

令和 2 年 8 月 25 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06064

研究課題名（和文）非線形光吸収を用いた酸化物ナノ粒子還元3次元描画法の創成と機能性材料の造形

研究課題名（英文）Reductive sintering of metal oxide nanoparticles using nonlinear optical absorption

研究代表者

溝尻 瑞枝（Mizoshiri, Mizue）

長岡技術科学大学・産学融合トップランナー養成センター・特任准教授

研究者番号：70586594

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 18,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、フェムト秒レーザーパルスが誘起する熱還元を利用して金属や半導体の大気中直接描画プロセスを創製することにある。具体的には、フェムト秒レーザーパルスの焦点近傍のみで誘起される非線形光吸収を利用して、材料内部へ金属や半導体を還元析出し、3次元微細構造を直接描画形成する。金属酸化物ナノ粒子や金属錯体を原料とし、Cu、Ni、Cu-Ni合金、酸化物半導体などの大気中直接還元描画を実現した。更に、還元度を制御することによって異なる特性を有する材料の選択的描画形成を実現し、熱電対の直接描画形成への応用展開を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、フェムト秒レーザーパルスが誘起する熱還元を利用して金属や半導体の大気中直接描画プロセスを創製することにある。大気中での簡便な金属・半導体パターンの直接描画形成技術は、プリントエレクトロニクス分野への応用も期待できる。更には、センサなどの各種マイクロデバイスのオンデマンド製造など、次世代モノづくり技術として展開できる可能性もある。

研究成果の概要（英文）：Direct writing techniques of metals and semiconductors using femtosecond laser pulse-induced thermochemical reduction have been developed. When the femtosecond laser pulses were focused into the raw materials such as metal oxide nanoparticle solutions and metal complex solutions, the metals and semiconductors were precipitated at around the focal spot of the femtosecond laser pulses, resulting that two and three dimensional microstructures were directly written in air. Finally, the thermocouples consisting of Cu-Ni micropatterns with different Seebeck coefficients were developed by controlling the reduction degree of the metals.

研究分野：微細加工

キーワード：フェムト秒レーザー還元 レーザ加工 微細加工 ナノ粒子 錯体 還元 3D金属微細造形

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

3D プリンタをはじめとする 3 次元造形法は加工プロセスのひとつとして近年注目されている。特に、3 次元微細構造の直接描画法として、これまでにフェムト秒レーザー非線形光吸収 (2 光子吸収) が誘起する内部加工プロセスが報告されている。このプロセスでは、感光性樹脂や貴金属 (Au, Ag) イオン含有溶液にフェムト秒レーザーパルスを集光すると、線形吸収 (1 光子吸収) のない波長の光であっても焦点近傍のみで非線形光吸収 (2 光子吸収) が生じ、それぞれ重合や光還元が起こる。その結果、溶液内部に樹脂や貴金属の 3 次元微細構造を直接描画できる。しかしながら、非線形光吸収係数が小さい貴金属以外の金属や半導体では報告がない。本手法を金属・半導体に対しても拡張できれば、金属・半導体・樹脂の 3 次元複合微細造形プロセスの創成の実現と、マイクロデバイス作製など幅広い応用が期待できる。

我々はこれまでに、微細金属構造の積層造形を大気中で実現するため、フェムト秒レーザーパルスが誘起する線形光吸収 (1 光子吸収) を利用した金属酸化物ナノ粒子の還元直接描画法の開発に取り組んできた。CuO ナノ粒子と還元剤の混合溶液を大気中でレーザー照射し、CuO ナノ粒子を熱還元・焼結することにより Cu や半導体 Cu₂O の微細構造の大気中直接描画形成を可能にした。しかしながら、CuO ナノ粒子のバンドギャップは 1.2 eV と小さく、近赤外フェムト秒レーザー波長に対して大きな 1 光子吸収を生じるため、内部描画は困難であった。そこで本研究では、2 光子吸収還元析出が可能な金属酸化物ナノ粒子や錯体を原料とし、内部還元析出を利用した微細造形法の創成を目指す。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フェムト秒レーザー還元直接描画法に非線形光吸収を適用することで、貴金属以外の金属・半導体 3 次元微細構造を直接描画形成するプロセスを創出することにある。更に、それらの複合微細構造からなるマイクロデバイス作製へ応用展開する。具体的には、CuO, Cu₂O, NiO などの金属酸化物ナノ粒子と還元剤、分散剤の混合溶液からなる金属酸化物ナノ粒子溶液と、グリオキシル酸金属 (Cu, Ni) 錯体溶液を原料として、これら原料のフェムト秒レーザーパルス誘起 2 光子吸収特性を明らかにするとともに、還元析出を利用した大気中金属・半導体描画特性を評価する。更にこれら知見を利用した熱電対の大気中直接描画形成を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的実現のため、下記 3 点の項目について検討した。

