

一般セッション(ポスター講演) | 3 光・フォトンクス：3.6 レーザープロセッシング (旧3.7)

■ 2023年9月21日(木) 16:00 ~ 18:00 | 会 P15 (熊本城ホール)

■ [21p-P15-1~9] 3.6 レーザープロセッシング (旧3.7)

[21p-P15-1] レーザー誘起衝撃波によりメタノール中で生成した分子の同定

石川 和香子¹、○佐藤 俊一¹ (1.東北大多元研)

[21p-P15-2] PLLA/リグニン複合シートのレーザー炭化による電気二重層キャパシタの作製

○加藤 慎莉¹、船山 怜²、近藤 陽介²、林 秀一郎²、寺川 光洋^{1,2} (1.慶大理工、2.慶大院理工)

[21p-P15-3] Heフリー短パルスCO₂レーザーによるポリイミドの加工

○大川 亮¹、宇野 和行¹、渡會 翔平²、児玉 康司^{1,2}、米谷 和幸² (1.山梨大学、2.精電舎電子工業)

[21p-P15-4] 不純物ドーパ非晶質Ga₂O₃薄膜へのエキシマレーザー照射による室温固相結晶化と照射条件が与える構造・特性への影響

○(M2)沼田 拓実¹、甲斐 稜也¹、金子 智^{2,1}、松田 晃史¹、吉本 護¹ (1.東工大物質理工、2.神奈川産技総研)

[21p-P15-5] フェムト秒レーザーパルス的高速走査により作製した金格子構造を用いた温度応答性ハイドロゲルの透過率制御

○柏川 健¹、富川 啓文¹、尾上 弘晃^{1,2}、寺川 光洋^{1,2} (1.慶大院理工、2.慶大理工)

[21p-P15-6] グリーン超短パルスレーザーを用いたバブル駆動粒子集積固化プロセス

○(M1)高坂 悟¹、山本 和哉¹、西山 宏昭¹ (1.山形大院理工)

[21p-P15-7] 超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスによるプラズモニックコンポジット構造の直接描画

○(M1)皿井 優輝¹、小川 雄也¹、西山 宏昭¹ (1.山形大院理工)

[21p-P15-8] ナノ薄膜レーザー加工技術の高度化

○小林 哲郎¹、上杉 祐貴¹、小澤 祐市¹、佐藤 俊一¹ (1.東北大多元研)

[21p-P15-9] SC 光照射による LIPSS 形成

○田中 芳徳¹、Rezvani SeyedAli²、江龍 修¹、宮川 鈴衣奈¹ (1.名古屋工業大学、2.サンテック株式会社)

レーザー誘起衝撃波によりメタノール中で生成した分子の同定

Identification of molecules synthesized in methanol by laser driven shock wave

東北大多元研 石川 和香子、[○]佐藤 俊一

Tohoku Univ., Wakako Ishikawa and [○]Shunichi Sato

E-mail: sato@tohoku.ac.jp

フェムト秒レーザー光パルスを液体中に集光すると、分子の光イオン化や光解離などによってラジカルやイオンが生成し、それら同士や他の原子や分子との間で新たな反応を生じて、ポリイン[1]などの出発材料と異なる分子が生成されることが知られている。われわれは、より高強度の光を液体アルカンに照射すると、レーザー誘起衝撃波の高い圧力によって分子間距離が縮まり、異なるアルカン分子間での C-C 結合が機械的に生じ、新たな構造異性体等が生成されることを報告した[2]。さらに、メタノールへの照射においては C-C 結合だけでなく、C-O 結合と O-O 結合も生じることや、二酸化炭素飽和溶液ではギ酸や酢酸などの分子も生成することも報告した[3]。今回は、濃縮した試料をガスクロマトグラム—質量分析 (GC-MS) により分析したところ、新たな生成物が見出されたので、それらの同定結果を報告する。

焦点距離 8 mm (NA = 0.5) のレンズでパルスレーザー光 (波長 800 nm、パルス幅 100 fs、繰返し周波数 1 kHz、パルスエネルギー ~5.5 mJ) を 100 mL のメタノールの入った石英セル中で集光し、50 時間以上照射した。得られた試料に対して真空蒸留を数回繰返し行い、methoxymethanol を濃縮した。その試料のガスクロマトグラムを図 1 に示す。出発物質であるメタノールに比べ、methoxymethanol の割合が高くなっていることがわかる。さらに濃縮前のクロマトグラムでは検出されなかった複数のピークがみられた。これらのピークに対応する質量スペクトルをデータベースから見出すことはできなかった。しかし methoxymethanol の質量スペクトルと酷似していることから、methoxymethanol の重合体 (polyoxymethylene) であると推定され、それらを Fig. 1 中の薄緑色のハイライトで分子名を記した。また、ethylene glycol の重合体と推定される分子のピークも見出され、橙色のハイライトで示した。

参考文献 [1]

A. A. Zaidi, A. Hu, D. E. Henneke and W. W. Duley, Chem. Phys. Lett. 723, 151 (2019). [2] W. Ishikawa and S. Sato, ChemPhysChem, 21, 2104 (2020). [3] 石川、佐藤、2021 年応用物理学会 秋季学術講演会講演予稿集、21p-P06-4, (2021).

