

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01240

研究課題名(和文) 超微細金属素子の効率的製造技術の確立とその光機能デバイス開発への応用

研究課題名(英文) Development of efficient manufacturing process of nano/micro metal resonators and application for development of optical functional devices

研究代表者

吉野 雅彦 (Yoshino, Masahiko)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：40201032

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、機械的加工法である微細塑性加工および微細切削加工によりサブ μm サイズの微細構造を有する金型を加工し、その金型からホットプレスによりプラスチックモールドを効率的に作製する手法を確立した。さらにトランスファープリンティング法によりそのプラスチックモールドから超微細金属素子を低コストで効率的に製造できることを示した。次いで、微細塑性加工で作製した微細菱形金薄膜構造に生じる光学的機能を明らかにするため、数値解析および実験によりSERS効果を検討した。これにより機械的微細加工技術による光機能デバイス開発の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多様な素材に適用できる機械的加工法による超微細加工特性を明らかにし、加工学に関わる多くの学術的、実用的知見を得た。特に硬脆材料の延性モード切削加工や微細金属接合に関する様々な知見は精密加工技術の発展に寄与すると期待される。またガラスや金属に機械的微細加工を施すことにより光学機能性を創出出来ることを実証した。これらの微細加工技術は一般的な精密加工技術の延長にあるため、比較的少ない投資で導入可能と考えられる。また低コストで安定的に供給される汎用素材から高機能材料や高機能デバイスなど付加価値の高い製品を製造できるため、新たなビジネスモデルの開発や異業種交流に繋がることを期待される。

研究成果の概要(英文)：In this project, we developed nano plastic forming method and micro machining method for machining of molds with sub-micrometer size microstructures, and produced plastic molds by hot pressing using these molds. Then, we demonstrated that ultrafine metallic elements of sub-micrometer size can be fabricated from the plastic mold at high efficiency and low cost by means of the transfer printing method. In addition, we investigated the SERS effect of the micro-rhombic Au thin film structures by numerical analysis and experiments in order to clarify the optical functions of ultrafine metallic structures. Through these studies, we had shown the possibility of nano/micro machining technologies to the development of optical functional devices.

研究分野：加工学

キーワード：微細塑性加工 微細切削加工 微細金型 ホットプレス トランスファープリンティング 金微細構造
光学機能 SERS

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

微細金属素子には現在の医工学、電子工学、光工学、機械工学を劇的に進歩させる様々な用途が期待されている。例えばガラス基板上に配列した金属のナノドットアレイは高感度プラズモニックバイオセンサーやレーザーラマン分光分析の感度を飛躍的に向上させるSERS（Surface Enhanced Raman Spectroscopy）基板に利用でき、また金属の共振素子や微細配線はメタマテリアルに利用できると考えられている。そのため種々の形状の微細金属素子を低コストかつ効率的に製造する技術が求められている。

Siなどの基板にコーティングした金属薄膜を素材としサブ μm サイズの構造を作成する方法としてEBリソグラフィ法が一般に利用されている。しかし工程が複雑、エッチング液などの薬品が必要、設備コストが高いなどの問題がある。工程を簡略化できるナノインプリント法であってもエッチングなどの処理が必要であり、機械的な加工法に比べると実用的な簡便さ、コストの面で劣る。もし自動車部品の製造等に利用されている機械的加工技術、すなわち塑性加工や切削加工、によりサブ μm サイズの微細構造を自在に加工出来れば、EBリソグラフィ法に伴う煩雑な作業が省略でき、高効率化・低コスト化に有効と考えられる。このような機械的加工技術に基づいた一連の製造工程を実証し、さらに製造した微細金属素子の光学特性を評価することにより、安価なプラズモニックバイオセンサーやSERS基板など光デバイスの実現に貢献できると期待される。

