

一般セッション(口頭講演) | 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) 9:00 ~ 11:45 | 会 B205 (市民会館)

■ [21a-B205-1~10] 3.6 レーザープロセッシング (旧3.7)

谷 峻太郎(東大)、長谷川 智士(宇都宮大)

9:00 ~ 9:15

[21a-B205-1] フェムト秒レーザーを用いたガラス表面への超親水性かつ高透過率条件の検討

○森浦 健斗¹、奈良崎 愛子²、玉木 隆幸³、渡邊 歴¹ (1.立命館大理工、2.産総研、3.奈良高専)

9:15 ~ 9:30

[21a-B205-2] レーザー誘起気泡を用いた熱硬化性ポリマーの微細加工 (microFLIB)およびそのメカニズム解明

○(M2)鳥羽 陽一¹、藤嶋 亮介¹、山田 壮平¹、花田 修賢¹ (1.弘前大理工)

9:30 ~ 9:45

[21a-B205-3] 1064/355 nmレーザー加工による水電解水素製造用Ni電極の性能向上

○曾田 圭亮¹、安東 航太¹、内本 喜晴¹、中嶋 隆¹ (1.京都大)

9:45 ~ 10:00

[21a-B205-4] 近赤外フェムト秒レーザパルス照射によるCu₂O球状ナノ粒子の基板への接合条件探索○(B)水谷 桜輔¹、Tran Duc Thuan¹、Trung Vu Nguyen Kien¹、溝尻 瑞枝¹ (1.長岡技科大)

10:00 ~ 10:15

[21a-B205-5] 透明フッ素樹脂材料CYTOPで作製した
3次元マイクロ流路チップによる高解像度細胞観察○半澤 未来^{1,2}、小幡 孝太郎¹、シマ フェリックス³、河野 弘幸^{1,4}、尾笹 一成¹、花田 修賢⁵、宮地 悟代²、宮脇 敦史^{1,4}、杉岡 幸次¹ (1.理研 光量子、2.東京農工大学、3.INFLPR、4.理研 CBS、5.弘前大理工)

10:30 ~ 10:45

[21a-B205-6] Ni電極表面のマイクロ構造における水素/酸素気泡生成サイトの比較

○安東 航太^{1,2}、内本 喜晴¹、中嶋 隆¹ (1.京都大学、2.JASRI)

10:45 ~ 11:00

[21a-B205-7] ポリジメチルシロキサンのレーザー炭化における温度測定

○甲斐 将人¹、林 秀一郎¹、柏川 健¹、寺川 光洋^{1,2} (1.慶大院理工、2.慶大理工)

11:00 ~ 11:15

[21a-B205-8] レーザー誘起マイクロ気泡を用いた液中濡れ性測定法の開発

○曾田 圭亮¹、安東 航太¹、中嶋 隆¹ (1.京大エネ研)

11:15 ~ 11:30

[21a-B205-9] パルスレーザーアブレーション法により放出されたAg粒子の最大粒径制御

○(M1)谷口 光¹、梅津 郁朗²、青木 珠緒² (1.甲南大自研、2.甲南大理工)

11:30 ~ 11:45

[21a-B205-10] ガス中レーザーアブレーションで作成されたZnO球状ナノ粒子の光学特性

○(M1)坂手 裕紀¹、谷口 光¹、梅津 郁朗¹、市田 正夫¹、青木 珠緒¹ (1.甲南大理工)

フェムト秒レーザーを用いたガラス表面への 超親水性かつ高透過率条件の検討

Investigation of conditions for super-hydrophilic glass surface
with high transmission fabricated by femtosecond laser

立命館大理工¹, 産総研², 奈良高専^{3,○}(M1)森浦 健斗¹, 奈良崎 愛子², 玉木 隆幸³, 渡邊 歴¹

Ritsumeikan Univ.¹, AIST², National Institute of Technology (KOSEN), Nara College³

Kento Moriura¹, Aiko Narazaki², Takayuki Tamaki³, Wataru Watanabe¹

E-mail: re0180hx@ed.ritsumei.ac.jp

1. 緒言

ガラスは高い硬度、化学的耐性をもつため、生活や産業分野に多く用いられている。しかし、空気中の水蒸気の量によってはガラス表面が曇り、視認性の問題が発生する。近年、フェムト秒レーザーを用いた加工により、ガラス表面にドットが形成されている。その結果、ガラス表面に超親水性を付与し、透過率が向上することが報告されている[1]。我々はフェムト秒レーザーを用いた加工により、ガラス表面に周期構造を形成し、超親水性を達成する加工条件について調査した[2]。本研究では、超親水表面の高透過率を達成する加工条件について調査した。

2. 加工周期間隔と接触角と透過率の関係

中心波長 1028 nm, 繰り返し周波数 10 kHz であるフェムト秒レーザーから出力されたレーザー光をシングルレンズ（焦点距離 50 mm）により試料に集光した。パルスエネルギーは 20 μJ / pulse とした。試料を走査速度 5 mm / s で走査し、ガラス表面に図 1 に示す一次元周期構造を作製した。

一次元周期構造の接触角と透過率を調査することを目的に、各周期間隔における接触角と透過率を測定した。周期間隔における接触角と透過率を図 2 に示す。凡例は橙が接触角、青が透過率を示す。透過率は波長 650 nm の半導体レーザーを用いて測定した。図 2 において、接触角に着目すると、周期間隔が狭くなるにつれて、接触角は小さくなる。また、透過率に着目すると、周期間隔が狭くなるにつれて、透過率が低下するという結果が得られた。