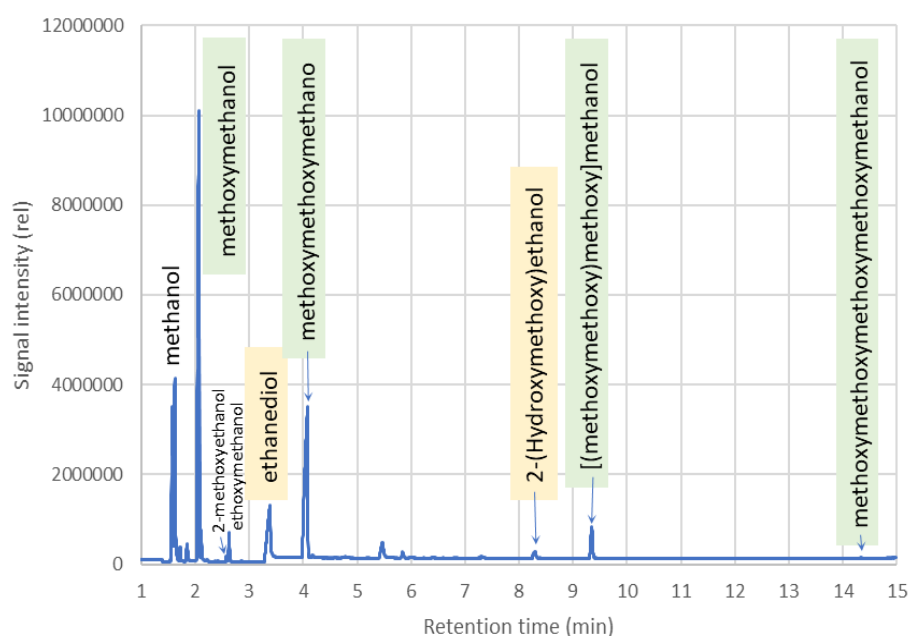


Fig. 1 Gas chromatogram of liquid methanol irradiated by high-intensity laser. Identified molecules by mass spectroscopy were indicated.

PLLA/リグニン複合シートのレーザー炭化による 電気二重層キャパシタの作製

Fabrication of Supercapacitor

by Laser-induced Carbonization of PLLA/Lignin Composite Sheet

慶大理工¹, 慶大院理工² ○(B4)加藤 慎莉¹, (M2) 船山 怜², (M1) 近藤 陽介²,
(D3) 林 秀一郎², 寺川 光洋^{1,2}

Keio Univ.¹, Grad. Sch. Keio Univ.², °Mari Kato¹, Rei Funayama², Yosuke Kondo²,

Shuichiro Hayashi², Mitsuhiro Terakawa^{1,2}

E-mail: terakawa@elec.keio.ac.jp

電気二重層キャパシタは一对の電極および電解液から構成され、他の蓄電デバイスに比べて静電容量が大きく、繰り返し利用しても充放電特性が劣化し難い特長を持つ。ポリマーを黒鉛質炭素に改質するレーザー炭化により、ポリマー表面へ導電性構造を直接描画することで、同電極を高速に作製することが可能である。我々はこれまでに、ポリ-L-乳酸 (Poly-L-Lactide, PLLA) およびリグニンを混合したシート (以下、複合シートと記す) 表面にレーザーを照射することで、導電性を示す黒鉛質炭素構造を直接描画可能であることを実証した¹。本研究では、複合シートのレーザー炭化により作製した導電性構造を電気二重層キャパシタの電極として応用することを試みた。複合シートは生分解性であるため、廃棄時の環境負荷が低い蓄電デバイスの実現が可能となる。複合シート表面にフェムト秒レーザーパルス (波長 522 nm、パルス幅 192 fs、繰り返し周波数 63 MHz) を集光照射し走査することで、直線状の導電性構造を平行に 2 本作製して電極とした。塩化ナトリウム水溶液を含むアガロースゲルを電解質として用い、電流電位曲線を取得した (Fig. 1 (a))。同曲線より作製構造が充放電特性を示すことを確認した。さらに電流電位曲線を連続して 1000 サイクル取得し (Fig. 1 (b))、サイクル数 1000 における静電容量の維持率が 86%であることを確認した。以上より、PLLA およびリグニンを混合した複合シートのレーザー炭化により電気二重層キャパシタを作製可能であることを示した。

