

2021A1549

BL47XU

## 平板状光学・電子デバイス用材料の鏡面加工における破碎層の評価 Evaluation of Subsurface Layers Formed on Flat Surfaces of Substrates for Optical and Electric Devices after Mirror Wrapping Process

矢代 航<sup>a,b,c</sup>, 田中 大祐<sup>d</sup>, 八木 直人<sup>e</sup>, 上杉 健太郎<sup>e</sup>  
Wataru Yashiro<sup>a,b,c</sup>, Daisuke Tanaka<sup>d</sup>, Naoto Yagi<sup>e</sup>, Kentaro Uesugi<sup>e</sup>

<sup>a</sup>東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター, <sup>b</sup>東北大学多元物質科学研究所,  
<sup>c</sup>東京大学大学院工学系研究科, <sup>d</sup>アヒコファインテック(株), <sup>e</sup>高輝度光科学研究センター

<sup>a</sup>International Center for Synchrotron Radiation Innovation Smart (SRIS), Tohoku University,

<sup>b</sup>Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials (IMRAM), Tohoku University,

<sup>c</sup>Department of Applied Physics, School of Engineering, the University of Tokyo,

<sup>d</sup>Ahiko Finetec, Ltd.,

<sup>e</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute

産業用途の光学・電子デバイス用基板の精密研磨加工の学術的な理解及びその知見による更なる加工技術の発展を目的とした。両面ラッピング工程で生じる破碎層を SPring-8 施設の BL47XU で構築された結像型 X 線顕微鏡で三次元的に評価した。水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの 3 種類の試料について、異なる破碎層が観察された。

**キーワード：** ガラス、表面、破碎層、X線位相コントラストイメージング、結像型 X 線顕微法

### 背景と研究目的：

産業用途としてアモルファス・単結晶・多結晶と様々な構造を有する光学・電子デバイス用基板の研磨等に代表される精密加工技術の学術的な理解及びその知見を用いた更なる加工技術の発展は重要である。例えば次世代 5G 通信用デバイス用途として需要増が期待されている水晶等に代表される単結晶基板はその需要増の期待に応えるべく形状が 4 インチから 8 インチへ向けて大型単結晶の育成開発が進んでおり、育成された単結晶のインゴットはスライス加工へ供することにより 4 インチあるいは 8 インチの板状に形成される。板状に形成された基板は精密研磨加工技術を用いて所望の厚みまで研磨されることで鏡面化を実現する。近年、研磨加工技術の品質要求が厳しくなっており厚さ 0.1 mm 以下 ( $\mu\text{m}$  オーダー) の薄板化を実現しつつ、表面粗さで 2 nm 以下の鏡面化を実現するよう要求されている。さらにその基板を用いた最終的なデバイス実現に際しては基板の厚みばらつきが nm オーダーの均一性が要求されつつある。これらの要求に柔軟に対応するには従来の職人的な経験則に基づいた加工技術と、研磨表面の高空間分解能での三次元的な評価技術との融合が