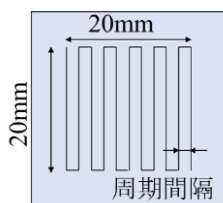


図 1 ガラス表面に作製した一次元周期構造。

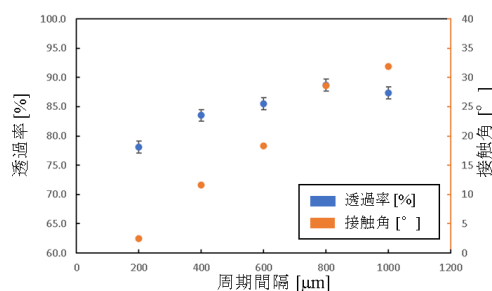


図 2 各周期間隔の接触角と透過率。

参考文献

- [1] M. Domke et al., Appl. Phys. A **125**, 675-685 (2019).
- [2] 森浦 健斗, 渡邊 歴, 奈良崎 愛子, レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, D03-18p-VII-03 (2023 年 1 月, ウィンク愛知).

レーザー誘起気泡を用いた熱硬化性ポリマーの微細加工 (microFLIB) およびそのメカニズム解明

Thermoset polymer microfabrication using laser-induced bubble (microFLIB) and its mechanism study

弘前大学, °鳥羽陽一, 藤嶋亮介 山田壮平, 花田修賢

Hirosaki Univ., °Yoichi Toba, Fujishima Ryosuke, Sohei Yamada, Yasutaka Hanada

E-mail: h22ms528@hirosaki-u.ac.jp

はじめに

ポリジメチルシロキサン(Polydimethylsiloxane: PDMS)は、耐熱性や耐薬品性などの優れた特性を有していることから、バイオや医用、工業などの幅広い分野で利用されている。我々の研究室では、レーザー誘起気泡を用いた PDMS の表面^[1]および内部^[2]への微細加工技術を開発し、microFLIB (microFabrication using Laser-Induced Bubble)と名付けた。本手法は、PDMS 基板表面もしくは内部に気泡形状を反映した高速かつ高効率な PDMS 微細加工を実現する。しかしながら、microFLIB のメカニズムは未だ不明な部分が多く、例えば、液状 PDMS に溶け込んだ溶存気体量が microFLIB の際に形成されるバブル形状に及ぼす影響など、その詳細は分かっていない。よって、本報告では、液状 PDMS の溶存気体量を変化させ、ポンププローブ法を用いたレーザー誘起気泡の挙動観察や本手法の加工メカニズムについて検討を行ったので報告する。

実験方法及び実験結果

実験では、脱気を行った液状 PDMS 内に、ND:YAG レーザー(波長 1064 nm, パルス幅 1.0 ns, 繰り返し周波数 100 Hz)を、対物レンズ($\times 20$, NA:0.75)を介して集光し、バブルを生成した。バブル生成後、プローブ用ナノ秒レーザー(波長 532 nm, パルス幅 0.5 ns, 繰り返し周波数 100 Hz)を用いて、ポンププローブ撮影を行った。Figure 1(a)に、脱気を行った液状 PDMS 中に形成したレーザー誘起気泡径の時間変化を示す。また、Figure 1(b)に、時間変化に伴うレーザー誘起気泡の顕微鏡像を示す。Figure 1(a, b)より、気泡が膨張・収縮した後、気泡半径が一定となった。その後、再度気泡の収縮が始まり、2.6 s 後に圧壊した。これらの結果から、溶存気体量を変化させることで、気泡径の制御が可能であると推測される。よって、本発表では、脱気した液状 PDMS 中の気泡生成の詳細および microFLIB への応用について報告する。

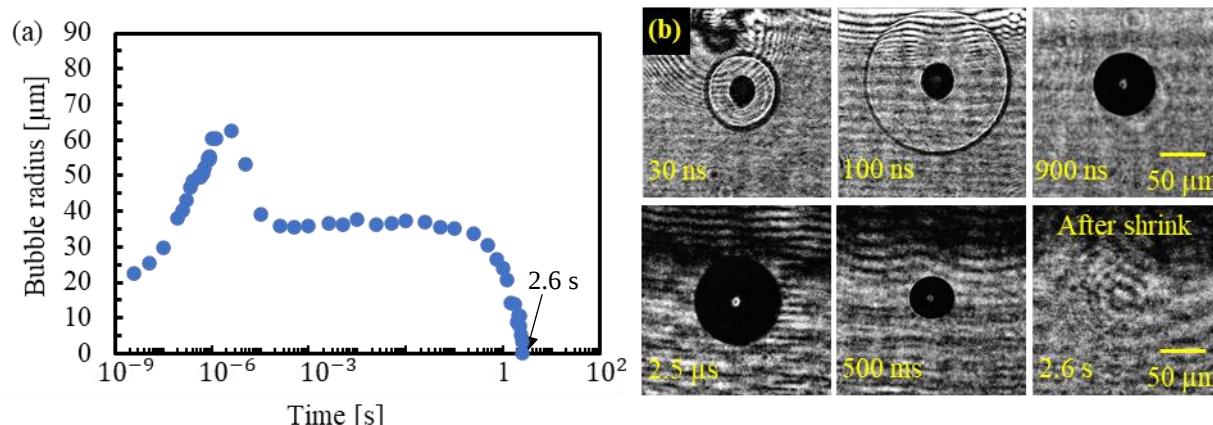


Figure 1 (a) Bubble radius vs time, (b) Pump-probe images of laser-induced bubble after the laser irradiation.

