

# 科学研究費助成事業(基盤研究(S))公表用資料 [研究進捗評価用]

平成24年度採択分  
平成26年3月14日現在

## 究極デバイスとしてのダイヤモンド基板の革新的超精密加工 プロセスへのブレークスルー

Breakthrough in the ultra-precision polishing process of  
diamond substrates as an ultimate device

土肥 俊郎 (DOI TOSHIRO)

九州大学・産学連携センター・特任教授



### 研究の概要

半導体 SiC, GaN, ダイヤモンド基板の超難加工材料基板の超精密加工プロセスを確立し、炭素化社会に向けた省エネルギーの将来型デバイスの早期実用化に貢献する。本研究では、前処理には基板の極表層部に疑似ラジカル場を付与し次の仕上げ加工工程での加工容易化を図る。そして、仕上げ工程では、CMP(Chemical Mechanical Polishing)と P-CVM(Plasma Chemical Vaporization Machining)の融合をベースとする、新しい革新的 CMP/PCVM 融合装置を設計・試作するとともに各難加工材料基板の高効率の超精密加工を実現する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、生産工学・加工学

キーワード：超精密特殊加工、超難加工材料、CMP, 化学機械研磨、P-CVM

### 1. 研究開始当初の背景

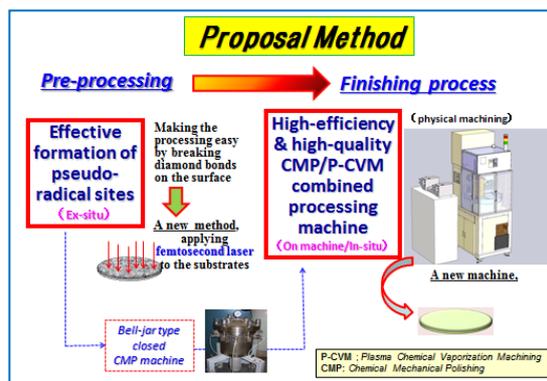
近年は SiC パワートランジスタに象徴される各種モジュールが試作されているものの、SiC の精密加工で苦しんでいる状況にある。この SiC や GaN などの難加工材料よりもはるかに超硬質で化学的にも超安定材料とされているダイヤモンドに対して、熟成された Si デバイス生産における機械的・化学的加工法をそのまま流用していたのでは、十分な加工能率や加工精度を得ようとしても全く不可能であるので、生産技術に見合う研究開発が急務である。

### 2. 研究の目的

本研究では、SiC, GaN を包含した半導体ダイヤモンド基板を対象として、疑似ラジカル場の形成法を検討するとともに、密閉式研磨/CMP法と P-CVM法を効果的に融合させた革新的 CMP/P-CVM 融合装置を考案・提案する。準高圧の酸素環境下で光触媒反応とプラズマ援用も視野に入れて、高品位面を従来の 10~数 10 倍の加工能率を狙う加工法を開発する。次世代グリーン・デバイス用の難加工材料基板の超精密加工の体系化を図り、低炭素化社会に向けたデバイスの早期実用化に貢献する。

### 3. 研究の方法

超難加工材料の超精密加工プロセス設計に当たり、次の二つの加工工程(右欄の図参照)を基本とする。



前加工工程の検討；加工対象基板の極表層に限定(数~100原子層)してフェムト秒レーザーによる超微小欠陥種を形成する。この疑似ラジカル場を形成することによって、機械的研磨あるいはCMPにて摩擦摩耗をともなう化学反応とラジカル場を誘起させ、大気圧下での研磨/CMPを容易にする。

仕上げ加工工程の検討；高能率・高品位加工を可能する革新的 CMP/P-CVM 融合装置を提案する。本試作装置の最もキーとなる加工箇所には、物理的作用を与える特殊パッドやスラリー/スラリーレスでラジカル場を形成させながら効果的 P-CVM 作用を誘発させる。酸素などのガス雰囲気下における CMP/P-CVM の高効率・高品位化の重畳効果も期待する。

#### 4. これまでの成果

前処理加工として基板の極表層部に疑似ラジカル場を付与し次工程での加工容易化を図り、そして仕上げ処理工程として革新的 CMP/P-CVM 融合装置を設計・試作し、難加工材料基板の超精密加工を実現を狙う世界初の挑戦的研究である。これまでに、各工程に関する基礎検討と革新的 CMP/P-CVM 融合加工装置の設計・試作を成し遂げた。