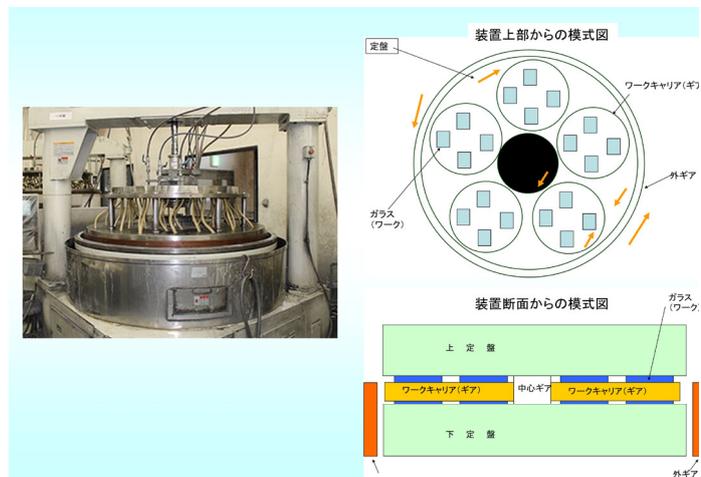


図 1. 両面ラッピング装置とその模式図。

必要不可欠である。

共同実験者が所属するアヒコファインテック株式会社における光学・電子デバイス用基板の鏡面加工では、初めに平板状ワーク群を両面ラッピング装置（図 1）へ適切に配置し、遊離砥粒（例：アルミナやシリコンカーバイド等）を用いて鋳物製の定盤で平板状のワークを両面から挟み回転させながら物理的に削っていく。この段階で平板状ワーク群は鏡面化しておらず、削られたワークの表面下部には深さ数 10  $\mu\text{m}$  程度に伸展した損傷領域（破碎層）が存在する。この破碎層は基材の構造や遊離砥粒の種類及び加工条件等で変化すると考えられ、その様子は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）において SPring-8 施設の BL47XU で構築された視野 50  $\mu\text{m}$ 、空間分解能 150 nm を有する結像型 X 線顕微鏡で一部の基材を三次元的に可視化することができた。いずれの断層画像においても遊離砥粒で削られたサンプル表面の加工痕跡に加えて表面下部に長さ 10  $\mu\text{m}$  程度に伸展するクラック群を明確に可視化することができた。また、これまで考えられていた表面下部のクラック伸展モデル（図 2[1]）と比較してその伸展挙動が明確に異なっていたことから、この手法を用いた更なる詳細な実験観察が切望された。最終的に破碎層が存在するワーク群は次工程において酸化セリウムやコロイダルシリカ等の遊離砥粒を用いてウレタンもしくは不織布で構成された研磨 PAD を貼り付けた定盤で前工程と同様にワークを両面から挟み回転させながら物理・化学的研磨加工へ供することで所望の厚みへ薄板化した破碎層のない鏡面を有する光学・電子デバイス用基板が作製できる。

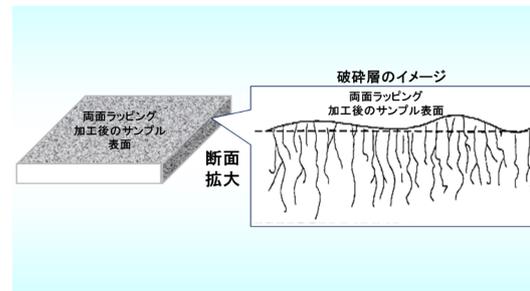


図 2. 破碎層の模式図[1]。

以上で述べた加工プロセスでは、両面ラッピング装置で仕様の厚み付近まで物理的に削ることで破碎層が存在する非鏡面化状態とし、最終的に両面研磨装置で仕様の厚みに到達するまでに破碎層のない鏡面を有するまで磨き上げることから、両面ラッピング装置で平板状ワーク群をどの程度まで物理的に削るのか、両面研磨装置で物理・化学的にどの程度まで磨くのかという厚み設計（取り代）に関しては、従来の職人的な経験則に基づいた加工技術に依存しているのが現状である。さらに加工後の光学・電子デバイス用基板の nm オーダーでの厚み均一性の制御に至ってはもはや従来の職人的な経験則は通用しない領域となっている。

本研究では、産業用途の光学・電子デバイス用基板の精密研磨加工の学術的な理解及びその知見による更なる加工技術の発展を目的とした。上述の両面ラッピング工程で生じる破碎層を SPring-8 施設の BL47XU で構築された結像型 X 線顕微鏡で三次元的に評価することを目指した。将来的には、一連のマイクロ CT による解析技術を確立することで、様々な基材の構造や遊離砥粒の種類及び加工条件等で変化するであろう様子の可視化及びその解析結果を蓄積し、職人的な経験則に基づいた加工技術との融合を図る計画であり、得られた知見を用いて破碎層を制御した独自の両面ラッピング装置及び研磨装置を開発することにより、冒頭で述べた高度な品質要求を有した光学・電子デバイス用基板に柔軟に対応できると考えている。