[参考文献]

[1] Tomoya Naruse, Yasutaka Hanada, OPTICS EXPRESS, Vol. 27, No. 7, 9429-9438, (2019).

[2] Yoichi Toba, Yasutaka Hanada, OPTICS Letters, Vol. 47, Issue 24, 6436-6439, (2022).

1064/355 nm レーザー加工による水電解水素製造用 Ni 電極の性能向上

Electrolytic performance of Ni electrodes textured by 1064/355 nm nanosecond lasers

京都大, °曾田 圭亮, 安東 航太, 内本 喜晴, 中嶋 隆

Kyoto Univ., °Keisuke Sota, Kota Ando, Yoshiharu Uchimoto, and Takashi Nakajima

E-mail: sota.keisuke.53s@st.kyoto-u.ac.jp

脱炭素社会の実現に向けた1つの施策として,「余剰電力を用いた水の電気分解による高効率水素製造」に関する研究が近年世界各国で進められている. 中でも, 電極材料として卑金属を使うことができるアルカリ水電解効率の向上を目指し, 我々は電極面のレーザー加工を考えた. 電極面をレーザー加工すると表面積が増大するので, 電解性能も向上するはずである.

電極面のレーザー加工に関しては, フェムト秒レーザー誘起ナノ周期構造を用いた先行研究が存在する[1-3]が, フェムト秒レーザーは高価かつナノ周期構造の形成にかなりの時間を要する. 我々は工業的利用を視野に入れ, 安価な高繰り返しナノ秒ファイバーレーザーを用いた Ni 電極のレーザー加工でどこまで性能向上を実現できるかを試みている. 2023 年春の講演では, 波長 1064nm のレーザーを用いた結果を報告したが, 今回は波長 355nm のレーザーを用いた加工もおこなった.

Fig.1 に鏡面研磨 Ni 電極と 1064nm および 355 nm レーザー加工 Ni 電極の電位に対する電流密度のプロットを示す. 同じ電流密度の場合に, レーザー加工 Ni 電極の方が必要な電位の絶対値が小さくなり, 鏡面研磨 Ni 電極と比較して電解効率の向上が確認できた. また, Fig.2 に示す電極表面の SEM 画像から, レーザー加工によって電極の有効表面積が増大していると考えられる. 講演では波長 1064nm と 355nm のレーザーを用いて種々の加工条件下で加工をおこない, 電解性能と Ni 電極表面積を比較評価した結果を報告する予定である.

本研究は, NEDO「水素利用等先導研究開発事業／水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発／アルカリ水電解及び固体高分子形水電解の高度化」により実施した.

[1] Gabler, et al., Int. J. Hydrog. Energy **42**, 10826 (2017).

[2] Rauscher, et al., Electrochim. Acta **247**, 1130 (2017).

[3] Gabler, et al., Int. J. Hydrog. Energy **43**, 7216 (2018)

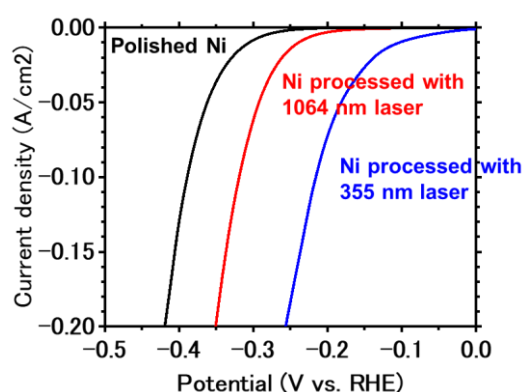


Fig.1. Electrolytic performance of a polished and laser-processed Ni electrodes.

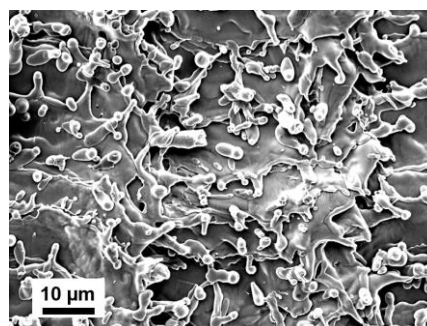


Fig.2. Representative of SEM image of laser- processed Ni electrode.

近赤外フェムト秒レーザパルス照射による Cu_2O 球状ナノ粒子の 基板への接合条件探索

Bonding conditions of Cu_2O nanospheres on substrates by irradiating near-infrared femtosecond laser pulses

長岡技科大 [○](B)水谷 桜輔, Thuan Duc Tran, Kien Trung Vu Nguyen, 溝尻 瑞枝*

Nagaoka Univ. of Tech., [○]Ohsuke Mizutani, Thuan Duc Tran,
Kien Trung Vu Nguyen, Mizue Mizoshiri^{1*}

*E-mail: mizoshiri@mech.nagaokaut.ac.jp

フェムト秒レーザ直接描画法は、微細造形技術のひとつとして注目されている。我々もこれまでに、フェムト秒レーザパルスが誘起する多光子励起加熱を利用し、 Cu_2O 球状ナノ粒子の還元焼結による Cu の微細造形を報告した^[1]。特に、Cu 薄膜上に塗布した Cu_2O 球状ナノ粒子インクにレーザを照射すると、Cu 薄膜直上の粒子が形状を保持したまま単層接合される特異な現象を見出した^[1]。この単層結合は、局在表面プラズモン共鳴が支配的要因であると考えているが^[2]、パルス強度と接合状態の関係性は明らかでない。本研究では、フェムト秒レーザパルス照射による Cu_2O 球状ナノ粒子の基板への接合現象の解明を目指し、パルス強度と接合状態を明らかにした。