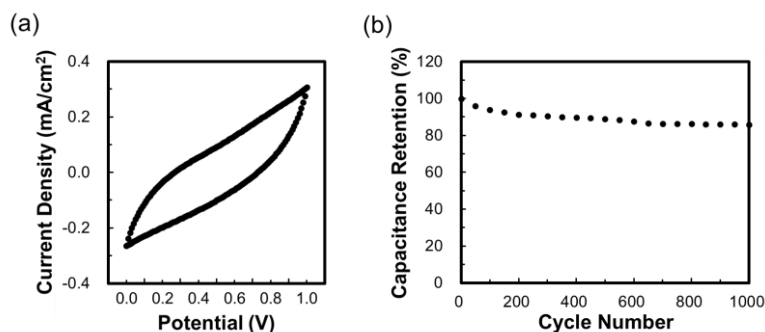


Fig. 1 (a) Cyclic voltammetry curve of the fabricated supercapacitor. (b) Capacitance retentions calculated from the cyclic voltammetry curves for 1000 charge-discharge cycles.

¹R. Funayama, S. Hayashi, M. Terakawa, ACS Sustain. Chem. Eng. **11**, 3114-3122 (2023).

He フリー短パルス CO₂ レーザーによるポリイミドの加工

Processing of polyimide by He-free short-pulse CO₂ laser

(山梨大学¹, 精電舎電子工業株式会社²)

○大川亮¹, 宇野和行¹, 渡會翔平², 児玉康司^{1,2}, 米谷和幸²

(Univ of Yamanashi¹, Seidensha Electronics²)

○Ryo Okawa¹, Kazuyuki Uno¹, Shohei Watarai², Yasushi Kodama^{1,2}, Kazuyuki Yoneya²

E-mail: g23te006@yamanashi.ac.jp

1. 背景

ポリイミドは優れた耐熱性、機械的強度、耐化学薬品性、電気絶縁性を有しているためフレキシブルプリント基板や層間絶縁材料として重要な樹脂である。ポリイミドはCO₂ レーザー照射により切断加工が可能である[1]。

現在、産業・医療分野に利用されているCO₂ レーザーの多くは、媒質ガスにCO₂とN₂, Heの混合ガスを使用している。しかし、現在、世界情勢によりHeガスの入手が困難となっている。そこで我々は放電の制御により、高繰り返し動作・高出力動作可能なHeフリーCO₂ レーザーの開発を実現した。本研究では、Heフリー短パルスCO₂ レーザーによるポリイミドの切断加工が調査された。

2. 実験装置

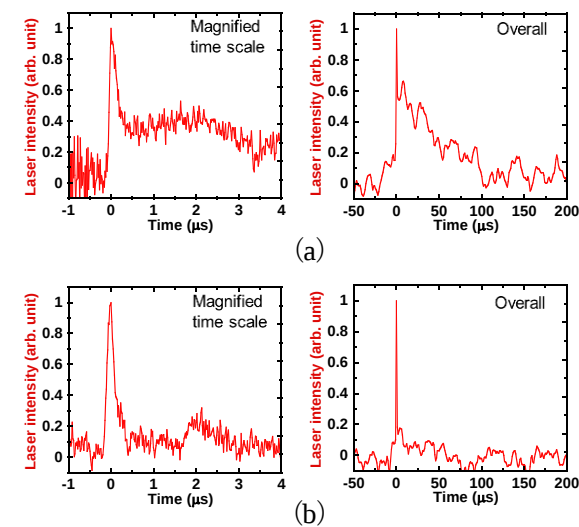


Fig. 1. Laser pulse waveform at a repetition rate on 50 Hz. (a) Short pulse with tail. (b) Short pulse without tail.

本研究ではテール付き短パルスとテールフリー短パルスの2種類のレーザーパルス波形によるポリイミドの切断加工が調査された。Fig. 1は、繰り返し周波数50 Hzにおけるレーザーパルス波形を示す。どちらのレーザーパルス波形も同じレーザー装置において媒質ガスの調整により出力された。テール付き短パルスでは尖頭パルス幅は256 ns、パルステール長は100 μs、尖頭パル

スに対するテールのエネルギー比は1:154であった。テールフリー短パルスでは、尖頭パルス幅は208 nsであった。集光レンズの焦点距離は38.1 mmであり、集光レンズの焦点位置がサンプル表面に当たるように設置された。1パルス当たりのフルエンスと照射径は、テール付き短パルスにおいて18.5 J/cm²と634 μm、テールフリー短パルスにおいて2.68 J/cm²と475 μmであった。ステージの走査速度は1 - 25 mm/sであり、重ねうち率はテール付き短パルスにおいて96.0 - 11.3%、テールフリー短パルスにおいて94.6 - 0%であった。サンプルには厚さ30 μmのポリイミドシートが使用された。

