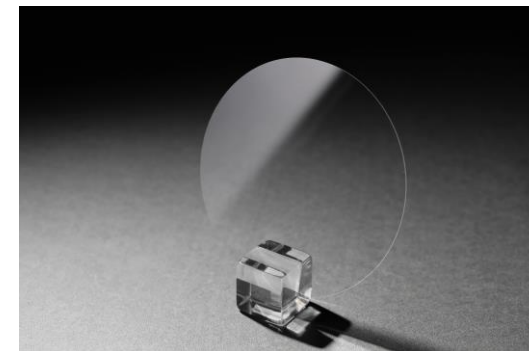
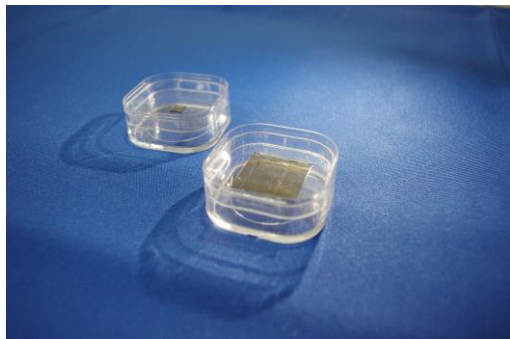
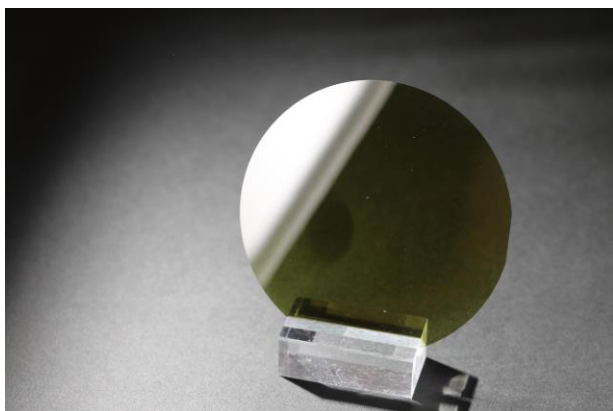


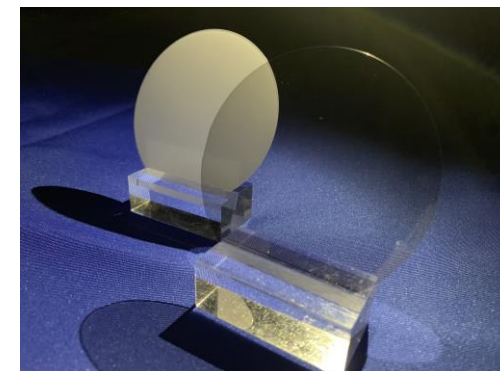


日本素材物性学会 令和2年度第2回研究会

中小企業における放射光利活用 -先進パワー半導体基板の表面ダメージ評価-



株式会社斉藤光学製作所
経営企画室 千葉翔悟
E-mail:schiba@saito-os.com



会社概要

光学から半導体分野まで 先進研磨技術で理想表面を創る

商号：株式会社齊藤光学製作所

設立：1977年(昭和52年)

所在地：本社・ガラス事業部・結晶事業部

〒019-1512 秋田県仙北郡美郷町本堂城回字若林118 - 2/3

従業員数：68名(2021年3月現在)

事業内容：

【硬脆材等受託加工】

○加工工程：切断，外形加工，熱処理，研削，研磨（ラップ，CMP），洗浄，検査

○取扱材料：ガラス，酸化物・化合物単結晶，多結晶，樹脂，メタル

【研磨関連技術サービス】

○各種研磨副資材等評価業務

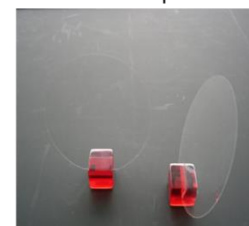
○研磨関連装置・資材販売

○研磨加工プロセス設計・コンサルティング業務

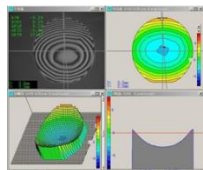
○研究開発向け小サイズ・少数試作



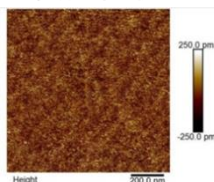
薄片ガラス基板
 $t=100\mu\text{m}$



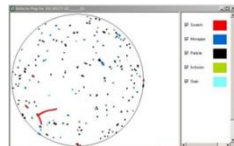
基板平坦性



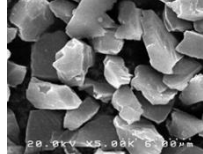
表面性状



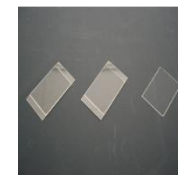
基板清浄度，欠陥



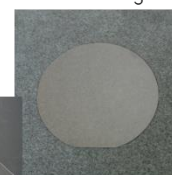
砥粒形状



LiNbO₃



LiTaO₃



SiC



サファイア



代表加工プロセスと取り扱い材料

PROCESS OF GLASS DIVISION 加工プロセス



インゴット
Crystal barstock



外形研削
O.D. grinding



オリフラ加工
O.F. processing



切断
Slicing



面取り
Beveling



両面LAP
Double side Lapping



熱処理
Annealing



片面CMP
Single side CMP



両面CMP
Double side
CMP

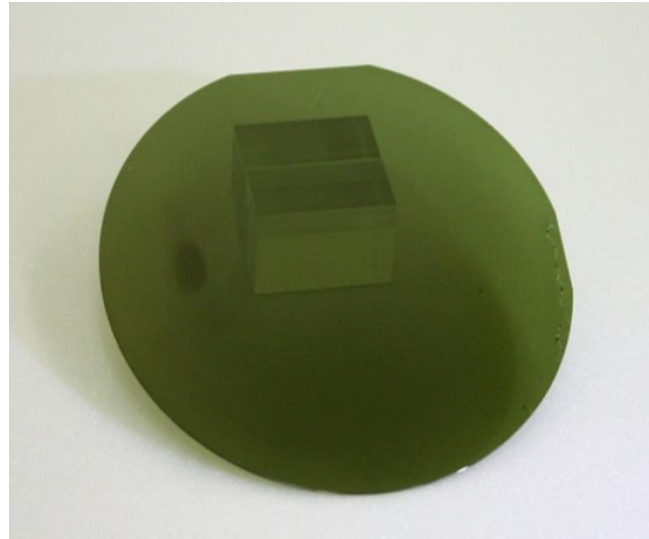


洗浄・検査
Cleaning/inspection

区分	材料名
単結晶	Sapphire, SiC, GaN, Diamond, Si, Quartz, AlN, LiTaO ₃ , LiNbO ₃ , MgF ₂ , CaF ₂ , Ga ₂ O ₃
多結晶・セラミックス	Al ₂ O ₃ , AlN, SiN, ZrO ₂ , SiC, Diamond, Glass ceramics
ガラス	Soda-lime glass, Crown glass, Non-alkali glass, Borosilicate glass, Aluminosilicate glass, Fused quartz
金属	SUS, Al, Cu, Ni, Cemented carbide, Ti, Inver
樹脂	PC, PMMA, Epoxy, PVC, CFRP

