

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02043

研究課題名(和文)多光子励起-失活2段階過程による局所加熱を利用した新規微小金属析出過渡現象の解明

研究課題名(英文)Transient phenomena analysis of metal precipitation using local heating induced by multiphoton deactivation

研究代表者

溝尻 瑞枝 (Mizoshiri, Mizue)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70586594

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：多光子励起とその無輻射失活の2段階過程を利用した局所熱還元により，Cu，Ni，Coやその合金の大気中直接描画を実現した．フェムト秒レーザー波長に対して透明でその半波長以下で吸収の大きなグリオキシル酸金属(Cu，Ni，Co，Fe)錯体インクを調製し，レーザーパルスを集光照射すると，その焦点近傍で析出が生じた．Cu<Ni<Co<Feの順に酸化されやすく，大気中ではFeは析出されなかった．描画中の酸化評価のため，描画速度によりCoとCoOを選択的に描画できたCo錯体インクを用いてポンプ・プローブ法により透過率の時間変化を測定した．その結果Co酸化は照射後550ps以内に生じていることが明らかとなった．

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は，従来実現できなかったAuやAg以外の金属の大気中直接描画を実現できることを明らかにした．プリンタブルエレクトロニクスの発展に伴い，オンデマンド製造技術のひとつとして，コモンメタルのプリント技術の需要が高まっており，機能性材料であっても待機中でプリントできる可能性を示唆した大変有意義な知見と考えられる．

研究成果の概要(英文)：Various metals and their alloys were directly written using multiphoton absorption induced thermochemical reduction. Glyoxylic acid metal (Cu, Ni, Co, and Fe) complex inks, which exhibited high transparencies at femtosecond laser pulses and intense absorption at the half of the wavelength were respectively prepared. When the femtosecond laser pulses were focused into the inks, materials such as metals and metal oxides were precipitated around the focal spot. The precipitated metals were oxidized with the order of Cu<Ni<Co<Fe. Metal Fe was not precipitated in air. Glyoxylic acid Co complex ink was used to evaluate the transient oxidation of Co because Co and CoO were selectively precipitated by the laser scanning speed for direct writing. The time-resolved transmittance of the precipitation was measured using a pump-probe technique, resulting that the oxidation was caused within 550 ps in air.

研究分野：レーザー微細加工

キーワード：光熱還元 過渡現象 多光子吸収 金属錯体 フェムト秒レーザー

1. 研究開始当初の背景

多光子励起過程は、樹脂や金属の3次元微細造形法において多用されている[1-4]。フェムト秒レーザーパルスを感じ性樹脂や金属イオン溶液内部へ集光すると、回折限界以下の焦点近傍のみで多光子励起光重合[1, 2]や光還元[3, 4]が生じ、微小空間への重合や金属析出を可能にする。しかしながら、金属においては現状、貴金属(Au, Ag)析出に限定されている。なぜなら、①原料のフェムト秒レーザー吸収は小さく、②その半波長以下で多光子励起による大きな吸収を示し、さらに③光還元析出できる、これら条件を満たす必要があるからである。そのため、光還元析出が困難な金属や合金への適用は困難であった。

本研究では、光還元析出できない金属の3次元微細造形を実現するため、多光子励起とその無輻射失活の2段階過程を利用して回折限界以下の微小空間への熱還元析出をめざす。具体的には、ポンプ・プローブ法を用いて光-熱還元金属析出過渡現象を解明することによって、光還元析出の困難な金属を回折限界以下の微小空間へ析出することは可能かを明らかにし、あらゆる金属の3次元微細造形の実現をめざす。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多光子励起とその無輻射失活の2段階過程を利用した新規局所熱還元により、非貴金属を回折限界以下の微小空間へ析出させ、光熱還元析出プロセスを創出することにある。高速時間計測により還元析出メカニズムを解明し、析出物の酸化・還元度を制御して金属や金属酸化物からなる3次元微細造形法へと展開する。具体的には、金属の低温熱還元析出の期待できるグリオキシル酸金属 (Cu, Ni, Co, Fe) 錯体インクを原料とし、フェムト秒レーザーパルスを集光する。その結果、焦点近傍のみで多光子励起が生じ、その無輻射失活過程で発生する熱エネルギーを利用することで金属の微小空間への還元析出が期待できる。ポンプ・プローブ法により、レーザー照射中の光反射率の高速時間変化を計測することによって析出金属の時間依存性を評価し、材料分析結果と統合して還元析出メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的実現のため、下記3項目について検討した。

