

三次元光実装プロセスの検討

○大日方 哲¹, 菊地 奎人¹, 板谷 太郎², 乗木 暁博², 岡野 好伸¹, 天野 健²
東京都市大学¹, 国立研究開発法人産業技術総合研究所²

研究背景・導入

近年AIやIoTの急速な普及によるデータ通信量増大に伴い、ICTインフラ、特にデータセンターにおける消費電力増大が深刻な社会課題^[1]となっている。将来の超高速・大容量処理を見据えた場合、残存する短い電気配線さえも、高速化・低電力化の妨げになると予測される。この限界を突破する光電融合技術として、本研究はLSIと光ICを3次元的に積層・集積する実装技術の確立を目指す。

本研究の目的は、高密度集積に適したシリコン系の光導波路と、実装の柔軟性やファイバ接続性に優れるポリマー光導波路とを、ミラー状の構造を用いて垂直方向に接続することであり、3次元光接続技術のデバイス作製プロセスを適用して実証を行う。今回我々はミラー状の構造へ導波路をなだらかに導くためのスロープを水酸化カリウムのSi異方性ウェットエッチングを用いて作成し、ミラー構造の曲面部をドライエッチングにて作成したのでこれらの結果について報告する。

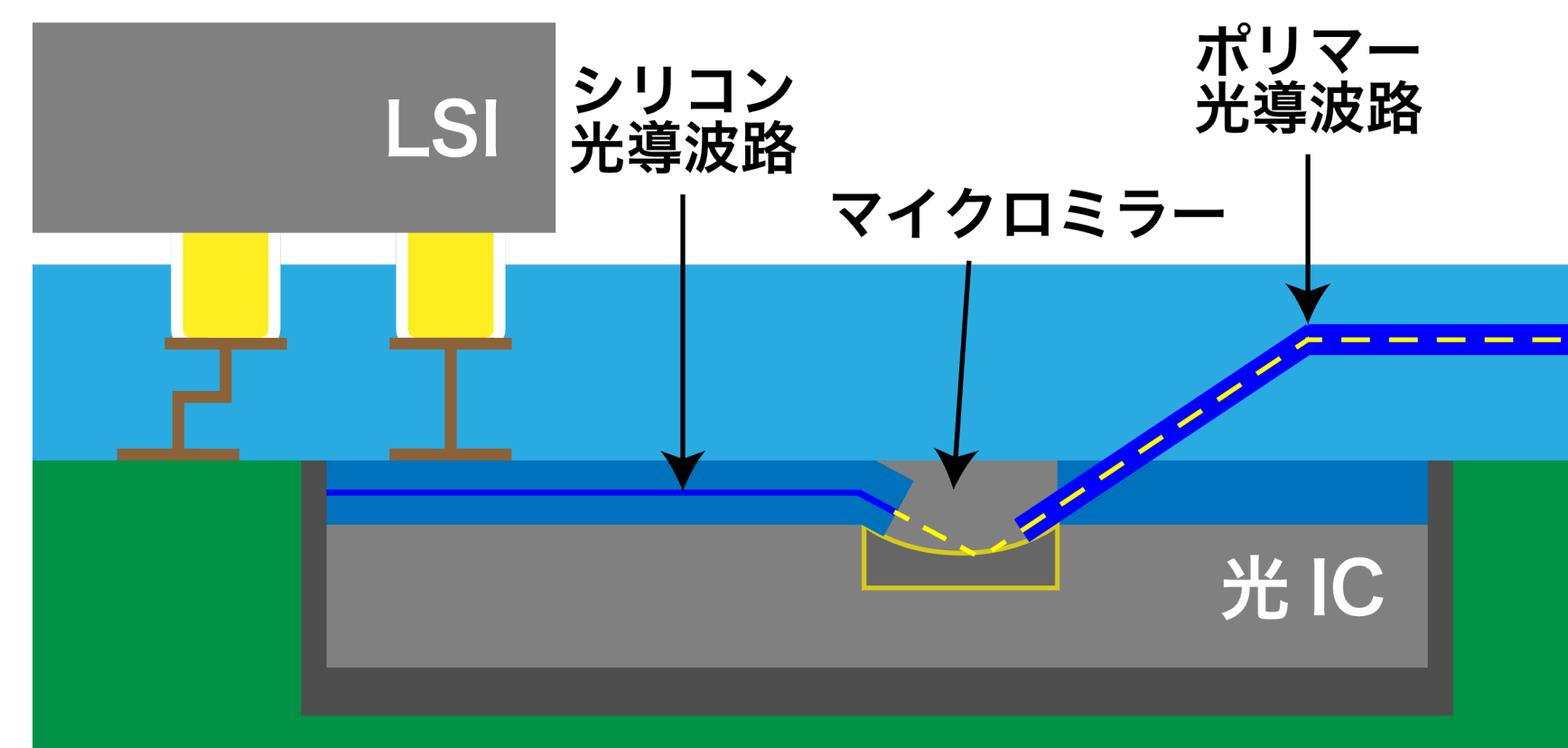


図1. LSIと光ICの3次元実装

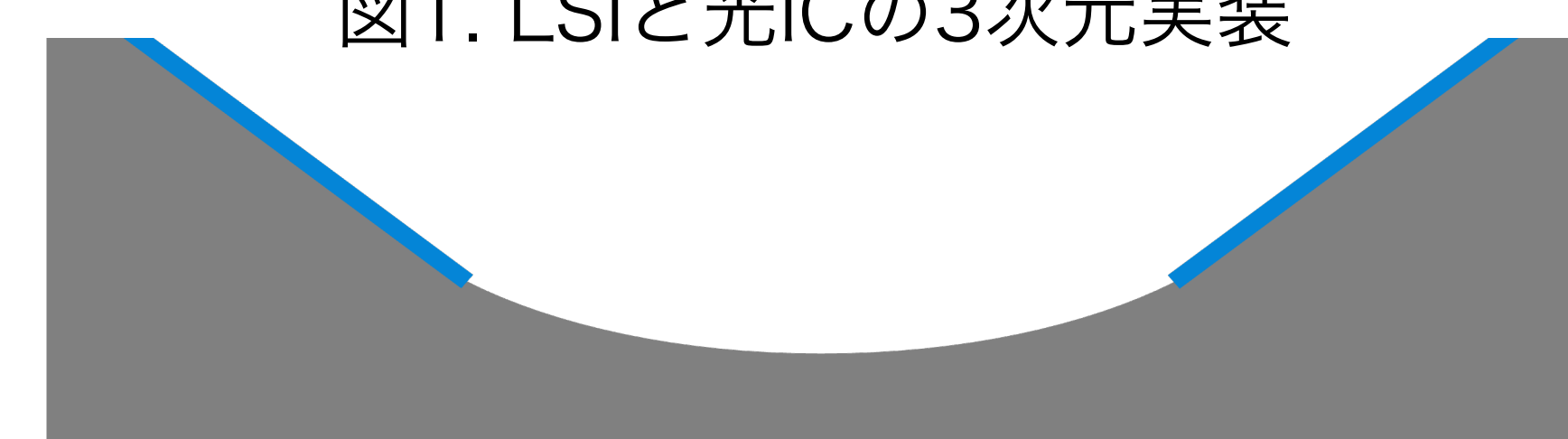


図2. ミラー構造の概略図

青色部分がKOH
Si異方性ウェットエッチングの対象

実験内容

エッチングプロセス

- Si基板上にシリコン酸化膜（SiO₂）を成膜
- フォトレジストを塗布
- 直径10μm, 20μm, 50μmの円形状に露光
- BHF(LAL1000)により露光部のSiO₂除去
- アセトンによりフォトレジスト除去
- KOH溶液中を80℃に加熱し、16分静置してエッチング
- 室温まで冷却して、BHF(LAL1000)により全てのSiO₂除去
- プラズマアッシャーにて10分アッシング
- RIE(Reactive Ion Etching)を20分でミラー形成

