

## 研究報告アーカイブ



### (3) 挑戦型プラズマ融合CMP装置(B-type)による超難加工材料の高効率・高品質加工 —超難加工材料としてのダイヤモンド基板の高効率加工への挑戦—

研究協力者 會田英雄

(並木精密宝石株式会社 NJC技術研究所 所長/九州大学 産学連携センター 特任教授)

#### 1. はじめに

窒化ガリウム(GaN)、窒化ケイ素(SiC)、ダイヤモンドが次世代半導体材料として注目を集めている。これらの素材を用いた半導体デバイスの実現に向け、結晶基板を製造するためのバルク結晶成長技術の開発、得られた結晶を基板形状へと整形する基板加工技術の開発が必須である。我々の研究グループでは、これらの次世代半導体デバイス実現に貢献すべく、その基板加工技術開発にいち早く着手してきた。中でも特に困難を極めるのが、最終仕上げ加工技術である。次世代結晶の持つ優れた特性を最大限に引き出すためには、デバイス成長に用いられる基板表面をデバイス製造に適した状態、すなわち、原子レベル平坦かつ無歪状態へと仕上げる必要がある。しかしながら、我々が取り上げる次世代半導体材料は、いずれも難加工素材として知られており、従来型の加工技術の延長線的な応用だけでは、もはや太刀打ちすることができない。

本研究プロジェクトでは、これらの次世代半導体結晶素材を高効率かつ高品質に加工する技術開発を目指し、次世代型の革新的加工技術「プラズマ融合CMP加工」の開発に取り組んできた。従来結晶の仕上げ加工技術として一般的に用いられる化学機械研磨(chemical mechanical polishing: CMP)と、高密度中性ラジカルによる高効率エッチングを加工原理としたプラズマ化学的気化加工法(plasma chemical vaporization machining: P-CVM)を融合した、全く新しい加工技術である。これまでに、A-type(基礎型)

合した、全く新しい加工技術である。これまでに、A-type(基礎型)およびB-type(挑戦型)の2つのプラズマ融合加工装置を開発し、その加工特性の把握に努めてきた。

本稿では、B-typeを用いた研究開発の結果を中心に、プラズマ融合加工技術による難加工材料としてのSiC、GaN基板をはじめ、超難加工材料であるダイヤモンド基板の加工技術開発の結果を報告する。とくにダイヤモンドは、次世代半導体材料中でも究極的理想材料に位置づけられる一方、その加工難易度も次世代半導体素材の中で群を抜いて高く、加工技術開発の観点からも究極的難加工素材である。プラズマ融合CMP加工技術を用いたダイヤモンド基板加工への挑戦は、まさに本プロジェクトの最終ゴールである。

#### 2. プラズマ融合CMP装置による基本的検討

— SiC、GaN基板の加工特性 —

図1に試作したプラズマ融合装置(B-type)の外観写真と工具系の運動機構、プラズママイクロ電極部の模式図を示す。まず、このPlasma fusion CMP装置によるSiCならびにGaN基板の基本的加工特性を把握した結果について述べる。最初に4H-SiC基板(Si面, on axis)を用いた加工実験を試み、CMP単独法、P-CVM単独法、そして2つの加工法を融合させたPlasma fusion CMP法によるそれぞれの加工特性を比較した。P-CVM及びPlasma fusion CMPでの加工実験においては、プラズマ生成ガスSF6を用いることとし、キャリアガスにHeガスを適用して反応ガスとキャリアガスの流量比率は、He : SF6 = 99.5 : 0.5(合計流量8040sccm)でガス供給する。また、プラズマを発生させる印加電力については、とりあえず~100Wとする。

CMP及びPlasma fusion CMPにおける実験では、研磨パッド(不織布)に所定の加工圧力(1kg/cm<sup>2</sup>)と小円回転運動(オービタル運動)を与えながら、コロイダルシリカスラリーによって平坦化加工を施すこととする。ドライのプラズマ加工とウェットのCMP加工を同時期に複合加工させるので、マイクロプラズマ電極にスラリーが入り込まないように各マイクロ電極の周囲にスラリー吸引口を設け対策を施してある(図1参照)。