2. 研究の目的

- ・ 機械的加工技術を利用し、微細金属素子を効率的に製造する技術を開発する。
- ・ 作製した微細金属素子の光学特性を評価し、SERS基板など光機能デバイスへの応用可能性を検討する。

3. 研究の方法

図1に本研究で検討する微細金属構造の基本的な製造工程を示す。機械的加工法により母型を作製する工程、その母型からプラスチック製ナノモールドを作製する工程、ナノモールドから微細金属（Au）素子を直接スタンプする工程に分けられる。真空や化学的処理が必要な工程を極力減らし、総合的な生産性の向上を目指している。

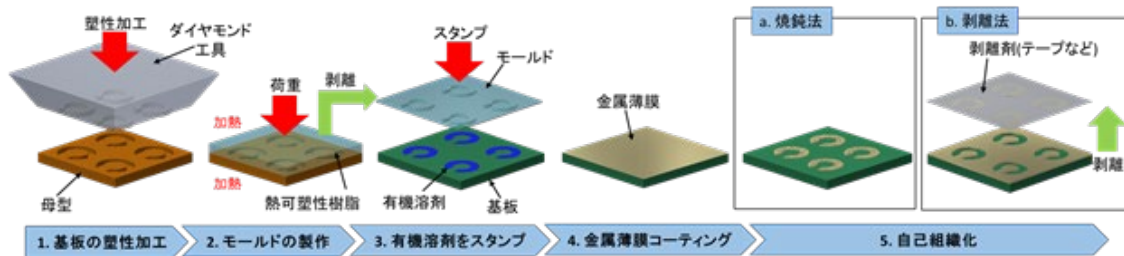


図1 微細金属構造の基本的な製造工程

本製造工程の有効性を実証するために下記の検討を行う。

- ① 母型の製作のため、サブ μm サイズの微細塑性加工法および微細切削加工法を行うにあたり、種々の被加工材の変形特性および影響因子を実験により検討し、これらの機械的加工法の実用的な有効性を検証する。
- ② 作製した母型からホットスタンプ等によりプラスチック素材に形状を転写し、安価なプラスチックモールドを作製する。さらにそのモールドから微細金属素子をスタンプ法により製造する工程を開発する。
- ③ 開発した方法を用いて作製した微細金属素子の光学機能を評価し、バイオセンサーやSERS基板への応用を示す。

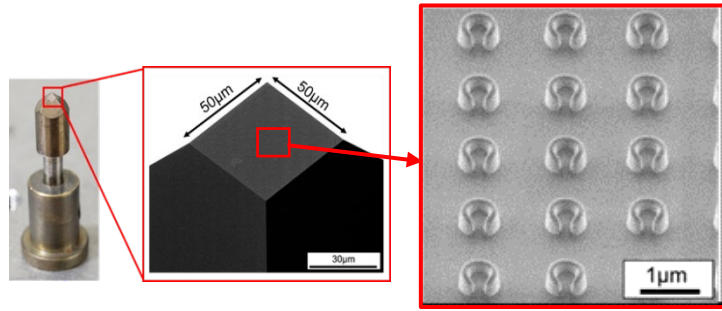
4. 研究成果

4.1 機械的微細加工法による金属微細構造の加工法の開発

図2に実験に用いた微細塑性加工装置を示す。1nmの位置決め分解能を有する超精密ステージによりX-Y-Zステージが構成されており、そこに専用のダイヤモンド工具を取り付け、試験片に工具を押し付けることによりサブ μm レベルの精度で微細形状を成形する。新たに自動工具交換装置を開発し、種々の工具を自動的に交換しながら加工することが可能になった。工具には単結晶ダイヤモンド製のナイフエッジ工具ならびに微細型工具を用いた。微細型工具はダイヤモンド工具端面にFIBでエッチング加工することにより製作した。図3に凸状のC型を有する微細型工具の例を示す。その他種々の形状の微細型工具を作製した。