3. 実験結果

Fig. 2はサンプルの表面写真の一例である。ステージの移動速度により白色への変色、黒色への変色、切断の3種類の変化が見られた。白色の変色では導電性はなかった。黒色の変色ではサンプルに導電性があったため、炭化であった。切断面では黒色の変色が見られたが、導電性があるものとならなかった。

	テールフリー短パルス 50 Hz 2.68 J/cm ²	テール付き短パルス 50 Hz 18.5 J/cm ²
白色	 導電性なし 重ねうち率 7.35% 走査速度 20 mm/s	
黒色	 導電性あり 重ねうち率 25.3% 走査速度 15 mm/s	 導電性あり 重ねうち率 11.3% 走査速度 25 mm/s
切断	 導電性なし 重ねうち率 94.6% 走査速度 1 mm/s	 導電性あり 重ねうち率 25.3% 走査速度 20 mm/s

Fig. 2. Images of samples .

参考文献

[1] Zhongke Wang, et al., Micromachines. 12, 227 (2021).

不純物ドーピング非晶質 Ga_2O_3 薄膜へのエキシマレーザー照射による 室温固相結晶化と照射条件が与える構造・特性への影響

Solid-state crystallization of impurity-doped Ga_2O_3 thin films by excimer laser
irradiation at RT and the effect of irradiation conditions on the structure

東工大物質理工¹, 神奈川産技総研²

○(M2) 沼田 拓実¹, 甲斐 稜也¹, 金子 智^{2,1}, 松田 晃史¹, 吉本 護¹

Tokyo Tech¹, KISTEC²

○Takumi Numata¹, R. Kai¹, S. Kaneko^{2,1}, A. Matsuda¹, M. Yoshimoto¹

E-mail: numata.t.ad@m.titech.ac.jp

[はじめに] 酸化ガリウム(Ga_2O_3)は $\alpha \sim \varepsilon$ の多形をとり、約 4.9 eV という広いバンドギャップをもつ。安定相の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ はパワーデバイスや深紫外光センサなどへの応用が期待されている^[1]。一方で準安定相 $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ^[2]は、欠陥スピネル構造を持ち、MODFET 等への応用研究がなされている。これまで、PLD^[3]やCVD^[4]等の手法で β 相や γ 相のエピタキシャル薄膜が報告されている。しかし、基板温度を 350°C 以上の加熱が必要となり、高温ゆえのドーパント偏析や組成ずれ、積層薄膜の反応層生成などの影響が懸念されてきた。そこで我々は、岩塩型構造を持つ緩衝層の導入と室温大気中での紫外エキシマレーザーアニリング(ELA)により、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 基板やポリマー基板上に $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の室温固相結晶化を報告してきた^[5-7]。この ELA による室温結晶薄膜合成では分相析出、粗大な粒成長、およびドーパントの蒸発などを抑制した低温結晶化の促進が期待される。これまでは、250mJ/cm² 程度の低いエネルギー密度での ELA 処理の報告がほとんどで、500mJ/cm² を超える比較的高いエネルギー密度での ELA 処理における結晶相や p/n 制御のための不純物置換に関する報告が少ない。本研究では、ELA のエネルギー密度に着目し、ELA を用いた Sn などの不純物をドーピングした非晶質 Ga_2O_3 薄膜の室温固相結晶化およびレーザー条件が結晶構造や特性に与える影響を検討した。

[実験及び結果] 不純物をドーピングした Ga_2O_3 非晶質前駆体薄膜を、KrF エキシマレーザー($\lambda=248$ nm, d~20ns, E~1.5J/cm²)を用いた PLD 法により、MgO(111)緩衝層(約 2 nm)を導入した原子ステップ C 面サファイア基板上に、それぞれ室温及び 1.0×10^{-6} Pa の超高真空中で堆積した。得られた前駆体薄膜に対して、エキシマレーザーを大気中室温で、基板から 1000 パルス(5Hz)照射し、ELA を行った。それぞれのフルーエンスは 275mJ/cm² と 600mJ/cm² とした。図 1 はノンドーピング Ga_2O_3 非晶質前駆体薄膜に対して ELA 処理した試料の面直 XRD パターンである。この結果から、2 種の ELA 条件においても、 Ga_2O_3 の配向結晶化を確認した。次に、面内方向に対する薄膜 XRD を測定した。フルーエンスが 275mJ/cm² で ELA した試料は β 相、600mJ/cm² で ELA した試料は γ 相の回折ピークを確認した。講演では、ELA のパルス数や不純物のドーピングが与える結晶相や特性への影響についても報告する。