- (1) 原料調製と吸収特性評価
- (2) 2D/3D 描画特性評価
- (3) 合金描画と熱電対描画応用

各種金属・半導体材料の大気中 2D, 3D 微細造形を実現するため、原料調製、描画特性評価、大気中合金描画について一連の研究に取り組んだ。

4. 研究成果

4.1 原料調製と吸収特性評価

Cu₂O ナノ粒子溶液、グリオキシル酸金属 (Cu, Ni) 錯体溶液の調製を行い、吸収特性を評価した。吸収特性は紫外可視分光光度計による 1 光子吸収特性と、z-scan 法を用いた 2 光子吸収特性を評価した。

4.1.1 Cu₂O ナノ粒子溶液調製と吸収特性評価

Cu₂O ナノ粒子はポリオール法を用いて合成し、還元剤であるポリビニルピロリドン (PVP) と 2-プロパノールを混合して、Cu₂O ナノ粒子溶液を調製した。図 1 に調製した Cu₂O ナノ粒子の FE-SEM 画像を示す。直径 100 nm の単分散 Cu₂O ナノ粒子の合成に成功した。このナノ粒子に還元剤を混合し、吸収特性を評価した。図 2 に紫外・可視分光光度計を用いて測定した吸収スペクトルを示す。近赤外及びグリーンフェムト秒レーザー波長である 780 nm, 515 nm ではいずれも吸収は小さいが、その半波長ではいずれも大きな吸収を有している。これらのことから、フェムト秒レーザーにより 2 光子吸収が誘起されると期待できる。

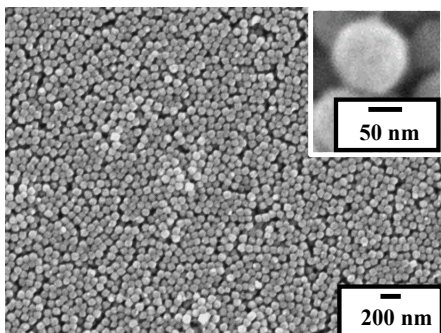


図 1 FE-SEM image of Cu₂O nanospheres.

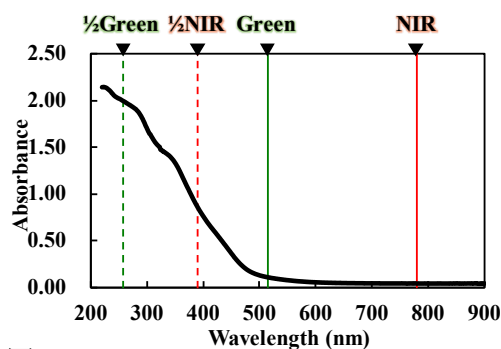


図 2 Absorption spectrum of Cu₂O nanosphere solution.

次に、z-scan 法を用いた非線形光吸収特性を評価した。図 3 に z-scan 法による吸収特性を示す。焦点近傍のみで大きな吸収を有すること、図 2 の線形吸収特性から、Cu₂O ナノ粒子溶液は近赤外、グリーンフェムト秒レーザ共に非線形光吸収に起因した吸収を示すことを明らかにした。