表1. KOH溶液の組成

物質名	数量
KOH	70g
純水	190mL
2-プロパノール	40mL

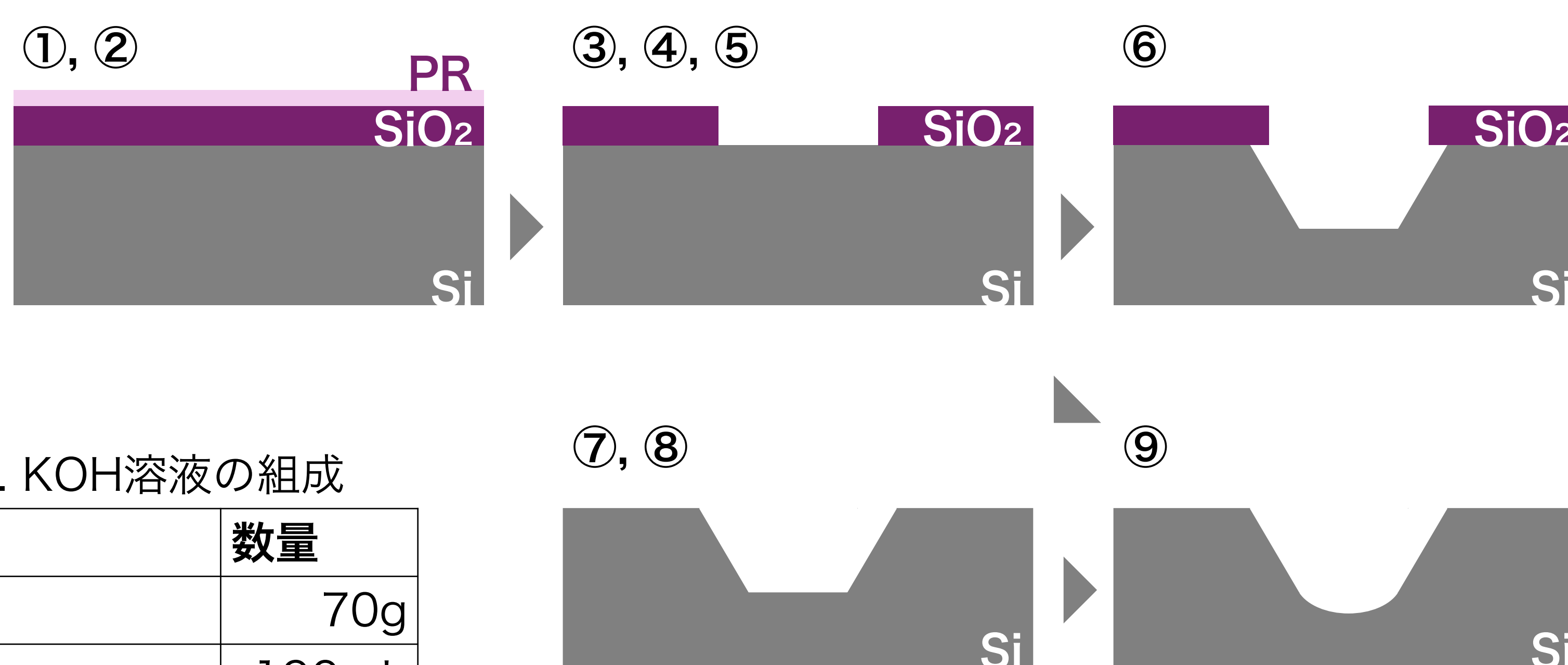


図3. プロセスの概略図

結果と考察

フォトレジストでのマスク形状は直径10μmの真円であったが、KOHエッチング後には20μm角の正形状になった。これはSiO₂マスクの側面からエッチングが進行したことと、結晶方位ごとのエッチングレート^[2]によるものであると考える。今回の実験ではウェットエッチングによって形成されたスロープ部とドライエッチングによって形成された凹面部の接合部について、なだらかに接続していることを確認した。また上面と傾斜開始部の境界が、ドライエッチング後になだらかに連続するように変化することも確認した。また、図4傾斜部の表面粗さは0.14μmであった。