- ① グリオキシル酸各種金属錯体インクの調製と吸収特性評価
- ② 析出描画特性評価
- ③ ポンプ・プローブ法による析出過渡現象の解明

具体的には、グリオキシル酸金属 (Cu, Ni, Co, Fe) 錯体インクを調製し、大気中での描画析出パターン特性評価と、析出過渡現象を解明した。

4. 研究成果

4.1 グリオキシル酸各種金属錯体インクの調製と特性評価

コモンメタルやその合金の大気中直接描画を実現するため、原料として、グリオキシル酸金属 (Cu, Ni, Co, Fe) 錯体を調製し、2アミノエタノールに溶解してインク化した。その結合状態と吸収特性を評価した。

4.1.1 グリオキシル酸金属錯体インクの調製

図1にグリオキシル酸金属錯体インクの調製方法を示す。初めに、グリオキシル酸水溶液と原料金属イオン水溶液を準備した。金属イオン溶液には、Cu, Niについては硫酸塩、ギ酸塩を用いた。Coについては、硫酸コバルト、Feについては、硫酸鉄(2価)、塩化鉄(2価, 3価)、硝酸鉄(3価)の4種類を用いた。次に、グリオキシル酸に水酸化ナトリウム水溶液を混合し、pH7となるよう調整した。その後、グリオキシル酸と金属イオン溶液を混合し、3時間攪拌したところ、懸濁液が得られた。析出錯体をろ過して分離し、遠心分離機を用いて洗浄後、冷凍乾燥させた。最後に、2アミノエタノールとエタノールに溶解してインク化した。

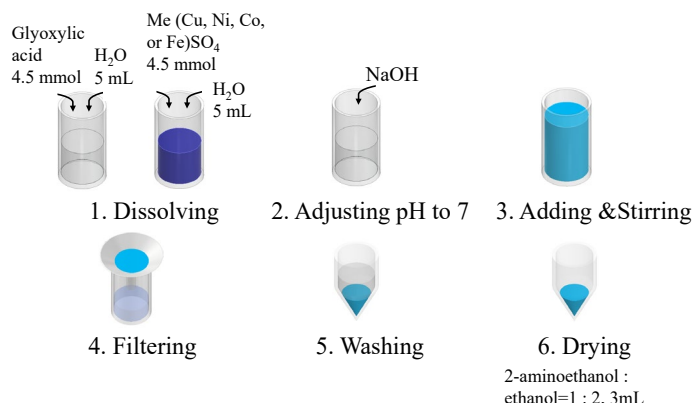


図1 グリオキシル酸金属錯体インクの調製方法。

調製したインクのうち、ギ酸塩 (Cu, Ni) と硫酸塩 (Co, Fe) を用いて調製したインクの写真を図 2(a)に示す. 各金属錯体に起因する色のインクが調製された. そこで調製した金属錯体インクのフーリエ変換型赤外 (Fourier transform infrared, FT-IR) 分光法により結合に起因する吸収を評価した. 図 2(b)に FT-IR スペクトルを示す. すべてのインクにおいて, グリオキシル酸配位に起因する, ν_{OH} , ν_{CH} , ν_{asCOO} , ν_{CO} , and ν_{sCOO} のピークが見られた. この結果は, グリオキシル酸各種金属錯体インクが調製できたことを示唆している.