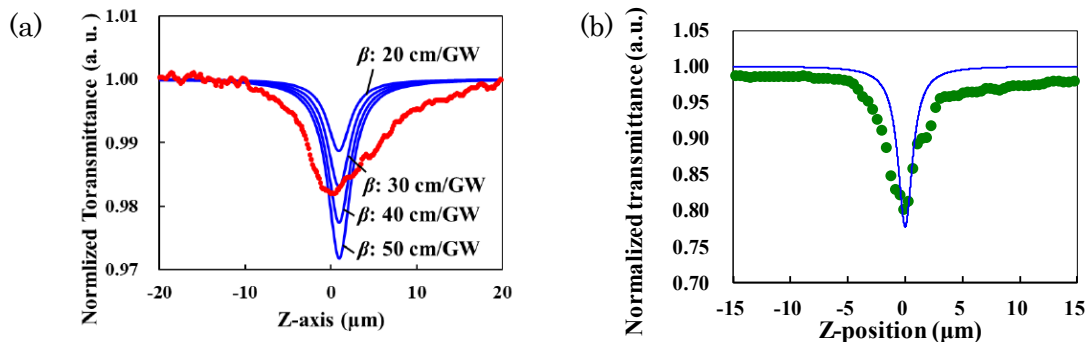


図 3 Z-scan curves at the wavelength of (a)780 nm and (b)515 nm, respectively.

4.1.2 グリオキシル酸金属錯体溶液調製と吸収特性評価

グリオキシル酸 Cu 錯体溶液、グリオキシル酸 Ni 錯体溶液、及びグリオキシル酸 Cu/Ni 混合錯体溶液をそれぞれ調製し、吸収特性を評価した。図 4 に吸収スペクトルを示す。グリオキシル酸 Cu, Ni, 及び Cu/Ni 混合 (1:1) 錯体溶液の吸収スペクトルから、近赤外及びグリーンフェムト秒レーザ波長のいずれにおいても吸収は小さく、その半波長で大きな吸収を示すことが明らかになった。更に、Z-scan 法による焦点近傍の大きな吸収も確認した。これらのことから、グリオキシル酸金属錯体溶液においても、焦点近傍のみで生じる非線形光吸収を利用した、材料内部への金属析出の可能性が期待できる。

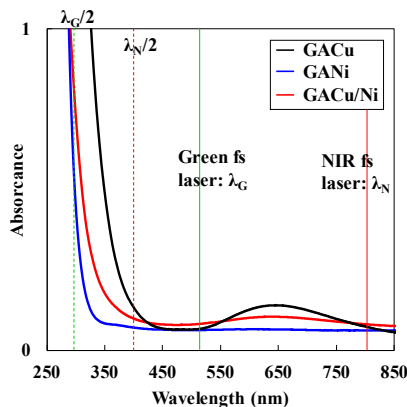


図 4 Absorption spectra of glyoxylic acid (GA) Cu, GANi, and GACu/Ni mixed solutions.

4.2 2D/3D 描画特性評価

4.2.1 Cu₂O ナノ粒子溶液の描画特性評価

近赤外フェムト秒レーザ (波長 780 nm) パルスによる還元描画特性を評価した。図 5 にガラス基板及び Cu 薄膜成膜ガラス基板上に描画形成したラインパターン of FE-SEM 像を示す。同じ描画条件であるにも関わらず、ガラス基板上よりも Cu 薄膜成膜ガラス基板の方が線幅は減少した。これは、熱伝導率の高い Cu 薄膜上では熱が蓄積されにくく、蓄積された熱拡散による Cu₂O ナノ粒子還元焼結領域の拡大が抑制されているためであると考えられる。

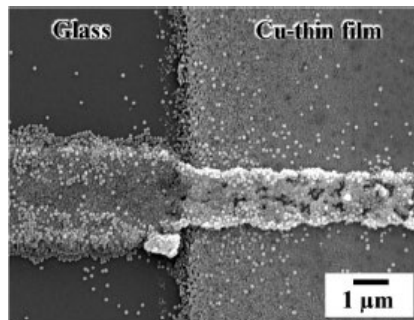


図 5 FE-SEM image of a line pattern on bare and Cu-thin film-coated glass substrates^[1].

図 6 にガラス基板上的ラインパターンの FE-SEM 像と、パルスエネルギー 0.312 nJ としたときの各描画速度における線幅の関係を示す。ビーム中心近傍の溶融領域と、その両端に熱影響部が形成された。溶融部に注目すると、描画速度が 10–100 μm/s では、レーザスポット径よりも小さな領域で溶融が生じたが、いずれの条件でも熱影響部はスポット径より増大した。このことから、ガラス基板上では熱伝導率が低く、Cu₂O ナノ粒子が高温加熱されていると考えられる。