図2 微細塑性加工装置



(a) 工具の構造

(b) 工具のSEM像

図3 ダイヤモンド型工具の例

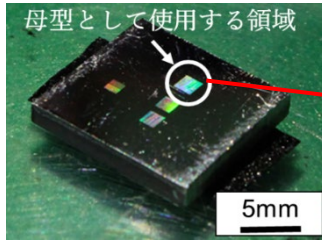


図4 微細塑性加工で製作した母型

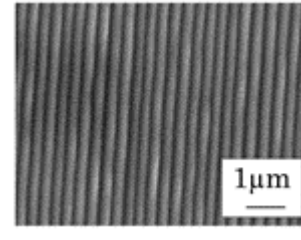
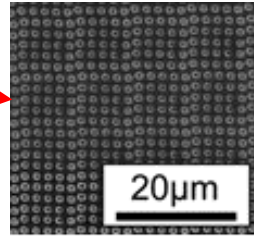


図5 微細切削で加工した微細溝列

金属の素材を用い、微細塑性加工する場合について、加工荷重や構造間隔など加工条件が変形に及ぼす影響を明らかにした。図4に、微細C型工具を用いて微細塑性加工を行い作製した母型の例を示す。

一方、大面積にサブ μm サイズの微細溝列を効率的に加工するために微細切削加工法を用いる方法を検討した。本実験に用いた微細切削加工実験装置は微細塑性加工装置と同様に超精密ステージで構成されており、切削力測定のための動力計を備えている。被加工材として金型鋼にメッキしたNi-P膜を用い、その微細切削特性を明らかにした。図5に溝間隔300nmの微細溝列の加工例を示す。

またガラスなどの硬脆材料は硬度や耐摩耗性の点で母型材料として優れているので、3種類の硬脆材料（石英ガラス、ソーダガラス、サファイヤ）について、微細切削加工の延性モード加工にて母型を製作する方法を検討した。延性モード切削における力学的特性は基本的な切削理論で説明できること、しかし臨界切削厚さについては、図6に示すようにすくい角が負になるほど臨界切削厚さが減少するという従来の知見と逆の傾向を示すなど特徴的な結果が得られた。この原理の解明については更なる検討が必要であるが、延性モードにおける切削加工特性はほぼ明らかにできた。

これらの結果に基づき、微細塑性加工および微細切削加工によりサブ μm サイズの構造を有する微細金型を作製出来ることが実証でき、また具体的な加工技術を確立できた。

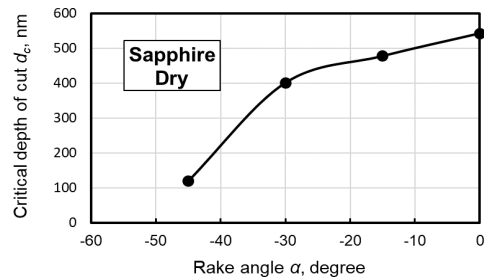


図6 すくい角に対する臨界切削厚さの変化

4.2 スタンプ法による微細金属素子の製造法の検討

微細加工した金型を母型とし、ホットプレス法によりその形状を転写したプラスチックモールドの製作法を検討した。COPやPMMAなどのいくつかのプラスチック材料について条件を最適化し、種々のプラスチック製モールドを短時間で作製できる。図7にホットプレス法により作製したプラスチックモールド (COP) の例を示す。

次いでこのプラスチックモールドをスタンプとして用い微細金属素子を製造する方法としてナノトランスファー法を検討した。本方法では、プラスチックモールドに金薄膜をスパッターコーティングし、それを別のプラスチック基板に押し付けることによりモールド