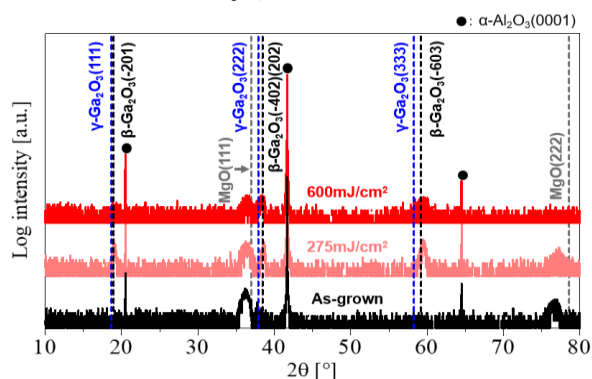


Fig. 1 XRD patterns of Ga_2O_3 films before and after ELA (275mJ/cm², 600mJ/cm²) at R.T. in air

[1] M. Higashiwaki, et al., Appl. Phys. Lett. **100**, 013504 (2012). [2] T. Oshima, et al., J. Appl. Phys. **58**, 060910 (2019). [3] H. Hayashi et al., J. Mater. Res., **26**, 578 (2011).

[4] T. Oshima, et al., J. Cryst. Growth **359**, 60 (2012). [5] D. Shiojiri, et al., J. Cryst. Growth **424**, 38 (2015). [6] H. Morita, J. Vac. Sci. Technol. A, **39**, pp. 043414-1 (2021), [7] R. Kai et al., Jpn. J. Appl. Phys. **62**, pp. 048003-1 (2023).

フェムト秒レーザーパルス的高速走査により作製した 金格子構造を用いた温度応答性ハイドロゲルの透過率制御

Controlling transmittance of the thermosensitive hydrogel using gold microstructures
fabricated with high-speed scanning of femtosecond laser pulses.

慶大院理工¹, 慶大理工² ○(M1) 柏川 健¹, 富川 啓文¹, 尾上 弘晃^{1,2}, 寺川 光洋^{1,2}

Grad. Sch. Keio. Univ.¹, Keio Univ.², °Ken Kashikawa¹, Hirofumi Tomikawa¹, Hiroaki Onoe^{1,2},
Mitsuhiro Terakawa^{1,2}

E-mail: terakawa@elec.keio.ac.jp

光吸収体として金属ナノ粒子を含有した温度応答性ハイドロゲルへ刺激光を照射すると、金属ナノ粒子において光熱変換が生じハイドロゲルの相転移が誘起される。相転移に伴いハイドロゲルの透過率が変化するため、光刺激による透過率変化を誘起可能である。ハイドロゲル内部に金属ナノ粒子からなる微細構造を作製する方法の一つとして、多光子還元法が挙げられる。多光子還元法は、金属イオンを含むハイドロゲルへフェムト秒レーザーパルスを集光照射することで、空間選択的に金属微細構造を作製可能な方法である。しかし、高繰り返し周波数のレーザーパルス照射により温度応答性ハイドロゲルの体積相転移が誘起されるため、任意の構造を作製することは容易ではない。本研究では、ガルバノスキャナーシステムを用いてレーザーパルスを高速かつ複数回走査し、Poly (N-isopropylacrylamide) (PNIPAM) ハイドロゲル内部へ複数の細線からなる金格子構造を作製した後、金格子構造を作製した PNIPAM ハイドロゲルへの刺激光照射による信号光の透過率制御実験を行った。透過率制御実験では、刺激光の光源として波長 520 nm のレーザーダイオード、信号光の光源として波長 405 nm のレーザーダイオードを使用した。作製した金格子構造へ刺激光を照射したところ、金格子構造およびその周辺部における信号光の透過率が低下した。高い走査速度かつ走査回数の多い条件により作製した金格子構造では、透過率の最低値が低く、刺激光照射から透過率の低下が開始するまでの時間が短かった。高い走査速度かつ走査回数の多い条件により作製した構造では、低走査速度単一走査で作製した構造よりも金ナノ粒子の密度が高いため光熱変換の効率がよく、相転移温度に達しやすいと考えられる。

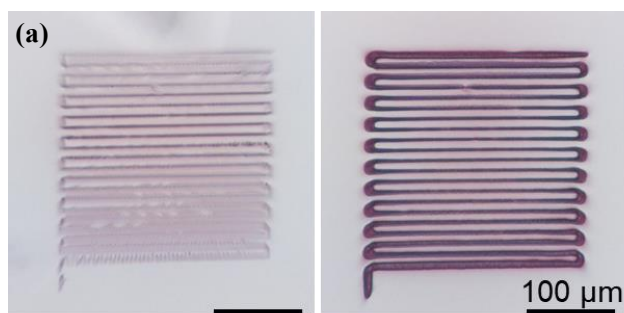


Fig.1 Brightfield microscope images of the gold lattice structures fabricated with (a) the scanning speed of 100 $\mu\text{m/s}$ and 1 scan, and (b) the scanning speed of 50000 $\mu\text{m/s}$ and 500 scans.

