

Poster presentation | 3 Optics and Photonics : 3.6 Laser processing

📅 Thu. Sep 19, 2024 9:30 AM - 11:30 AM JST | Thu. Sep 19, 2024 12:30 AM - 2:30 AM UTC 🏢 P04  
(Exhibition Hall A)

**[19a-P04-1~13] 3.6 Laser processing**

[19a-P04-1]

Laser-induced forward transfer pumped by double pulses

○Ryota Tamemoto<sup>1</sup>, Syunta Kogie<sup>1</sup>, Kotaro Sato<sup>1</sup>, Keisaku Yamane<sup>1</sup>, Yasunori Toda<sup>1</sup>, Takashige Omatsu<sup>2,3</sup>, Ryuji Morita<sup>1</sup> (1.Hokkaido Univ., 2.Chiba Univ., 3.MCRC, Chiba Univ.)

[19a-P04-2]

Lattice structure characterization and photoluminescence spectrum of SiC nanoparticles fabricated by laser ablation in hexane

○Aoi Yokota<sup>1</sup>, Ryo Haraguchi<sup>1</sup>, Xi Yu<sup>1</sup>, Kensuke Miyajima<sup>1</sup> (1.Tokyo Univ. of Sci.)

[19a-P04-3]

Evaluation of crystallinity of hydroxyapatite layer coated by PLD scheme

○Hidehiko Yashiro<sup>1</sup>, Masayuki Kakehata<sup>1</sup> (1.AIST RIAEP)

[19a-P04-4]

Processing characteristics of PTFE film by CO<sub>2</sub> laser with controllable parameters

○(M1)Katsunori Negishi<sup>1</sup>, Kazuyuki Uno<sup>1</sup> (1.Univ. of Yamanashi)

[19a-P04-5]

Formation of Carbon Dots on Hydrogel by using Femtosecond Laser

○Keita Uchiyama<sup>1</sup>, Kosuke Tsukada<sup>1</sup>, Mitsuhiro Terakawa<sup>1,2</sup> (1.Grad. Sch. Keio Univ., 2.Keio Univ.)

[19a-P04-6]

Integration of three electrodes for flexible electrochemical sensors by femtosecond laser direct writing

○(B)Shoto Mashiko<sup>1</sup>, Hirokazu Komatsu<sup>1</sup>, Shoma Sato<sup>1</sup>, Ilya Tumkin<sup>2</sup>, Andreas Ostendorf<sup>2</sup>, Mizue Mizoshiri<sup>1</sup> (1.Nagaoka Univ. of Tech., 2.Ruhr Univ. Bochum)

[19a-P04-7]

Formation of circular microstructure on S45C surface by picosecond laser pulse irradiation in liquid

○(M2)Yuya Nakamura<sup>1</sup>, Masato Yamanaka<sup>1</sup>, Yosiki Tanaka<sup>1</sup>, Naoki Yoshida<sup>2</sup>, Xiaoxu Liu<sup>1</sup>, Kazuo Higuchi<sup>1</sup>, Satoru Maegawa<sup>1</sup>, Fumihiro Itoigawa<sup>1</sup>, Shingo Ono<sup>1</sup> (1.Nagoya Inst. of Tech., 2.NIDEK CO., LTD.)

[19a-P04-8]

Formation of tetragonal periodic surface structures using circularly-polarized femtosecond laser pulses

○Shigeki Matsuo<sup>1</sup>, Keisuke Fukuhara<sup>1</sup> (1.Shibaura Inst. Tech.)

[19a-P04-9]

Fabrication of Ce:YAG and Ce:YAP scintillators by laser doping

○(M1)Yuki Maruyama<sup>1</sup>, Marilou Cadatal-Raduban<sup>2,3</sup>, Kota Hibino<sup>1</sup>, Ichiro Nishii<sup>2</sup>, Takumi Sato<sup>2</sup>, Yoko Sakurai<sup>1</sup>, Kohei Yamanoi<sup>2</sup>, Shingo Ono<sup>1</sup> (1.Nagoya Institute of Technology, 2.Institute of Laser Engineering, Osaka Univ., 3.Massey Univ.)

---

[19a-P04-10]

Femtosecond laser writing of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> micropatterns

○(M1)Haruto Kumagai<sup>1</sup>, Yudai Tanba<sup>2</sup>, Hiroaki Nishiyama<sup>1</sup> (1.Grad. Yamagata Univ., 2.Yamagata Univ.)

---

[19a-P04-11]

Effects of bubble shape on photo-reduction-triggered nanomaterial deposition

○(M2)masaharu Aoyama<sup>1</sup>, Sawa Suzuki<sup>2</sup>, Hiroaki Nishiyama<sup>1</sup> (1.Grad. Yamagata Univ., 2.Yamagata Univ.)

---

[19a-P04-12]

Direct laser writing of diamond micropatterns by photo-induced assembly

○(M1)Naoki Wada<sup>1</sup>, Kobayasi Yuuka<sup>2</sup>, Nisiyama Hiroaki<sup>1</sup> (1.Grad. Yamagata Univ., 2.Yamagata Univ.)

---

[19a-P04-13]

Computational Fluid Dynamics Analysis of Glass Microwelding Using Ultrashort Pulse Laser

○Yuta Kume<sup>1</sup>, Toshio Nakayama<sup>1</sup>, Takayuki Tamaki<sup>1</sup> (1.NITNC)

---

## レーザー誘起前方転写におけるダブルパルス励起の効果

### Laser-induced forward transfer pumped by double pulses

○ 爲本 龍汰<sup>1</sup>, 漕江 駿太<sup>1</sup>, 佐藤 光太郎<sup>1</sup>, 山根 啓作<sup>1</sup>, 戸田 泰則<sup>1</sup>, 尾松 孝茂<sup>2,3</sup>, 森田 隆二<sup>1</sup>

(1. 北大工, 2. 千葉大融合理工, 3. 千葉大分子キラリティー)

○ R. Tamemoto<sup>1</sup>, S. Kogie<sup>1</sup>, K. Sato<sup>1</sup>, K. Yamane<sup>1</sup>, Y. Toda<sup>1</sup>, T. Omatsu<sup>2,3</sup>, R. Morita<sup>1</sup>

(1.Hokkaido Univ, 2.Chiba Univ, 3.MCRC, Chiba Univ.)

E-mail: k-yamane@eng.hokudai.ac.jp

レーザー誘起前方転写法 (Laser-Induced Forward Transfer ; LIFT) は, パルスレーザーを用いたノズルレスな転写技術であり, インクジェット方式では困難な固体や高粘性液体への適用を可能にする. 液体等の LIFT においては, 光パルスが物質に吸収されることで発生するバブルの膨張によってジェット流を形成し物質を飛翔させる. したがって転写されるドットのサイズを微小化するためには, バブル形成によって飛翔する物質の体積を最小化させることが重要である.

