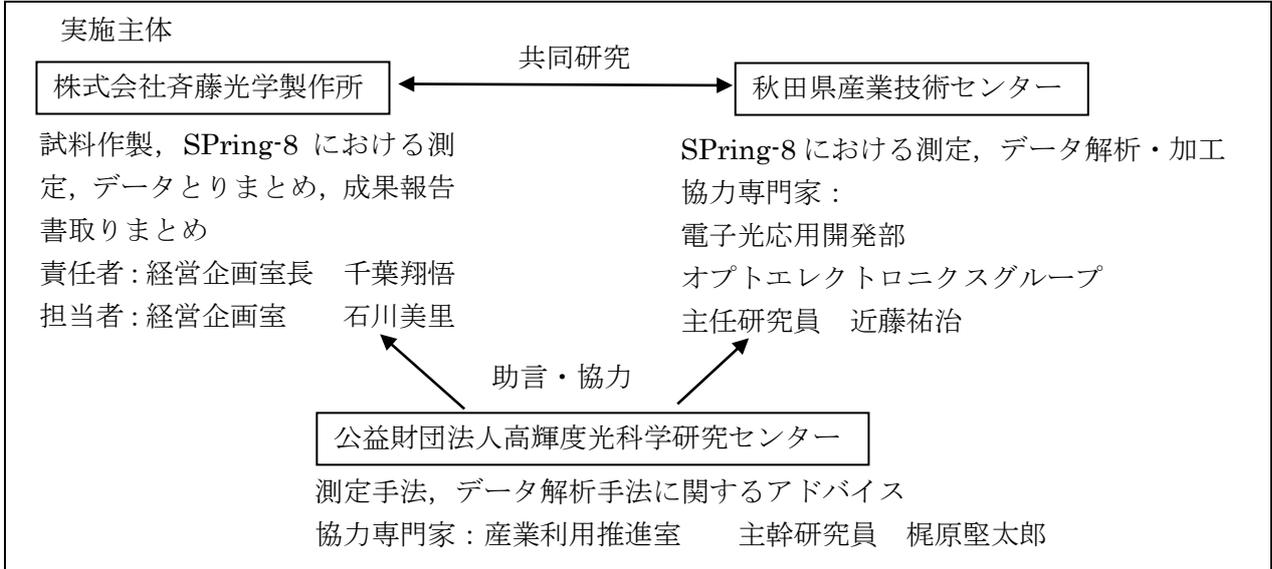


「仙台市放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース事業）」 成果報告書詳細

1 課題名

SiC 基板における CMP 加工条件を導出するための放射光計測活用に関する可能性調査

2 測定にあたっての体制（社外委託先を含め記載）

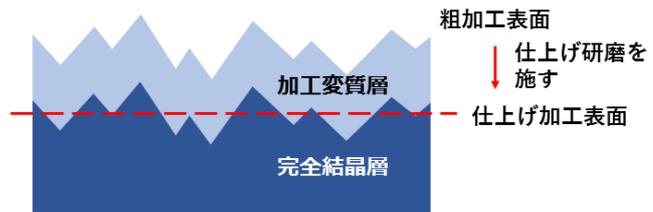


3 背景と測定目的

近年，スマートフォンなどの情報通信機器や電気自動車に代表される輸送機の高度化に伴い，世界的に電力エネルギー需要は増大している．これを受けて，省電力化を実現する次世代パワー半導体として，SiC(炭化ケイ素)などのワイドバンドギャップ半導体基板が注目を集めている．SiCは，例えば電車，電気自動車向けの電力制御機器等への採用が検討されており，従来のシリコン(Si)を用いたパワーデバイスと比較して大幅に電力使用量を削減可能という実証結果も報告されている[1]．