Cu_2O 球状ナノ粒子はポリオール法により合成し、還元剤 2-プロパノール、ポリビニルピロリドンと混合してインク化した^[3]。次に、Si 基板に高周波マグネトロンスパッタリング法により成膜した Cu 薄膜基板上にインクをスピコートし、膜厚約 0.5 μm となるよう成膜した。その後、近赤外フェムト秒レーザパルス（波長 780 nm、パルス幅 120 fs、繰返し周波数 80 MHz）を大気中で対物レンズ（開口数 0.80）を用いて集光し、パルスエネルギーと焦点位置を制御して描画速度 100 $\mu\text{m/s}$ でライン描画し、最後に未接合部をエタノールでリンス除去した。

図 1 に合成した Cu_2O 球状ナノ粒子の FE-SEM 画像と、その粒度分布解析結果及び累積分布を示す。FE-SEM 画像から、合成した粒子はいずれも球状であり、モード径は 110 nm の単分散であることが分かった。次に、パルス強度分布の影響を明らかにするため、異なるパルスエネルギー、焦点位置にて描画した線幅を評価した。図 2 から、いずれの条件においてもスポット径より小さな領域で Cu_2O 球状ナノ粒子が接合された。単層接合閾値は、108.5 GW/cm^2 であり、143.2 GW/cm^2 ではナノ粒子は多層または熔融接合された。また、95.2 GW/cm^2 以下では単層接合も生じなかった。これらの結果から、接合状態は、パルス強度分布に顕著に影響されることが明らかとなった。

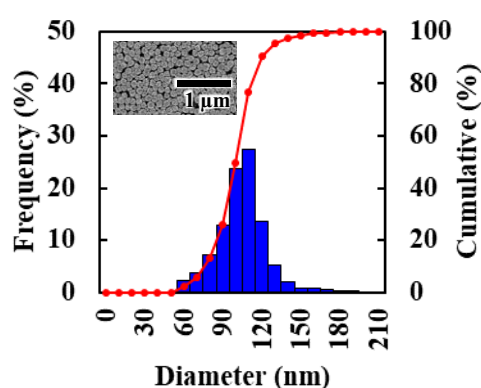


図 1 合成した Cu_2O 球状ナノ粒子の粒度分布。

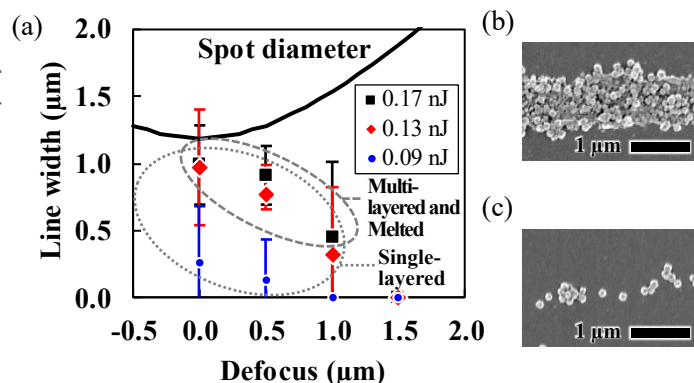


図 2 (a) 焦点位置と線幅の関係と接合状態。 (b) パルスエネルギー 0.17 nJ, (c) 0.09 nJ, 焦点位置 $z=0.0(\mu\text{m})$ で描画したパターン of the FE-SEM 画像。

[1] M. Mizoshiri, *et al.*, Opt. Mater. Express, 9 (2019) 2828, [2] S. Murayama, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 61 (2022) SD1032, [3] Y. Bai, T. Yang, *et al.*, Powder Technol., 227 (2012) 35.

透明フッ素樹脂材料 CYTOP で作製した 3 次元マイクロ流路チップによる高解像度細胞観察

Microfluidic biochip fabricated by amorphous fluoropolymer and application to
high-resolution cell observation

理研 光量子¹, 東京農工大², INFLPR³, 理研 CBS⁴, 弘前大理工⁵ ○(B) 半澤 未来^{1,2}, 小幡 孝太郎¹,
シマ フェリックス^{1,3}, 河野 弘幸^{1,4}, 尾笹 一成¹, 花田 修賢⁵, 宮地 悟代², 宮脇 敦史^{1,4}, 杉岡 幸次¹
RIKEN RAP¹, Tokyo Univ. of A. & T.², INFLPR³, RIKEN CBS⁴, Hirosaki Univ.⁵
○Mirai Hanzawa^{1,2}, Kotaro Obata¹, Felix Sima^{1,3}, Hiroyuki Kawano^{1,4}, Kazunari Ozasa¹,
Yasutaka Hanada⁵, Godai Miyaji², Atsushi Miyawaki^{1,4} and Koji Sugioka¹

E-mail: mirai.hanzawa@riken.jp

透明材料で作製されたマイクロ流体デバイスは、細胞培養と単一細胞の観察を同時に可能とするツールとして広く利用されている[1]。バイオチップを作製する材料としては一般的にガラスや PDMS が用いられている。しかしこれらの材料は、水を主成分とする細胞を含んだ培地と比べて比較的屈折率が高く、バイオチップ内で細胞を観察する際に、屈折率差により像の歪みやボケなどにより高解像度の観察が困難であるといった欠点がある。この問題を解決するために、我々は水とほぼ等しい屈折率を有する透明フッ素樹脂材料 CYTOP (AGC 株式会社) [2]を用いて、単一細胞の高解像度観察が可能なバイオチップの開発を試みている。具体的には、CYTOP の 3 次元加工技術を開発し、作製した CYTOP 製のバイオチップに導入した単一細胞の高精細観察を達成した[3]。本講演では、新たに開発した細胞観察用バイオチップ中において、3 次元マイクロチャネル構造内での単一細胞の詳細な挙動を高解像度で観察したので報告する。