前回我々は, ジェット流が生じない程度の低エネルギーのパルスを物質に照射すると, その数ナノ秒後に照射した高エネルギーのパルスの物質への吸収が抑制され, ドナー飛翔の様子が単一パルスを照射した際と大きく異なることを見出した<sup>1)</sup>. これは, 第一パルスによってドナー内に生成されたバブルにより, 後続のパルスの侵入が阻害されたためだと考えられる. 我々は, この現象を応用し, 低エネルギーの光渦パルスによってドーナツ状のバブルを生成し, その後高エネルギーのガウスビームを照射することで, STED 顕微鏡における蛍光領域の制限と同じように光の吸収領域をドーナツ状バブルの中心のみに制限することで, ジェット流を微細化し転写ドットを微小化することを着想した. 今回, ナノインク (SAILOR, 極黒) をグリセリンで 200 倍に希釈した厚さ 40  $\mu\text{m}$  の薄膜に対して,  $\sim 100$  ps の光パルス (Ti:sapphire, 800 nm, 1 kHz) を光渦とガウスビームのダブルパルス (第一パルス: 光渦, 10  $\mu\text{J}$ , 第二パルス: ガウスビーム, 27  $\mu\text{J}$ , 遅延時間 2 ns) にして照射した. 飛翔過程のスナップショットイメージングを行った結果を Fig.1 に示す. 第一パルスのみでは, 物質の飛翔は生じず (A), 第二パルスのみでは大きく飛散している (B) のに対して, ダブルパルス化すると飛散が抑制されている (C) ことが確認できる. 現在パラメータの最適化を行い, 本提案が実現可能であることを検討中であり詳細は発表で述べる.

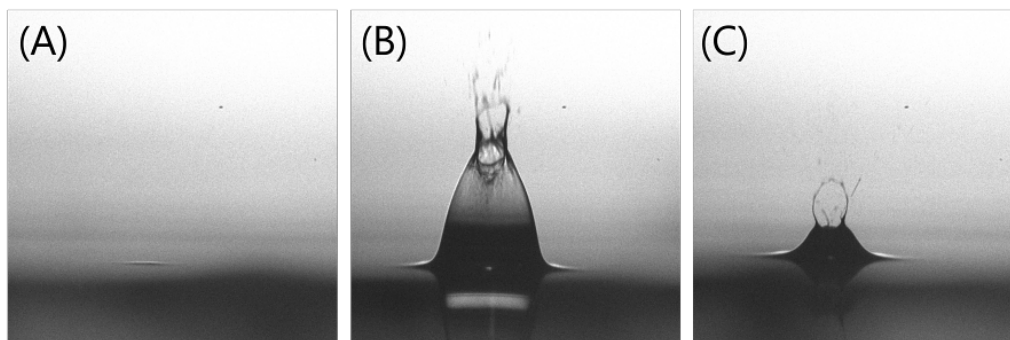


Fig. 1: Stroboscopic images of ejected donor material 4  $\mu\text{s}$  after irradiations of (A) first pulse only, (B) second pulse only, and (C) both pulses, respectively.

#### References:

- 1) 山根他, 第 71 回春季学術講演会講演予稿集 23p-13M-8 (2024)

# ヘキサン中レーザーアブレーション法によって作製した SiC ナノ微粒子の構造評価と発光スペクトル

## Lattice structure characterization and photoluminescence spectrum of SiC nanoparticles fabricated by laser ablation in hexane

東京理科大学院先進工, °(M1)横田 葵, 原口 遼, 余 希, 宮島 顕祐

Tokyo Univ. of Sci., °Aoi Yokota, Ryo Haraguchi, Xi Yu, Kensuke Miyajima

E-mail: 8424545@ed.tus.ac.jp

SiC は次世代のパワー半導体として注目されているが、間接遷移型半導体であるため発光効率が低く光学材料には向いていない。しかしながら、SiC をナノ微粒子化すると量子閉じ込め効果によって発光効率を増大させることが期待できる[1]。我々はこれまで、4H-SiC 基板をターゲットとした液中レーザーアブレーションによって、3C-SiC ナノ微粒子が生成されることを報告した[2]。また、アセトン( $C_3H_6O$ )中で生成された微粒子の発光スペクトルは  $SiO_2$  由来の発光が支配的であった[3]。この結果から、アブレーションによってラジカル化された Si がアセトン中の酸素と反応していると考えられ、液中レーザーアブレーションでは溶媒物質の構成元素が生成される微粒子の組成や発光特性に影響することを示している。その影響を検証するべく、本研究では無酸素溶媒であるヘキサン( $C_6H_{14}$ )中でのレーザーアブレーションによって SiC ナノ微粒子の作製を行い、組成分析及び発光スペクトルの測定を行った。レーザー光源は波長 800 nm、繰り返し周波数 1 kHz、パルス幅 3 ps であり、アブレーション時のレーザーフルエンスは  $2.87 J/cm^2$  とした。

ヘキサン中で作製した微粒子(ヘキサン試料)とアセトン中で作製した微粒子(アセトン試料)の規格化した発光スペクトルを Fig.1 に実線で示す。両者とも可視域にブロードな発光ピークが観測され、破線で示すように主な発光起源は 2 つ存在していると見なせる。低エネルギー発光帯(緑色破線)の起源は、2.23 eV 以上での 3C-SiC の量子化準位間遷移による発光とそれより低エネルギー側での SiC ナノ微粒子の界面準位が考えられる。高エネルギー発光帯(水色破線)の起源は、 $SiO_2$  の酸素欠陥による発光であると考えられる。アセトン試料で支配的である  $SiO_2$  由来の発光が、ヘキサン試料では抑えられ、SiC 由来の発光が相対的に強くなったことが分かる。XPS 測定、FTIR 測定の結果も、微粒子中の  $SiO_2$  の信号はアセトン試料の方が強く、発光の結果を裏付けている。ヘキサン試料で  $SiO_2$  の寄与が 0 にならない原因として、大気中の酸素がヘキサンに溶け込んだ可能性や大気曝露時の微粒子の酸化が挙げられる。いずれにせよ、溶媒を無酸素溶媒に変えることで  $SiO_2$  の生成量を低減し、SiC 由来の発光を相対的に増大させることに成功した。

- [1] X. L.Wu, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 026102, (2005).
- [2] T. Yamada, *et al.*, *AIP Advance* **9**, 105011, (2019).
- [3] R. Haraguchi, *et al.*, SiC コロイド溶液へのレーザーアブレーションによる微粒子の光学特性の変化, ナノ学会第 21 回大会, (2023).

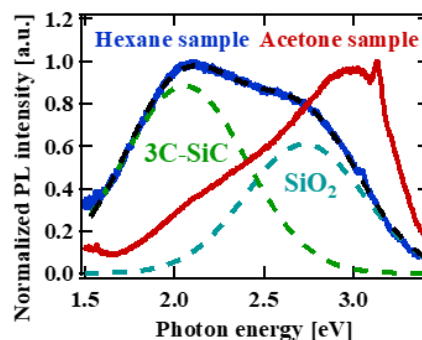


Fig.1 Normalized PL spectra of Hexane sample and Acetone sample. Excitation wavelength was 355 nm.