これらの次世代パワー半導体のデバイス性能は，半導体結晶基板の格子欠陥などの結晶の不完全性に大きく左右される[2]．結晶の不完全性の要因には結晶成長時に導入される材料起因のものとウェハー加工時に導入される加工起因のものがある．後者のウェハー加工工程では粗加工で導入される結晶欠陥などの加工変質層を除去するための最終表面仕上げを施し，原子レベルの平滑性だ

粗加工（研磨）後の結晶基板断面イメージ



仕上げ加工（研磨）後の結晶基板断面イメージ

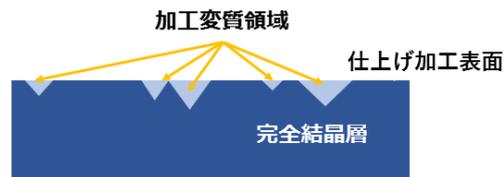


図1 加工変質層除去の模式図．

けでなく加工変質層を除去することが求められる[3]. (図 1 参照)

一般に、上述した結晶基板の最終表面仕上げには化学機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing ; CMP) が用いられている[4]. しかし、現状では最適な CMP 加工条件は確立されていないため、CMP 工程は全加工プロセスのなかで最も多くのコストを要しており、普及拡大の阻害要因となっている. すなわち、本工程における最適加工条件の導出は、全体の基板加工コストの低減に非常に高い効果を及ぼす.

○目的

本課題は SiC 基板の最終表面仕上げ工程における条件導出の指針を得るために、基板表面付近の加工変質層に存在する結晶欠陥やひずみの密度や分布を評価する手法を確立することを目的とする. 具体的には放射光を用いた X 線トポグラフィにより、弊社の各 CMP 条件で加工した基板表面付近の結晶欠陥やひずみの密度や分布の差異を詳細に評価する.

これらにより、表面付近の結晶欠陥やひずみの密度や分布を定量化することで良否判断を明確化し、SiC 基板の最適 CMP 条件導出の指針とする.

4 測定方法 (測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど)

表面仕上げ研磨工程の違いと試料のひずみとの相関を X 線トポグラフィで評価した. 試料には CMP の前工程であるダイヤモンドラップを施した基板、次工程の 1 次 CMP を施した基板および最終工程の 2 次 CMP を施した基板の 3 種の SiC 基板を用いた. ビームラインは BL19B2 を使用した. BL19B2 には試料と検出器の方位を自由に変更できる回折計が設置されており、X 線トポグラフィ用のカメラも準備されている. また、試料サイズが数 mm であることから BL19B2 を選択した. 試料表面は概ね(0001)面であり、正確には(0001)面が[11-20]に 4 度傾いている. 回折面は(-1-128)面、X 線のエネルギーは 9 keV とし、このとき回折角度 2θ は 90 度、試料表面への X 線の入射角度が 2 度となる. この様に試料への入射角度が浅く、回折角度が深い条件を選択することで X 線トポグラフィ像の回折ベクトル方向への変形が小さくなる. また、試料への X 線の侵入深さも $7\mu\text{m}$ 以下程度であり、研磨による表面のひずみ観察に適している. 検出器はフラットパネルセンサーと浜松ホトニクス社製の X 線イメージングシステム(BM2(f=50 mm)と FLASH4.0(f=50 mm))を用いた. 図 2 に測定の模式図を、図 3 に測定のセットアップと試料の測定範囲を示す. 初めに入射 X 線を 9 keV に設定し、デチューンを行うことで高調波を除去した. [-1-120]方位がビームラインの上流に向き、試料表面が上を向くように試料を回折計に設置した. 試料表面が入射 X 線と平行かつ試料表面が入射 X 線の中央に位置するように、半割調整を行った. フラットパネルセンサーを回折角度 90 度の位置に設置し、試料の角度を徐々に変化させ、回折像を検出した.