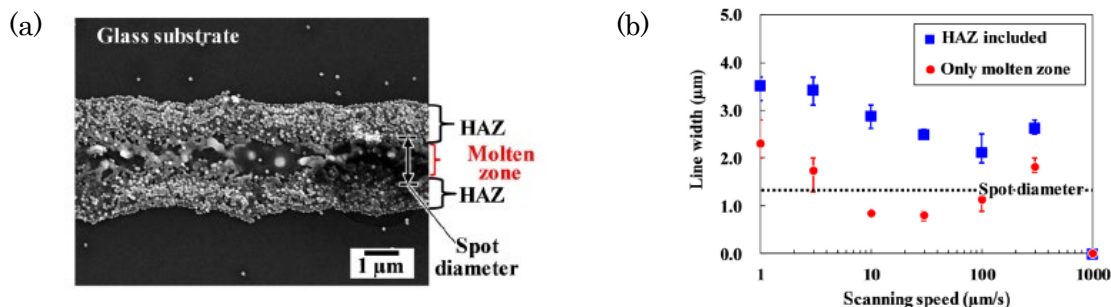


図 6 (a)FE-SEM image of a line pattern on a bare glass substrate and (b)the relationship between scanning speed and line width^[1].

一方、Cu 薄膜成膜ガラス基板上において、各種レーザ描画速度と線幅の関係を評価した。その結果、特定の条件において Cu 薄膜直上の Cu₂O ナノ粒子のみが膜状に接合される現象が生じた。各種描画速度と線幅によって、多層と単層ラインパターンが形成される条件があることが明らかになった[1]。Cu 薄膜成膜ガラス基板では多くの条件でレーザスポット径よりも小さいラインパターンが形成された。これは、ガラス基板上的描画と異なり、熱蓄積による高温加熱・拡散が生じなかったため、光吸収領域のみで局所的に還元描画を誘起できたからであると考えられる。Cu₂O ナノ粒子単層の Cu 薄膜上への接合のメカニズムについては、今後、新たな研究課題として明らかにしていく予定である。

次に、多層描画条件を用いて描画形成されたパターンの結晶構造解析を行った。ラスタースピッチを 1.0–5.0 μm として描画形成したパターンの XRD スペクトルを図 8 に示す。ラスタースピッチが 2.0 μm 以上では Cu₂O に起因する酸化物のピークが現れたが、1.0, 1.5 μm では顕著な酸化物のピークは見られなかった。これらの結果から、熔融部の Cu₂O ナノ粒子は十分に還元され、Cu パターンが形成できることが明らかになった。更に、Cu 薄膜成膜ガラス上において、内部描画による単層ナノ粒子の接合を利用し 2 段の 3 次元ピラミッド構造の描画を実現した (図 9)。この結果は、材料積層と焼結を繰り返す従来法ではなく、予め塗布した原料内部へ 3 次元構造を直接描画できることを実証した。

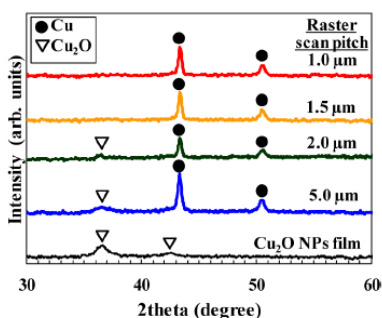


図 7 XRD spectra of the micropatterns fabricated at various raster scan pitch^[1].

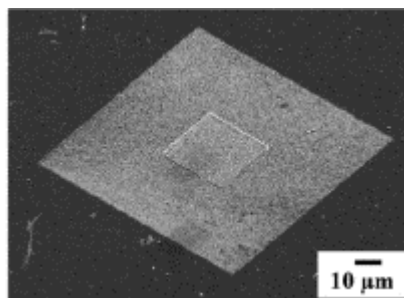


図 8 FE-SEM image of 3D micro pyramidal structure^[1].