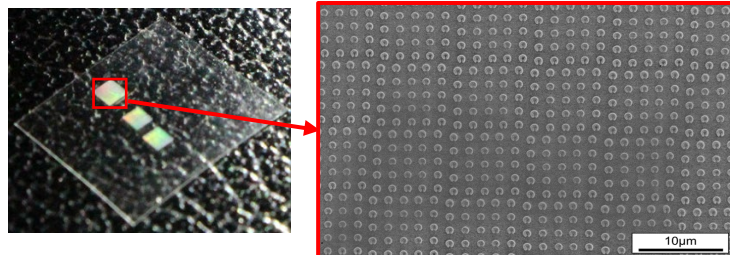


図7 ホットプレスで成形したプラスチックモールド

凸部の金薄膜構造を転移する。図8 (a)にその工程を示すが、プラスチック基板にVUV（真空紫外線）を照射し表面エネルギーを高めることにより基板と金との接合力を増強し、プラスチック

モールドからプラスチック基板に微細金属薄膜を転移する。図 8 (b)に実際に基板上に転移した C 型の金薄膜素子の SEM 像を示す。その他にも、プラスチックモールドで有機溶媒をスタンプし表面エネルギー分布を制御した上に金薄膜をコーティングし、余剰部を剥離するリフトオフ法についても検討した。また図 9 に示すように、基板およびモールドの両方に金薄膜をコーティングし互いに押し付けると金薄膜同志が接合する。その後、基板とモールドを分離すると、表面エネルギーの大きい側に金薄膜が転移する。表面エネルギーを調整しておくことにより基板上の金薄膜の部分的剥離もしくは金薄膜の付加が可能になる。重ねて薄膜を接合していくことにより様々な三次元構造を製作することが出来ると期待される。