## PLD 法によるハイドロキシアパタイト成膜の結晶性評価

### Evaluation of crystallinity of hydroxyapatite layer coated by PLD scheme

産総研—電子光, °屋代 英彦, 欠端 雅之

AIST-RIAEP, °Hidehiko Yashiro, Masayuki Kakehata

E-mail: hidehiko.yashiro@aist.go.jp

ジルコニアセラミックスは生体親和性、審美性に富み、靱性、硬度等の機械的強度に優れ、金属アレルギーの懸念が無く、MRI 画像診断に使える事など多くの利点から人工膝関節、歯科インプラント等の母材として Ti 合金に変わる材料として期待されている。しかし、ジルコニアは Ti 合金に比べて骨伝導性に劣り、高品質ハイドロキシアパタイト（以下アパタイト）成膜が骨固着には不可欠である。PLD(Pulsed Laser Deposition)法では 100 nm 以上の膜厚制御が可能で、骨固着に最適な 1  $\mu\text{m}$  程度の成膜の作製可能な方法である。しかし、Nd:YAG レーザー（波長:266 nm、パルス幅:10 ns）による一般的な PLD 法では 500  $^{\circ}\text{C}$  のアニール温度でも完全に結晶化ができなかった[1]。この原因はアブレーション時に放出される液滴の付着が原因である事を可視化により実証した[2]。液滴を排除し原子状粒子だけで成膜可能なエクリプス型 PLD 法では従来の結晶化温度より 100 $^{\circ}\text{C}$ 以上低い 360 $^{\circ}\text{C}$ 以上で完全にアパタイトの結晶化ができ、アニール温度の高温度化に伴い高結晶へと変化することがラマン分光により確かめられた[3]。今回、同様の方法で作製した成膜をジルコニア基板から削り取り透過型電子顕微鏡により解析を行った。

アパタイト成膜はエクリプス型 PLD 法で成膜と同時にアニールを行う方式で作製した。その試料のアパタイト膜を溶解しない様エチルアルコール中で削り取り、剥離片を電子顕微鏡（FEI 社製 Tecnai Osiris、加速電圧 200 kV）を用いて観測した。アニール温度は 360 から 600 $^{\circ}\text{C}$ まで変化させ作製した試料の測定を行った。図 1 (A)にアニール温度 400 $^{\circ}\text{C}$ で作製したアパタイト成膜の典型的な劈開片の電子顕微鏡像と(B)にその一部（ $\phi$  800 nm 白線内）の透過電子線回折像を示す。こ

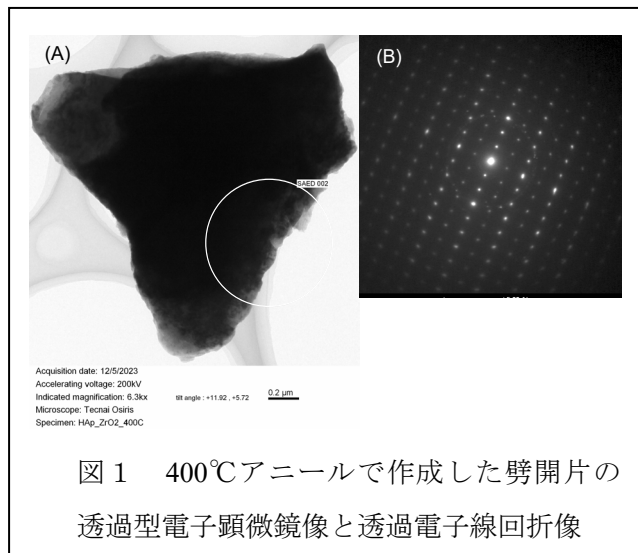


図 1 400 $^{\circ}\text{C}$ アニールで作成した劈開片の透過型電子顕微鏡像と透過電子線回折像

の様に成膜は一部に 1  $\mu\text{m}$  近い単結晶の結晶粒を持つ構造である事が確かめられた。

謝辞：電子顕微鏡の撮影は産総研（電顕施設）齋藤徳之氏によるものです。撮影協力に感謝いたします。

参考文献 [1] H.Yashiro, et al. Jpn. J. Appl. Phys. **60** 065501.

[2] H.Yashiro, et al. Jpn. J. Appl. Phys. **60** 066001.

[3] H.Yashiro, and M. Kakehata, Apl. Phys. Lett. **120**, 131602 (2022).

# パラメータ制御 CO<sub>2</sub> レーザーによる PTFE フィルムの加工特性

## Processing characteristics of PTFE film by CO<sub>2</sub> laser with controllable parameters

山梨大工 〇(M1)根岸 克典, 宇野 和行

Univ. of Yamanashi, 〇Katsunori Negishi, Kazuyuki Uno

E-mail: g24te016@yamanashi.ac.jp

### 1. 研究背景・目的

フッ素樹脂 (PTFE) は, 耐熱性や耐薬品性, 非粘着性, 絶縁性を持つ物質であり, 半導体分野や食品分野, 医療分野で広く利用されている. CO<sub>2</sub> レーザーの発振波長は 9.11  $\mu\text{m}$  ~ 11.1  $\mu\text{m}$  (主な発振波長: 9.6  $\mu\text{m}$ , 10.6  $\mu\text{m}$ ) であり, CO<sub>2</sub> レーザーにより PTFE の加工が可能である[1]. 我々の CO<sub>2</sub> レーザーは, 1 台の装置でパルス形状とビーム形状が制御可能である[2,3]. 本研究の目的は, パラメータ制御 CO<sub>2</sub> レーザーによる PTFE フィルムの加工特性の調査である.

### 2. 実験装置

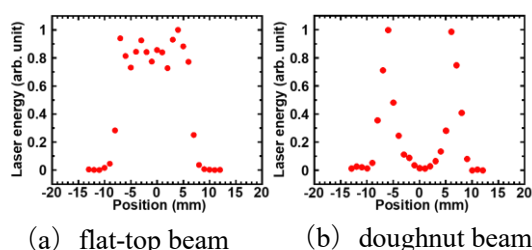


Fig. 1. Laser beam shape.

本実験ではテール付き短パルス (尖頭パルス 幅 200 ns, パルステール長 36.1  $\mu\text{s}$ , 尖頭パルスに対するテールのエネルギー比 1:46.1) と 2 種類のビーム形状 (フラットトップビーム, ドーナツビーム) が使用された (Fig. 1). レーザービームは焦点距離 38.1 mm の集光レンズによりサンプル表面に集光された. サンプル表面は焦点 offset (焦点位置を焦点 offset 0 mm とし, 焦点とサンプル表面の距離) 0 mm ~ 1.8 mm に設置された. 1 パルス当たりのフルエンスは減衰器により 1.25 J/cm<sup>2</sup> ~ 17.8 J/cm<sup>2</sup> に調整され

た. CO<sub>2</sub> レーザーは, 繰り返し周波数 200 Hz でサンプルに照射された.

### 3. 実験結果

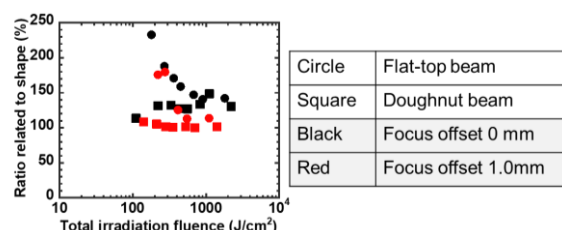


Fig. 2. Ratio of hole diameter on surface to hole diameter on reverse side.

