深層学習を用いたレーザー誘起ナノ周期構造の推定による最適レーザー照射パラメータの決定

Determination of optimial laser irradiation parameter by Prediction of laser induced nano-periodic structure using deep learning

宇都宮大学オプティクス教育センター[1]　○(B) 増田諒太[1]，早崎芳夫[1]，長谷川智士[1]

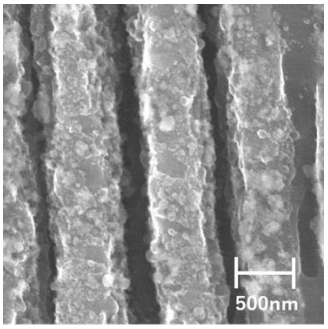
Center for Optical Research and Education, Utsunomiya University[1],
°Ryota Masuda[1], Yoshio Hayasaki[1], Satoshi Hasegawa[1]

E-mail: masuda_r@cc.utsunomiya-u.ac.jp

フェムト秒レーザーパルスを固体表面へ照射すると，レーザーの波長よりも短い周期を持つナノ構造が形成される．そのナノ周期構造は，構造色の発現や生体適合性の向上，および撥水制御への応用を目的として実用化が進められている．しかし，ナノ周期構造の形成や配向，および周期は，レーザー照射パラメータ（波長，パルス幅，パルス繰り返し周波数，パルスエネルギー，パルス照射数）や加工材料の特性，材料表面の状態を含む様々な条件により変化するため，所望のナノ周期構造が得られる最適な条件の決定には多くの繰り返し実験を要する．その課題を解決するためには，レーザー加工中に形成されたナノ周期構造をその場(in situ)で観測し，レーザー照射パラメータを調整することが有効である．しかし，ナノ周期構造のサイズは光の波長以下であるため，光学的手法では観測できず，走査型電子顕微鏡(SEM: scanning electron microscope)を用いることが一般的であるが，真空環境下での観測が必要であり，In situ での構造観測には課題がある．

本研究では，シリコン基板に対して，レーザー照射パラメータを入力とし，ナノ周期構造の SEM 画像を生成する機械学習モデルの構築を行った．この学習モデルにより，事前にナノ周期構造の推定が行えるため，レーザー照射パラメータの迅速な最適化が可能となる．機械学習には，敵対的生成ネットワーク(GAN, generative adversarial network)を用いた．GAN の訓練データの作成において，レーザー加工に用いたパルスエネルギーやパルス照射数と，実際の加工で得られたナノ周期構造の SEM 画像とのラベル付けが行われた．実験では，GAN により生成されたナノ周期構造の画像と，実際に SEM で得られた画像との比較によって，本手法の有効性を検証した．

Fig. 1(a)は，シリコン基板へのフェムト秒レーザー照射（波長 1030nm，パルス幅 150fs，繰り返し周波数 10kHz）により生成されたナノ周期構造の SEM 画像を示す．レーザー照射パラメータとして，パルスエネルギーを 24nJ，パルス照射数を 50 に設定した．レーザーの偏光方向と同じ方向の波数を有する間隔約 350nm の周期構造が得られた．Fig. 1(b)は，GAN により生成されたナノ周期構造の画像を示す．パルスエネルギーを 24nJ，パルス照射数を 50 に設定し，GAN への入力値とした．実際の SEM 画像に類似した周期構造が得られた．結果より，選択したレーザー照射パラメータに対し，ナノ周期構造の詳細画像を生成する機械学習モデルの構築に成功した．

(a)


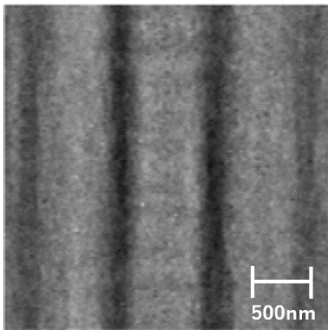
(b)


Fig. 1 (a) SEM image of the nano-periodic structure. (b) Image of the structure generated by GAN.

© 2023年 応用物理学会