CYTOP バイオチップ作製においては、まずフェムト秒レーザー (波長: 515 nm, パルス幅: 220 fs) とガルバノスキャナによるレーザー走査を用いた 2 光子光造形法によって、感光性樹脂である SU8 の 3 次元マイクロ構造を作製した。その後、作製した 3 次元構造を鋳型とし、CYTOP のモールド加工を行なった。最終的に CYTOP 中に残留する SU8 層は薬液処理により除去し、3 次元マイクロ流体チップを形成した。図 1 に、作製した CYTOP バイオチップのマイクロチャネル部の光学顕微鏡像を示す。作製したチャネルは、幅 0.94 μm 、長さ 141 μm の埋め込みチャネル構造を有している。チャネル内部へ細胞の侵入が容易になるよう、チャネル構造の開口部はテーパ形状となっている。作製したチャネルの内壁には、細胞との密着性を付与するためにコラーゲンを被覆し、PC3 (Human prostate cancer cell: 人前立腺がん細胞) を培養液と共に CYTOP チップへ播種した。図 2 に、数日間の培養後に蛍光顕微鏡で観察した 5 μm のチャネル内部に侵入した PC3 の観察結果を示す。チャネルに侵入した PC3 が流路壁面近傍であっても鮮明に観察された。以上の結果より、CYTOP バイオチップは、微小なマイクロ流路内における細胞観察に対しても高解像度の観察環境が実現できることが明らかとなった。

Reference

- [1] Sima et al., Adv. Mater. Technol., 5, 2000484 (2020).
- [2] Reports Res. Lab. Asahi Glass Co., Ltd., 55 (2005).
- [3] 半澤, 他: 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 18a-A405-4 (2023).

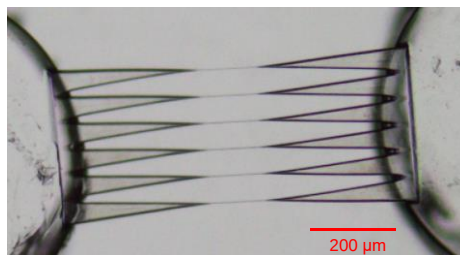


Fig. 1 Optical microscope image of tapered microchannel in CYTOP.

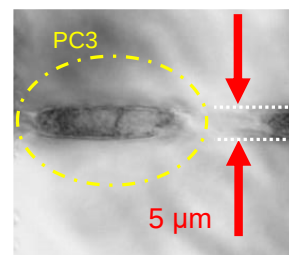


Fig. 2 Laser microscope image of PC3 entering microchannel.

Ni 電極表面のマイクロ構造における水素/酸素気泡生成サイトの比較

Comparative study of bubble forming sites of hydrogen/oxygen at the microstructure on the Ni electrode surface during alkaline water electrolysis

京都大学¹, JASRI² ○安東 航太^{1,2}, 内本喜晴¹, 中嶋隆¹

Kyoto Univ.¹, JASRI², ○Kota Ando^{1,2}, Yoshiharu Uchimoto¹, Takashi Nakajima¹

E-mail: kota.ando@spring8.or.jp

アルカリ水電解による水素製造は、脱炭素社会を実現する基盤技術として期待されている。レーザー加工は電極の表面積を大幅に増大させ電解効率を向上させるが[1]、同時に電解効率の低下要因となる気泡生成も促進する。気泡生成を促進する加工面上の微細構造の特定が重要となる。最近、我々はレーザーアブレーションで電極表面に単一のマイクロ構造を作成して水素生成を行うと、マイクロ構造を取り囲む盛り上がったリム上に気泡生成サイトが優先的に現れることを明らかにした[2]。ここでリム上の水素気泡生成サイトは酸素気泡生成サイトとしても機能するのか？という素朴な疑問が湧いてくる。本発表ではこの疑問に答えるため、単一のレーザー誘起マイクロ構造を表面に有する Ni 電極上で電極の極性反転によって水素、酸素生成を交互に行った際に、マイクロ構造上に現れる水素、酸素気泡生成サイトが位置的に一致するかどうかを光学的に確認する。

Figure 1 にレーザー誘起マイクロ構造の表面プロファイルと水素、酸素生成中にそれぞれ見つけた水素（白丸）、酸素（青丸）気泡生成サイトを示す。どちらの気泡生成サイトも深さ約 6 μm のマイクロ凹構造を取り囲む高さ 1~2 μm のリム（赤色部分）上に存在し、さらに 9 つの水素気泡生成サイトのうち、約半数の 6 つ（白青丸）が酸素気泡生成サイトと位置的に一致している。発生ガス種に関わらず特定の電極表面構造が気泡生成を促進することが確認できた。一方、マイクロ凹構造のない電極面の平坦部においても酸素気泡生成が起きることも確認された。これは、電極表面構造以外の要因、例えば電極表面の化学状態なども酸素気泡生成に大きな影響を与えていることを示唆している。講演では電極表面上の化学状態と酸素気泡生成との関係性について調べた結果についても報告する。

本研究は、NEDO「水素利用等先導研究開発事業／水電解水素製造技術高度化のための基盤技術研究開発／アルカリ水電解及び固体高分子形水電解の高度化」により実施した。

[1] Gabler, Müller, Rauscher, Köhring, Kieback, Rontzsch, Schade, *Electrochim. Acta* **247**, 1130 (2017).