Fig. 2 は, ビーム形状と焦点 offset, 総照射フルエンス (1 パルス当たりのフルエンスと照射パルス数の積) に依存する切削形状に関する比率である. 比率は PTFE の裏面の貫通穴径に対する表面の貫通穴径を示す. 比率 90%以下では逆円錐型, 100%では円柱型, 110%以上では円錐型となる. 比率はビーム形状と焦点 offset に依存した. フラットトップビームでは, 切削形状は円錐型であり, 照射パルス数の増加とアウトフォーカス照射により円柱型へ近づいた. ドーナツビームでは切削形状は照射パルスに依存しなかった. 焦点照射では切削形状は円錐型であり, 比率は 130%であった. アウトフォーカス照射ではほぼ円柱型であり, 比率は 102%であった. 詳細は発表にて報告する.

### 4. 参考文献

- [1] Z. B. Wang, et al., Proc. SPIE, 4830, (2003).
- [2] K. Uno, et al., Proc. SPIE, 10811, 18111 (2018).
- [3] K. Sakamoto, et al., Proc. SPIE, 10898, 108980, (2019).

## フェムト秒レーザーを用いた ハイドロゲル表面におけるカーボンドットの生成

### Formation of Carbon Dots on Hydrogel by using Femtosecond Laser

慶大院理工<sup>1</sup>, 慶大理工<sup>2</sup>, ○(M1)内山 敬太<sup>1</sup>, (M2)塚田 康介<sup>1</sup>, 寺川 光洋<sup>1,2,\*</sup>

Grad. Sch. Keio Univ.<sup>1</sup>, Keio Univ.<sup>2</sup>, °Keita Uchiyama<sup>1</sup>, Kosuke Tsukada<sup>1</sup>, Mitsuhiro Terakawa<sup>1,2,\*</sup>

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

ハイドロゲルは内部に水溶液を浸透させることが可能であり、蛍光体を含有させることで水溶液中の特定のイオンを検出する研究が行われている。我々はこれまでにレーザーを用いた高分子材料の黒鉛化を行い、ポリジメチルシロキサン (PDMS) 内部におけるグラフェン量子ドットの生成 [1] ならびにアガロースハイドロゲル表面への導電性の黒鉛質炭素構造の作製を実証した [2]。本研究では、レーザー光照射によりハイドロゲル表面にカーボンドット (Carbon Dots, CDs) を場所選択的に作製することを目的とした。

実験では、ポリアクリルアミド (Polyacrylamide, PAM) ハイドロゲルをクエン酸水溶液に浸漬し、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) を集光照射した。レーザー光照射領域において黒色構造が生成し (Fig. 1(a))、同構造は中心波長 360 nm の励起光照射時に蛍光を示すことが確認された (Fig. 1(b))。波長 360 nm の励起光を照射した際の蛍光スペクトルを Fig. 1(c)に示す。380 nm 付近および 470 nm 付近の極大は、それぞれ CDs および官能基に由来すると考えられる。また、生成した黒色構造表面から取得したラマンスペクトルにおいて D および G バンドが観察され、同構造が黒鉛質炭素を含むことが確認された (Fig. 1(d))。以上より、レーザー光照射によりハイドロゲル表面に CDs が生成できることを実証した。CDs は金属イオンの存在下にて蛍光強度が変化することが報告されており、金属イオンセンサーへの応用が期待できる。発表では、金属イオンの存在下において作製構造が示す蛍光強度の変化についても報告する。

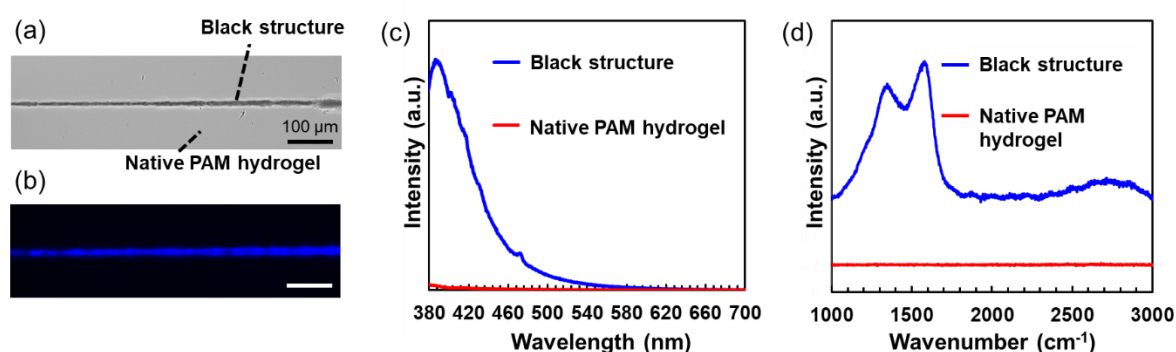


Fig. 1 Bright field (a) and fluorescence (b) images of the formed structure on the surface of the hydrogel. (c) Fluorescent spectra of black structure and native PAM hydrogel at the excitation wavelength of 360 nm. (d) Raman spectra obtained from black structure and native PAM hydrogel.

[1] S. Hayashi, *et. al.*, Nano Lett. **22**, 775(2022). [2] R. Miyakoshi, *et. al.*, Adv. Elec. Mater. **9**, 2201277(2023).



## フェムト秒レーザ直接描画によるフレキシブル電気化学センサ用 3 電極の集積化

### Integration of three electrodes for flexible electrochemical sensors by femtosecond laser direct writing

<sup>1</sup>長岡技科大, <sup>2</sup>ルール大学ボーフム <sup>○</sup>(B)増子 颯斗<sup>\*1</sup>, 駒津 広和<sup>1</sup>, 佐藤 翔真<sup>1</sup>,

Ilya Tumkin<sup>2</sup>, Andreas Ostendorf<sup>2</sup>, 溝尻 瑞枝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nagaoka Univ. of Tech., <sup>2</sup>Ruhr Univ. Bochum, <sup>○</sup>Shoto Mashiko<sup>\*1</sup>, Hirokazu Komatsu<sup>1</sup>, Shoma Sato<sup>1</sup>,  
Ilya Tumkin<sup>2</sup>, Andreas Ostendorf<sup>2</sup>, Mizue Mizoshiri<sup>1</sup>

<sup>\*</sup>E-mail: s233070@stn.nagaokaut.ac.jp

作用電極, 対極, 参照電極からなる電気化学センサは液中の微量成分検出に多用されている。近年, そのフレキシブル化によりウェアラブルセンサとしての注目も高い。我々もこれまでに, 非酵素型グルコースセンサにおける大きな表面積を有する作用電極として, フェムト秒レーザ還元焼結により Cu 系電極を作製した[1]。一方で, 3 電極を集積化したフレキシブルデバイスの直接描画作製は実現できていない。本研究では, 作用電極, 対極, 参照電極の集積化フレキシブルデバイス作製のため, フレキシブル PEN (polyethylene naphthalate) 基板上への Cu 系作用電極描画と基板の炭化を利用した対極, 参照電極の描画特性を評価し, デバイスを試作した。

3 電極の直接描画は, グリーンフェムト秒レーザ (波長 515nm, パルス幅 100 fs, 繰返し周波数 40 MHz) を開口数 0.30 の対物レンズにより集光し, 基板をステージ走査することにより大気中で行った。PEN 基板を炭化して対極と配線を描画形成後, Cu 系作用電極を描画した。PEN 基板上に Cu ナノ粒子インク (Cu ナノ粒子<55 nm, エチレングリコール, ポリビニルピロリドン) を塗布し, ラスタピッチ 5  $\mu\text{m}$  で還元描画した。未焼結インク除去し, 参照電極用 Ag/AgCl ペーストを塗布して 3 電極を集積化した。各電極は X 線回折 (X-ray diffraction, XRD) 解析による還元度評価後, サイクリックボルタンメトリにより 1, 10 mM のグルコース検出特性を評価した。