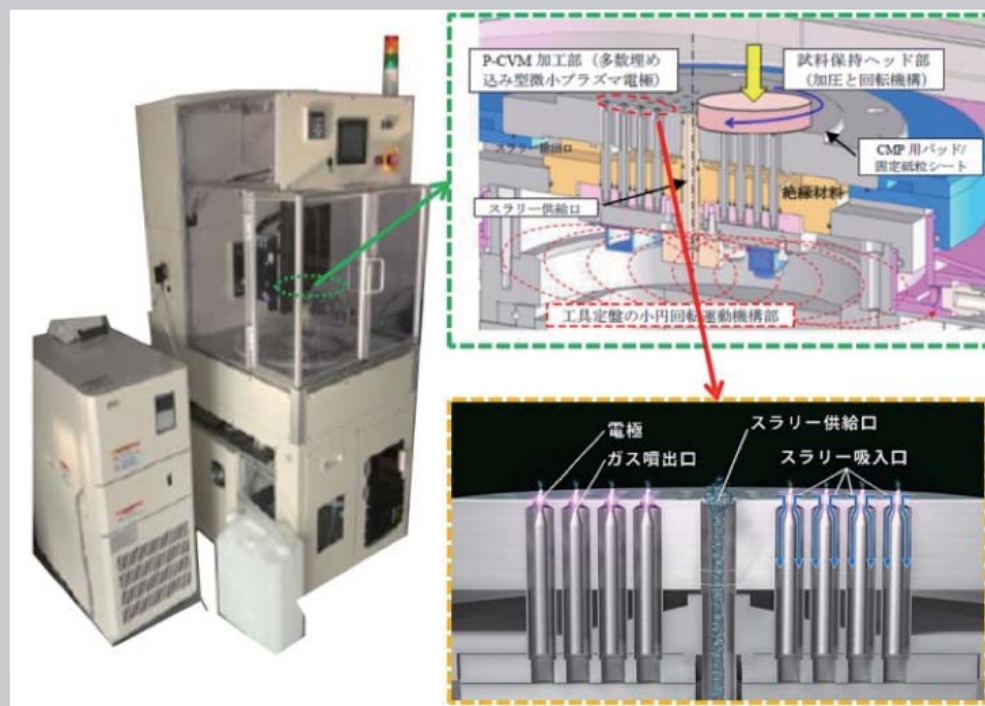


図1 設計試作したプラズマ融合CMP装置の外観写真と工具系運動機構・プラズママイクロ電極の模式図

図2は、P-CVM単独加工、CMP単独加工、そしてプラズマ融合CMPの各加工手法で4H-SiC基板(0001, Si面)を加工した時の表面粗さと加工レートを比較した一例である。SiC基板の加工レートは、

Plasma fusion CMP > P-CVM >> CMP

の関係があり、CMPに比べてSF6プラズマによる加工効率が優れている。また、加工中のプラズマ生成も比較的安定であったこともあり、加工面状態も良好であった。ただし、加工レートや加工面については、詳細な条件設定ができればさらに改善されることは確実である。

GaN基板(Ga面)についてもSiCと同様に加工特性を把握した。具体的には、Heガス:O<sub>2</sub>ガス= 99.5 : 0.5の割合で以て混合ガス合計流量8040sccmを供給しつつ印加電力100Wで実験を試みた。

図3にGaN基板の加工特性の一例を示す。Plasma fusion CMP法では、CMP法と比べて1/3の加工時間で表面粗さ(Ra)値のピークが現れて加工効率並びに加工変質層/ダメージ層の除去性能に優れていることがわかる。CL像においても良好な結晶状態に起因する発光が研磨経過時間の初期段階から見られている。このことは、Plasma fusion CMP法で高品位な加工を効率良く達成できること意味する。また加工メカニズムを検証するため、P-CVM処理を

加工法	CMP単独	P-CVM単独	プラズマ融合CMP
加工レート	< 0.03 μm/hr	> 1.0 μm/hr	5.6 μm/hr
表面粗さ (2000 New View 3000)	加工前の表面状態 Ra 23.4 nm	加工前の表面状態 Ra 19.4 nm	加工前の表面状態 Ra 24.8 nm
	加工後の表面状態 Ra 13.8 nm	加工後の表面状態 Ra 35.2 nm	加工後の表面状態 Ra 14.5 nm
加工条件等	スラリー:コロイダルシリカ パッド:不織布 回転数:30 min <sup>-1</sup> 加工圧力:1 kg/cm <sup>2</sup>	反応ガス種:He:SF <sub>6</sub> =99.5:0.5 投入電力:100 W 回転数:30 min <sup>-1</sup>	CMP + P-CVM conditions