[2] Ando, Wang, Uchimoto, Nakajima, *Int. J. Hydrog. Energy* **47**, 38930 (2022).

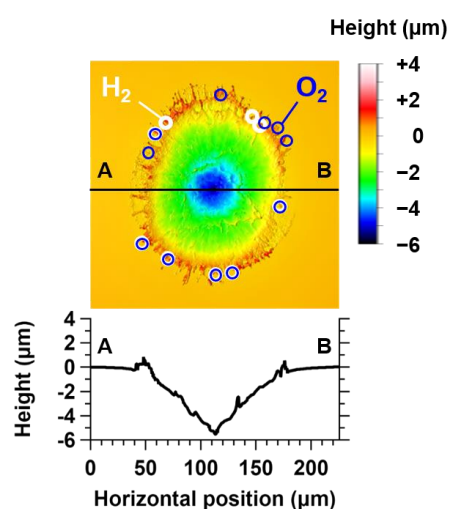


Figure 1. Surface profile of a laser induced microstructure on the Ni electrode surface and bubble formation sites of hydrogen (white circles) and oxygen (blue circles).

ポリジメチルシロキサンレーザー炭化における温度測定

Temperature Measurements during Laser Carbonization of Polydimethylsiloxane

慶大院理工¹, 慶大理工² ○(M2) 甲斐 将人¹, 林 秀一郎¹, (M1) 柏川 健¹, 寺川 光洋^{1,2}

Grad. Sch. Keio Univ.¹, Keio Univ.²,

○Masato Kai¹, Shuichiro Hayashi¹, Ken Kashikawa¹, Mitsuhiro Terakawa^{1,2,*}

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

ポリマーへレーザー光を照射すると、光化学効果および光熱効果によってポリマーが改質し、照射部近傍における温度上昇に伴いポリマーの炭化が生じ炭素材料が生成する。我々はこれまでに、ポリジメチルシロキサン (PDMS) のレーザー炭化によって、黒鉛質炭素、シリコンカーバイド (SiC)、およびグラフェン量子ドット (GQDs) を生成可能であることを明らかにした [1,2]。黒鉛質炭素、SiC および GQDs のそれぞれの生成にはレーザー光照射によって誘起される高温高压状態が寄与すると推測しているが [2,3]、詳細な生成過程は明らかになっていない。本研究では、レーザー光照射中の PDMS の温度を測定し、さらにレーザー光照射による生成物の化学分析を行い、PDMS のレーザー炭化における測定温度と生成物の化学状態との関係について調べた。

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 PDMS 表面へ集光照射し異なる走査速度にて走査し、レーザーパルス照射中の PDMS の温度をサーモグラフィカメラにより測定した。走査速度が 0.25 mm/s より高い場合では、走査速度が低くなるにつれて PDMS の最高到達温度が上昇することが確認された (Fig. 1 (a))。一方、走査速度が 0.25 mm/s 以下の場合では、走査速度が低くなるにつれて PDMS の最高到達温度が低下することが確認された。Fig. 1 (b) にレーザーパルス照射による生成物のラマンスペクトルを示す。いずれの走査速度においても、波数~1350、~1600 cm⁻¹にて黒鉛質炭素由来の D バンド および G バンドが確認された。加えて、走査速度 0.0625 mm/s の場合では波数~520 cm⁻¹にて結晶性シリコン (c-Si) 由来のピークが確認された。温度測定およびラマン分析の結果より、比較的低い走査速度における PDMS の温度低下の一因として、c-Si 生成に伴う PDMS の熱特性の変化が考えられる。

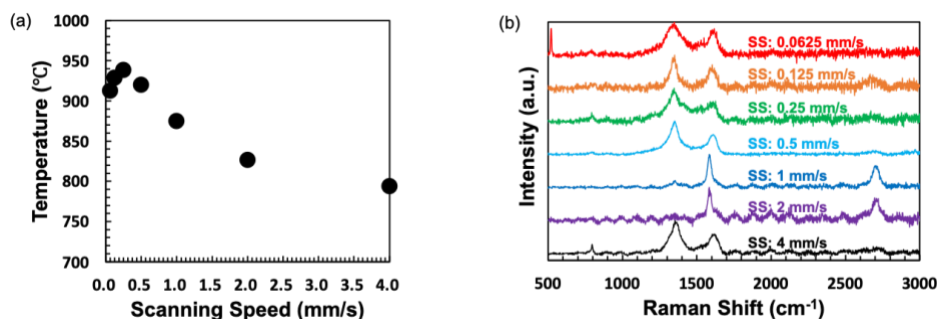


Fig. 1 (a) The maximum temperature of PDMS during femtosecond laser irradiation at different scanning speeds. (b) Raman spectra obtained from the materials formed at different scanning speeds (SSs).

[1] S. Hayashi, et. al., *Nanoscale Adv.* **2**, 1886-1893 (2020). [2] S. Hayashi, et. al., *Nano Lett.* **22**, 775-782 (2022). [3] S. Hayashi, et. al., *ACS Appl. Nano Mater.* **6**, 2125-2132 (2023).