パルスエネルギー 2.96 nJ, 描画速度 5 mm/s で PEN 基板を改質描画した電極の FT-IR スペクトルを図 1 に示す。C=C ピークの増大, C=O ピークの減少から炭化により導電性を付与した。Cu 系電極の XRD ピークから算出した Cu(111), CuO(111), Cu<sub>2</sub>O(111)のピーク強度比を図 2 示す。パルスエネルギー 1.48 nJ, 描画速度 5 mm/s において Cu-rich 電極が形成された。図 3 にカーボン系, Cu 系電極をそれぞれ作用電極としたグルコース検出特性を示す。Cu 系電極のみで +0.65 V における酸化ピークが見られたことから, カーボン系電極は酸化の影響なく対極, 参照電極として利用できることを示唆している。図 4 に 3 電極集積化センサを示す。PEN 基板上へのフレキシブルデバイス化に成功した。グルコース検出特性は当日報告する。

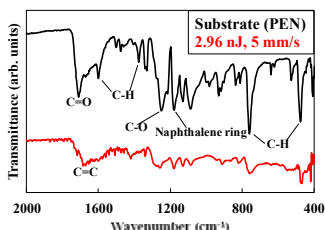


図 1 FT-IR スペクトル

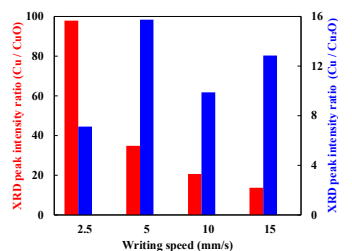


図 2 XRD ピーク強度比

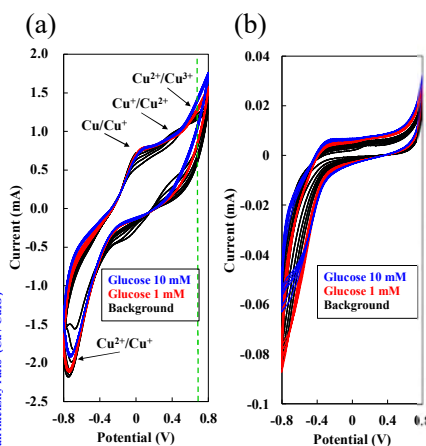


図 3 (a)カーボン系と(b)Cu 系電極のグルコース検出特性

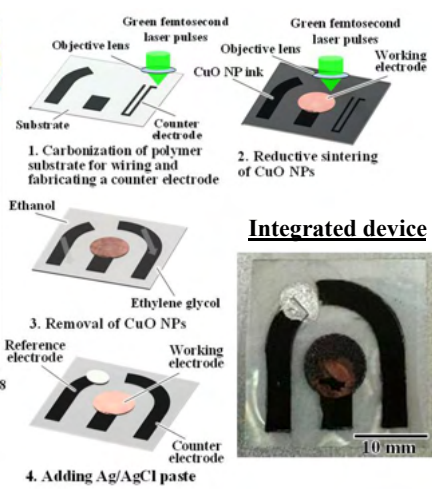


図 4 集積化プロセスとセンサ

[1] 駒津他, レーザー学会第 44 回年次大会. M. Mizoshiri, *et al.*, LPM2024.



# 液中ピコ秒レーザーパルス照射による S45C 表面への円形微細構造形成

## Formation of circular microstructure on S45C surface by picosecond laser pulse irradiation in liquid

名古屋工業大学<sup>1</sup>, 株式会社ニデック 研究開発本部 研究開発センター 基盤技術研究所<sup>2</sup>

○(M2) 中村 友哉<sup>1</sup>, 山中 正人<sup>1</sup>, 田中 良樹<sup>1</sup>, 吉田 直樹<sup>2</sup>, 劉 曉旭<sup>1</sup>, 樋口 和夫<sup>1</sup>, 前川 寛<sup>1</sup>,  
糸魚川 文広<sup>1</sup>, 小野 晋吾<sup>1</sup>

Nagoya Inst. of Tech.<sup>1</sup>, NIDEK CO., LTD. Basic Technology Institute, R&D Center, R&D Div.<sup>2</sup>

○Yuya Nakamura<sup>1</sup>, Masato Yamanaka<sup>1</sup>, Yoshiki Tanaka<sup>1</sup>, Naoki Yoshida<sup>2</sup>, Xiaoxu Liu<sup>1</sup>,

Kazuo Higuchi<sup>1</sup>, Satoru Maegawa<sup>1</sup>, Fumihito Itoigawa<sup>1</sup>, Shingo Ono<sup>1</sup>

E-mail: y.nakamura.495@stn.nitech.ac.jp

### 1. はじめに

金属材料の耐摩耗性向上のために多様な表面硬化処理が行われている。我々は表面硬化処理の手法として炭化水素溶液中の金属材料へピコ秒レーザーパルス照射することにより、溶液中の炭素を分解し金属表面に炭素の拡散を行っている[1, 2]。本研究では特定条件下での液中レーザー照射において円形微細構造の形成が確認できたので、作製した微細構造についての構造及び作製条件について報告を行う。微細構造の制御を行うことにより、表面の耐摩耗性の向上及び潤滑性向上による焼きつき防止が期待される。

### 2. 実験方法

切削油である PAO4 を満たした石英セル中に SCM440 板を設置し、波長 1064nm、パルス幅 900ps、パルスエネルギー500μJ、繰り返し周波数 20Hz のピコ秒レーザーを照射した。材料表面の破壊を防ぐために焦点位置が試料内部になるようにデフォーカスした。一カ所につき1もしくは2パルス照射し、2軸ステージを用いて試料を移動することでレーザーを走査した。

### 3. 実験結果及び考察

Fig.1 にレーザー照射を行った表面の光学顕微鏡像を示す。1パルスの照射では照射痕のみ確認され、微細構造が見られない。一方、2パルスの照射では円形の微細構造が形成された。より詳細な構造のプロファイルを得るためレーザー顕微鏡を用いて観察した。構造は同心円になっており半径 40μm の円の外側に形成されている。試料表面と溝の底の最大高低差は 400μm 程度であった。また半径が大きい円は

ど高低差は小さくなる。Fig.2 は試料を走査し、レーザー照射を行った表面の光学顕微鏡像である。レーザー照射位置は一定であり、照射痕上から順に試料を横方向に 2.2mm/s、2.6mm/s、3.0mm/s で移動している。同心円の一部を切り出した形状が走査方向と反対方向に形成される。走査速度により円の周期および本数を制御することができる。