更に、Cu₂O ナノ粒子溶液のグリーンフェムト秒レーザ描画による描画特性も評価した。図 9 に内部描画実験結果を示す。図 9(a)に示すようにガラス基板上に塗布した Cu₂O ナノ粒子溶液内部の異なる焦点位置において描画を行ったところ、描画直後にはパターンが見られなかった焦点位置において、リンスによる Cu₂O ナノ粒子除去後、パターンが現れた。この結果から、グリーンフェムト秒レーザにおいては、ガラス基板上であっても内部描画が可能であった。これは、Cu₂O ナノ粒子溶液が近赤外フェムト秒レーザ波長と比べて大きな非線形吸収を有すること、近赤外光に比べてグリーン波長の光熱変換効率が低いことが理由として考えられる。

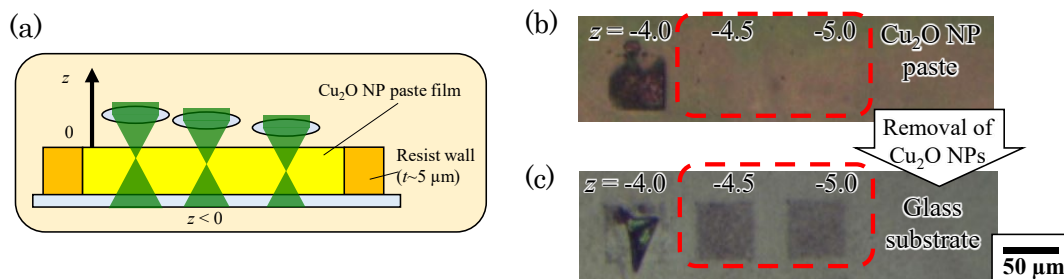


図 9 (a)Schematic illustration of laser direct writing inside Cu₂O nanosphere solution and the fabricated micropatterns at various focal position (b)before and (c)after removal of Cu₂O nanospheres.

4.2.2 グリオキシル酸金属錯体溶液の描画特性評価

グリオキシル酸 Cu, Ni, 及び Cu/Ni 混合錯体溶液を原料とし、近赤外及びグリーンフェムト秒レーザを用いて還元描画を行った。近赤外フェムト秒レーザを用いた Cu 還元析出結果を図 10 に示す。レーザパルスエネルギーの増加に伴い、線幅が増加した。レーザ描画速度の線幅への影響は、パルスエネルギーの影響よりも小さいことが明らかになった。更に、グリオキシル酸 Ni 錯体溶液からの析出も同等の傾向があることが明らかになった。これは、パルスエネルギーにより決まるパルス強度が析出に大きく影響していることを示しており、総入射エネルギーではなく、非線形光吸収の誘起する光熱還元により金属析出が誘起されていることを示唆している。

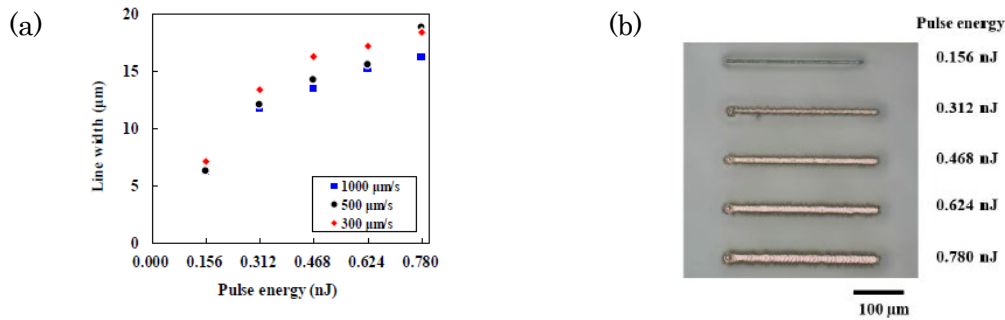


図 10 (a)Relationship between line width and pulse energy at various scanning speed, and (b)optical microscope image of the fabricated micropatterns^[2].

4.3 合金描画と熱電対描画応用

2種類の金属酸化物混合ナノ粒子の還元描画により、大気中合金描画が可能であるかを実証するため、CuO/NiO 混合ナノ粒子溶液からの合金描画と、グリオキシル酸 Cu/Ni 混合錯体溶液からの合金描画について検討した。図 11 に CuO/NiO 混合ナノ粒子溶液を原料として近赤外フェムト秒レーザーパルスによる還元度を制御し、異なるゼーベック係数を有する Cu-Ni 合金とパターンを対として描画し、熱電対試作へ応用した結果を示す。温度差に比例して開放電圧が得られた。この結果から、2種類の金属酸化物ナノ粒子の還元描画により、合金パターンを形成できることが明らかになった。更に、グリーンフェムト秒レーザーパルスにより、グリオキシル酸 Cu, Ni, Cu/Ni 混合錯体溶液の還元描画をガラス及びポリエチレンナフタレート基板上で行った。図 12 にパターンの XRD スペクトルを示す。グリオキシル酸 Cu, 及び Ni 錯体溶液では、それぞれ Cu 及び Ni パターンの描画を実現した。一方、グリオキシル酸 Cu/Ni 混合錯体溶液の還元描画では、Cu, Ni それぞれに起因するピーク間のみピークが検出され、Cu-Ni 合金パターンが形成されることが明らかになった。今後、各種センサや多種材料へ応用していく予定である。