令和元年度仙台市トライアルユース事業

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



事業背景

情報通信機器等の普及，高度化やIoTの普及に伴い，
電力需要は増加

	2016年	2030年	2050年
IPトラフィック (ZB/年)	4.7	170	20,200
消費電力 (国内:TW h /年)	41	1,480	176,200
消費電力 (世界:TW h /年)	1,170	42,300	5,030,000

出典：国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター，”低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書 技術普及編 情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響（Vol.1）”（2019）

課題解決の鍵：パワーデバイスの高性能化



パワーデバイスとは…

インバーターやコンバーターなどの
電力変換器に用いられる半導体素子

直流 → 交流

100V → 5V

→ 変換時には電力損失が発生
損失の抑制＝省電力化

従来のSi半導体パワーデバイスに代わる次世代半導体（SiC，GaN等）パワーデバイスが注目

SiC⇒現在は電車などへの適用が検討⇒電力損失従来Si IGBT比55%低減が実証（NEDO）

課題：既存の素子と比べて高価

- ・次世代半導体は難加工材料
- ・その基板表面は原子レベルで無ひずみであることが要求



基板加工コストが増大

	Si	Sapphire	GaN	SiC
シリカ研磨剤による研磨速度 (pH10)	1	0.03	0.005	0.0002

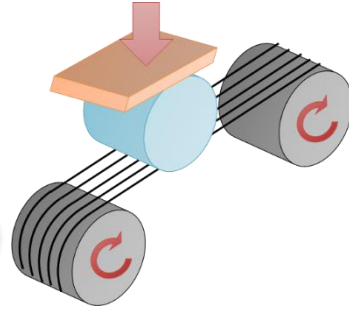
参考文献：玉井一誠，森永均，”Si，サファイア，SiC，GaNの研磨とそのメカニズム”，日本学術振興会「結晶加工と評価技術」145委員会 第127回研究会（2011）.

