの加工においては、粒界に関係なく平坦化できることを示した。

第4章では、CAREを用いた平坦化加工装置を開発し、4H-SiC(0001)表面を平坦化した結果と触媒表面の安定性について述べた。計測には、明視野金属顕微鏡及び位相干渉顕微鏡、原子間力顕微鏡、低速電子線回折、透過型電子顕微鏡を用いた。

第5章では、平坦化した4H-SiC(0001)の表面を、低速電子線回折及び原子間力顕微鏡、X線光電子分光、オージェ電子分光、走査型トンネル顕微鏡により測定した結果について示し、表面構造解析した結果について示した。このことから、本研究で提案及び開発したCAREは、極めて整ったステップテラス構造を有する4H-SiC(0001)1×1表面を作成できることを示した。また表面の原子構造創成メカニズムについて述べた。

第6章では、第一原理計算を用いて4H-SiC (0001)1×1構造の表面安定性の評価を行い、CAREにおける表面のエッチング機構を考察した。計算は表面構造緩和や表面終端の影響を考慮に入れ、表面安定性の終端依存性についても示した。

第7章では、平坦化した4H-SiC(0001)8° off表面にエピタキシャル成長を行うことで、CAREが省エネルギーパ

ワーデバイス用基板加工技術に応用可能であることを明らかにした。

第8章では、開発した基板全面平坦化加工装置について述べた。本装置による結果から、工業の分野においても、4H-SiCを用いたパワーデバイスの実用化に対し、4H-SiC (0001) 8° offの基板平坦化技術としてCAREが貢献できる可能性を示した。

第9章では、本研究を総括した。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

半導体をはじめとする機能性結晶材料の表面創成においては、幾何学的かつ結晶学的に高度に制御された表面を高能率に製造することが求められる。機械的作用を用いる CMP (Chemical Mechanical Polishing) の応用では、期待できる表面性状に本質的な限界があり、純粋な化学反応に基づいた制御性に優れた加工法の創出が求められている。本研究では、ウェット環境での純粋な化学エッチングでありながら、基準面を正確に転写できる触媒基準エッチング法 (Catalyst-Referred Etching ; CARE) を提案し、その表面創生機構を解明するとともに、結晶表面をウエハスケールの広さで原子的に平坦化できる表面創成技術として確立している。

CAREの一般概念を初めて提案するとともに、具体的な系として、4H-SiC(0001)表面を対象に、Pt触媒を用い、エッチング液にフッ化水素酸を用いる CARE を考案している。加工特性の探索を目的に、プロトタイプ型の CARE 加工システムを開発し、加工速度や表面精度に影響するパラメータを明らかにしている。これらのパラメータを最適化し、作成した表面の明視野金属顕微鏡、位相干渉顕微鏡、原子間力顕微鏡、走査型トンネル顕微鏡による観察から、触媒作用を有する基準面の効果によって、ウエハ表面の凸部から選択的に原子単位の加工が進むこと明確に示すとともに、本研究で開発した CARE によって、4H-SiC (0001) 1×1 表面を極めて容易に作成できることを示している。走査型トンネル顕微鏡による 4H-SiC (0001) 1×1 表面の観察は、ウェット環境において作成された表面では世界初であり、表面科学の観点からも、非常に価値の高い表面創成技術に位置づけられている。また、原子間力顕微鏡による詳細な観察から、CARE がステップフロー型のエッチングであることや、ステップ高さは 1 バイレイヤーであり、1 バイレイヤー毎に露出する Cubic 面と Hexagonal 面の 2 種類のテラス幅が交互に規則正しく変化する高度に自己組織した表面であることを見出ししている。そして、第一原理分子動力学シミュレーションによって、Hexagonal 面よりも Cubic 面の方が、エッチングレートが高いことを明らかにし、これがテラス幅の規則正し変化の原因であることを示している。

さらに、2 インチ基板の全面加工が可能な装置を設計・製作し、CARE によって得られた 4H-SiC(0001) 8° off 表面をホモエピタキシャル膜の成長特性などから詳細に評価し、CARE が電子デバイス用基板表面の創成技術として、有効であることを実証している。

以上のように、本論文は新しい機能性結晶材料の表面加工法として CARE を提案し、原子的に制御された 4H-SiC(0001) 表面を大面積に亘って創成することを可能にしたものであり、精密科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。