

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 Crushing Layers Formed on Flat Surfaces of Substrates for Optical and Electric Devices after Mirror Wrapping Process

矢代 航^{a,b}, 田中 大祐^c, 八木 直人^d, 上杉 健太朗^d
Wataru Yashiro^{a,b}, Daisuke Tanaka^c, Naoto Yagi^d, Kentaro Uesugi^d

^a 東北大学国際放射光センター, ^b 東北大学多元研,
^c アヒコファインテック (株), ^d (公財)高輝度光科学研究センター
^a SRIS, Tohoku Univ., ^b IMRAM, Tohoku Univ., ^c Ahiko Finetech, LTD., ^d JASRI

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。一連のプロセスにより破碎層の痕跡がなくなるまでの様子を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 線顕微鏡

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 (μm 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 (図 2)) が存在すると考えられている。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 150nm を有する結像型 X 線顕微鏡で一部の基

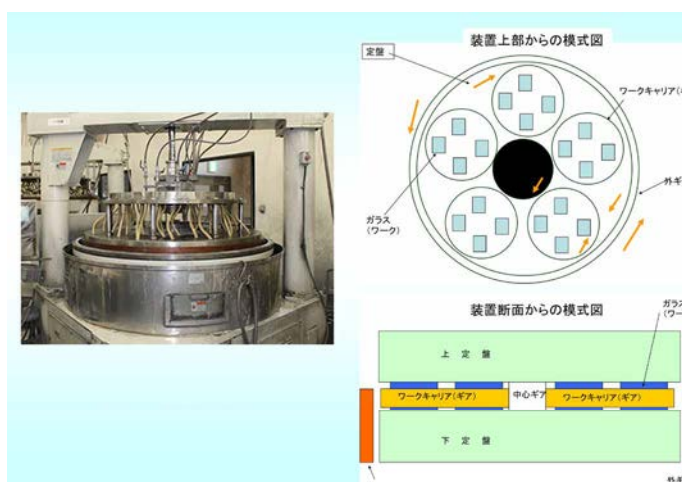


図 1 両面ラッピング装置とその模式図。

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 μm 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の模式図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。

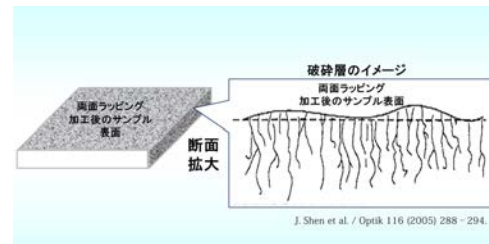


図 2 破碎層の模式図[1]。

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。上述の一連のプロセスにより破碎層の痕跡がなくなるまでの様子を 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旨とし、一連のマイクロ CT による解析技術を確認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った。

将来的には、得られた知見を用いて破碎層を制御したアヒコファインテック社独自の両面ラッピング装置及び研磨装置を開発したいと考えており、それが実現できれば、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光学・電子デバイス用基板表面の「破碎層」が、次の両面研磨工程でどのように除去されていくか、「取り代」の異なる試料を複数準備して、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。具体的には、両面ラッピング装置で作製された破碎層を有するワーク群に対して、次の両面研磨工程でワーク厚みの取り代を変化させた試料群をそれぞれ準備して評価した。試料としては、水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの 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 150 μm とした。CT 撮影を行うため、試料の大きさを視野内に収まる 0.1 mm 程度まで小片化した。測定は常温下、大気中で行った。

結果および考察：

図3にホウ珪酸ガラスの破碎層のCT再構成画像の例を示す。今回のビームタイムでほぼすべての試料に対して計画通り3D再構成像を取得することができた。水晶、石英ガラス、ホウ珪酸ガラスの3種類の試料に対して、破碎層が異なる様子も観察されており、現在詳細な解析を進めている。

参考文献：

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

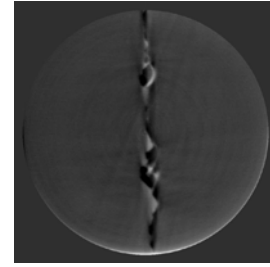


図3 X線 Zernike 型位相差顕微鏡で得られたホウ珪酸ガラスの破碎層のCT再構成画像。