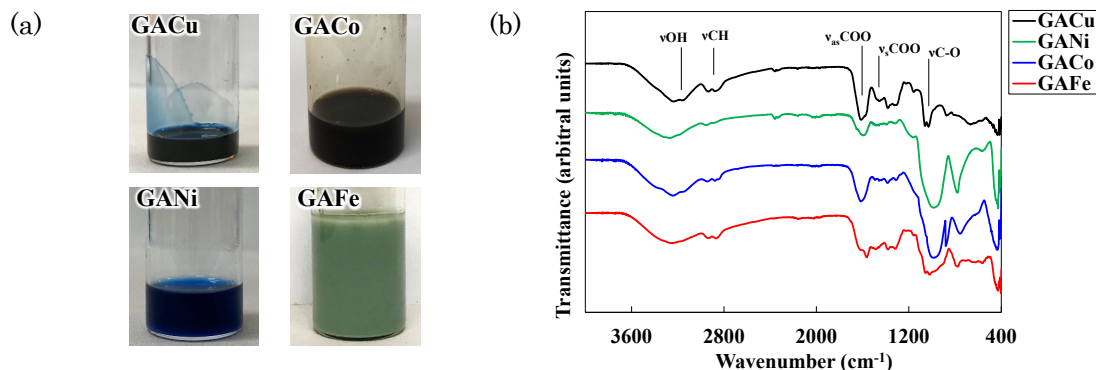


図 2 (a)調製した各種グリオキシル酸インクと(b)FT-IR スペクトル^[5].

4.4.2 グリオキシル酸金属錯体インクの吸収特性評価

図 3 に図 2 に示した 4 種類のグリオキシル酸金属錯体インクの吸収スペクトルを示す. 紫外・可視分光光度計により評価した. その結果, 近赤外 (波長 780 nm)・グリーン (波長 515 nm) フェムト秒レーザー波長いずれにおいても高い透過率を示し, その半波長以下で大きな吸収を示すことが明らかとなった. この結果は, 多光子吸収によりインク内部を加熱し, 光熱還元析出できる可能性を示唆している. そこで, グリオキシル酸コバルト錯体インクに対し, 近赤外及びグリーンフェムト秒レーザーパルスを用いた Open-aperture Z-scan 法により非線形光吸収特性を評価した. 図 4 に Z-curve を示す. 近赤外及びグリーンいずれの波長においても, 焦点近傍のみで大きな吸収が見られた. このことから, レーザパルス強度の n 乗($n>1$)に起因した非線形光吸収特性を有することを明らかにした.

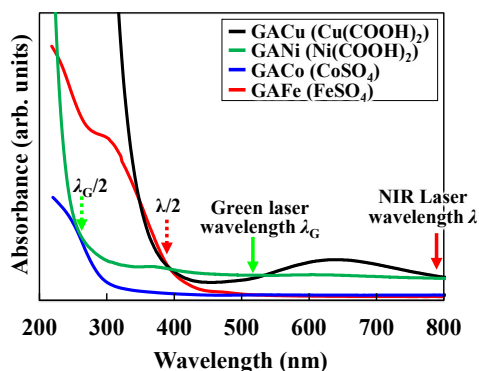


図 3 グリオキシル酸金属錯体インクの吸収特性評価^[5].

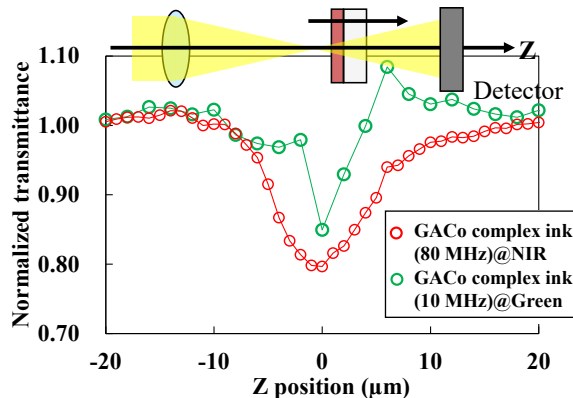


図 4 グリオキシル酸 Co 錯体インクの各種レーザー波長における非線形吸収特性評価.

