

ナノ秒光渦レーザーによる Si 表面のレーザーアブレーション

Laser Ablation of Si surface by nanosecond optical vortex laser pulse

九大シス情¹, 埼玉医科大², パデュー大³, 宇都宮大⁴ ○中村 大輔¹, 川本 実季¹, 藤本 翼¹,
東島 三洋¹, 池上 浩¹, 若山 俊隆², 砂原 淳³, 東口 武史⁴

Grad. Sch. ISEE, Kyushu Univ.¹, Saitama Medical University², Purdue University³, Utsunomiya

University⁴, °Daisuke Nakamura¹, Miki Kawamoto¹, Tsubasa Fujimoto¹, Mitsuhiro Higashihata¹,

Hiroshi Ikenoue¹, Toshitaka Wakayama², Atsushi Sunahara³, Takeshi Higashiguchi⁴

E-mail: dnakamura@ees.kyushu-u.ac.jp

透明微小球は微小光共振器や微小レーザー等への応用が期待されるが,我々はレーザーアブレーションによる物質の融解を利用した半導体マイクロ結晶球の作製を実証している. これまでに大気中にて Si ウェハや ZnO 焼結体ターゲットに Nd:YAG レーザーを集光照射することで Si や ZnO のマイクロ結晶球を作製することに成功しており[1], ZnO マイクロ結晶球に関しては光励起による紫外 Whispering-Gallery-Mode (WGM) レーザー発振を実証した. 最近ではこの結晶球をデバイス応用に展開する上で重要となるサイズ制御や位置制御を実現するために光渦レーザーに注目しており, Si や ZnO をターゲットとして光渦レーザー照射することでドロップレットをターゲット表面から垂直方向に直線飛翔させることに成功している. 一方, こういった光渦レーザーアブレーションのメカニズムは未解明な点も多いのが現状である. また, 光渦変換に使用する光学系による想定しない偏光の歪み等が生じる可能性も十分に考えられるため, 光渦と物質の相互作用を理解するためには光波の実測評価が重要となる. そこで, 本研究では実験で使用する光渦の偏光を実測評価した上で, Si ウェハ表面に照射した後の照射痕を調査した. さらに, 円環状強度分布をもつナノ秒パルス照射した際のレーザー生成プラズマのダイナミクスを解析するため 2次元輻射流体シミュレーションを行った.

レーザー光源には Nd:YAG レーザー (1064 nm, 17 ns) を用いた. 光渦生成には螺旋位相板と 1/4 波長板を用いて円偏光光渦に変換した. パルスエネルギー 0.08 mJ にて焦点距離 $f=50$ mm のレンズを用いて Si ウェハ表面に集光照射した. その後, Si 表面の照射痕を Scanning electron microscope (SEM) にて観察した. その結果, Fig.1 に示すように光渦の角運動量符号に対応したねじれをもつ円錐構造物を確認し, 高さは 3.1 μm であった. Fig. 2 にレーザーパルス照射後 20 ns にお

ける Si 密度分布と電子温度分布を示す[2]. Si 表面に円錐状構造物の形成が確認された. これは円環状強度分布の高い強度領域から中心に向かうレーザー駆動圧力によってもたらされたものと考えられ, 円錐構造物の隆起高さは実験結果に近い値であった. さらに, Si 表面に形成されるレーザー生成プラズマによって入射したパルスエネルギーの一部がシールドされていることもわかった.

- [1] K. Okazaki, T. Shimogaki, K. Fusazaki, M. Higashihata, D. Nakamura, N. Koshizaki, and T. Okada, *Appl. Phys. Lett.*, 101, 211105 (2012).
[2] D. Nakamura, R. Tasaki, M. Kawamoto, H. Oshima, M. Higashihata, H. Ikenoue, T. Wakayama, A. Sunahara, T. Higashiguchi, *Sci. Rep.*, 10, 20512 (2020).

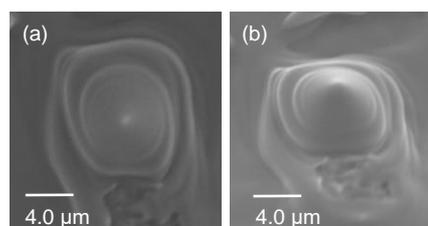


Fig. 1 SEM images of the cone structures at the center of the irradiation spot, (a) top view and (b) side view.

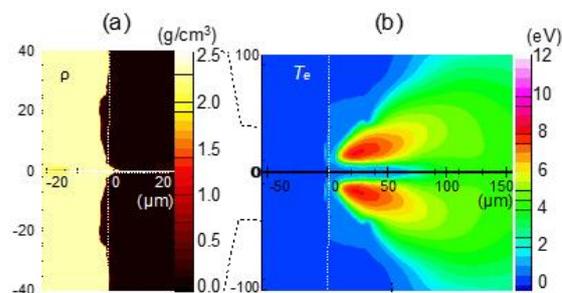


Fig. 2 Calculated profile at $t = 20$ ns with an inverted double-well laser profile condition. (a) Density profile and (b) electron temperature.