次世代半導体の加工プロセス概要



①インゴット
切断

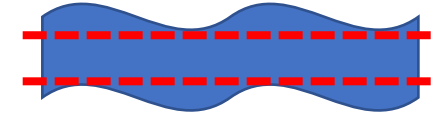
自立基板化



②形状精度創成工程

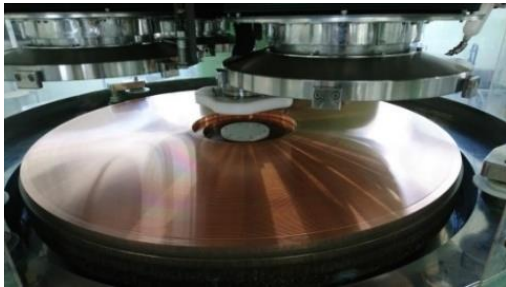


整厚, うねり
反りの除去
平坦度確保

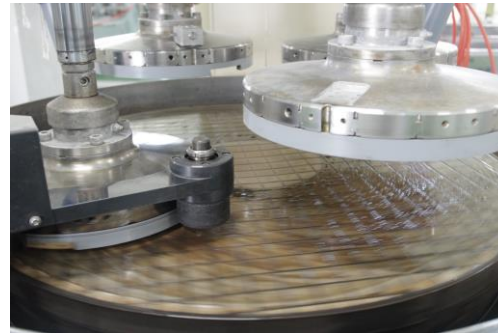


表面仕上げ工程（遊離砥粒研磨加工）

③表面粗仕上げ工程



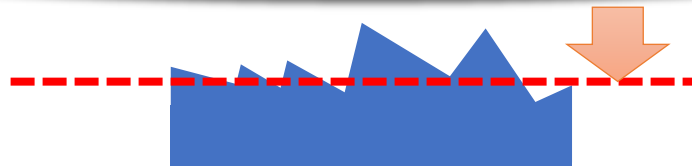
④表面中間仕上げ工程



⑤表面最終仕上げ工程



表面粗さ・表面ダメージ
低減

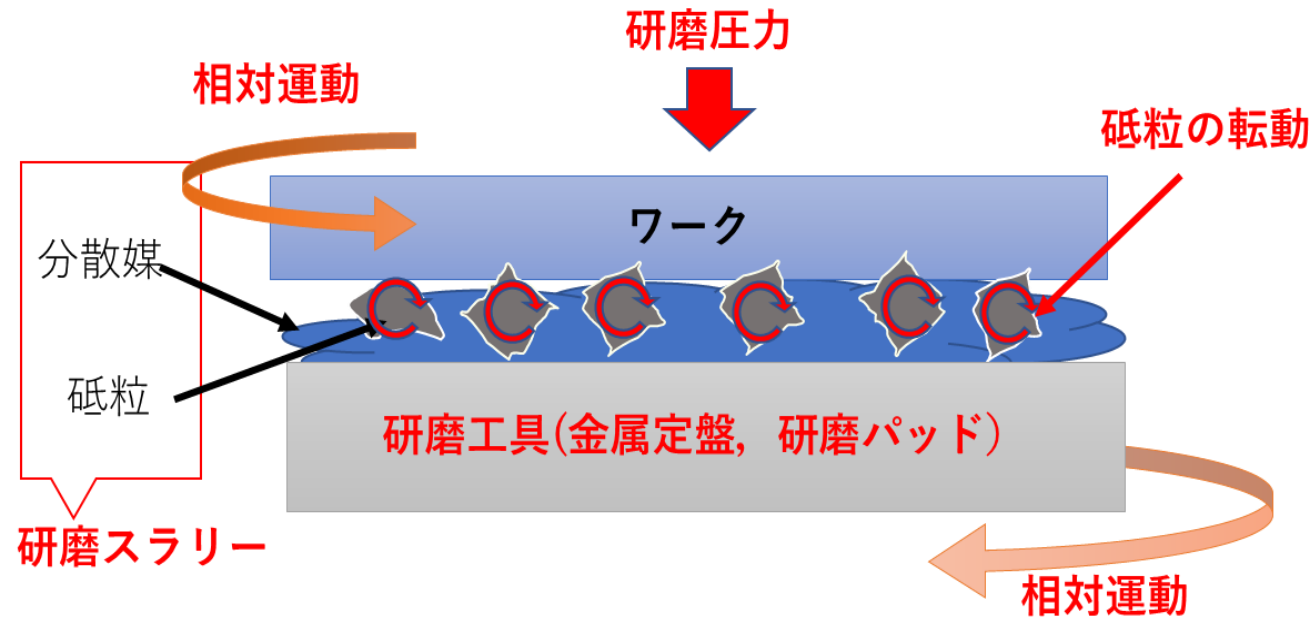


原子レベルの
平滑性確保



遊離砥粒研磨加工

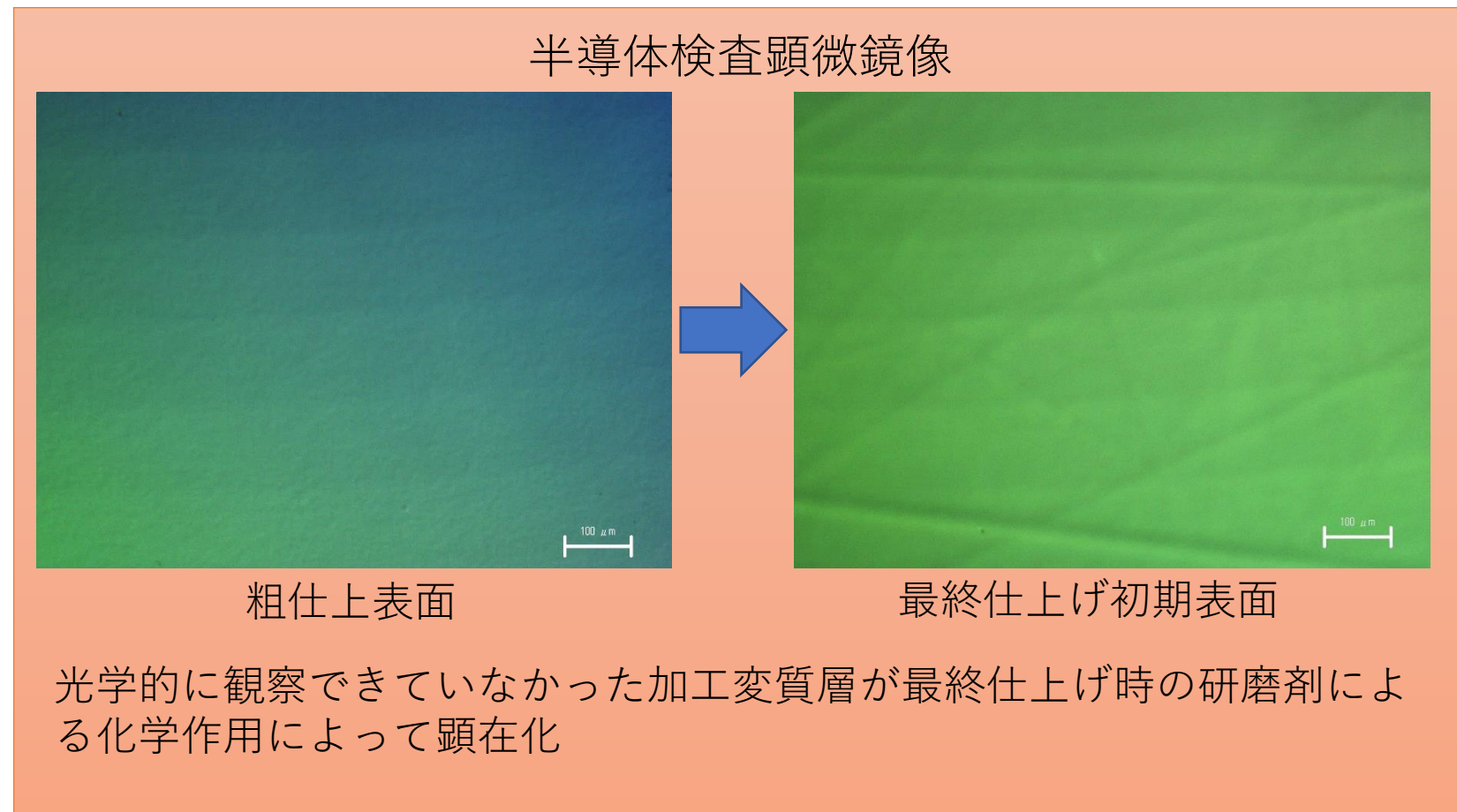
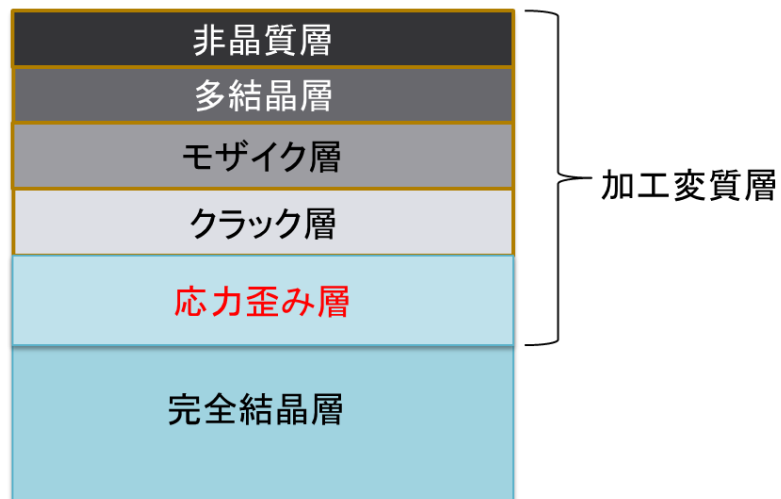
工具とワークに砥粒を挟み込み、一定の圧力条件下において相対運動させ、砥粒の切れ刃により、ワークをごく微量ずつ削り取って精密に仕上げる加工法