図2 SiC基板のプラズマ融合CMPの加工特性例—CMPとP-CVMの単独加工との比較—

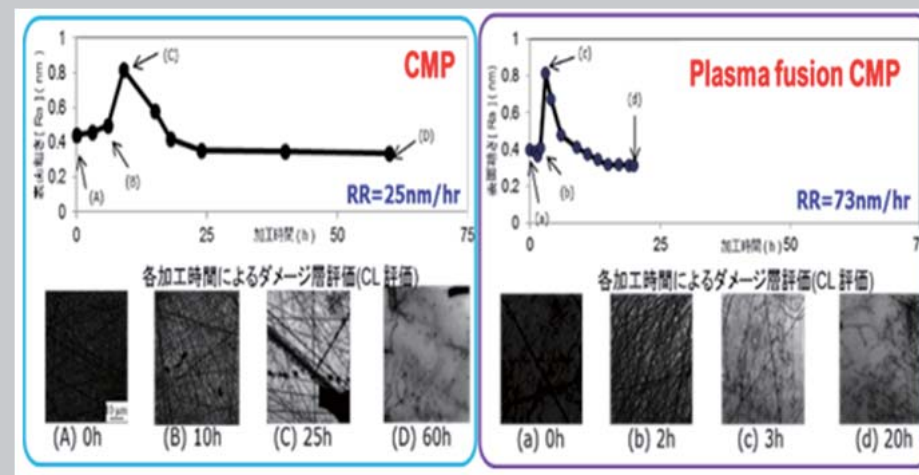


図3 GaN基板のプラズマ融合CMP加工特性 —CMP単独加工との比較例— (表面粗さ並びにカソードルミネッセンス(CL)像の加工時間依存性)

したGaN基板表面をX線光電子分光法(XPS)により評価しスペクトル解析を行った。

その結果、GaN基板のO<sub>2</sub>ガスを用いたP-CVM単独加工では、想定通りGaN表面が酸化されてGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>となり、この酸化物がCMPにより研磨除去されることで加工が進行することが明らかとなった。したがって、この酸化膜の生成を積極的に促進するために、プラズマ発生における印加電力や酸素ガス濃度を高めることで高効率化のできる加工効率化条件として適用できる。

#### 3. 超難加工材料ダイヤモンド基板の高効率精密加工への挑戦

3.1 ダイヤモンド基板の従来加工法による加工特性とその課題  
ダイヤモンドの高品質・高効率加工を目指した本研究では、その予備検討として、ダイヤモンドの難加工特性の把握にも努めてきた。ダイヤモンドの研磨には、従来からスカイフ研磨という手法が知られている。スカイフ研磨は、ダイヤモンドの遊離砥粒を埋めこんだ鋳鉄研磨定盤を高速回転させ、そこへダイヤモンドを押し当てながら研磨する手法である。機械的な摩擦に加え、ダイヤモンドと鋳鉄との化学反応によって研磨を進行させている。ダイヤモンドは地球上最も硬い物質として知られるが、ダイヤモンドを加工する場合、同じ結晶面の研磨であっても、研磨が進行しにくい結晶方位と、比較的研磨が進行しやすい結晶面方位を見分けることで、研磨を行うことが可能となる。図4に、ダイヤモンド基板(100)面の研磨における研磨方位依存性を示す。研磨方向に対して研磨速度が増減する様子を見て取ることができる。<110>方位では全く研磨が進行しないのに対し、<110>方向では加工時に印加する圧力に応じ加工レートが上昇する様子を確認できる。ダイヤモンド砥粒によるダイヤモンドの研磨はアモルファスカーボンの形成とその除去により進行する。図5は、ダイヤモンドの結晶面方位ごとのアモルファス化に必要なエネルギーを算出し、結晶面方位と研磨速度との関係を理論的に算出した結果である。実験データと極めて良い一致をする理論計算結果が得られている。このように、ダイヤモンドによるダイヤモンドの加工はアモルファスカーボンの生成によって進むため、比較的高い加工レ

ットが可能である。加工する方向、砥粒サイズ、印加圧力の選択によっては1mm/h程度の加工レートを得ることができるため、最適化次第ではCMP前加工として適用できる可能性が十分に高いと考えられる。また、加工条件を精密加工として最適化することで数nm程度の比較的原子レベルに近い平坦性も得られることから、ダイヤモンドの基板の仕上げ加工にも用いられている。しかしながら、基板表面の仕上げ品質として必ずしも満足のいく表面状態が得られているわけではない。ダイヤモンドのCMP技術確立が急務である。