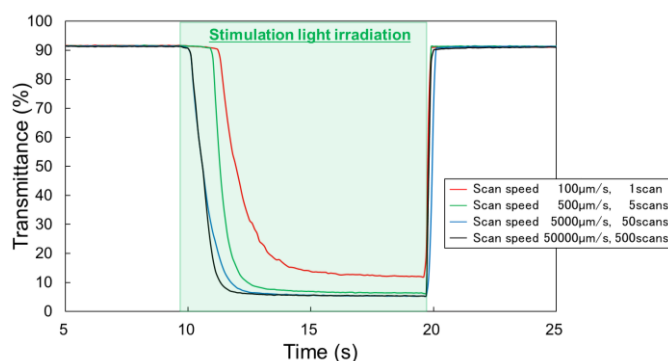


Fig.2 Transmittance changes under light stimulation for the structures fabricated with different laser parameters. The green area represents the time of light stimulation.

グリーン超短パルスレーザーを用いたバブル駆動粒子集積固化プロセス

Microbubble-based direct writing using green ultrashort pulse laser

山形大院理工, °高坂 悟, 山本 和哉, 西山 宏昭

Yamagata Univ., °Satoru Kohsaka, Kazuya Yamamoto, Hiroaki Nishiyama

E-mail: nishiyama@yz.yamagata-u.ac.jp

我々は、非感光性材料を含む超広域材料群に拡張可能な光パターンニング手法として、超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスの開発に取り組んでいる。同プロセスは、材料の感光性に制限されることなく、セラミックスや金属、半導体、生体親和性材料など幅広い材料群のレーザー描画を可能とする[1,2]。この集積固化機構として、集光部で光析出した Ag が起点となった熱バブル発生と周辺対流の駆動を提案してきた。一方で、この機構に基づけば、光熱変換源として、その後の対流駆動に重要な役割を果たす Ag コアの生成は、近赤外波長の超短パルスレーザーの二光子反応で行ってきたため、レーザー描画速度の向上は難しかった。本研究では、Ag コア形成において効率的な二光子反応の進行が期待できるグリーン波長の超短パルスレーザーを用い、レーザー集積固化現象による光パターンニングの高速化を検討した。

光源としてグリーンフェムト秒レーザー（中心波長 517 nm、繰返し周波数 75 MHz、パルス幅 88 fs）を用い、SiO₂ 粒子が分散した AgNO₃ 溶液へと集光した。PC 制御ステージに配置したガラス基板上に光パターンニングを行った。

図 1 は、超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセス概要と、SiO₂ 粒子が分散した AgNO₃ 溶液グリーンフェムト秒レーザーで描いたマイクロパターンの SEM 像を示す。線幅はおよそ 4 μm で、その表面は滑らかであった。一方、SiO₂ 粒子を含まない AgNO₃ 溶液に対して同条件で描画したラインの線幅はおよそ 2 μm であった。走査速度 2000 $\mu\text{m}/\text{s}$ であってもパターンの直接描画が可能であり、従来の近赤外フェムト秒レーザーに比べて高速化が可能であった。AgNO₃ 溶液は、グリーンフェムト秒レーザーの二光子波長での吸収が強く、集光部で光熱変換源としての Ag 析出が容易であったため、高速描画であっても粒子集積が効果的に起きたと考えられた。

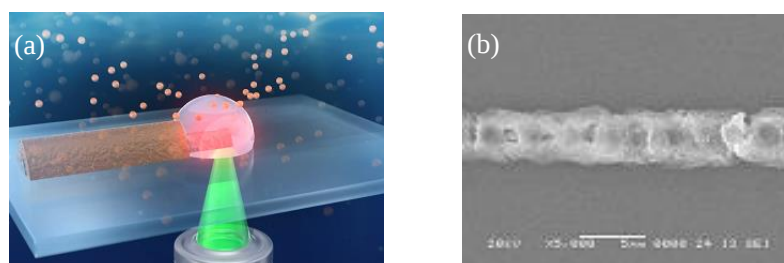


Fig. 1 (a) Schematic illustration of green fs laser bubble-based writing and (b) SEM image of a micropattern.

[1] H. Nishiyama, et al., Sci. Rep., 9 (2019) 14310. [2] H. Nishiyama, et al., PCT/JP2022/005217.

超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスによる プラズモニックコンポジット構造の直接描画

Plasmonic composite microstructures formed by femtosecond laser bubble-based assembly

山形大院理工, °皿井 優輝, 小川 雄也, 西山 宏昭

Yamagata Univ., °Yuki Sarai, Yuya Ogawa, Hiroaki Nishiyama

E-mail: nishiyama@yz.yamagata-u.ac.jp

我々は極めて広い材料群に適用可能な光パターニング手法として超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスの開発に取り組んでいる。同プロセスは、典型的な高透過性材料である SiO_2 の他, セラミックスや, 半導体, 生体親和性材料など幅広い材料群のレーザー描画を可能とする[1,2]。この集積固化機構として, 集光部での二光子還元反応で析出した Ag を起点とした熱バブル発生と周辺対流の駆動を提案してきた。この提案機構に基づけば描画は, 単一種類の粒子だけでなく, 複数種からなるコンポジット構造を描画することも可能と推定される。そこで, 本研究では, プラズモニックな Au ナノ粒子と誘電体粒子のコンポジット構造の直接描画を行った。