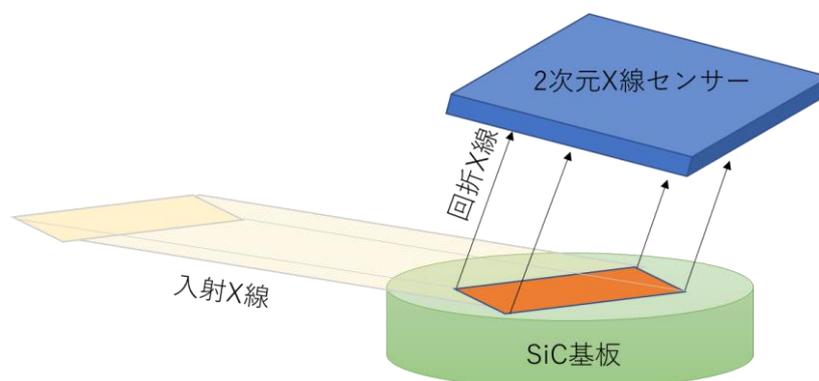


図 2 測定模式図

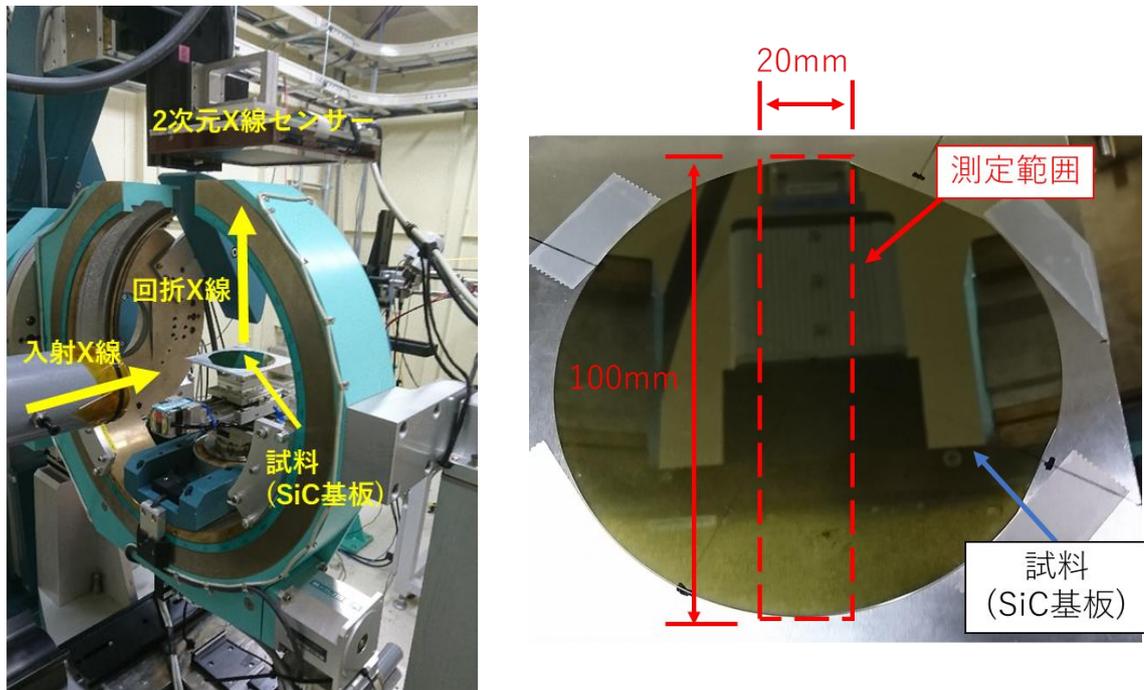


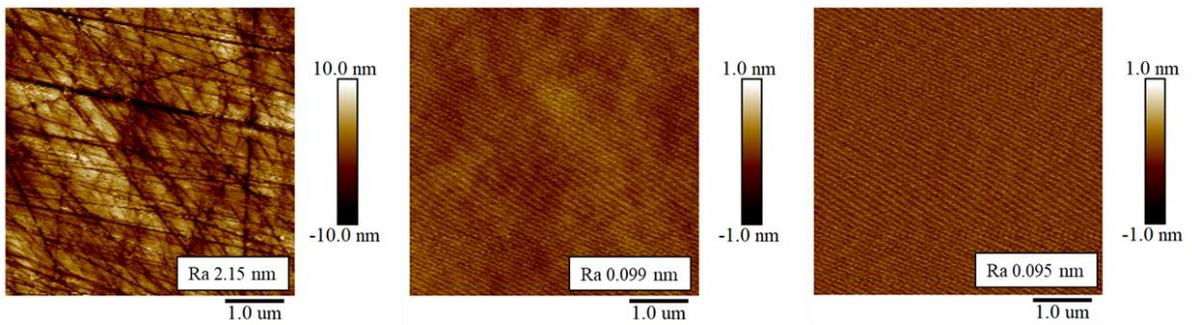
図3 測定セットアップと試料測定範囲

5 結果および考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

初めに弊社における従来の評価法である原子間力顕微鏡を用いた各試料の表面観察像を図4に示す。図4(a)に示すダイヤモンドラップ後の表面には多数の傷が確認された。これは、ダイヤモンド砥粒による機械的な除去に起因するものであり、この傷の近傍には結晶歪みが存在するものと考えられる。図4(b)の1次CMP後の表面においては、傷は除去されているものの、微小なうねり成分が認められる。この微小なうねりは図4(c)の2次CMPにおいて除去されており、最終的に平滑な表面が得られている。弊社においては、この微小なうねり成分の除去をCMP完了の一つの判断基準としている。