硬脆材料の研磨加工において、主として砥粒の機械的除去作用（硬度等）による研磨除去を行った場合、表面には加工変質層が形成

加工変質層

基板表面近傍に形成されるバルクの結晶品質と異なる層



加工変質層（加工ひずみ）はデバイス性能に悪影響を与える

⇒最終仕上げではこのひずみの完全除去が必須

最終工程における無ひずみを実現する加工法：化学機械研磨（CMP）

化学機械研磨(CMP: Chemical Mechanical Polishing)

研磨剤の機械的な除去作用と化学的な除去作用の複合により基板表面を無ひずみ仕上げる加工法



研磨除去速度と表面の仕上がり品質はトレードオフの関係にあるため、バランスを取り、
多段工程(1次, 2次)で段階的に仕上げる。

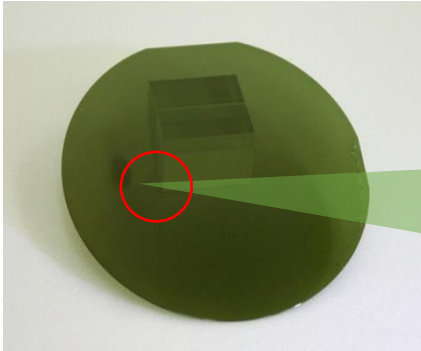
課題：現状のCMP工程は難加工材料である次世代半導体向けに最適化されていない
⇒本工程に要する時間とコストは大きく、改善が必要