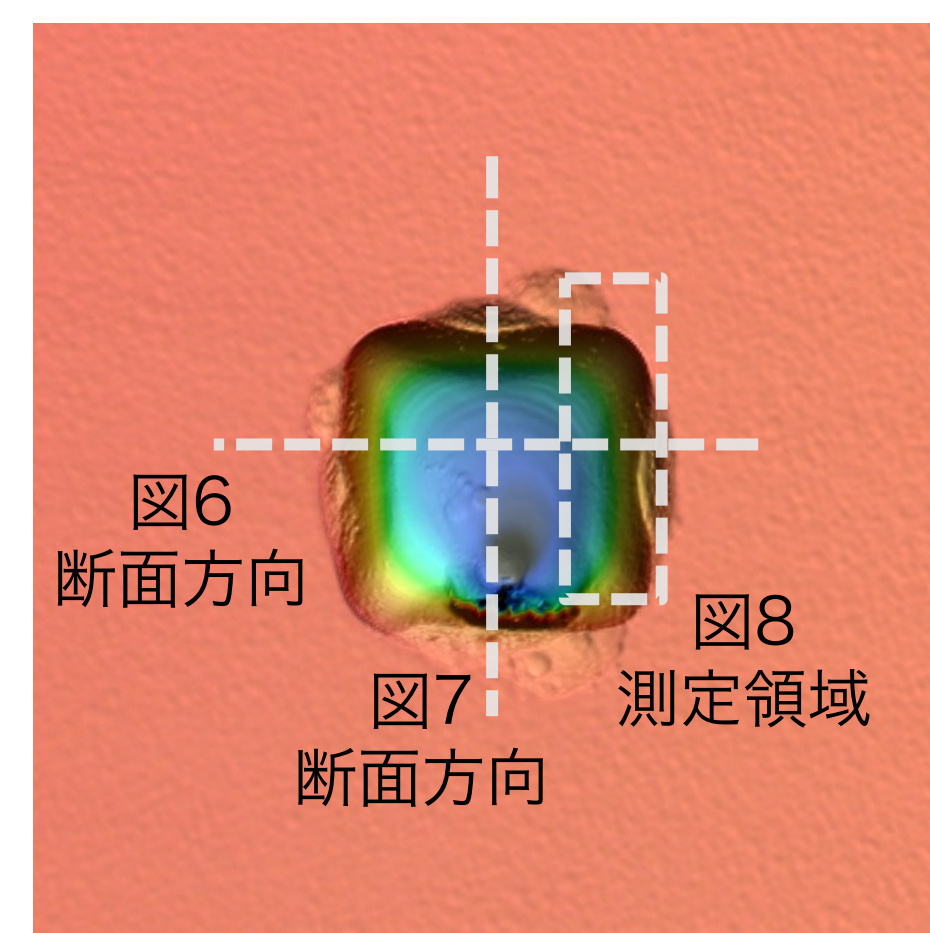


図4. プロセス後の顕微鏡像

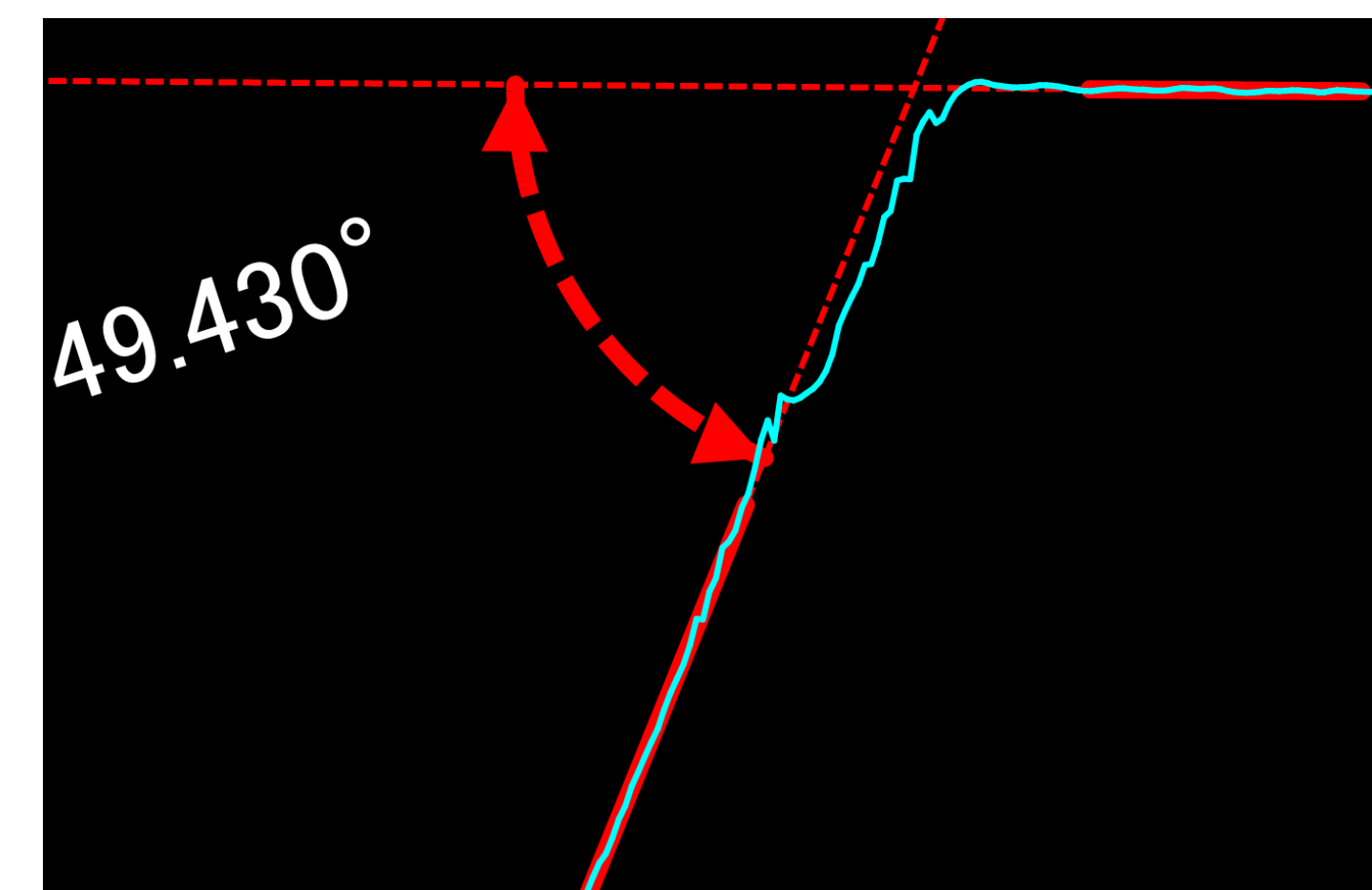


図5. 図4右側傾斜開始部の拡大図