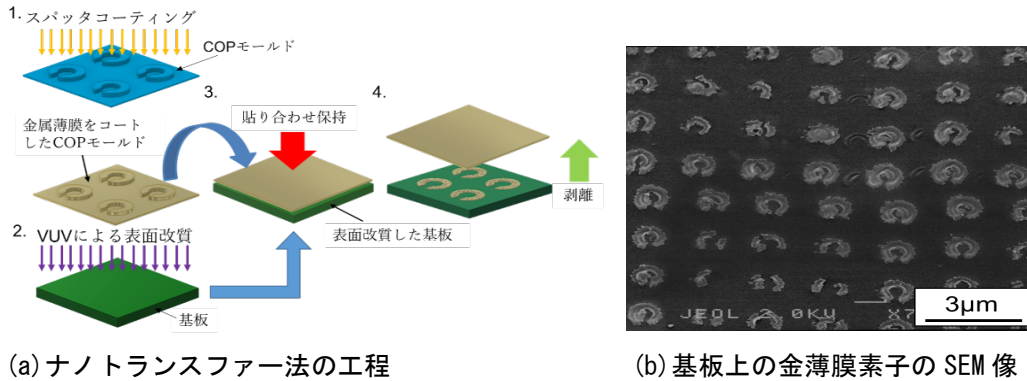


図 8 プラスチックモールドを用いた微細金属薄膜素子の製造法

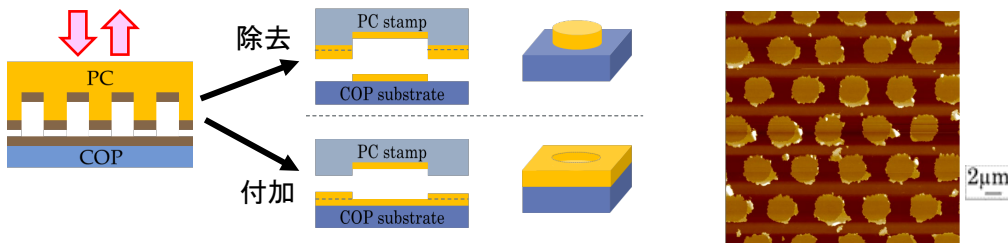


図 9 ナノトランスファー法による金薄膜の除去および付加

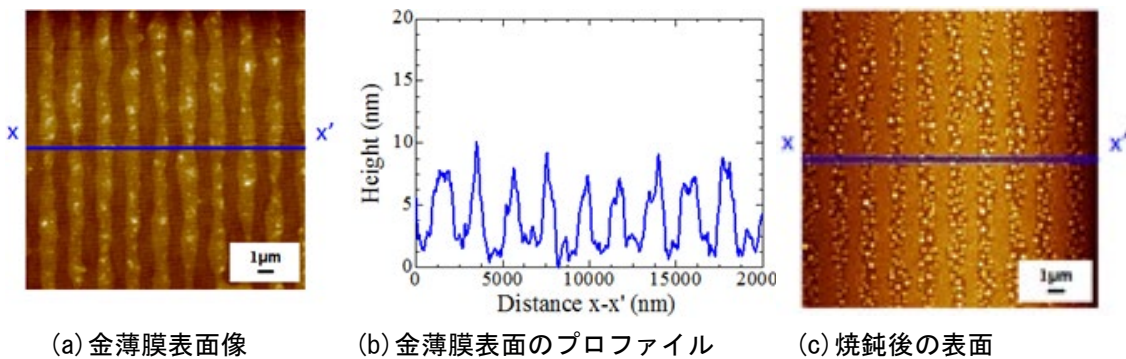


図 10 金コーティング膜および自己組織化形状に及ぼすアセトンスタンプの影響

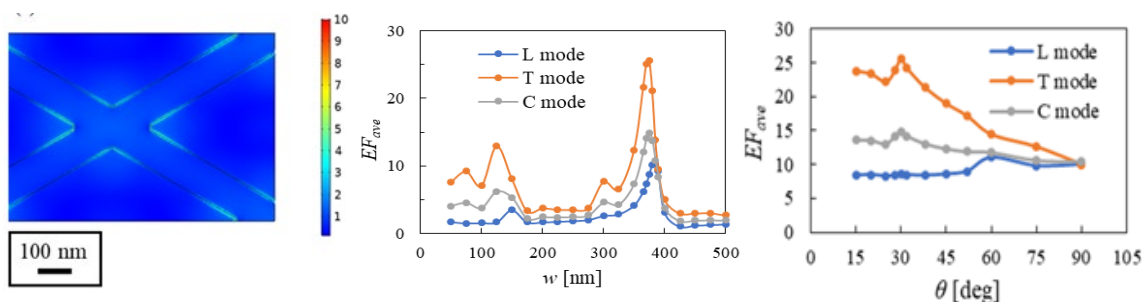
プラスチックモールドを用いた自己組織化法についても検討した。プラスチックモールドに揮発性有機溶剤（アセトン）を塗布し、それを石英ガラス基板にスタンプする。その基板に金薄膜をスパッターコーティングし焼鈍することにより熱デウェッティングを生じさせる。

図 11(a)にこのように成膜した金薄膜の AFM 画像、(b)にその表面形状を示すが、ガラス表面に付着した有機溶剤の分子により表面エネルギーが低下し、金薄膜表面にスタンプと同じ形態のラインアンドスペースの凹凸が生じていることが判る。(c)は 900°Cで 30 分間焼鈍した後の AFM 像であるが、粗い粒子と細かい粒子の帯が出来ており、スタンプ形状を反映した分布となっている。これはアセトンのスタンプにより熱デウェッティングによる自己組織化形状を制御できることを示している。しかし全体的に細かい粒に分離し、それらが連続した金属素子構造を生成するには至らなかった。凝集に及ぼす諸因子の影響についてさらなる検討が必要である。

4.3 光学機能デバイスの開発

超微細塑性加工で作製した微細金属構造の光機能デバイスへの応用可能性を検証するため、微細菱形金薄膜構造の SERS 効果を検討した。微細菱形金薄膜構造にレーザー光が入射したときに構造周辺に誘起される電磁場分布を COMSOL Multiphysics の RF モジュールを用いた FEM 解析を行った。図 11(a)に解析より得られた電場強度分布の例を示す。菱形の頂点に電場が集中して

