

Microprocesses and Nanotechnology Conference に参加して

鈴木 智貴

Satoki SUZUKI

電子情報学専攻修士課程 2年

1. はじめに

私は、2019年10月28日から31日に広島国際会議場で開催された「Microprocesses and Nanotechnology Conference」に参加し、30日に「Nano-Texturing of Silicon Plates by Laser-Chemical Processing」というテーマで発表をオーラル形式で行った。

2. 研究背景

シリコン (Si) 表面でレーザーアブレーションとアルカリエッチングを行うことで、三角形、四角形、六角形などの微細孔配列を形成できる。本研究では、ナノメートルサイズの微細孔を配列させることを目的にし、細くて深いアブレーション痕を形成する方法について検討した。

3. 実験結果

図1 (a) に示すように、(111) 表面の Si プレートに空気中のレーザービーム (波長: 532 nm, パルス幅: 550 ps, 8800 ショット/秒) を照射した。パルスエネルギーは 0.3~4 μJ の間に調整され、ビームは焦点距離 5 mm の球面レンズによって収集された。電動移動台に固定された Si プレートは、 $v=9$ または 18 mm/s の速度で移動して、1 または 2 μm の周期のアブレーションピットアレイを作成した。プレートが焦点面上を移動すると ($\Delta z=0$)、低いパルスエネルギー (0.3 μJ) でも大きなアブレーションピットが作成された。したがって、図1 (b) に示すように、水酸化カリウム (KOH) の水溶液 (8 mol/l) で 20 分間エッチングした後、大きな六角形 (幅 2 μm) が現れた。興味深いことに、Si プレ

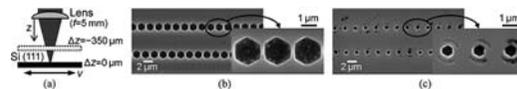


図1 (a) 焦点またはより高い位置でのレーザー照射. (b) 焦点でのレーザーアブレーション後に KOH 溶液でエッチングされた (111) Si プレート上の六角形ピット配列 (SEM 画像). (c) $\Delta z=-350 \mu\text{m}$ でのレーザーアブレーションによって作成された幅 800 nm の六角形のピット (両側間の距離).

ートをレンズに近づけるとアブレーションピットが小さくなったが、レンズに近づくとつれてビーム径が大きくなった。図1 (c) が示すように、Si プレートに $\Delta z=-350 \mu\text{m}$ で照射すると、六角形のピットの幅は 800 nm に減少した。

上記の現象は、レンズの球面収差によって引き起こされると考えられる。図2 (a) に示すように、レンズの外側部分を通過する光線は、レンズに近い点に集まる。したがって、それらは大きなビームの中心に高強度のスポットを形成する。光線追跡法に基づいてシミュレーションを行い、光強度の分布 (光線密度) を評価した。図2 (b) に示すように、焦点 ($\Delta z=0 \mu\text{m}$) の強いピークは 10 μm 以内に消える。対照的に、図2 (c) に示すように、高い位置 ($\Delta z=-400 \mu\text{m}$) では、長距離 (>100 μm) にわたって弱いピークが連続して現れる。おそらく、外側の光線のこの小さなスポットは、その深い焦点深度のためにマイクロピットの作成を促進する。この理論結果は、球面収差の大きいレンズがピットサイズの縮小に有利であることを予測している。レンズ設計理論によると、集光レンズは、球面が焦点に向けられているときに顕著な収差を示す。図2 (d) に示すように、逆レンズの計算 (逆さま) により、上記の予測が確認される。すなわち、 $\Delta z=-1000 \mu\text{m}$ 付近で長距離 (>200 μm) にわたって高強度スポットが保持される。

上記の理論的予測に基づいて、レーザーアブレーションは逆レンズを使用して行われた。図3 (a) および (b) に示すように、Si プレートを $\Delta z=-1000$ または $-1100 \mu\text{m}$ に配置すると、直径 300-

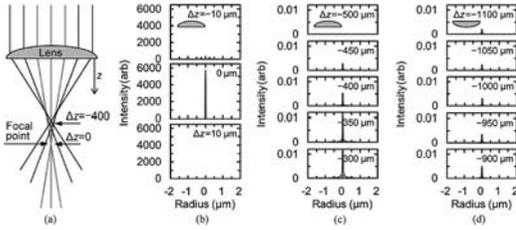


図2 (a) レンズの球面収差による焦点のずれ. (b), (c) 焦点付近 ($\Delta z \approx 0 \mu\text{m}$) またはより高い位置 ($\Delta z \approx 400 \mu\text{m}$) での光パワー分布. 焦点距離が 5 mm の球面レンズについて理論計算を行った. (d) レンズを上下逆さまにしたときの, $\Delta z = -1000 \mu\text{m}$ 付近での光度分布.

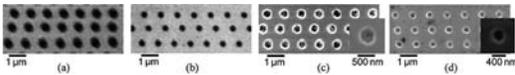


図3 強い収差を伴うレーザービーム (逆レンズ) によって作成されたナノサイズのピットアレイ. (a), (b) アブレーションピットの SEM 画像. Si プレートは, (a) $\Delta z = -1000$ または (b) $-1100 \mu\text{m}$ に配置された. (c) $\Delta z = -1100$ または (d) $-1200 \mu\text{m}$ でのレーザーアブレーション後の KOH エッチングによって作成された幅 500 または 400 nm の六角形のピット (両側間の距離).

500 nm のアブレーションピットが作成された. 図 3 (c) および 3 (d) は, KOH 溶液に 15 分間浸漬

した後に現れた幅 $400 \sim 500 \text{ nm}$ の六角形のピットを示している ($\Delta z = -1100$ または $-1200 \mu\text{m}$).

通常の光学システムでは厄介なレンズ収差は, ナノサイズのアブレーションピットを作成するのに役立つ.

従来の微細加工技術では, 反射率制御またはスペクトル調整にテクスチャの周期性を使用するが, ポリゴンテクスチャは, 形状に応じて光学特性を制御する.

したがって, パフォーマンスの向上と新規デバイスの作成の両方に役立つ.

4. おわりに

研究成果を発表し, それに対する貴重な意見を頂いたことで, 本研究の改善点などを知ることができ, 大きな収穫であった. また, 他の参加者の発表は, とても参考になり, 私の今後の研究活動にとっても良い刺激となった.

今回の発表を行うにあたって, 懇切なご指導をいただいた斉藤光徳教授をはじめ, 斉藤研究室の皆様, この場を借りて厚く御礼申し上げます.