光源として近赤外フェムト秒レーザー（中心波長 780 nm, 繰返し周波数 100 MHz）を用い, Au ナノ粒子および誘電体粒子が共に分散した AgNO_3 溶液へと集光/走査した。

図 1 は, 超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスの概要と, 2 種類の粒子が分散した AgNO_3 溶液を用いて描いたラインパターンの光学顕微鏡像を示している。線幅は 5 μm ほどであり, 表面は比較的滑らかであった。2 種類の粒子の濃度差から表面観察では両者を判別することは出来なかったが, 断面観察からコンポジット化していることが確認され, また, 描画ライン内でも両粒子はその形状を維持しており溶解などは見られなかった。詳細 TEM 観察などから, 超短パルスレーザー駆動粒子集積固化プロセスがマイクロコンポジットの直接描画に適用可能であることが分かった。

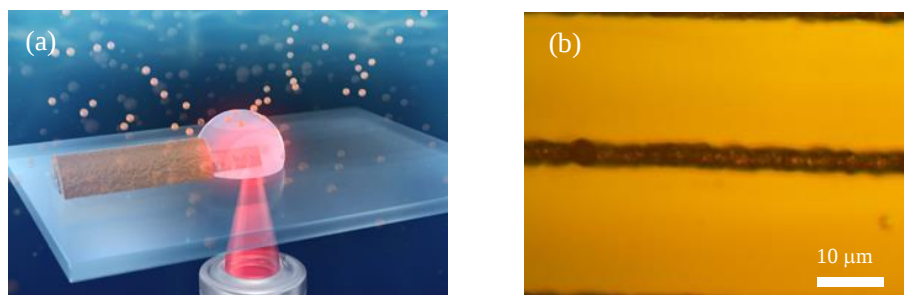


Fig. 1 (a) Schematic illustration of NIR fs laser bubble-based writing and (b) optical microscope image of a micropattern.

[1] H. Nishiyama, et al., Sci. Rep., 9 (2019) 14310. [2] H. Nishiyama, et al., PCT/JP2022/005217.

ナノ薄膜レーザー加工技術の高度化

Advancement of near-threshold laser processing of nanofilms

東北大多元研[○](M2)小林 哲郎, 上杉 祐貴, 小澤 祐市, 佐藤 俊一

IMRAM, Tohoku Univ. [○]Tetsuro Kobayashi, Yuuki Uesugi, Yuichi Kozawa, Shunichi Sato

E-mail: tetsuro.kobayashi.r7@dc.tohoku.ac.jp

近年ますます需要が高まるナノデバイスの製造には、ナノリソグラフィや集束イオンビームによる加工が用いられる。しかし、これらの手法には、コンタミネーションや加工中の試料損壊、装置が高価で大掛かりなことなどの課題がある。我々は、新しいナノスケールの加工手法として、フェムト秒レーザーによるナノ薄膜加工法を提案し、その有用性を検証してきた。アブレーション閾値近傍に調整したレーザーパルスを照射することで、厚さ 100 nm 以下の材料を光の波長以下の分解能で加工することが可能である[1]。これまでに、電子渦ビームを発生させるための電子位相回折格子を、厚さ 35 nm の Si 膜で作製し、従来の電子回折格子より高い発生効率を達成した[2]。さらに、極限に薄い材料として、単層グラフェンに対する加工にも成功している[3]。これらの他にも、Au や SiN などの薄膜材料に対する加工を実証しており、幅広い素材に本手法が適用できる可能性がある。そこで本研究では、これまで手動で行っていた加工をコンピュータにより自動化して、アブレーション閾値などの素材に依存する加工パラメータを短時間で取得できるよう、レーザー加工系の高度化に取り組んだ。

レーザー照射のトリガー信号を発生させる任意信号発生器および直動 3 軸のピエゾモーター式試料ステージを、それぞれコンピュータに接続して自作のプログラムコードにより制御した。Fig.1 に示した SEM 像は、厚さ 50 nm の SiN 膜にフェムト秒レーザー（波長：520 nm、パルス幅：330 fs）を、照射パルスエネルギーと位置を自動制御しながら加工して得た結果である。パルスエネルギーは図中上段が 11.65 nJ であり、8 段目で 2.40 nJ になるよう線形に変化させた。ただし 8 段目において加工痕は認められなかった。加工穴の大きさにばらつきが大きく、現在その原因を調査中である。ポスター講演においてその詳細について説明するとともに、自動制御を駆使して実現するいくつかの実用的なパターンニング加工の例について報告する。

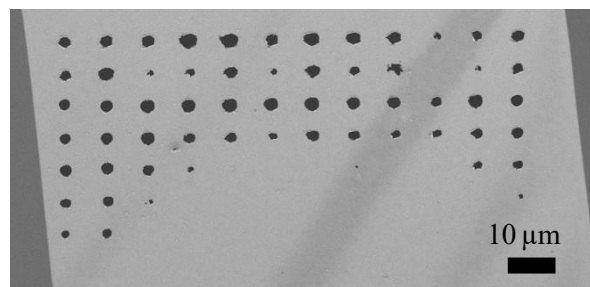


Fig.1 SEM image of the laser processed SiN film.