4.2 析出描画特性評価

4.1にて調製したインクを用い, 近赤外及びグリーンフェムト秒レーザーパルスにより描画した. 形成パターンの結晶構造解析を行い, 析出生成物を同定した. 初めに, 各種インクを SiO_2 ガラス基板上へスピンコートし, 50°C で 20 分間, ホットプレートでベイクした. 次に, 近赤外/グリーンフェムト秒レーザーパルスを集光照射し, 線幅を考慮してラスタ状に走査して面状のパターンを形成した. 最後に, 未照射部のインクを超純水でリンス除去した. 形成したパターンは, X-ray diffraction (XRD) 解析により結晶構造を評価した.

図 5(a)にグリオキシル酸 Cu 錯体インクとグリオキシル酸 Ni 錯体インクを用い, 同じ条件にて描画形成したパターンの XRD スペクトルを, 図 5(b)にグリオキシル酸 Ni 錯体インクとグリオキシル酸 Co 錯体インクを用い, 同条件描画形成した XRD スペクトルを示す. グリオキシル酸 Cu 錯体インクを用いた場合, いずれの描画速度条件においても酸化物は析出されなかったが, グリオキシル酸 Ni 錯体インク, Co 錯体インクでは低速描画条件にて酸化物が析出した. これは, 過剰なレーザーパルス照射により大気中酸素と反応し, 酸化したためと考えられる. これらの結果から, Cu, Ni, Co を比較すると, $\text{Cu}<\text{Ni}<\text{Co}$ の順に酸化しやすいことがわかった.

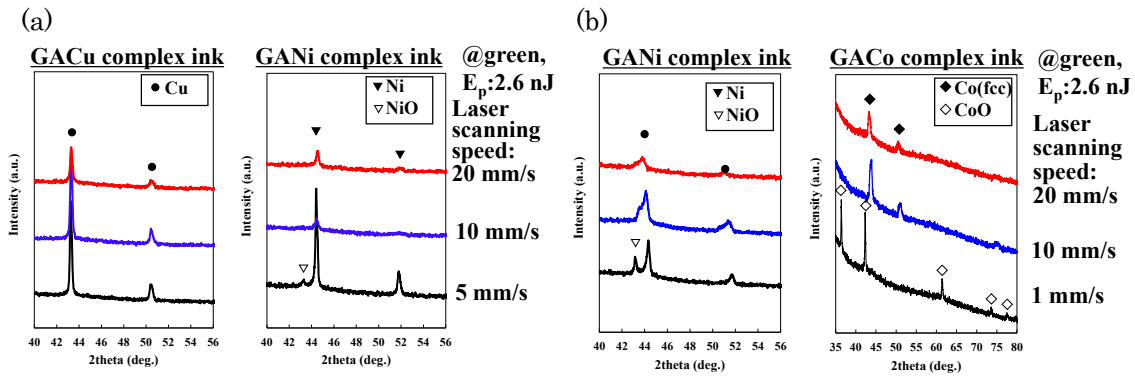


図5 (a)グリオキシル酸 Cu 錯体インクと Ni 錯体インクを用いた描画析出の比較と、(b)グリオキシル酸 Ni 錯体インクと Co 錯体インクを用いた描画析出パターンでの XRD スペクトル。

次に、グリオキシル酸 Fe 錯体インクを用いてパターンニングを行い、結晶構造解析を行った。図6に XRD スペクトルを示す。いずれの描画条件においても金属 Fe は析出されず、 Fe_2O_3 か Fe_3O_4 のいずれかのパターンとなった。

4種のインクを用いた結果を比較しまとめたものを Table 1 に示す。Cu<Ni<Co<Fe の順に酸化しやすく、金属パターンニングが困難であることが分かった。これは、酸素の Gibbs の自由エネルギーの順と一致しており、それぞれのグリオキシル酸金属錯体インクから熱反応により析出した金属ナノ粒子が成長・焼結・熔融され、パターンが形成されたことを示唆している。