しかし、現状は加工変質層がどの段階で除去されているかに対する明確な指針がなく、主に経験値を基に必要な除去量が算出されている。

これまでの取り組みと事業の目的

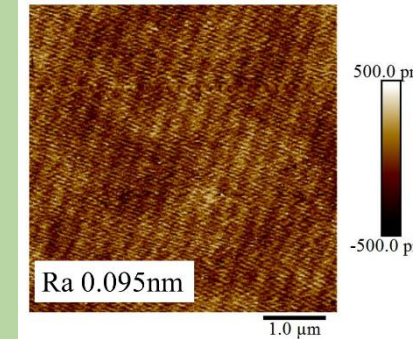
弊社におけるSiC基板加工

大学，研究機関を中心に受託加工を実施。

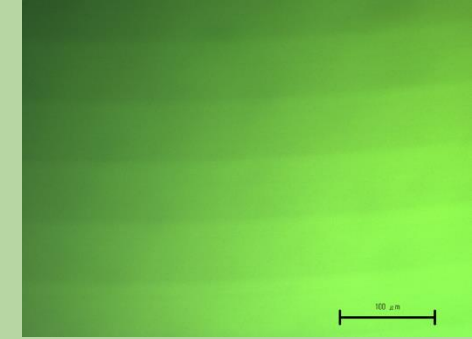


社内における評価手法

原子間力顕微鏡



微分干渉顕微鏡



結晶欠陥やひずみの密度や分布を定量化することは困難

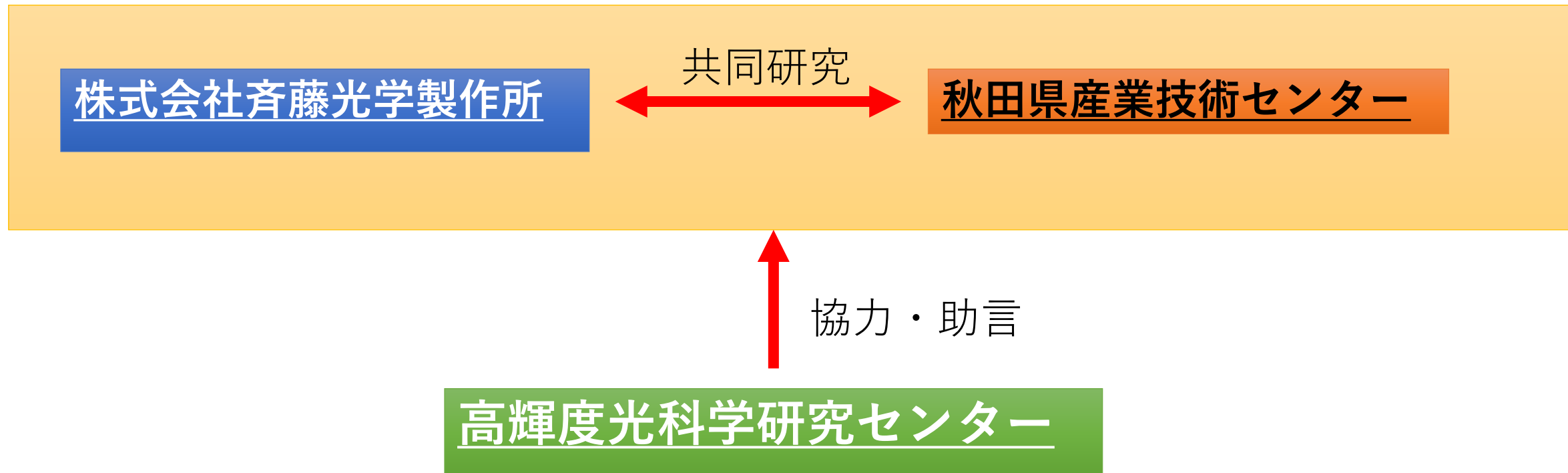
放射光を用いたX線トポグラフィ

SPring-8にて各仕上げ段階における基板表面付近の加工変質層に存在する結晶欠陥や歪みの密度や分布を評価⇒定量化することで加工の良否判断を明確化



**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
→ 製造コスト削減に寄与**

実施体制

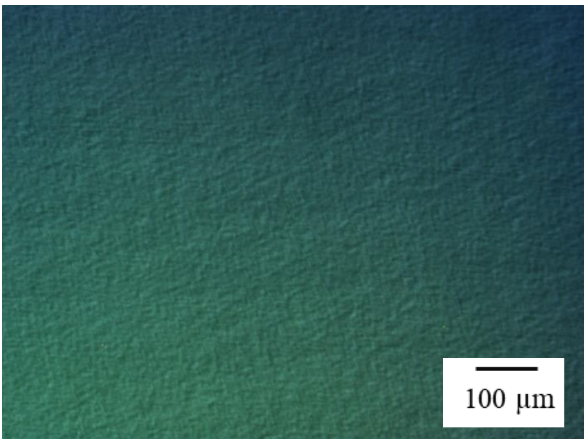
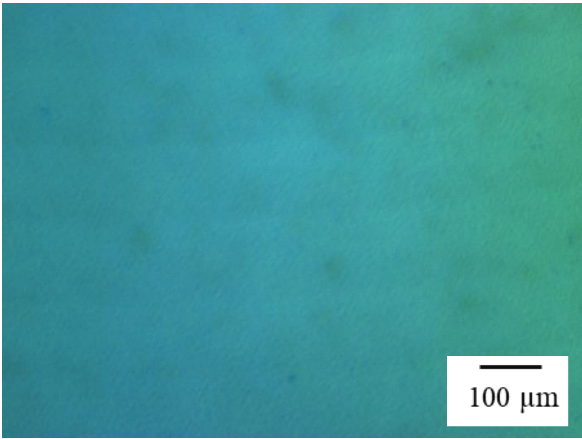
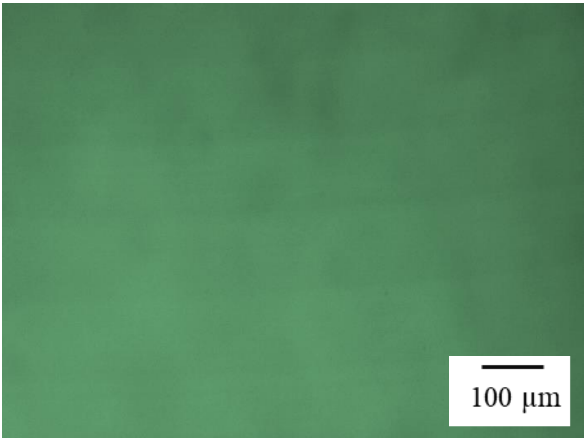
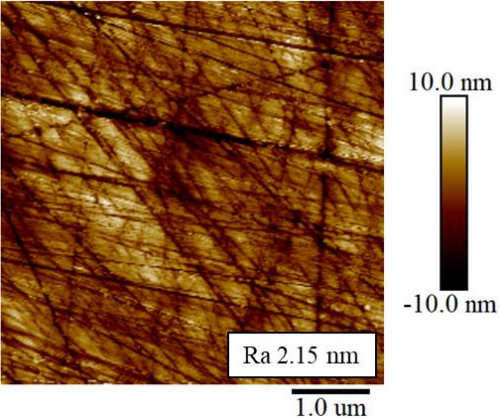
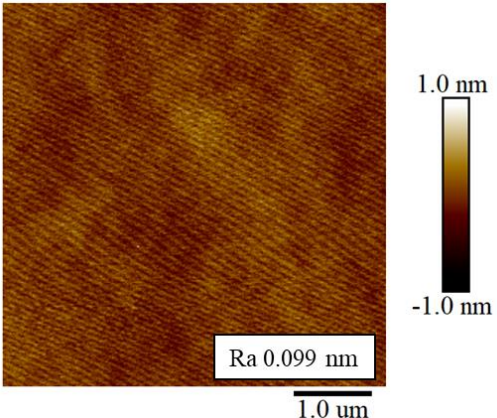
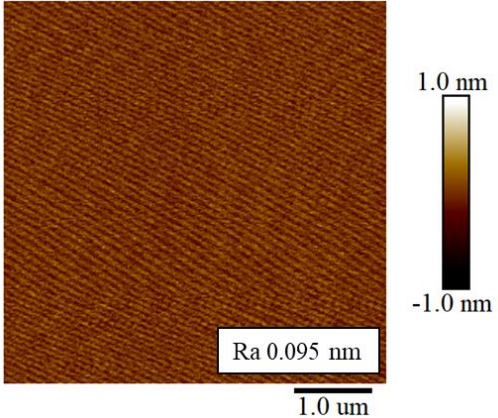


評価用試料

< 試料 > 4H-SiC (0001) ウェハー

オフ角：[11-20]方向に4 deg

試料表面状態： **Sample#1** ダイヤモンドラップ（粗加工面）， **Sample#2** 1次CMP（一次仕上げ面）
Sample#3 2次CMP（最終仕上げ面）

Wafer#	1	2	3
State	After Diamond Polishing	After 1st CMP	After 2nd CMP
DIC Image			
AFM Image			