次に今回の評価で得られた放射光X線トポグラフィ像を図5に示す。ここで、X線トポグラフィ像におけるコントラストはX線の回折強度を表しており、基板表面より数 μm の深さ範囲における結晶の均質性を示している。コントラストが強いほど結晶構造は不均質であり、均質で良好な結晶構造であれば、コントラストは弱くなる。画像より、コントラストはダイヤモンドラップを施した基板が最も強く、1次および2次CMPを施した基板はダイヤモンドラップ後の基板と比較して弱い。また、1次、2次CMPのコントラストはそれぞれ同程度である。すなわち、ダイヤモンドラップ後の基板表面における結晶品位は不均質性が高く、1次CMPおよび2次CMPを施した基板は同程度の良好な均質性を有していると推測できる。ダイヤモンドラップ後の不均質性は傷や結晶歪みなどの加工変質層に起因するものと考えられ、1次CMP工程終了時点で基板表面の加工変質層が除去されている可能性が示唆された。

放射光X線トポグラフィの結果より、基板表面における結晶品位の観点からは2次CMP工程が不要であると考えられ、工程削減の可能性を得た。CMP工程全体に占める2次CMP工程の加工時間割合は60%程度であることから、本工程の削減によりSiC基板CMPに要する加工時間、加工コストの大幅な低減が期待できる。