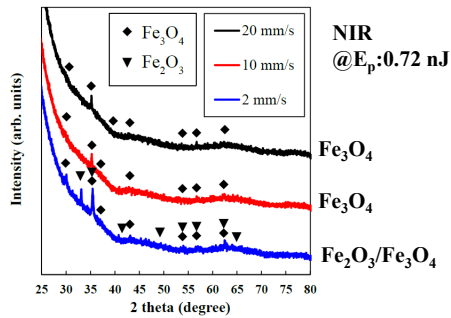


図6 グリオキシル酸 Fe 錯体インクを用いて形成したパターンの結晶構造解析。

Table 1 各種グリオキシル酸金属錯体インクを用いて形成したパターンの結晶構造。

	Compositions	
	Metal	Metal oxide
GACu	Cu	*No Cu_2O , CuO
GANi	Ni or Ni/NiO	
GACo	Co(fcc) or CoO	
GAFe	*No Fe	Fe_3O_4 or Fe_3O_4/Fe_2O_3

一方、グリオキシル酸 Cu/Ni 混合インクを原料とした描画では、Cu-Ni 合金パターンが形成された[5]。この結果から、Cu および Ni の初期の析出ナノ粒子は同士は高い反応性を有し、酸化することなく合金形成できることが明らかとなった。

4.3 ポンプ・プローブ法による析出過渡現象の解明

4.2 より、フェムト秒レーザー描画速度により、析出パターンは金属や金属酸化物と選択的に描画形成されることが明らかとなった。そこで、描画速度の違いによる酸化過渡現象を明らかにするため、描画速度 8 mm/s で金属 Co(fcc)、描画速度 1 mm/s で CoO を選択描画形成されるグリオキシル酸 Co 錯体インクを原料とし、析出過渡透過率をポンプ・プローブ法により評価した。図7(a)に本評価のために構築したポンプ・プローブ法の光学系を、図7(b)に時刻と透過率の変化を示す。照射後 0 秒から 550 ps のレーザー描画中のプローブ光の透過率変化から、描画速度 8 mm/s では照射後 550 ps 以内に顕著な析出は生じず、析出は 550 ps 以降に生じることが分かった。一方、描画速度 1 mm/s では 550 ps 以内に還元析出・再酸化が生じている可能性が示唆された。

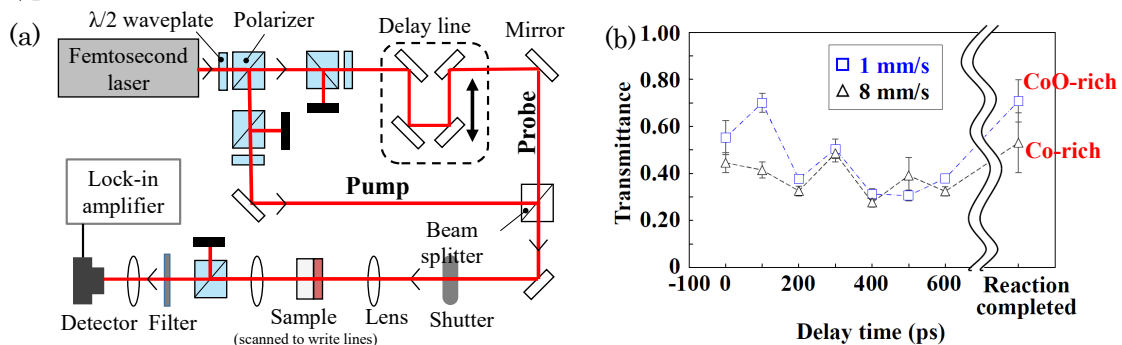


図7 (a)ポンプ・プローブ法の光学系と(b)透過率の時間変化。

多光子励起とその無輻射失活の2段階過程を利用した局所熱還元により、Cu, Ni, Co やその合金の大気中直接描画を実現した。

- (1) フェムト秒レーザー波長に対して透明でその半波長以下で吸収の大きなグリオキシル酸金属 (Cu, Ni, Co, Fe) 錯体インクを調製した。
- (2) レーザパルスを集光照射すると、その焦点近傍で析出が生じた。Cu < Ni < Co < Fe の順に酸化されやすく、大気中では Fe は析出されなかった。
- (3) 描画中の酸化評価のため、描画速度により Co と CoO を選択的に描画できた Co 錯体インクを用いてポンプ・プローブ法により透過率の時間変化を測定した。その結果、Co 酸化は照射後 550ps 以内に生じていることが明らかとなった。