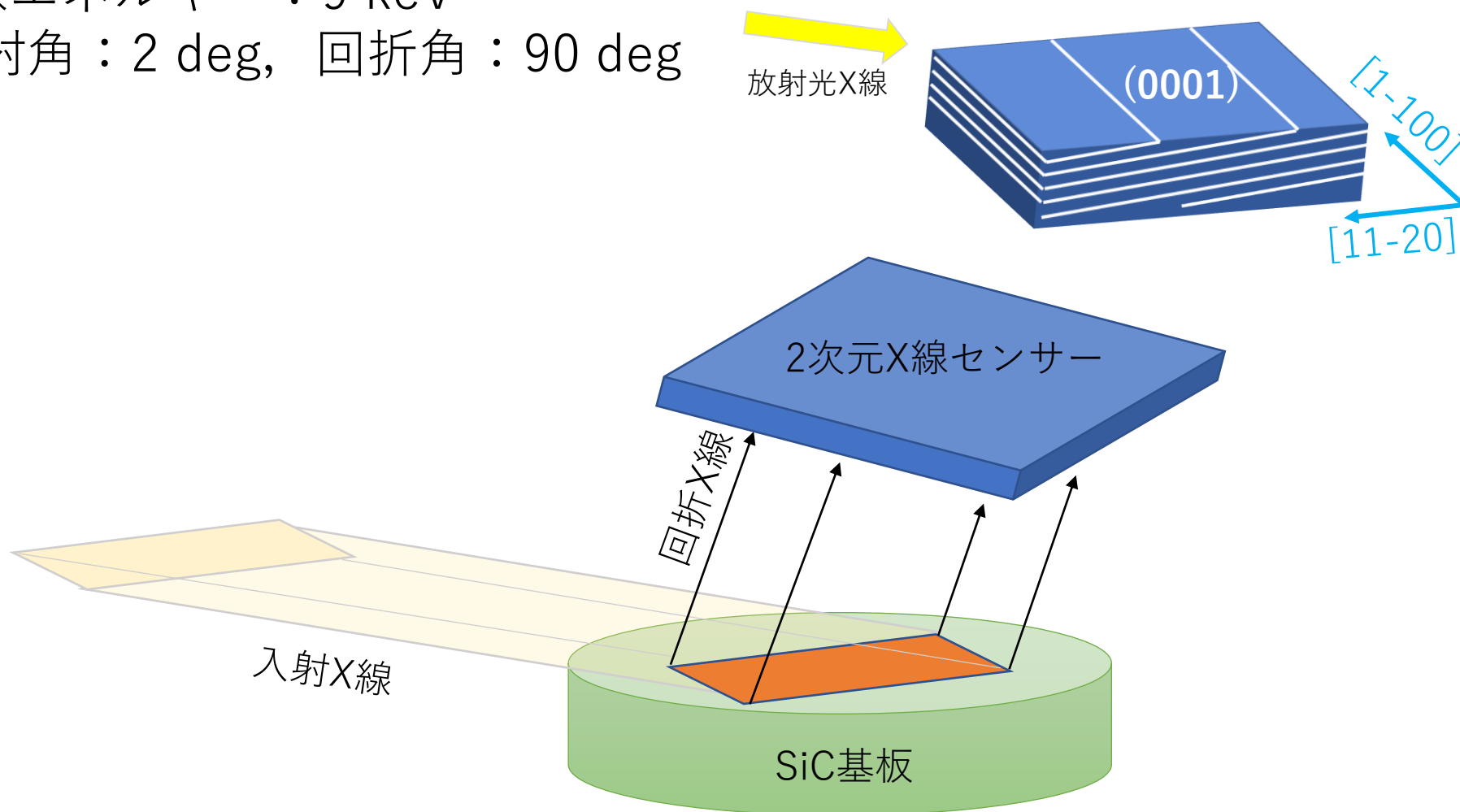
放射光X線トポグラフィー評価条件

<放射光X線トポグラフィー条件>

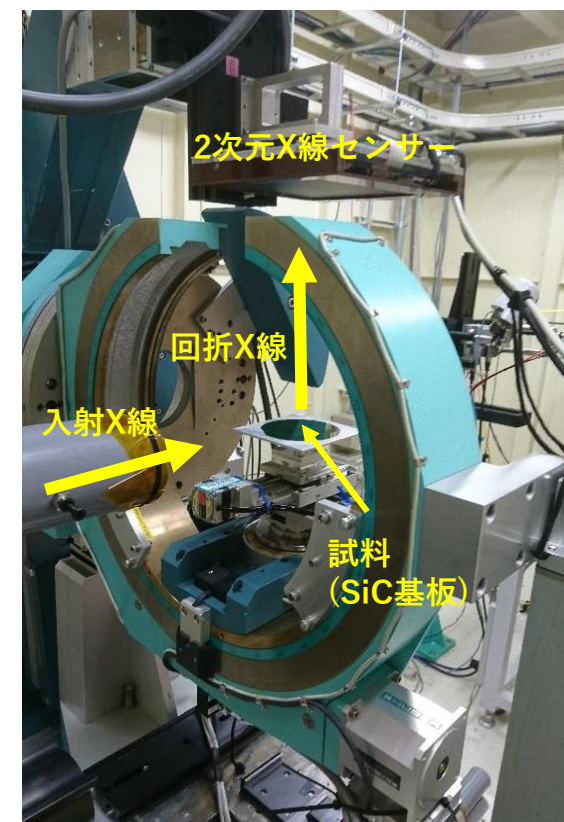
-1-128回折の反射X線トポグラフィー

X線エネルギー：9 keV

入射角：2 deg, 回折角：90 deg



SPring-8 BL19B2



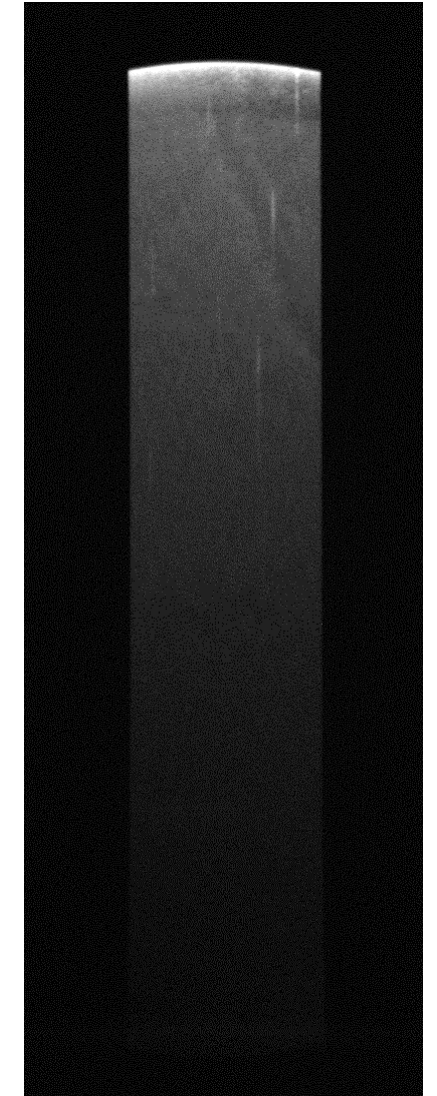