いることが判る。(b)にラマン強度の増強係数に及ぼす菱形の幅の影響、(c)に菱形の先端角の影響を示す。なおLモードは菱形の長軸方向に一致している偏光、Tモードは短軸方向に一致している偏光、Cモードは円偏光の場合を表している。このように偏光にも依存するが、菱形構造の幅および先端角を調整することにより、ラマン強度を20倍以上増強できることが判る。

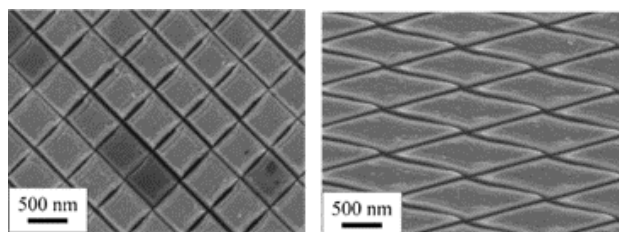


(a) 電場分布 (b) 増幅率に及ぼす幅の影響 (c) 増幅率に及ぼす先端角の影響

図 11 数値解析により求めた菱形金薄膜構造の増強係数

この結果を実験により検討した。石英ガラス基板に金薄膜をスパッターコーティングし、そこにナイフエッジ工具を押付け、菱形の格子溝を加工した。図 11 に作製した微細菱形金薄膜構造の SEM 像を示す。これらの基板に、参照試料としてグリセロールを滴下し、波長 532nm のレーザーを用いてラマンスペクトルを測定した。図 12 に測定したラマンスペクトルの例を示す。微細菱形金薄膜構造のある基板の方が微細構造の無い石英ガラス基板より非常に強いラマンスペクトルが得られている。そこでいくつかの波長におけるラマンスペクトル強度よりラマン増強係数 EF を求めた。

図 14 に菱形の格子幅に対する増強係数 EF の変化および菱形先端角に対する増強係数 EF の変化を示す。格子幅約 400nm の場合、および先端角 30° と 60° の場合に高い増強係数を示していることが判る。数値解析でも類似の特徴が得られており、微細菱形金薄膜構造によりラマンスペクトルが増強され、高感度なラマン分光分析が可能になると考えられる。このように超微細塑性加工により光学機能デバイスである SERS 基板が開発できると考えられる。