<引用文献>

- [1] S. Maruo, O Nakamura, S Kawata, “Three-dimensional microfabrication with two-photon-absorbed photopolymerization”, *Opt. Lett.*, 22 (1997) 132.
- [2] S Kawata, HB Sun, T Tanaka, K Takada, “Finer features for functional microdevices”, *Nature*, 412 (2001) 697.
- [3] A. Ishikawa, T. Tanaka, S. Kawata, “Improvement in the reduction of silver ions in aqueous solution using two-photon sensitive dye”, *Appl. Phys. Lett.*, 88 (2006) 113102.
- [4] S Maruo, T Saeki, “Femtosecond laser direct writing of metallic microstructures by photoreduction of silver nitrate in a polymer matrix”, *Opt. Express*, 16 (2008) 1174.
- [5] Mizue Mizoshiri, Tomohide Hayashi, Junya Narushima, Tomoji Ohishi, “femtosecond laser direct writing of Cu-Ni alloy patterns in ambient atmosphere using glyoxylic acid Cu/Ni mixed complexes”, *Optics and Laser Technology*, 144 (2021) 107418.
- [6] 溝尻瑞枝, 中谷光, 大石知司, ”グリオキシル酸コバルト錯体の調製とフェムト秒レーザーパルス照射によるコバルト還元析出”, *電気学会論文誌 C*, 142(4) (2021) 466-469.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Mizue Mizoshiri, Tomohide Hayashi, Junya Narushima, Tomoji Ohishi	4. 巻 144
2. 論文標題 Femtosecond laser direct writing of Cu-Ni alloy patterns in ambient atmosphere using glyoxylic acid Cu/Ni mixed complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics and Laser Technology	6. 最初と最後の頁 107418
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optlastec.2021.107418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nam Phuong Ha, Tomoji Ohishi, Mizue Mizoshiri	4. 巻 12
2. 論文標題 DirectWriting of Cu Patterns on Polydimethylsiloxane Substrates Using Femtosecond Laser Pulse-Induced Reduction of Glyoxylic Acid Copper Complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 493
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi12050493	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mizue Mizoshiri and Kyohei Yoshidomi	4. 巻 14
2. 論文標題 Cu Patterning Using Femtosecond Laser Reductive Sintering of CuO Nanoparticles under Inert Gas Injection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 3285
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma14123285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mizue Mizoshiri, Kyohei Yoshidomi, Namsrai Darkhanbaatar, Evgenia M. Khairullina, Ilya I. Tumkin	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of Substrates on Femtosecond Laser Pulse-Induced Reductive Sintering of Cobalt Oxide Nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 3356
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/nano11123356	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Mizue Mizoshiri, Atsushi Tanokuchi	4. 巻 10
2. 論文標題 Direct writing of Cu-based micropatterns inside Cu ₂ O nanosphere films using green femtosecond laser reductive sintering	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2533-2541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.401676	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Kyohei Yoshidomi, Susumu Nakamura
2. 発表標題 Vacuum-free Cu patterning using femtosecond laser reduction of CuO nanoparticles under inert gas injection
3. 学会等名 The 22st International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Kyohei Yoshidomi, Namsrai Darkhanbaatar, Evbeniia Khairullina, Maxim Panov, Ilya I. Tumkin
2. 発表標題 Co-based Micropatterning on Polymer Substrates in Ambient Atmosphere using Femtosecond Laser Reductive Sintering of Cobalt Oxide Nanoparticles
3. 学会等名 Photopolymer Conference (ICPST-38) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大森 元貴, 大石 知司, 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザーパルス照射によるグリオキシル酸Cu錯体からのCu還元析出の動的観察
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Darkhanbaatar Namsrai, Kyohei Yoshidomi, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 CHARACTERIZATION OF Co3O4NANOPARTICLE REDUCTION SINTERINGAND APPLICATION TO FLEXIBLE DEVICE