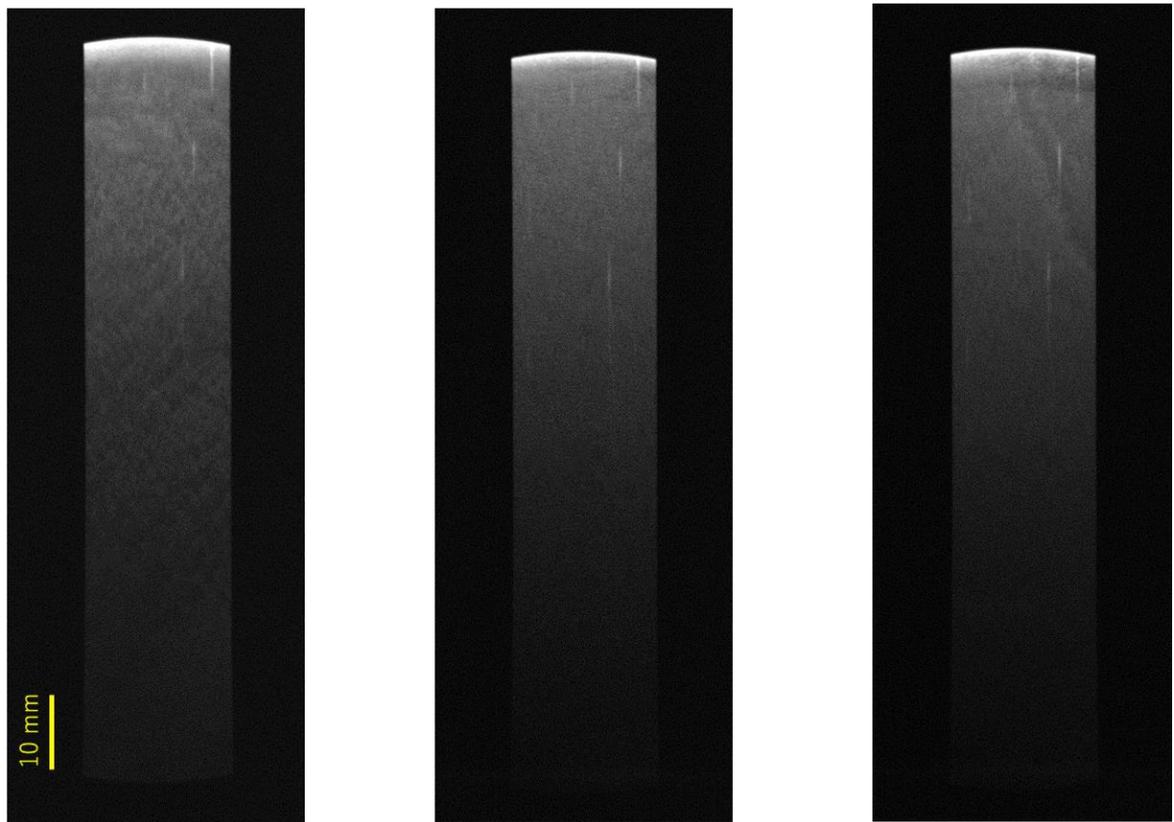
(a)ダイヤモンドラップ基板表面

(b) 1次 CMP 基板表面

(c) 2次 CMP 基板表面

※(b),(c)における斜め方向の縞模様はバックグラウンドノイズ

図 4 各試料の原子間力顕微鏡像



(a)ダイヤモンドラップ基板表面

(b) 1次 CMP 基板表面

(c) 2次 CMP 基板表面

図 5 放射光 X 線トポグラフィ像

6 今後の課題

今回の評価においては、前述のとおり 2 次 CMP 工程削減の可能性が得られた。しかし、回折光の輝度が不足し、高分解能センサーを用いた撮像は実施できておらず、詳細な歪み評価には至っていない。そこで、今後、高分解能センサーの適用法について検討し、より詳細な表面評価を行うとともに、結晶歪みの定量化を目指す。

また、今回得られた X 線トポグラフィ像のコントラストには、結晶の歪みだけではなく、光学的に観察できる試料表面の傷が影響している可能性も考えられ、現時点で切り分けができていない。今後、前述の高分解能センサーを用いた評価ならびに計算手法等を検討し、結晶歪み及び傷に起因するコントラストの切り分けを目指す。

これらより、SiC 基板の最適な CMP 条件を確立し、当該材料の加工コスト低減を実現する。

7 参考文献

- [1] たとえば、三菱電機株式会社プレスリリース、2012 年 9 月 14 日
- [2] 佐野泰久, ”次世代パワーデバイス用 SiC 基板の研磨技術“, 精密工学会誌, Vol.84, No.3(2018)218-220.
- [3] 砥粒加工学会編: 砥粒加工技術のすべて, 工業調査会, (2006)220-221.
- [4] 安永暢雄, ”はじめての研磨加工“, 東京電機大学出版局, (2011)117-123.