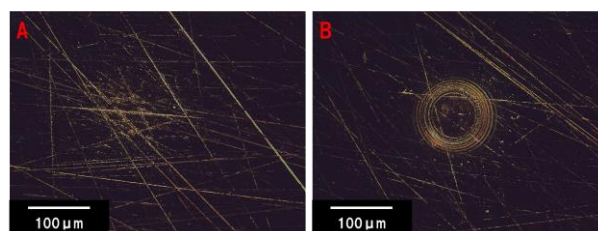


Fig.1 Optical microscope image (A) 1 pulse irradiation (B) 2 pulses irradiation

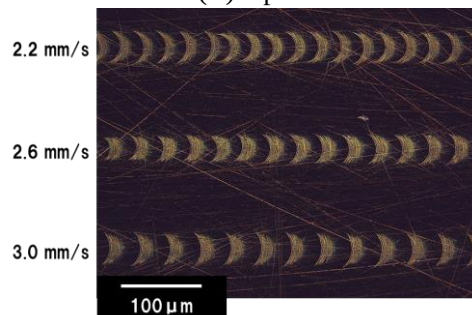


Fig.2 Optical microscope image of laser irradiation while scanning the sample

### 4. 参考文献

- [1] X. Liu, et al., J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf., 17, 1, JAMDS0014 (2023)
- [2] Y. Tanaka, et al., ACS Omega, 8, 8, 7932-7939 (2023)

## 円偏光フェムト秒レーザーパルスによる正方格子表面周期構造の形成

### Formation of tetragonal periodic surface structures using circularly-polarized femtosecond laser pulses

芝浦工大工 ○松尾 繁樹, 福原 敬介

Shibaura Institute of Technology, °Shigeki Matsuo, Keisuke Fukuhara

E-mail: matsuos@shibaura-it.ac.jp

レーザーパルスを各種の固体表面に照射することにより、レーザー光の波長程度の周期を持つ周期構造 (Laser-induced periodic surface structures, LIPSS) が形成されることが知られている。とくに、1990 年代後半に、フェムト秒レーザーパルス照射することにより波長に比べて周期が短い LIPSS の形成が報告され、現在に至るまで活発に研究されている。

LIPSS の研究では、直線偏光のレーザーパルスが用いられることが多い。この場合、一般に縞状の LIPSS が形成される。縞の向きは、縞のそれぞれの線がレーザーパルスの電場の振動方向と垂直になることが多いが、平行になることもある。円偏光を利用した LIPSS 形成の研究も報告されている。この場合には、LIPSS は縞状ではなく粒状となり、粒がおおむね一定の間隔で、六方格子的だが規則性は高くない構造が形成される。縞状の LIPSS では事前の加工により縞の周期性を高くする手法が報告されているが [1,2], 円偏光による粒状の LIPSS ではそのような手法の報告はない。

われわれは、SUS304 基板に円偏光フェムト秒レーザーパルス照射することにより、狭い領域ではあるが正方格子状の LIPSS が形成されることを発見した。用いたレーザーは波長  $1.03\ \mu\text{m}$ 、パルス幅 290 fs の Yb:KGW レーザー (Pharos; Light Conversion) であり、ガルバノスキャナを用いて走査しながら試料に照射した。形成された構造の例を Figure 1 に示す。図中の破線で囲んだ領域に、正方格子状の構造が形成されている。この周期は約  $0.95\ \mu\text{m}$  で、レーザーの波長よりもわずかに短かった。

円偏光は方向性を持たないため、このような方向性を持つ周期構造の形成は、レーザー照射前の基板の表面状態に要因があると思われる。この場合には、圧延による一方向性の傷が要因として考えられ、検討を進めている。

[1] K. Miyazaki and G. Miyaji, Journal of Applied Physics **114**(15), 153108 (2013).

[2] S. Kodama, S. Suzuki, K. Hayashibe, K. Shimada, M. Mizutani, and T. Kuriyagawa, Precision Engineering **55**, 433–438 (2019).

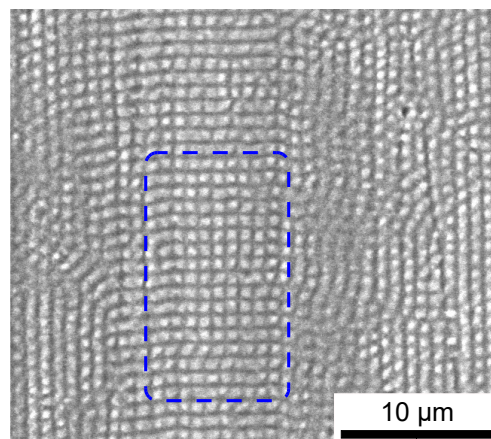


Figure 1: SEM image of SUS304 substrate after irradiation with circularly-polarized femtosecond laser pulses. The dashed rectangle indicates the region where the tetragonal structure was formed.

# レーザードーピングによる Ce:YAG, Ce:YAP シンチレータ作製

## Fabrication of Ce:YAG and Ce:YAP scintillators by laser doping

名工大<sup>1</sup>, 阪大レーザー研<sup>2</sup>, Massey Univ.<sup>3</sup>

○(M1)丸山 祐樹<sup>1</sup>, Marilou Cadatal-Raduban<sup>2,3</sup>, 日比野 孝太<sup>1</sup>, 西井 一郎<sup>2</sup>, 佐藤 匠<sup>2</sup>,  
櫻井 陽子<sup>1</sup>, 山ノ井 航平<sup>2</sup>, 小野 晋吾<sup>1</sup>

Nagoya Institute of Technology,<sup>1</sup> Institute of Laser Engineering, Osaka Univ.<sup>2</sup>, Massey Univ.<sup>3</sup>

○(M1)Yuki Maruyama<sup>1</sup>, Marilou Cadatal-Raduban<sup>2,3</sup>, Kota Hibino<sup>1</sup>, Ichiro Nishii<sup>2</sup>, Takumi Sato<sup>2</sup>,  
Yoko Sakurai<sup>1</sup>, Kohei Yamanoi<sup>2</sup>, Shingo Ono<sup>1</sup>

E-mail: yukiyama2018@outlook.jp

Ce:YAG および Ce:YAP は高速で、発光効率に優れたシンチレーション材料である。特に、Ce:YAG の黄色発光は白色 LED へ利用され、Ce:YAP は高い機械的強度と化学的耐性を持つなど、実用的な蛍光材料である。本研究では、溶媒として純水を用いたトリス（アセチルアセトナート）セリウム(III)水和物水溶液中で、YAP および YAG 単結晶基板にレーザーを照射した後、アニール処理を施すことで、Ce イオンを発光中心としてドーピングする手法を見出したので、これについて報告する。

濃度 1.0 % のトリス（アセチルアセトナート）セリウム(III)水和物水溶液を満たしたシャーレ中に YAP 基板を設置し、Nd:YAG ナノ秒レーザーを照射した後、アニールを 800 °C で 3 時間行った。レーザー照射は、波長 532 nm、パルス幅 5 ns、パルスエネルギー 4.5 mJ、繰り返し周波数 10 Hz で 5 秒間行った。レーザーアブレーションによって生じた照射痕の発光評価には、カソードルミネッセンス(CL)測定を用いた。YAP 基板の照射痕では、YAP の欠陥由来の発光(286 nm)に対する Ce:YAP の発光(300-400 nm)の増加を確認した(Fig.1)。YAG 基板では、YAG の欠陥由来の発光(290 nm)に対する Ce:YAP (300-400 nm)および Ce:YAG の発光(500-600 nm)の増加を確認した。また、照射を行った際に生じた、微粒子の CL 測定から、アニール処理なしで Ce イオンに由来する強い発光のピークが確認できた。以上のように、レーザー照射によって Ce イオンがドーピング可能であることを示す結果を得た。