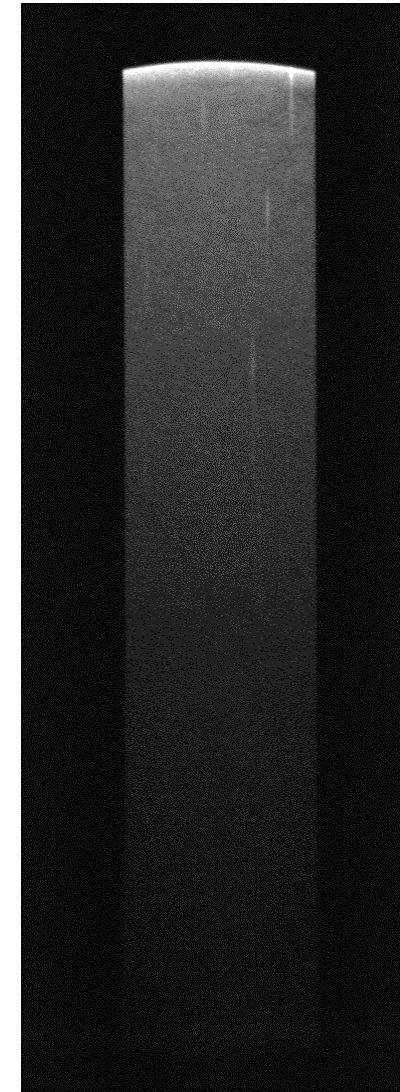
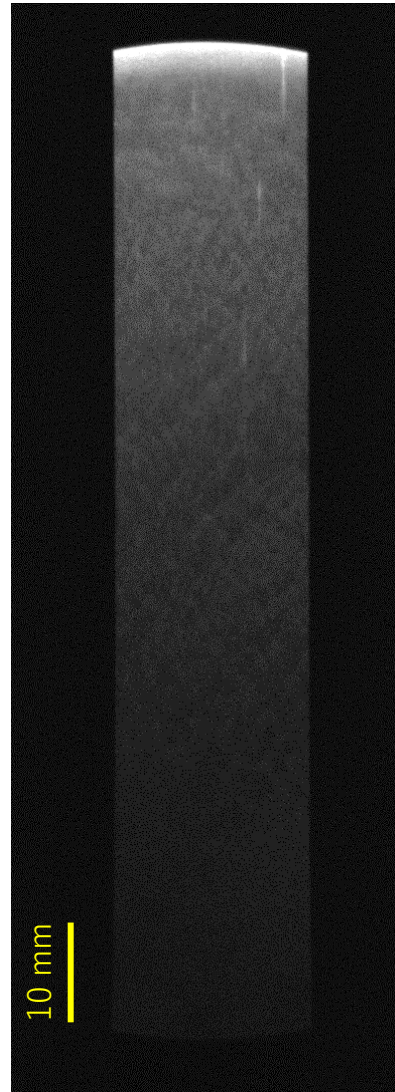
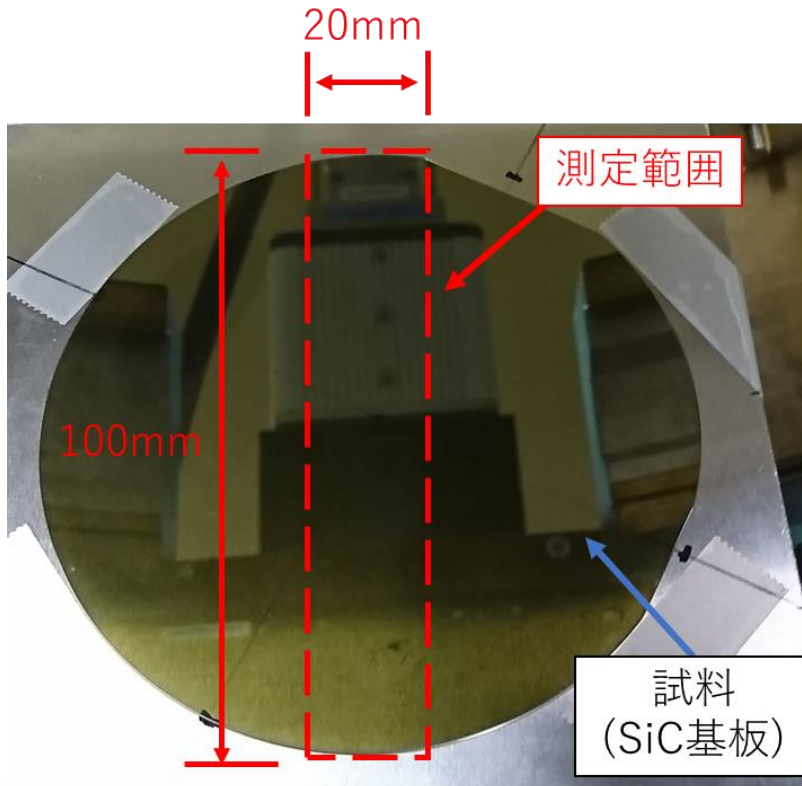
評価セットアップ

評価結果：放射光X線トポグラフィー像

Sample#1
ダイヤモンドラップ基板

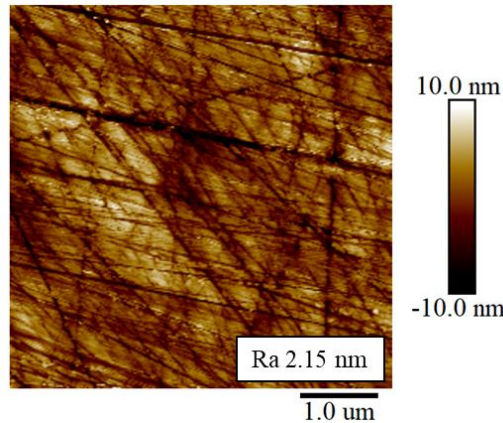
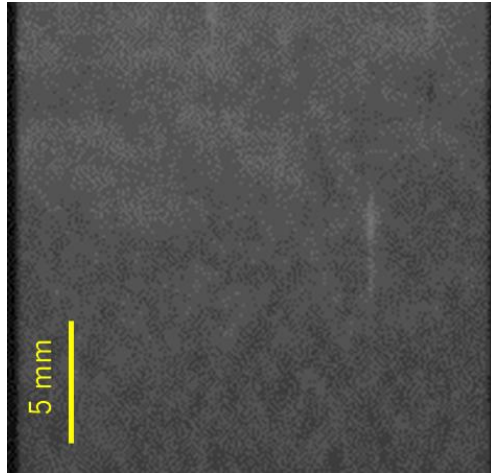
Sample#2
1次CMP基板