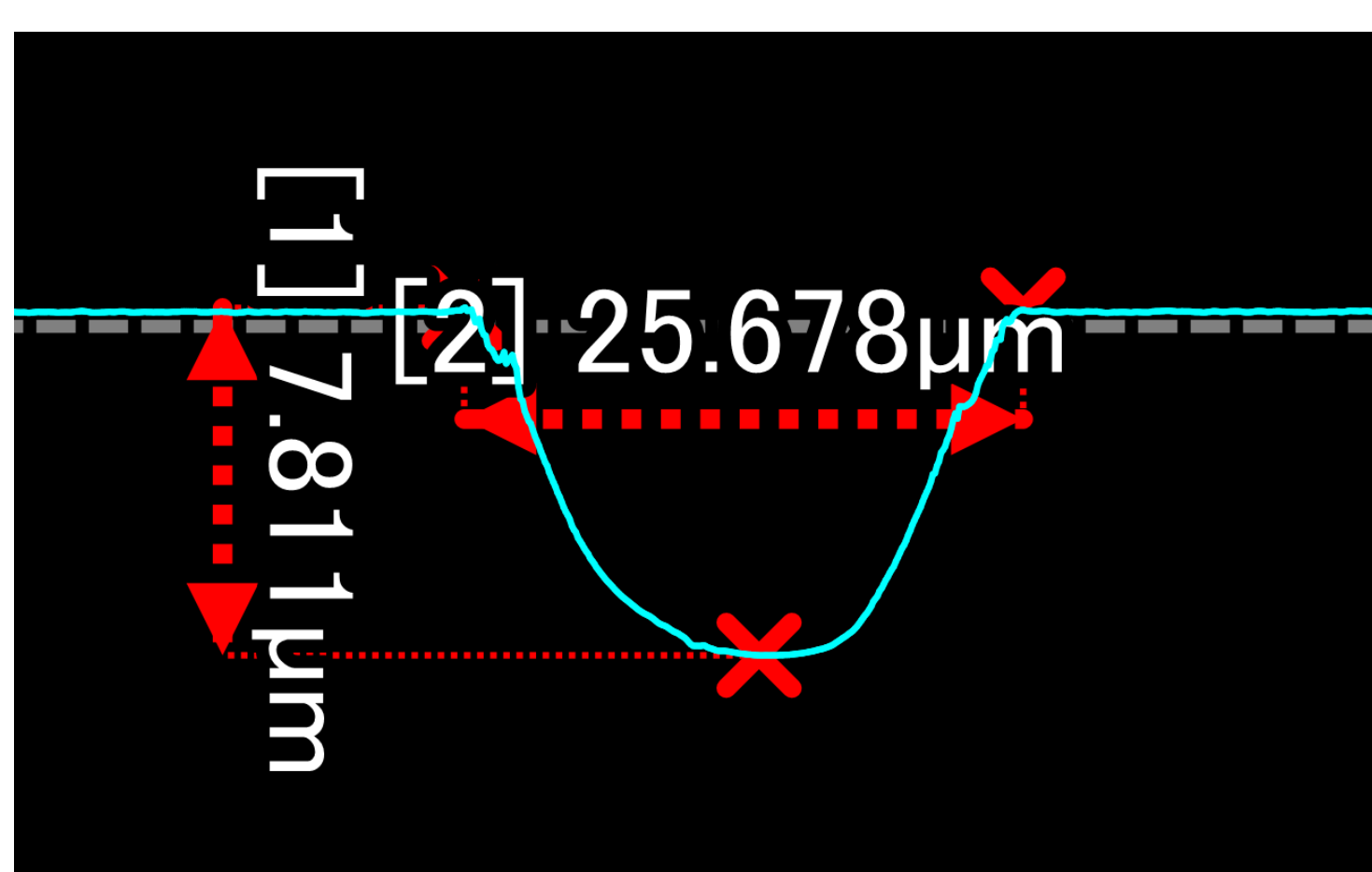


図6. 図4中心部横方向の断面形状

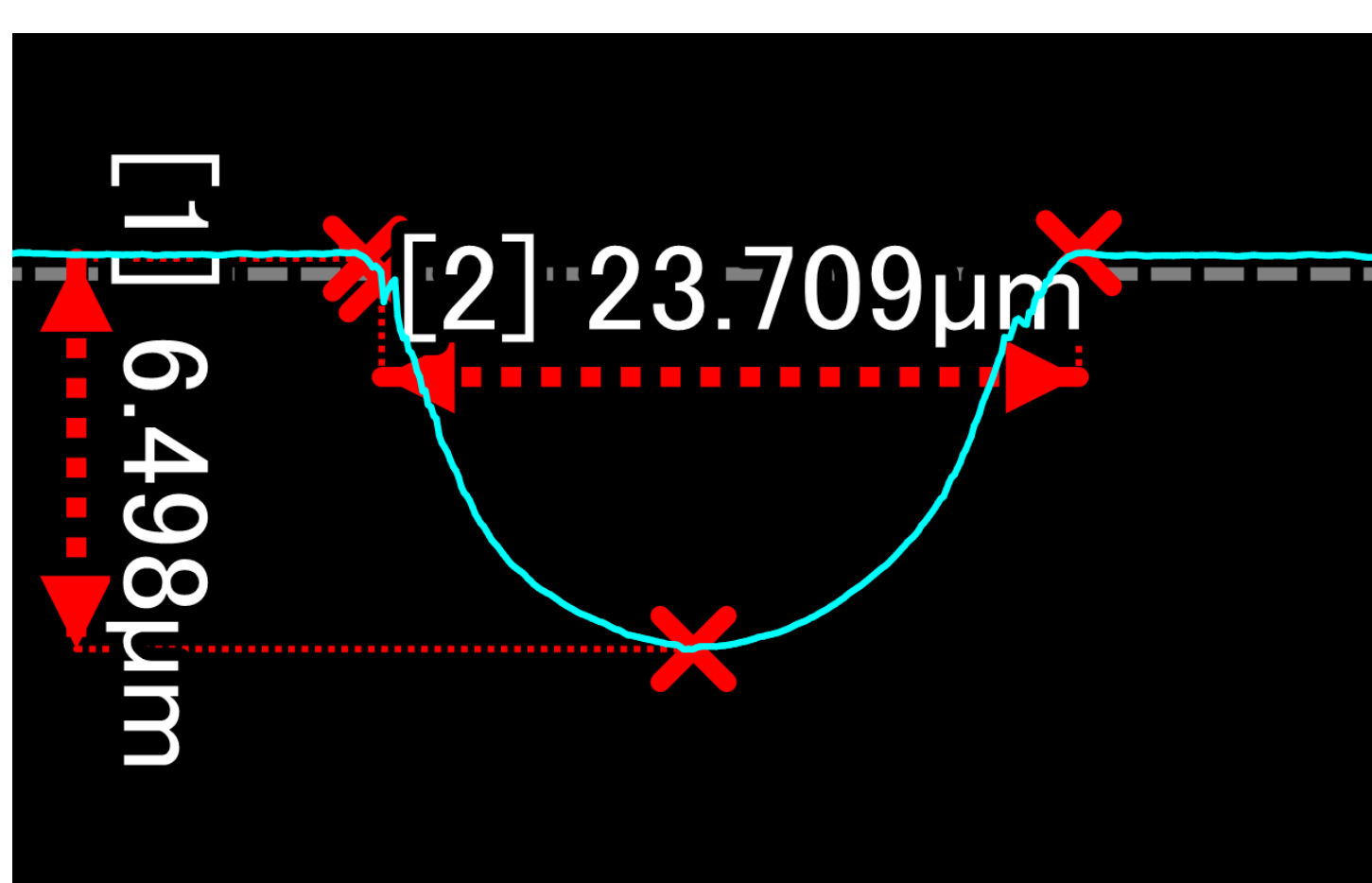


図7. 図4中心部縦方向の断面形状