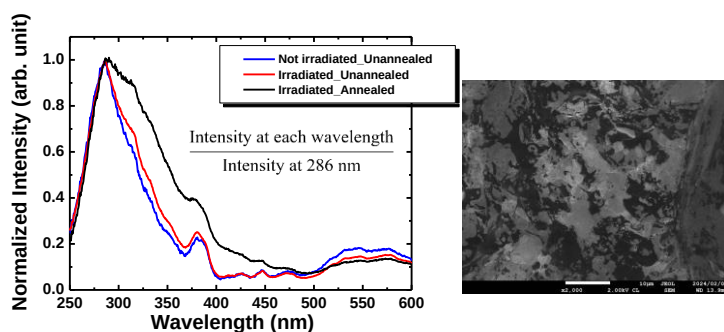


Fig.1 Emission spectrum of YAP substrate in cathodoluminescence measurements and CL mapping

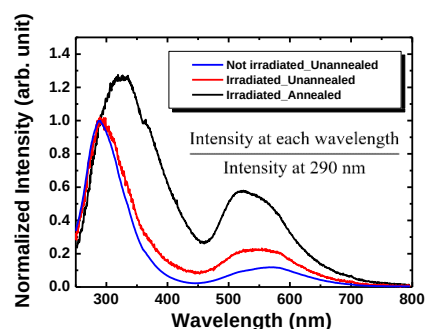


Fig.2 Emission spectrum of YAG substrate in cathodoluminescence measurements

## Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> マイクロパターンのフェムト秒レーザー直接描画

### Femtosecond laser writing of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> micropatterns

山形大工<sup>1</sup>, 山形大院理工<sup>2</sup> ○熊谷 温人<sup>2</sup>, 丹波 優大<sup>1</sup>, 西山 宏昭<sup>2</sup>

Yamagata Univ.<sup>1</sup>, Grad. Yamagata Univ.<sup>2</sup>, °Haruto Kumagai<sup>2</sup>, Yudai Tanba<sup>1</sup>, Hiroaki Nishiyama<sup>2</sup>

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

レーザー直接描画プロセスは、シンプルかつフレキシブルなマイクロ造形手法であり、集光部で生じる光重合や光酸化、焼結などを用いてマイクロパターンが形成される。有用な手法ではあるが光加工であるため、その適用は適切な光吸収と反応経路を有する感光性材料に限定されてきた。一方、我々は、これまでに集光部での多光子還元反応を起点としたナノ粒子の集積固化プロセスの開発に取り組んできた。同プロセスは感光性に関わらず、高透過性や導電性材料、半導体、生体親和性材料、量子ドットなど多様な機能性材料群でのマイクロパターン描画が可能である。これまで Ag パターンを熱源として用いてきたが、本研究では、より高い光熱変換特性が期待できる Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> パターンのレーザー直接描画に取り組んだ。

光源として、中心波長 517 nm、パルス幅 88 fs のフェムト秒レーザーパルスを対物レンズで集光走査した。鉄系カルボン酸塩溶液を基板上にコートし、上方からレーザー照射を行った。

図 1 は、アクリル基板上に形成したラインパターンの SEM 像である。走査速度 700 μm/s において線幅 1.7 μm ほどのラインが形成され、また、その表面は滑らかであった。ラマン分光分析から、鉄系カルボン酸塩溶液のコート膜は焼成によって Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜へと変化することが示され、レーザー照射部でも同様の変化が生じたと考えられた。レーザー照射条件によって線幅は 2~6 μm ほどまで変化し、ドーズ量を増加するとライン中央部に溝が形成された。当日は、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> パターンの描画特性の詳細を説明する。

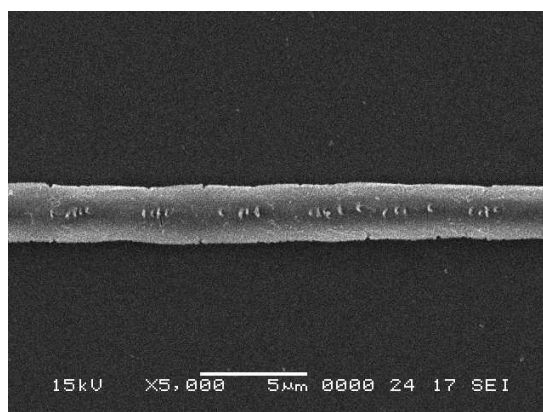


Fig.1 SEM image of a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> line formed by laser writing



## レーザー集積固化プロセスにおける 集光部周辺バブルの形状評価

### Effects of bubble shape on photo-reduction-triggered nanomaterial deposition

山形大院理工<sup>1</sup>, 山形大工<sup>2</sup>, ○青山 昌央<sup>1</sup>, 鈴木紗和<sup>2</sup>, 西山 宏昭<sup>1</sup>

Grad. Yamagata Univ.<sup>1</sup>, Yamagata Univ.<sup>2</sup>, ○Masaharu Aoyama<sup>1</sup>, Sawa Suzuki<sup>2</sup>, Hiroaki Nishiyama<sup>1</sup>

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

レーザー直接描画法はデジタル親和性に優れ、低環境負荷な付加製造技術であり、マイクロデバイス開発への応用などが期待されている。しかし、被加工材料には適切な光吸収と光化学的反応経路を有することが必須であり、この材料選択上の制限は課題として認識されてきた。一方で我々は、超広域材料群に拡張可能な超短パルスレーザー駆動粒子集積プロセスの開発に取り組んでいる。本プロセスは、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]。この粒子集積機構として、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。レーザー走査時のバブル形状は、周辺温度場と流速場に強く影響すると考えられ、その評価は重要である。本研究では、集光部で生じるバブル形状が周辺対流に与える影響について評価した。

レーザー集光部では溶液中での Ag コアの光析出とそれに続くバブル発生、さらにバブル近傍に向かう対流が生じる。図 1 は、このコア先端部に異なる形状のバブルを配置した場合を想定した有限要素法による集光部近傍の流速場を示している。直径 10  $\mu\text{m}$  の気泡が基板に対してそれぞれ 150 度と 60 度の接触角で発生した状況を想定した。図 1(a)より、バブル前方と後方から流入する流れが見られるが、(b)ではバブル後方からの流れが顕著にみられた。バブル形状が流速場に影響を与えることが分かる。当日は、バブル形状と対流挙動の関係の詳細について説明する。

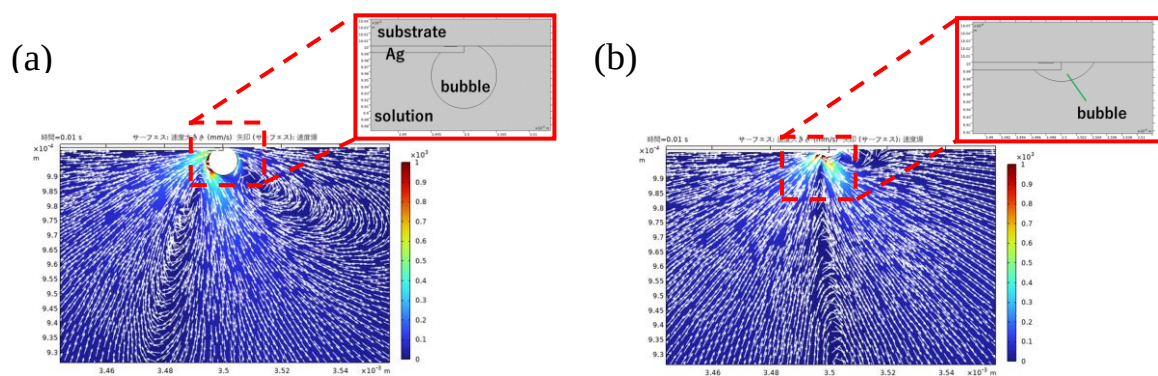


Fig. 1 calculated flow distribution

(a) contact angle : 150°

(b) contact angle : 60°

[1] H. Nishiyama, et al., Sci. Rep., 9 (2019) 14310.