レーザー誘起マイクロ気泡を用いた液中濡れ性測定法の開発

A new method to measure the wettability of micro/nanostructured surfaces using laser-induced microbubbles

京大エネ研, °曾田 圭亮, 安東 航太, 中嶋 隆

Kyoto Univ., °Keisuke Sota, Kota Ando, and Takashi Nakajima

E-mail: sota.keisuke.53s@st.kyoto-u.ac.jp

各種材料表面の大気中における（液体の）濡れ性同様、液中における（気体の）濡れ性も今や様々な分野で重要視されるパラメータの一つである。液中濡れ性を評価する手法の一つとして、水中における気泡の接触角を測定する方法が挙げられるが、従来の気泡接触角計測法ではチューブの穴等から吹き出した気泡を用いて接触角を測定するため、液中濡れ性測定に利用できる気泡のサイズが大きい（径数 100 μm ～数 mm）。材料表面がマイクロ構造化されている場合、液中濡れ性は気泡径に依存することが予想されるが、従来法だと気泡径が大きすぎるため、液中濡れ性の気泡径依存性はこれまで報告されていない。

材料表面のマイクロ構造と同程度の大きさの気泡を作成する方法として、我々はレーザーによってマイクロ気泡を生成することを考えた。我々が考案した方法では、径数 10 μm の気泡を安定的に作成および水中へ放出することができ、また、気泡径を容易にコントロールすることもできる。我々の場合は、水素製造用電極における電解時に発生するマイクロ気泡の離脱性を評価する手法として応用することを考えている。

金属膜を蒸着したスライドガラスに CW レーザー（波長 532 nm）を集光照射してレーザー誘起気泡を発生させ、側面から気泡を光学的計測する。Fig. 1 にレーザー照射時間と金属膜上に生成した気泡径の関係を、Fig. 2 にレーザー照射開始後 100 ms および 500 ms における気泡の光学画像を示す。講演では、気泡サイズと蒸着する金属の膜厚依存性や、実際にレーザー誘起気泡を用いて様々な基板における接触角を測定した結果などについても報告する予定である。

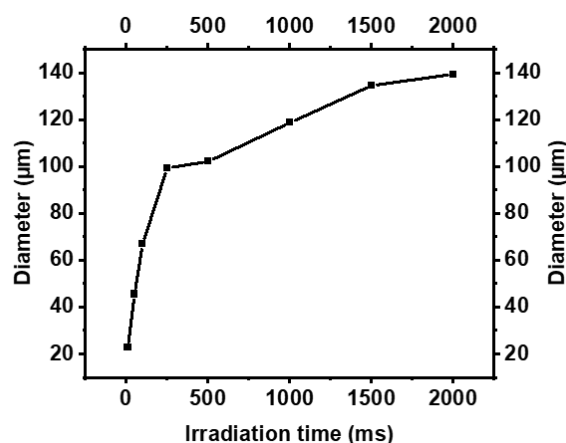


Fig.1. The relationship between laser irradiation time and bubble diameter formed on metal film

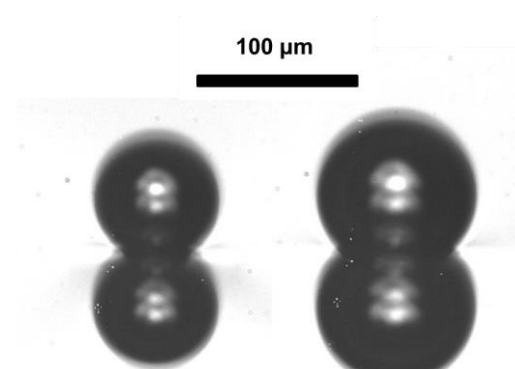


Fig.2. Optical images of laser-induced bubble (irradiation time at 100 ms (left) and 500 ms (right))

パルスレーザーアブレーション法により放出された Ag 粒子の最大粒径制御

Maximum particle size control for Ag particle ejected by pulsed laser ablation method

甲南大 ○(M1)谷口 光, 青木 珠緒, 梅津 郁朗

Konan Univ ○Hikaru Taniguchi, Tamao Aoki and Ikurou Umezu

E-mail: m2321006@s.konan-u.ac.jp

雰囲気ガス中でパルスレーザーアブレーションを行うと粒径 10nm 程度のナノ粒子を堆積させることができることはよく知られている。我々はそれに対してパイプとガスの流れを利用して堆積を行うと、数十～数百 nm 程度の球状粒子が優先的に基板上に堆積することを報告してきた。粒子が基板に堆積するまでに、パイプ収集口付近の慣性効果により最大粒径がカットオフされた後、基板上での慣性効果によって最小粒径のカットオフがされることによって粒径分布がそろうと考えられている。最大粒径はパイプ収集口先端－ターゲット間距離 (L) によって変化することも報告されているが詳細な結果は明らかになっていない。そこで本研究では、粒径の揃った良質な試料を作製するため、L を変えてナノ粒子作製を行った。

ターゲットには Ag を用い、ターゲット、レーザー光照射位置、パイプの位置関係は図 1 のように設定した。パイプを x 方向に動かし、L を変化させ試料を作製した。x 方向に変化させ試料を作製した。基板上的堆積物は SEM 観察によって、粒径解析を行った。

図 2 に大粒径の粒子の混入が多い L=24mm での粒径分布を示す。ここでは少数の大粒径粒子の存在を強調するために、縦軸を対数としている。基本的には対数正規分布となるが、それから外れた大きな全体の粒子数の 5 % 程度見られる。作製された Ag 粒子の平均粒径 D_a 、最大粒径 D_m の L 依存性を図 3 に示す。 D_a も D_m も L を長くするほど大きくなる傾向がみられた。これは粘性抵抗によりターゲットから離れる程、粒子の速度が遅くなるため、L が大きい程パイプ先端での慣性効果が弱くなるためと考えられる。定性的には、それによって L の増大と共に D_a は大きくなり大粒径の粒子の混入も多くなると考えられる。