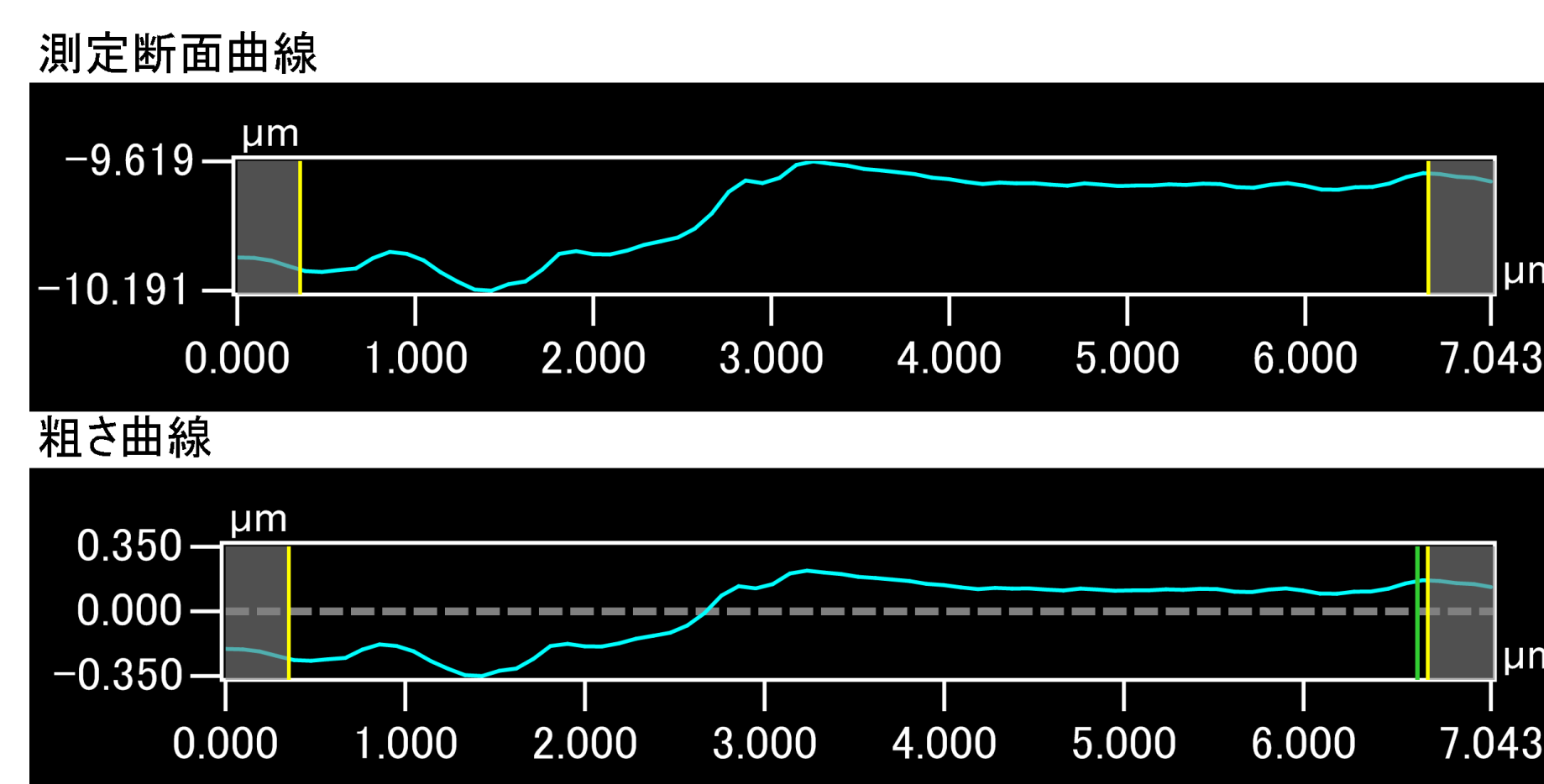


図8. 図4右側傾斜部の表面粗さ（画像を50°傾けて計測）

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁. “電力需要について”. 2024-06-06.
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/056/056_005.pdf, (2025-10-20参照)
- [2] 齋藤 祐樹, 田中 浩. “29pm3-PN-23 1wt%KOH水溶液によるSi異方性ウェットエッチング加工特性”. マイクロ・ナノ工学シンポジウム. 2015.
https://doi.org/10.1299/jsmemnm.2015.7._29pm3-PN-_11, (2025-12-13参照)