Sample#3
2次CMP基板

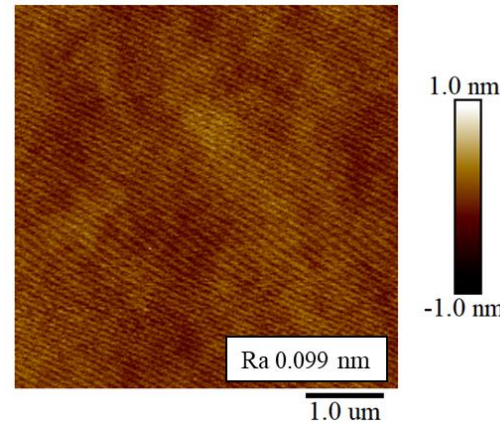
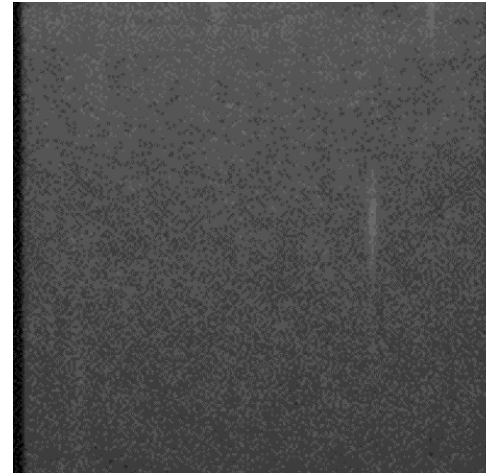


放射光X線トポグラフィー像とAFM像（社内評価）の比較検討

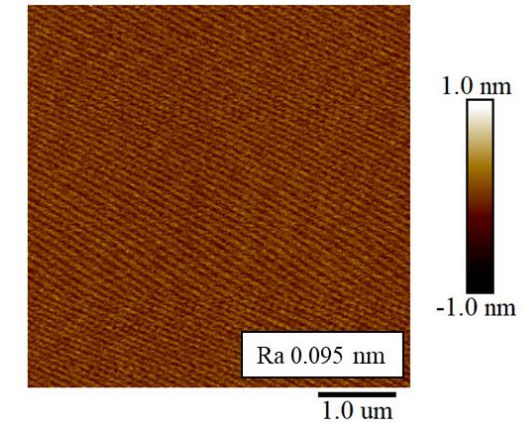
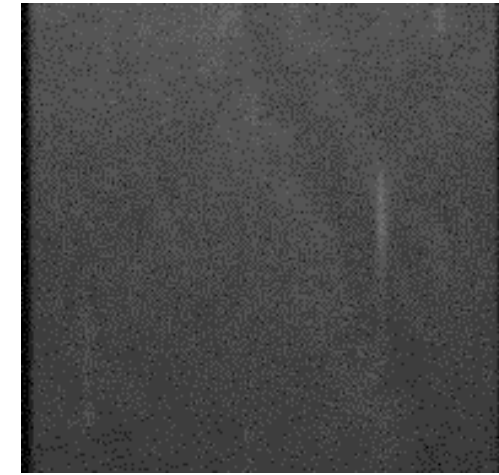
#1 ダイヤモンドラップ基板



#2 1次CMP基板



#3 2次CMP基板



- ・ AFM像においては1次CMP後の表面に微小なうねり成分が認められ、2次CMP後では除去
- ・ X線トポグラフィー像のコントラストはダイヤモンドラップ>2次CMP≒1次CMP

1次CMP時点でダイヤモンドラップ（粗加工）による結晶歪みが除去されている可能性

⇒2次CMP工程を削減できる可能性

今後の課題：コントラストが表面の傷の影響を受けている可能性も考えられるため、詳細な解析を行う。

まとめと今後の課題

<まとめ>

SiC基板の各表面仕上げ状態における結晶歪みの有無を明らかにするため、放射光X線トポグラフィーを用いた評価を実施した。

X線トポグラフィー像のコントラストはダイヤモンドラップ>2次CMP≒1次CMPであり、1次CMP時点でダイヤモンドラップ（粗加工）による結晶歪みが除去されている可能性が示唆された。
これより、SiC基板加工プロセスにおいて、2次CMP工程を削減できる可能性が得られ、製造コストの低減が期待できる。

<今後の課題>

- ✓ X線トポグラフィーの高分解能撮影
- ✓ X線トポグラフィー像コントラストの詳細解析
- ✓ X線トポグラフィー像コントラストと傷との相関の詳細解析

中小企業における放射光の利活用

- ・ 中小製造業を取り巻く環境は急激に変化⇒価値の見直し，再定義必要
- ・ 中小製造業において放射光を用いた評価はまだ身近な存在ではない(ハードルが高い)

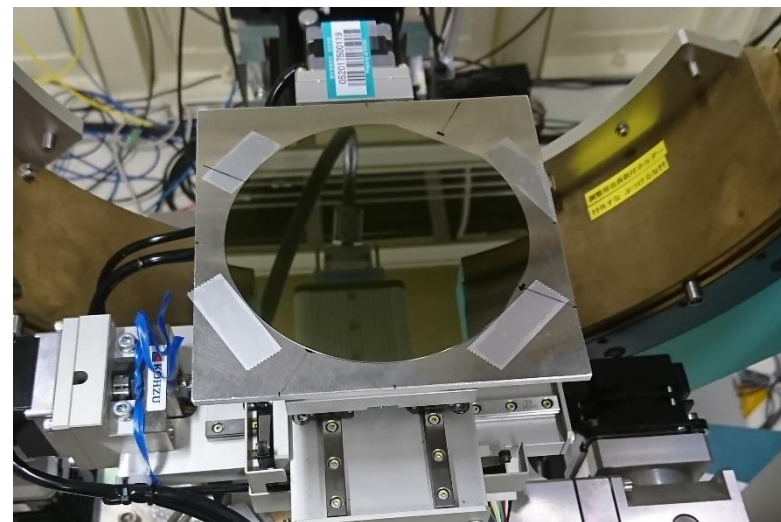
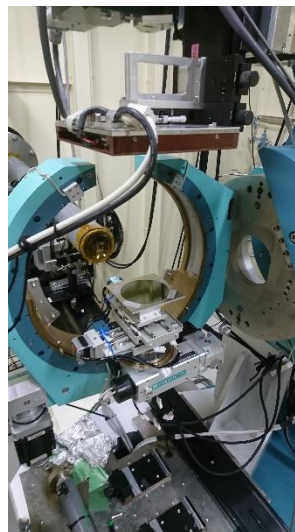
一方で価値ある技術を有する中小企業は多数存在

中小企業の経験知＋放射光による“見える，分かる”



イノベーション創出や異なるビジネスフィールドへの展開のチャンスは大きく広がる

鍵：連携



謝辞

本研究は令和元年度仙台市トライアルユース事業を受けて行われたものであり，ここに謝意を表す.