

球面収差を利用したレーザ加工による半導体ナノ構造形成 Aberration Effect on the Laser Nano-Processing of Semiconductor

鈴木 智貴、 齊藤 光徳 (龍谷大理工)

Satoki Suzuki, Mitsunori Saito (Ryukoku Univ.)

E-mail: msaito@rins.ryukoku.ac.jp

シリコン (Si) 表面でレーザアブレーションとアルカリエッチングを行うと、三角形、四角形、六角形などの微細孔配列を形成できる。¹⁾ 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。波長 532 nm、パルス幅 550 ps、毎秒 8800 ショットのレーザビームを焦点距離 5 mm のレンズで集光し、面方位 (111) の Si 基板に照射すると、Fig.1 に示すようなアブレーション痕ができる。基板は 17 mm/s で移動させているので、2 μm 間隔で孔が配列している。焦点 ($\Delta z=0$) に基板を置くと、パルスエネルギー 2 μJ でも (a) のように熔融した Si がミルクラウンを形成する大きな孔となる。一方 (b)~(d) に示すように、レンズに近い位置 ($\Delta z \leq -200 \mu\text{m}$) に基板を置くと、直径 1 μm 以下の孔が形成される。

焦点でアブレーションを起こすことができる最小エネルギー 0.3 μJ のパルス照射した後、濃度 8 mol/l の水酸化カリウム (KOH) 水溶液に 20 分間浸した試料の SEM 像を Fig. 2(a), 2(b) に示す。孔は六角形になっているが、元のアブレーション痕が大きいサイズは 1 μm 以上になっている。これに対し、-350 μm レンズに近づけて 4 μJ のパルス照射した場合は、Fig. 2(c), 2(d) に示すように約 800 nm の六角形の孔を形成することができた。焦点から離れた位置で微小な孔ができるのは、レンズの球面収差のためと考えられる。光線追跡を行うと、Fig. 3(a) のようにレンズの外周を通る光線は中心を通る光線より前方 ($\Delta z < 0$) に焦点を結ぶ。その結果、Fig. 3(b)~3(e) の光線密度分布が示すように、焦点から先 ($\Delta z > 0$) では急速にビームが広がるが、前方では中心の高密度が長い距離にわたって続くため、細く深いアブレーション痕が形成されて六角形の形成に有利になると推定される。

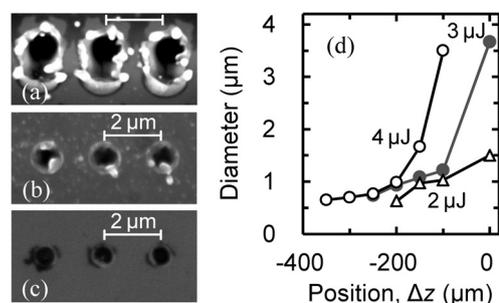


Fig. 1 SEM images of ablation pits on a Si surface that were formed by laser pulses of (a) 2 μJ at the focal plane ($\Delta z=0$), (b) 3 μJ at $\Delta z=-200 \mu\text{m}$, or (c) 4 μJ at $\Delta z=-350 \mu\text{m}$. (d) Dependence of the pit diameters on the irradiation position (Δz).

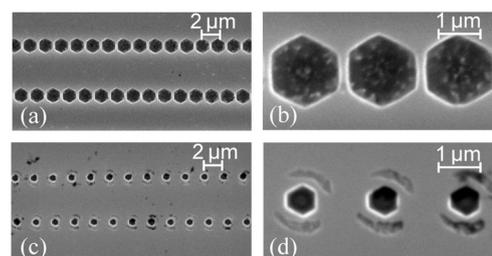


Fig. 2 SEM images of Si plates that were etched in a KOH solution after the laser ablation. The laser power, the irradiation position, and the etching time were (a), (b) 0.3 μJ , $\Delta z=0 \mu\text{m}$, and $t=20 \text{ min}$, or (c), (d) 4 μJ , $\Delta z=-350 \mu\text{m}$, and $t=15 \text{ min}$.

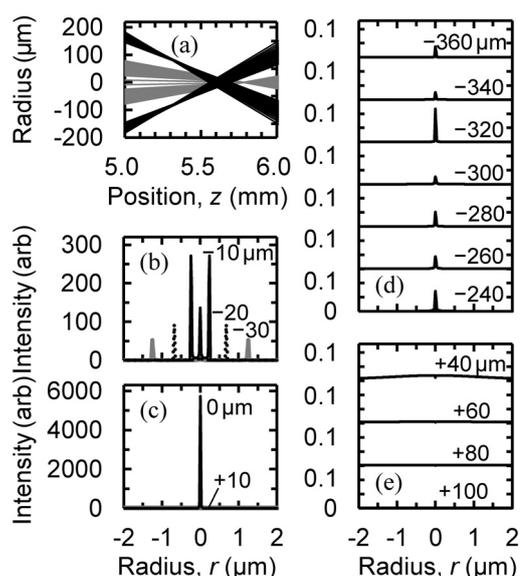


Fig. 3 (a) Traces of rays that pass through the center (the gray lines) or edge (the black lines) of the lens ($f=5 \text{ mm}$, $\Phi 4 \text{ mm}$). (b)~(e) Distributions of the ray density at various positions, Δz .

1) M. Saito and S. Kimura, *AIP Adv.* 7, 025018 (2017).