

# パルス間インプロセスホログラフィックレーザークリーニング

## Pulse-to-pulse in-process holographic laser cleaning

○山口 生吹, 阿部 哲也, 長谷川 智士, 早崎 芳夫

○Ibuki Yamaguchi, Tetsuya Abe, Satoshi Hasegawa, Yoshio Hayasaki

Center for Optical Research and Education (CORE), Utsunomiya University

E-mail: yamaguchi\_i@opt.utsunomiya-u.ac.jp

### 1. はじめに

レーザー加工時に発生するデブリは、加工の精密さを損なう大きな要因である。これまで、デブリの堆積を減らすために多様な方法が検討され、実用化されてきた。多くの方法は付加的なプロセスや特殊な装置を必要とした。我々は、更なるデブリの低減やプロセスの簡素化を目指し、液晶空間光変調器(LCSLM: liquid crystal spatial light modulator)を用いたホログラフィックレーザー加工技術[1]で、加工とデブリ除去をインプロセスで行う方法[2]を実証した。

本発表では、ホログラフィックデュアル偏光フェムト秒レーザー加工システムを用いて、スイープビーム(SB)の照射エネルギー、照射時間、照射空間を任意に制御し、各パラメータの変化に対するデブリの堆積量、状態について報告する。

### 2. 光学系

Fig. 1 に実験光学系を示す。光源は、中心波長 1041nm, パルス幅 700fs, 繰り返し 100kHz のフェムト秒ファイバーレーザー(FCPA  $\mu$ Jewel D-1000, IMRA)である。レーザーパルスは、 $\lambda/2$ 板(HWP: half wave plate)で偏光状態を調整され、偏光ビームスプリッター(PBS: polarization beam splitter)により S 偏光と P 偏光に分けられる。S 偏光と P 偏光のパルスは、それぞれ、 $\lambda/4$ 板(QWP: quarter wave plate)を往復して P 偏光と S 偏光となる。その時、ミラーの移動により時間遅延が与えられる。その後、同軸を伝搬する 2 つのパルスは 2 枚のレンズでビーム径を拡大され、再び、PBS で各偏光に分けられる。それぞれのパルスは LCSLM; (X10468-03, Hamamatsu)上の異なる計算機ホログラム(CGH: computer generated hologram)で変調され、リレー光学系で試料に照射される。加工された試料は、レーザー顕微鏡(LSM; OLS4000, Olympus)と走査型電子顕微鏡(SEM; FE-SEM S-4500, Hitachi)で観測された。

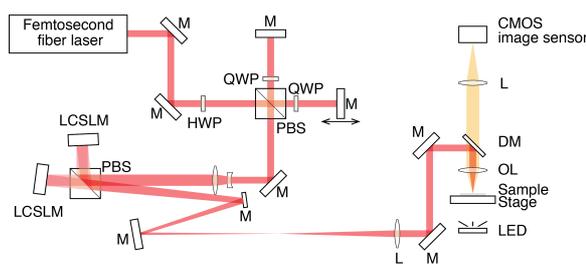


Fig.1 Optical setup

### 3. 実験

Fig. 2(a)に、SB の照射エネルギーに対するデブリ堆積量、Fig. 2(b)に、 $E_{SB} = 0.00, 1.13, 2.00 \mu\text{J}$  の時の、1024 ライン上の平均プロファイルを示す。このとき、PB の照射エネルギーは  $E_{PB} = 1.00 \mu\text{J}$ 、ステージ走査速度は  $0.1 \text{ mm/s}$ 、パルス照射時間差は  $1.0 \text{ ns}$ 、パルス照射位置差は  $4.0 \mu\text{m}$ 、偏光状態は直線偏光であった。 $E_{SB} = 0.00 \mu\text{J}$  の時、加工領域周辺に大量のデブリが堆積している。 $E_{SB} = 1.13 \mu\text{J}$  の時、SB によって、デブリが除去され、デブリ堆積量の大幅な低減が観測された。これは、基板よりデブリのアブレーションしきい値が低いためである。 $E_{SB}$  をさらに高くして、 $2.00 \mu\text{J}$  とすると、SB によるガラス基板のアブレーションで、加工領域の大きなラフネスを観測した。

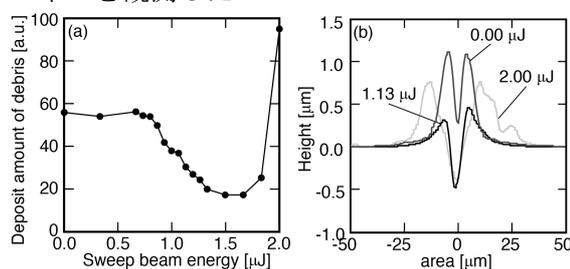


Fig. 2 (a) Deposit amount of debris. (b) Average surface profile of fabricated area.

### 参考文献

- [1] Y. Hayasaki, et al., Appl. Phys. Lett. **87**, 031101(2005).
- [2] K. Sakuma, et al., Appl. Phys. B **119**, 533(2015).