1) 前処理工程としての疑似ラジカル場形成とその効果を確認した。単結晶ダイヤモンド基板にフェムト秒レーザー照射を施した部分について、透過型電子顕微鏡(TEM)による断面の高倍率 TEM 画像の直接観察を行った結果、最表面においては原子配列格子が確認できずアモルファス状態で、他方、最表面から約 30nm 程度内部に入った領域では規則正しい原子配列が確認できた。つまり、最表面の約 10nm 厚程度の部分のみに疑似ラジカル場が形成されていることが明らかとなった。また、fs レーザー照射部の微小押し込み試験から、照射なし箇所との1~2%ほど押し込み量が大きくなった。従って、疑似ラジカル場形成によってダイヤモンド単結晶のC-Cの結合力が弱められ、機械的強度が弱められているので次工程の加工がしやすい状況を醸成しているものと確信できた。

2) 疑似ラジカル場(加工変質層)形成による各種基板の P-CVM 加工速度増大を確認した。加工変質層がない SiC 基板と、加工変質層/疑似ラジカル場形成の SiC 基板(ダイヤモンド砥粒による機械研磨面)に対し、P-CVM 加工速度の深さ方向依存性を調査した。後者では表面から約 100 nm の深さまで加工速度が増大することを見出した。断面 TEM 観察すると、結晶性が大きく乱れた(疑似ラジカル場形成)層の厚さは約 100 nm であることを明らかにした。この層が化学的に不安定であることから P-CVM の加工速度が増大するのである。GaN 基板に対しても工変質層における P-CVM 加工速度の増大が確認できたことは、本研究を遂行する上で大変意義深いことである。

3) 革新的 CMP/P-CVM 融合装置の設計試作(二種タイプの加工原理/手法の考案)した。CMP パッド部にて機械的作用によって基板表面凸部にのみ適度な疑似ラジカル場(超微小欠陥腫)を形成させながら、欠陥部をある程度選択的に除去できる P-CVM で高能率化を促進し、条件設定によって CMP による平滑平坦化をも同時に行う装置化を目指した。基本的特殊把握を重視するサイクリック方式による A-Type と、世界初の挑戦型の in-situ で融合加工を実現しようとする B-type の二機種を設計試作した。

これらの革新的 CMP/P-CVM 融合装置により、加工レートと加工面の表面粗さ向上できることが明らかになった。その中で、乾式

研磨と P-CVM を融合することによってもその効果を確認している。これらの結果は世界初で、学会発表などで大きな反響を得ている。まだ多くの解決すべき問題点があるが、基本的な提唱項目を原理的確認ができたことは大きな成果である。

#### 5. 今後の計画

前処理工程では、広範囲に安定した微小欠陥種深さを維持すること、またその評価を迅速に行い加工にフィードバックする必要がある。また、微小欠陥種と研磨/CMP のさらなる高能率・高品位化を実現するために、微小欠陥種の計測法の確立を含めて、仕上げ処理工程との融合化を図るために、前処理工程での最適加工条件を確立する。

一方、仕上げ処理工程では、A タイプならびに B タイプの CMP/P-CVM 融合加工装置を用い、機会加工部ならびにプラズマ加工部各々の加工条件が融合加工時の加工特性に与える影響について精査する。そして、前加工処理工程と仕上げ処理工程の融合化を図り、全体の加工プロセスを俯瞰してその最適化を図り、従来加工法の数十倍以上の加工効率を目指す。

最終的には、前加工工程の装置化と革新的 CMP/P-CVM 融合加工装置(A 並びに B タイプ)の商品化までを狙う。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

1. Novel CMP/PCVM Combined Processing of Hard-to Process Crystals Based on Innovative Concepts, T.K.Doi, Y.Sano, S.Kurokawa, Hideo Aida et.al, Sensors & Materials, 2014(to be published)

2. BaSiC Study on Etching Selectivity of Plasma Chemical Vaporization Machining by Introducing Crystallographic Damage into Work Surface, Y. Sano, T. Doi, S. Kurokawa, H. Aida et.al, Proc. of ASPEN2013, No.1207(12-15 November, 2013, Taipei),

3. Approach to High Efficient CMP for Power Device Substrates, S. KUROKAWA, T. DOI, Y. SANO, H. AIDA et.al, ECS Trans., 60, China Semiconductor Tech. Int'l Conf. 2014

4. Formation and Evaluation of Quasi radical Site Induced by Femtosecond Laser on the Surface of Diamond, C. WANG, S. KUROKAWA, H. AIDA, Y. SANO, Toshiro DOI, et, al., Proc. of the 13<sup>th</sup> Int'l Symp. on Aerospace tech., pp.49-51

5. 特願 2014-034650 加工方法および加工装置並びに該加工方法又は該加工装置により加工された加工物、土肥ら(平成 26 年 2 月 25 日)、他 1 件の特許(特願 2014-034551)出願。  
ホームページ等

- <http://www.astec.kyushu-u.ac.jp/doi/>
- [doi@astec.kyushu-u.ac.jp](mailto:doi@astec.kyushu-u.ac.jp)