参考文献

- [1] Y. Uesugi, T. Miwa, N. Kadoguchi, Y. Kozawa, and S. Sato, Appl. Phys. A **129**, 101 (2023).
- [2] Y. Uesugi, R. Fukushima, K. Saitoh, and S. Sato, Opt. Express **27**, 20958 (2019).
- [3] N. Kadoguchi, Y. Uesugi, M. Nagasako, T. Kobayashi, Y. Kozawa and S. Sato, Nano Lett. **23**, 4893 (2023).

SC 光照射による LIPSS 形成

Formation of Laser-Induced Periodic Surface Structures using Supercontinuum Femtosecond Laser

名工大¹, サンテック(株)², °田中 芳徳¹, Rezvani SeyedAli², 江龍 修¹, 宮川 鈴衣奈¹

Nagoya Inst. of Tech¹, Santec corp.², °Michiyasu Tanaka¹, Rezvani SeyedAli², Osamu Eryu¹, Reina Miyagawa¹

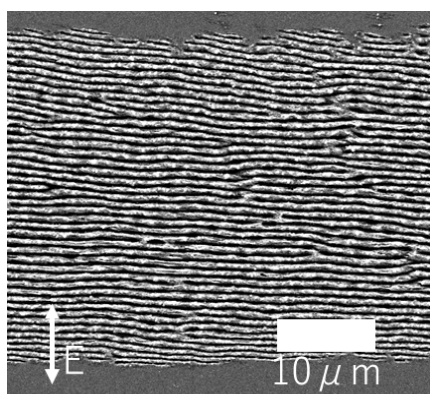
E-mail: miyagawa.reina@nitech.ac.jp

レーザー誘起周期構造 (LIPSS) に関する研究が盛んに行われており, LIPSS の周期はレーザーの波長や被照射材料種などに依存することが知られている. LIPSS に関する報告の多くはシングル波長のレーザーを用いたものであるが, 本研究では超広帯域 (Supercontinuum: SC) 光を用いた LIPSS 形成について報告する. フェムト秒オーダーのパルス幅を維持しつつ, マルチな波長分布を有する SC 光が, LIPSS の周期に与える影響を調べた.

フェムト秒レーザー (波長: 1045 nm, パルス幅: 450 fs, 繰り返し周波数: 100 kHz) をポンプ光とし, YAG 結晶を介して SC 光を発生させた. 発生した SC 光は, ポンプ光の 1045nm に加え, 約 350~1000 nm 領域のスペクトルを有する白色光であった. SC 光をレンズで集光し, Si(111)基板に照射して LIPSS を形成した. レーザー照射前後に, アセトン, フッ酸, 超純水, イソプロピルアルコール(IPA)を用いて Si 基板を洗浄し, 照射後の Si 基板を SEM により観察した.

SC 光を照射した Si 基板の表面 SEM 像と, SEM 像のフーリエ変換により計測した LIPSS の周期分布を図 1 に示す. LIPSS は平行な線状構造であり, 形成方向はレーザーの偏光 (E) に対して垂直であった. 形成した LIPSS の周期は中心から両端に向かうにつれて約 800 nm から 550 nm へと小さくなっていることが分かる. シングル波長のレーザーで形成した LIPSS の周期は形成領域内で均一であるため, この周期分布は SC 光に由来するものと考えられる. SC 光のスペクトル制御を可能にすることで, LIPSS 周期の制御性向上と LIPSS の周期分布発生メカニズムを明らかにすることが今後の課題である.

(a)



(b)

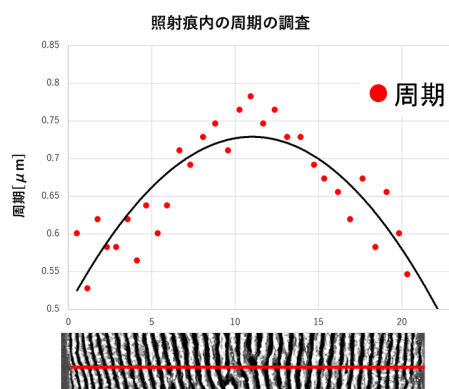


図 1 (a) SC 光照射後の Si 基板の表面 SEM 像, (b) 形成された LIPSS の周期分布