(a) $\theta = 90^\circ$ (b) $\theta = 30^\circ$

図 12 微細菱形金薄膜構造の SEM 像

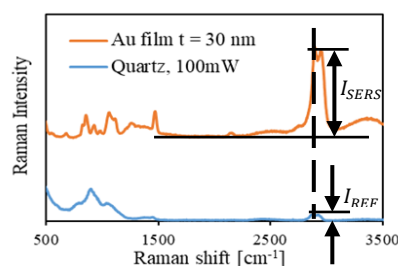


図 13 ラマンスペクトル

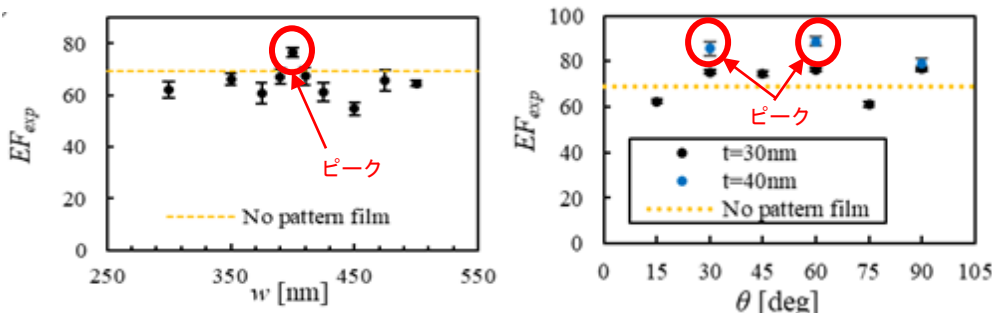


図 14 ラマン増強率に及ぼす微細菱形金薄膜構造の影響

これらの微細加工技術は従来の機械的加工技術の適用範囲を大きく広げるものである。現在、半導体やバイオセンサーなどの機能性デバイスは特別に管理された専用の生産設備にて行なわれているが、本研究成果をさらに発展させることにより、ガラスや金属など汎用的素材を一般の機械加工設備にて超微細加工することにより、新たな機能性材料、機能性デバイスを創出することが可能になる。すなわち自動車部品の加工などを行っている生産設備を使い新規な機能性デバイスの創出も可能になるため、医工連携や新素材開発などに関わる異分野交流や技術的協調が促進され、新たな産業の創出に繋がることが期待される。