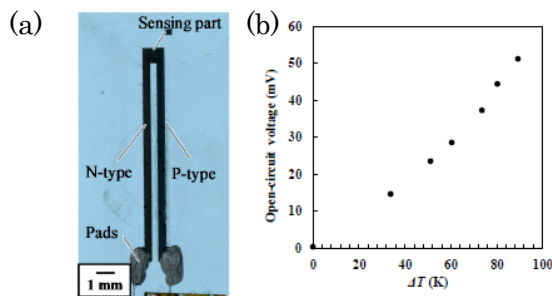


図 11 (a)Photograph of a sample thermocouple fabricated by selective micropatterning, (b)relationship between the open-circuit voltage and the temperature difference between sensing hot and cold^[3].

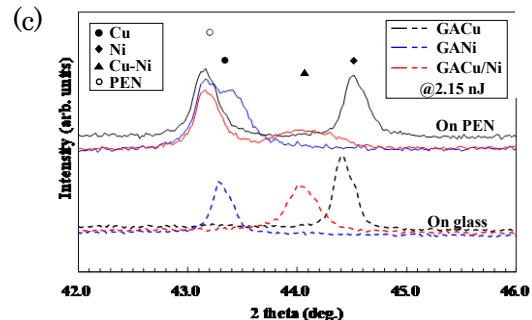


図 12 XRD spectra of the fabricated micropatterns using GACu, GANi, and GACu/Ni mixed complexes solutions.

<引用文献>

- [1] Mizue Mizoshiri, Yukinari Kondo, "Direct writing of two- and three-dimensional Cu-based microstructures by femtosecond laser reductive sintering of the Cu₂O nanospheres", Optics Materials Express, 9(7) (2019) 2828-2837.
- [2] Mizue Mizoshiri, Keiko Aoyama, Akira Uetsuki, Tomoji Ohishi, "Direct writing of copper micropatterns using near-infrared femtosecond laser-pulse-induced reduction of glyoxylic acid copper complex", Micromachines, 10(6) (2019) 401.
- [3] Mizue Mizoshiri, Kenta Nishitani, Seiichi Hata, "Effect of Heat Accumulation on Femtosecond Laser Reductive Sintering of Mixed CuO/NiO Nanoparticles", Micromachines, 9 (2018) 264.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Mizue Mizoshiri, Yukinari Kondo	4. 巻 9
2. 論文標題 Direct writing of two- and three-dimensional Cu-based microstructures by femtosecond laser reductive sintering of the Cu ₂ O nanospheres	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2828
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OME.9.002828	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, Keiko Aoyama, Akira Uetsuki, Tomoji Ohishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Direct writing of copper micropatterns using near-infrared femtosecond laser-pulse-induced reduction of glyoxylic acid copper complex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 401
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi10060401	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, Junya Narushima, Tomoyuki Imakita, Hikaru Nakatani, Akira Uetsuki, Tomoji Ohishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Femtosecond laser direct-writing technique using reduction of glyoxylic acid metal complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Proceedings of 30th 2019 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science(From Micro & Nano Scale Systems to Robotics & Mechatronics Systems) (MHS2019)	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Atsushi Tanokuchi, Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri	4. 巻 -
2. 論文標題 Cu-based microfabrication using green femtosecond laser reductive sintering of Cu ₂ O nanospheres	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of The 8th International Congress on Laser Advanced Materials Processing (LAMP2019)	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Mizoshiri Mizue, Nishitani Kenta, Hata Seiichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of Heat Accumulation on Femtosecond Laser Reductive Sintering of Mixed CuO/NiO Nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 264 ~ 264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi9060264	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	4. 巻 10905
2. 論文標題 Direct writing of Cu-based flexible thermal detectors using femtosecond laser-induced reduction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 art.no. 1090512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2507087	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 Mizoshiri Mizue, Kondo Yukinari	4. 巻 58
2. 論文標題 Direct writing of Cu-based fine micropatterns using femtosecond laser pulse-induced sintering of Cu ₂ O nanospheres	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDF05 ~ SDDF05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0545	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 溝尻瑞枝, 秦誠一	4. 巻 46
2. 論文標題 CuOナノ粒子を用いたフェムト秒レーザー還元直接描画法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 257-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 溝尻瑞枝	4. 巻 43
2. 論文標題 特集：レーザー微細加工技術の新たな潮流“フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いた選択描画とマイクロセンサの作製”	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 レーザー協会	6. 最初と最後の頁 23-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Mizue Mizoshiri and Seiichi Hata	4. 巻 124
2. 論文標題 Selective fabrication of p-type and n-type thermoelectric micropatterns by the reduction of CuO/NiO mixed nanoparticles using femtosecond laser pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics A	6. 最初と最後の頁 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00339-017-1489-x	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 Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri, and Seiichi Hata	4. 巻 -
2. 論文標題 Cu micropatterning using femtosecond laser reduction of Cu ₂ O nanospheres	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication	6. 最初と最後の頁 #17-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	査読の有無 無
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 Mizue Mizoshiri and Seiichi Hata	4. 巻 -
2. 論文標題 P- and n-type thermoelectric micropatterns fabricated by femtosecond laser reduction of CuO/NiO nanoparticles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication	6. 最初と最後の頁 #17-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	査読の有無 無
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 Mizue Mizoshiri and Seiichi Hata	4. 巻 10520
2. 論文標題 Direct writing of three-dimensional Cu-based sensors using femtosecond laser reduction of CuO nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. SPIE, Laser-based Micro- and Nanoprocessing XII	6. 最初と最後の頁 1052013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2290166	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 Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri, Seiichi Hata	4. 巻 10520
2. 論文標題 Femtosecond laser direct writing of Cu-based fine patterns using Cu ₂ O nanospheres	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. SPIE, Laser-based Micro- and Nanoprocessing XII	6. 最初と最後の頁 1052006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2287686	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 -