D_a と D_m の差は L が小さくなるにつれて減少し、L=4mm では対数正規分布から外れた大粒径粒子はほとんど見られなかった。これは基板に近い方が粒子の速度は速く大きな粒径のものほど、カットオフされやすいためと考えられる。以上のように大粒径の粒子の混入を最小限に抑えるためにはパイプ先端での慣性効果が重要であることを実験的に明らかにした。

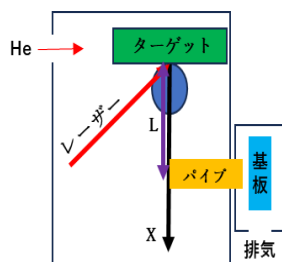


Fig.1 Schematic diagram of the experiment

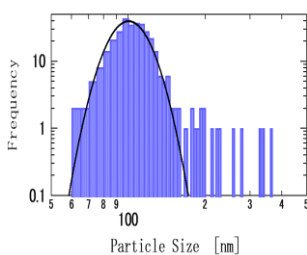


Fig.2 Size distribution of Ag particles of L=24mm

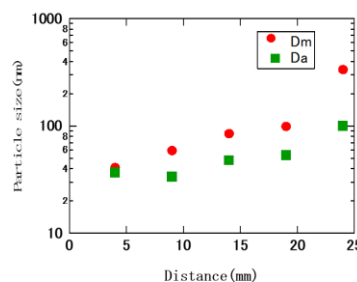


Fig.3 Relationship between D_a and D_m and distance of Ag particles

ガス中レーザーアブレーションで作成された ZnO 球状ナノ粒子の光学特性

Optical properties of spherical ZnO nano particles formed by pulsed laser ablation process

甲南大学, °(M1)坂手 裕紀, (M1)谷口 光, 梅津 郁朗, 市田 正夫, 青木 珠緒

Konan Univ., °Yuki Sakate, Hikaru Taniguchi, Ikurou Umezu, Masao Ichida and Tamao Aoki

E-mail:s2321007@s.konan-u.ac.jp

我々のグループはこれまで, Si や Ag などに対するガス中レーザーアブレーションにより放出された液滴に慣性効果を用いると, 粒径制御された球状サブミクロン粒子を得ることができることを報告してきた[1]。本研究では, この手法を ZnO に適用し, 得られた粒径約 100nm の球状粒子に対して光学特性を調べ, 電子状態および結晶性の評価を行った。

試料作成方法は[1]と同様で, ターゲットには ZnO 焼結体を用いて Si 基板上に堆積した。得られた試料について, 室温および低温で発光スペクトルおよび励起スペクトルを測定した。測定した試料の SEM 画像を図 1 に示す。この試料の平均粒径は 90nm であった。図 2 に室温及び 10K での発光スペクトルを示す。室温(a)では 3.29eV にピークを持つ自由励起子発光と 2.3eV にピークを持つ幅の広い欠陥発光が見られた。励起子発光は欠陥発光の 2 倍程度の強度であった。10K(b)では主にバンド端発光が見られた。この発光を高い分解能で測定したものを図 3 青線に示す。この発光は 2 成分からなり, 低エネルギー側の発光帯のエネルギー 3.361eV は, バルク単結晶の Al ドナー束縛励起子[2]に対応していることがわかった。また線幅は 3meV 程度で比較的狭いことから, この球状粒子の結晶性が良いことが示唆される。図 3 赤線にバンド端発光の励起スペクトルを示す。励起スペクトルには 3 つのピークが観測され, これらのエネルギーはバルク結晶の A,B,C 励起子吸収ピーク[3]とよく一致していた。これらの結果より, 作成された ZnO 球状粒子の電子状態はバルク結晶と同等で, 比較的よい結晶性をもつことが確認できた。

一方, 基板上の位置によってはより小さいナノ微粒子の堆積も見られ, 欠陥発光のエネルギーや相対強度が異なっていた。当日は基板上での堆積位置や堆積条件に対する依存性についても議論する。

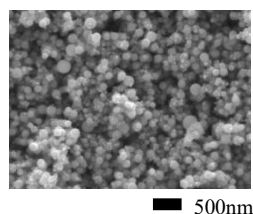


Fig.1 SEM image at the measuring point.

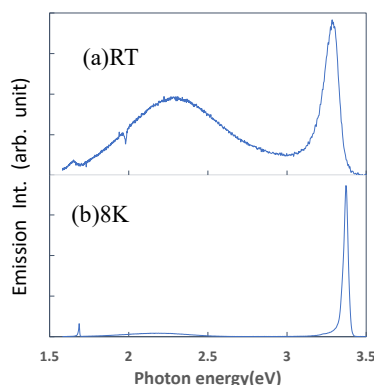


Fig.2 Emission spectra (a) at room temperature and (b) at 10K.

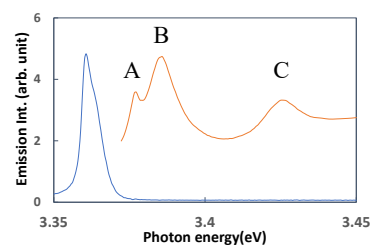


Fig.3 Emission spectrum (blue) and excitation spectrum (red) at 10K.

参考文献) [1]伊東ら, 応用物理学会2022 年第83 回秋季学術講演会概要集, 22p-C301-10

[2]B.K. Meyer et al., phys. stat. sol. (b) 241, 231 (2004) [3]W.Y. Liang and A.D. Yoffe, PRL 20, 59 (1968)