#### 実験：

共同実験者が所属するアヒコファインテック株式会社において両面ラッピング工程で生じた破

砕層を有する光学・電子デバイス用基板を複数準備して、100 nm 程度の空間分解能の結像型 X 線顕微鏡により三次元的に評価した。試料として、ホウ珪酸ガラス、単結晶水晶、石英ガラスの 3 種類の試料を用意した。結像型 X 線顕微鏡としては、X 線の位相を利用した高感度 X 線顕微鏡である Zernike 型位相差顕微鏡[2]を用いた。X 線のエネルギーは 15 keV とし、画素サイズ 100 nm、視野約 100  $\mu\text{m}$  とした。CT 撮影を行うため、試料の大きさを視野と同程度のサイズ（幅 0.1~0.5 mm、厚さ 0.5~0.7 mm、長さ 10 mm 程度）まで小片化し、試料回転ステージに固定した。測定は常温下、大気中で行った。投影像は 1,800 枚撮影（各投影像の露光時間：0.3 秒）した。CT 測定に要した時間は 11 分であった。

### 結果および考察：

図 3 にホウ珪酸ガラス、単結晶水晶、石英ガラスの破碎層の CT 再構成画像の例を示す。水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの三種類の試料に対して、破碎層が異なる様子が観察された。まず破碎層の深さについては、図のように CT 再構成像から平均的な深さを見積もった結果、ホウ珪酸ガラス、石英ガラス、単結晶水晶の順に深いことが分かった（それぞれ、5  $\mu\text{m}$ 、3  $\mu\text{m}$ 、2  $\mu\text{m}$  程度）。また、図の例から分かるように、破碎層の深さが深いほど、ラッピングにより削り除かれる破片のサイズが大きく、表面も粗くなっているのが分かる。また、ホウ珪酸ガラス、単結晶水晶では、基板内部に侵入するクラックはほとんどみられなかったが、石英ガラスについては、図 3(c)にみられるようなクラックがわずかながらみられた。このクラックは、紙面と垂直な方向にも広がる面状のクラックであった。以上のように、水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの 3 種類の試料について、破碎層が異なる様子が観察された。なお、当初の計画にはニオブ酸リチウム結晶の評価も含まれていたが、試料準備の問題で、破碎層に対応する画像を取得することができなかった。

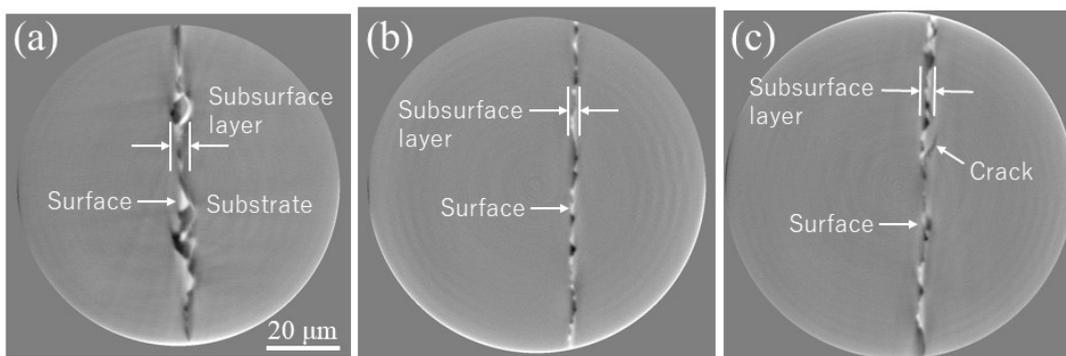


図 3. X 線 Zernike 型位相差顕微鏡で得られた(a)ホウ珪酸ガラス、(b)単結晶水晶、(c)石英ガラスの破碎層の CT 再構成画像の例（図の右側が基板）。

### まとめ：

産業用途の光学・電子デバイス用基板の両面ラッピング工程で生じる破碎層を SPRING-8 施設の BL47XU で構築された結像型 X 線顕微鏡で三次元的に評価した。水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの 3 種類の試料について、異なる破碎層が観察された。破碎層の深さはホウ珪酸ガラス、石英ガラス、単結晶水晶の順に浅く、石英ガラスについては基板内部に侵入する面状のクラックが観察された。

参考文献：

- [1] J. Shen *et al.*, *Optik*, **116**, 288 (2005).
- [2] Y. Kagoshima *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, L1190 (2001).

---

(Received: May 7, 2024; Accepted: June 13, 2024; Published: August 30, 2024)