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Direct writing of Cu-based flexible thermal detectors using femtosecond laser-induced reduction
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Femtosecond laser direct writing of three-dimensional Cu-based microstructures
3. 学会等名 International Symposium on SSS Laser Processing (3S-LP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 非線形光吸収を利用した酸化銅ナノ粒子の金属還元3次元微細加工法の基礎的研究
3. 学会等名 天田財団 第2回レーザープロセッシング助成研究成果発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝，秦誠一
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いたポリマー上へのCu微細構造の造形
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Yukinari Kondo, Seiichi Hata
2. 発表標題 Three-dimensional Cu-based microfabrication using femtosecond laser induced internal writing
3. 学会等名 The Third Smart Laser Processing Conference 2018 (SLPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Nishitani, Seiichi Hata, Junpei Sakurai, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Direct writing properties of Cu-Ni-based thermoelectric micropatterns formed by femtosecond laser reductive sintering at low writing speed
3. 学会等名 The Third Smart Laser Processing Conference 2018 (SLPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Tanokuchi, Mitsuharu Todai, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Direct writing of Cu-based microstructures using green femtosecond laser pulses
3. 学会等名 3rd STI-Gigaku 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Yukinari Kondo, Atsushi Tanokuchi
2. 発表標題 Cu-Based Three-Dimensional Microfabrication Using Femtosecond Laser Pulse-Induced Reduction of Cu ₂ O Nanospheres
3. 学会等名 31st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atsushi Tanokuchi, Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Fabrication of Cu-based microstructures using green femtosecond laser sintering of Cu ₂ O nanoparticles
3. 学会等名 International Symposium on SSS Laser Processing (3S-LP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザーを用いた金属の3次元微細造形
3. 学会等名 未来技術ワークショップ (IIP div. JSME)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝, 伊藤 恭章, 櫻井淳平, 秦誠一
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元を用いたフレキシブル基板上へのCuメッシュ電極の直接描画
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝, 青山慶子, 植月暁, 大石知司
2. 発表標題 リオキシル酸Cu錯体のフェムト秒レーザー還元を利用したCu直接描画
3. 学会等名 第9回「マイクロ・ナノ工学シンポジウム」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝, 秦 誠一
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いたポリマー基板上へのCu系パターンニング
3. 学会等名 第4回日本機械学会イノベーション講演会 (Innovation from JSME (iJSME) 2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西谷 健太, 秦 誠一, 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元直接描画法における熱蓄積の影響
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝, Ha Phuong Nam, 伊藤 泰章, 秦 誠一
2. 発表標題 uメッシュ電極のフレキシブル基板上へのレーザ直接描画と温度センサ作製
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝, 田之口 睦, 近藤 幸成
2. 発表標題 Cu20ナノ粒子のフェムト秒レーザ還元描画における波長の影響
3. 学会等名 電気学会「光・量子デバイス研究会」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 溝尻 瑞枝
2. 発表標題 レーザ微細加工技術とフレキシブルデバイス作製への応用
3. 学会等名 平成30年度新市場の開拓に向けたフレキシブルデバイス技術最前線」セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri and Seiichi Hata
2. 発表標題 Direct writing of three-dimensional Cu-based sensors using femtosecond laser reduction of CuO nanoparticles
3. 学会等名 Photonics West 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri, Seiichi Hata
2. 発表標題 Femtosecond laser direct writing of Cu-based fine patterns using Cu ₂ O nanospheres
3. 学会等名 Photonics West 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri and Seiichi Hata
2. 発表標題 P- and n-type thermoelectric micropatterns fabricated by femtosecond laser reduction of CuO/NiO nanoparticles
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2018) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri, Seiichi Hata
2. 発表標題 Cu micropatterning using femtosecond laser reduction of Cu ₂ O nanospheres
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2018) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝, 秦誠一
2. 発表標題 CuO/NiO 混合ナノ粒子のフェムト秒レーザー還元を用いたpn 熱電対の選択描画
3. 学会等名 第8回マイクロ ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 近藤幸成, 溝尻瑞枝, 秦誠一
2. 発表標題 Cu2O ナノ粒子還元を利用した導電性Cu 微細パターンの直接描画
3. 学会等名 第88回レーザー加工学会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝, 秦誠一
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いたCu の3D 微細積層造形と応用
3. 学会等名 第3回日本機械学会イノベーション講演会 (iJSME2017) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝, 秦誠一
2. 発表標題 CuO/NiO ナノ粒子を用いたポリマー基板上への熱電対のレーザー還元描画
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元直接描画法を用いた機能性材料の選択描画とデバイス応用
3. 学会等名 平成29年度年度第1回多元技術融合光プロセス研究交流研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝, 近藤幸成, 秦誠一
2. 発表標題 Cu20ナノ粒子還元によるCu微細パターンのフェムト秒レーザー直接描画
3. 学会等名 電気学会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 2017年