## レーザー集積固化プロセスによるダイヤモンドパターンの直接描画

### Direct laser writing of diamond micropatterns by photo-induced assembly

山形大院理工<sup>1</sup>, 山形大工<sup>2</sup>, <sup>○</sup>和田 直樹<sup>1</sup>, 小林 優花<sup>2</sup>, 西山 宏昭<sup>1</sup>

Grad. Yamagata Univ.<sup>1</sup>, Yamagata Univ.<sup>2</sup>, <sup>○</sup>Naoki Wada<sup>1</sup>, Yuka Kobayashi<sup>2</sup>, Hiroaki Nishiyama<sup>1</sup>

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

窒素-空孔欠陥 (NV 中心) を含む蛍光ダイヤモンドは室温動作が可能な量子デバイスや超高感度センサへの応用が期待されている。デバイス化のためには NV 中心を位置選択的に配置する手法の開発が重要であり、現状、ダイヤモンド基板へのイオン注入などが知られているが、高品質なダイヤモンド基板や薄膜が必要となる。我々は、これまでレーザー駆動対流によるナノ粒子集積固化プロセスの開発に取り組んできた。光加工でありながら感光性を持たない材料であってもマイクロパターン描画が可能であり、従来レーザー描画手法が持つ強い材料制限を克服し得る。本研究では、NV 中心を含む蛍光ダイヤモンドナノ粒子を用いて、レーザー集積固化プロセスによるマイクロパターン描画を行った。

光源として、グリーンフェムト秒レーザー (波長 517 nm, パルス幅 88 fs) を用いた。蛍光ダイヤモンド粒子 (粒子径 70 nm, NV 中心濃度 2.5 ppm) が分散した溶液を用いた。まず、AgNO<sub>3</sub> 溶液中へのレーザー照射によって Ag ラインを形成し、このパターンを熱源として再度の照射によってダイヤモンド粒子を集積/堆積した。

図 1 は、ダイヤモンド粒子分散液中での再照射前後のパターンの光学顕微鏡像を示している。再照射前の Ag ラインは線幅がおよそ 2.5  $\mu\text{m}$  でありその表面は大きな凹凸が見られた。これに対し、再照射を行ったラインは線幅が 5  $\mu\text{m}$  にまで増加し、その表面はなめらかであった。Ag コア上に厚さは 1  $\mu\text{m}$  ほどと考えられ、また、ナノ粒子堆積によって Ag ライン上の凹凸が埋められたのだと考えられる。当日は集積特性評価およびラインの蛍光特性について報告する。

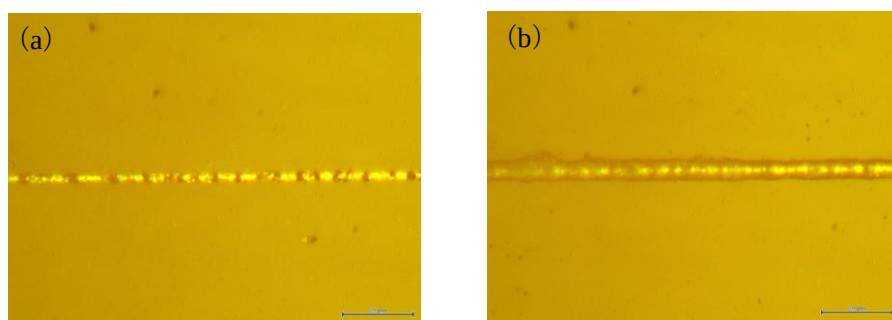


Fig. 1 Line Structure (a) Ag line, (b) Diamond micropatterns



## 超短パルスレーザーを用いたガラスのマイクロ溶接における 数値流体解析

### Computational Fluid Dynamics Analysis of Glass Microwelding Using Ultrashort Pulse Laser

奈良高専 ○(B) 久米 悠太, 中山 敏男, 玉木 隆幸

NIT (KOSEN), Nara College, ○Yuta Kume, Toshio Nakayama, Takayuki Tamaki

E-mail: am1118@nara.kosen-ac.jp

超短光パルスは、ピコ秒やフェムト秒オーダーのパルス幅と高いピーク強度をもつ。この超短光パルスをガラスなどの透明材料に集光すれば、集光点付近で強い光電場が生じる。その結果、非線形吸収現象が発生し、マイクロメートルサイズの局所的な溶融が生じる。透明材料を2枚重ねた境界面に超短光パルスを集光照射すると、溶融した部分が再凝固する過程を経て、直接的に材料間を接合することができる。これにより、従来のレーザー接合において必要であった中間層を使用せず、熱変形の少ないマイクロ接合を実現することが可能となる。[1]

超短光パルスマイクロ接合法において、界面間のギャップをブリッジできる接合の研究が行われている。現在までに数マイクロメートルレベルのギャップであれば、接合を実現できると数多く報告されている。ギャップをブリッジできる原因として、溶融したガラスが境界面に流れ出し、隙間を埋めるためと考えられているが実際に溶融し流動する様子はいまだ観測されておらず、メカニズムはいまだ完全には解明されていない。そのため、超短光パルスマイクロ接合法を用いたガラス平板間のマイクロ接合において、数値流体解析 (CFD : Computational Fluid Dynamics) により、溶融したガラスの流れや形状をシミュレーションにより明らかにすることを目指す。

フェムト秒レーザーによる局所加熱による温度場のシミュレーションは、Miyamoto et al. (2013) などで行われている [2]。本研究では、この研究で使用されている熱源モデルを、流体解析においても使用できるように OpenFOAM に組み込み、熱流動解析モデルによるシミュレーションに適用した。シミュレーション結果を Fig.1 に示す。今後はガラスの粘性の温度依存性を考慮したシミュレーションモデルの構築を行い、熱源モデルを体積内中と与えることにより、温度変化に伴うガラスの流動特性を解析する。

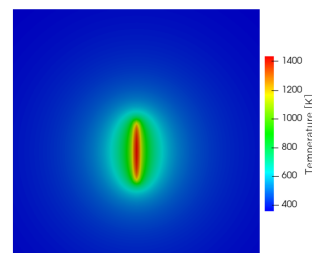


Fig.1 Thermal Contour  
Plot of Heat Affected Zone

## 参考文献

- [1] 渡邊歴, 玉木隆幸. フェムト秒レーザーを用いた透明材料の接合技術. 精密工学会誌, Vol. 81, No. 8, pp. 731–734, 2015.
- [2] Isamu Miyamoto, Kristian Cvecek, Yasuhiro Okamoto, and Michael Schmidt. Internal modification of glass by ultrashort laser pulse and its application to microwelding. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, Vol. 114, No. 1, pp. 187–208, January 2014.