3. 学会等名 Mendeleev2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kyohei Yoshidomi and Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Oxidation control using pulse burst irradiation in femtosecond laser-reductive sintering of Cu micropatterning
3. 学会等名 Mendeleev2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川堀 龍, 渡部 雅, 今井 良行, ヤン ジングロン, 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 近赤外フェムト秒レーザ焼結を用いたDiCパターンの大気中直接描画
3. 学会等名 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nam Phuong Ha, Tomoji Ohishi, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Direct writing of Cr2O3micropattern by using femtosecond laser irradiation of glyoxylic acid chromium complex
3. 学会等名 Material Research Meeting (MRM) 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 3次元Cu微細造形に向けたCu ₂₀ 球状ナノ粒子のフェムト秒レーザーパルス誘起局所加熱接合
3. 学会等名 第96回レーザー加工学会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Atsushi Tanokuchi, and Kien Vu Trung Nguyen
2. 発表標題 Cu-based microfabrication using green femtosecond laser reductive sintering of Cu ₂₀ nanospheres
3. 学会等名 The 21st International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hikaru Nakatani, Tomoji Ohishi, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Green femtosecond laser direct writing using reduction of glyoxylic acid Co/Ni complexes
3. 学会等名 The 21st International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shohei Murayama, Kien Vu Trung Nguyen, Hideyuki Magara, Takahiro Nakamura, and Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Characteristics of bonding Cu ₂₀ nanospheres on metal thin films by irradiating femtosecond laser pulses
3. 学会等名 STI-Gigaku2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nam Phuong Ha, Tomoji Ohishi, and Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Cu micropatterning on nonplanar glass and PDMS substrates by using femtosecond laser two-photon absorption of glyoxylic Cu complex
3. 学会等名 STI-Gigaku2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザーパルス誘起多光子吸収を利用した金属の光熱還元描画と3D微細造形への応用
3. 学会等名 2020年度日本機械学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー光熱還元を利用したセンサーの描画作製
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉富恭平, 中村奨, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 Cuパターンのフェムト秒レーザー還元描画とナノ秒レーザーによる酸化膜形成
3. 学会等名 電気学会令和2年度E部門総合研究会「マイクロマシン・センサシステム研究会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林智英, 大石知司, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 グリオキシル酸Cu/Ni混合錯体のフェムト秒レーザー還元を用いて作製したCu-Ni合金パターンの熱電特性
3. 学会等名 2020年第81回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen Vu Trung Kien, 田之口睦, 真柄英之, 中村貴宏, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー3D 微細造形のための Cu 薄膜上への単層Cu20微小球の描画条件探索
3. 学会等名 2020年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nam Phuong Ha, 大石知司, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 グリオキシル酸銅錯体のフェムト秒レーザー還元描画を用いた立体表面上へのCu配線
3. 学会等名 第11回「マイクロ・ナノ工学シンポジウム」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村山章平, Nguyen Vu Trung Kien, 真柄英之, 中村貴宏, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 金属薄膜上へのCu20球状ナノ粒子単層接合のためのフェムト秒レーザーパルス照射条件の探索
3. 学会等名 第20回東北大学多元物質科学研究所研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷光, 大石知司, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 グリーンフェムト秒レーザー誘起還元によるグリオキシル酸Ni錯体溶液内部へのNiパターン作製
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 3. 渡邊史哉, 大石知司, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 グリオキシル酸Fe錯体のフェムト秒レーザー還元を用いた Fe/Fe-Oパターンニング
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉富恭平, 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元Cuパターンニングにおける酸化抑制
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 溝尻瑞枝, 吉富恭平, 中村奨,
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元焼結を利用した高純度Cuパターンニングとその表面酸化処理特性評価
3. 学会等名 電気学会「光・量子デバイス研究会」
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	山岸 里枝 (田邊里枝) (Tanabe Rie) (70432101)	福岡工業大学・工学部・准教授 (37112)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------