1. 発表者名 溝尻瑞枝
2. 発表標題 フェムト秒レーザー還元を用いた3次元金属/半導体微細構造の直接描画プロセスの研究
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukinari Kondo, Mizue Mizoshiri, Junpei Sakurai, Seiichi Hata
2. 発表標題 Cu-based micropatterning using femtosecond laser reduction of copper nitrate in a polymer
3. 学会等名 The Second Smart Laser Processing Conference 2016(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 近藤幸成, 溝尻瑞枝, 櫻井淳平, 秦誠一
2. 発表標題 フェムト秒レーザーによる硝酸銅()溶液の微細還元パターンニング
3. 学会等名 第85回レーザー加工学会講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri, Junpei Sakurai, Seiichi Hata
2. 発表標題 Direct-writing of Cu-Ni micropatterns using femtosecond laser reduction of CuO/NiO nanoparticles
3. 学会等名 10th International Conference on Photoexcited Processes and Applications (ICPEPA-10) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mizue Mizoshiri
2. 発表標題 Fabrication of microdevices using femtosecond laser reductive sintering of metal oxide nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT16) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 溝尻瑞枝	4. 発行年 2017年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 523
3. 書名 プリントドエレクトロニクスに向けた材料, プロセス技術の開発と最新事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>長岡技術科学大学 研究者詳細 http://souran.nagaokaut.ac.jp/view?l=ja&u=100000761&i=j31&sm=name&sl=ja&sp=1 長岡技術科学大学 マイクロ・ナノプロセス応用研究室 https://mcweb.nagaokaut.ac.jp/~mizoshiri/</p>
--

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
研究協力者	大石 知司 (Ohishi Tomoji)		