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 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masahiko Yoshino, Yusuke Kubota, Yuki Nakagawa, Motoki Terano	4. 巻 10
2. 論文標題 Efficient Fabrication Process of Ordered Metal Nanodot Arrays for Infrared Plasmonic Sensor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	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） 10.3390/mi10060385	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 Hao Shen, Masahiko Yoshino	4. 巻 30
2. 論文標題 Efficient fabrication process for metallic structures of submicrometer size	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	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 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 Abdallah ABDELKAWY, Masahiko YOSHINO, Yuki NAKAGAWA	4. 巻 14
2. 論文標題 EFFECT OF TOOL RAKE ANGLE AND CRYSTAL ORIENTATION ON DUCTILE MODE CUTTING OF HARD/BRITTLE MATERIALS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Autometion Technology	6. 最初と最後の頁 253-259
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 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 Potejana Potejanasak, Truong Duc Phuc, Motoki Terano, Masahiko Yoshino	4. 巻 14
2. 論文標題 CHEMICAL STAMPING-COATING-PEELING PROCESS FOR EFFICIENT FABRICATION OF METALLIC NANO/MICROSTRUCTURES	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Autometion Technology	6. 最初と最後の頁 229-237
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 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 Hao Shen, Yuki Nakagawa, Masahiko Yoshino	4. 巻 30
2. 論文標題 Subtractive transfer printing process for rapid fabrication of Au nano/micro structures on a polymer substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	6. 最初と最後の頁 115006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6439/aba5dc	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21件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Chang Ye, Yuki Nakagawa, Takatoki Yamamoto, Masahiko Yoshino
2. 発表標題 Development of a Double Layer Metal Nano-structure for the SERS Substrate with NPF and Chemical Etching Process
3. 学会等名 The 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoki Terano, Masahiko Yoshino, Yousuke Iwasa, Shintaro Chimura, Naoki Okada, Hikari Ikeda
2. 発表標題 Investigation of Fabrication Method for Micro/Nano Structure of Au Using Oily Ink Stamping
3. 学会等名 The 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青柳 友之, 中川 佑貴, 吉野 雅彦
2. 発表標題 微細エンボス加工による金属薄膜の加工特性の検討
3. 学会等名 日本機械学会、第13回生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田 雄介, 吉野 雅彦, 中川 佑貴
2. 発表標題 超微細塑性加工と焼鈍を組み合わせた微細金属構造の作製と光機能デバイスへの応用
3. 学会等名 日本機械学会、第13回生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiko Yoshino, Potejana Potejanasak, Duc Phuc Truong, Motoki Terano
2. 発表標題 Efficient Fabrication Method Of Metallic Nano/Micro Structures For Nano Devices
3. 学会等名 Integrity/Reliability/Failure in automotive, locomotive, aerospace, civil engineering and biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hao Shen, Masahiko Yoshino, Motoki Terano
2. 発表標題 Development of efficient fabrication process of metallic nanostructures for optical functional surfaces
3. 学会等名 ICPE2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki AOYAGI, Masahiko YOSHINO, Motoki TERANO, S. Aravindan, P.V. Rao
2. 発表標題 Nano embossing for efficient fabrication of metallic nano structured elements
3. 学会等名 ICPE2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田光輝, 岡田直樹, 寺野元規, 吉野雅彦
2. 発表標題 超微細ライン&スペースモールド作製法の検討
3. 学会等名 日本金属学会・日本鉄鋼協会 中国四国支部 第40回「若手フォーラム」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hao Shen, Masahiko Yoshino
2. 発表標題 Efficient Fabrication Process for Metallic Nanograting Combining Nanomachining and Cold Welding
3. 学会等名 2018年精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青柳友之, S.Aravindan, 寺野元規, 吉野 雅彦
2. 発表標題 エンボス加工による微細金属素子の作製
3. 学会等名 平成30年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉野 雅彦, Potejana Potejanasak, Truong Duc Phuc, 寺野 元規
2. 発表標題 ケミカルスタンプによる金属膜微細構造の作製
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 吉野 雅彦, Abdallah Abdelfattah Mohamed Abdelkawy
2. 発表標題 硬脆材料の微細切削機構に及ぼす工具すくい角の影響
3. 学会等名 第12回生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神藤 亮平, 吉野 雅彦, 寺野 元規
2. 発表標題 超微細押込み加工による金属材料の加工特性
3. 学会等名 塑性加工連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 219)岩佐洋祐, 寺野元規, 吉野雅彦
2. 発表標題 油性インクを用いた金微細構造作製法の検討
3. 学会等名 日本機械学会中国四国学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hao Shen, Masahiko Yoshino, Motoki Terano
2. 発表標題 Development of efficient fabrication process of metallic nanostructures for optical functional surfaces
3. 学会等名 ICPE2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoyuki AOYAGI, Masahiko YOSHINO, Motoki TERANO, S. Aravindan, P.V. Rao
2. 発表標題 Nano embossing for efficient fabrication of metallic nano structured elements
3. 学会等名 ICPE2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神藤亮平、寺野元規、吉野雅彦
2. 発表標題 サブ μm サイズの微細C型凸形状のホットエンボス加工
3. 学会等名 2017年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hao Shen, Masahiko Yoshino
2. 発表標題 Efficient Fabrication Process for Metallic Nanograting Combining Nanomachining and Cold Welding
3. 学会等名 2018年精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Kubota, Yuki Nakagawa, Takatoki Yamamoto, Tadaaki Nagao and Masahiko Yoshino
2. 発表標題 Development of new type of SERS substrate fabricated by NPF method
3. 学会等名 18th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉野 雅彦、青柳 友之、中川 佑貴
2. 発表標題 微細エンボス加工による微細金属素子の作製法
3. 学会等名 日本機械学会2020 年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshino Masahiko, Shen Hao, Yuki Nakagawa, Abdallah Abdelkawy
2. 発表標題 CUTTING CHARACTERISTICS OF HARD-BRITTLE MATERIALS UNDER NANO/MICRO GROOVE CUTTING USING A V-SHAPE TOOL
3. 学会等名 Leading Edge Manufacturing/Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2020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	松村 隆 (Matsumura Takashi) (20199855)	東京電機大学・工学部・教授 (32657)	
研究 分担者	長尾 忠昭 (Nagao Tadaaki) (40267456)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・MANA主任研究者 (82108)	
研究 分担者	山中 晃徳 (Yamanaka Akinori) (50542198)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (12605)	

6. 研究組織（つづき）

	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	梅原 徳次 (Umehara Noritsugu) (70203586)	名古屋大学・工学研究科・教授 (13901)	
研究分担者	寺野 元規 (Terano Motoki) (90708554)	岡山理科大学・工学部・講師 (35302)	

	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
連携研究者	山本 貴富喜 (Yamamoto Takatoki) (20322688)	東京工業大学・工学院・准教授 (12608)	

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