

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02214

研究課題名（和文）複合マイクロ粒子機能構造体生産のための局在光制御セルインマイクロファクトリの開発

研究課題名（英文）Development of localized light-controlled cell-in-microfactories for the production of composite microparticle functional structures

研究代表者

高橋 哲（Takahashi, Satoru）

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：30283724

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,400,000 円

研究成果の概要（和文）：光エネルギーが本来有している遠隔制御性・並列処理性・多重情報伝搬性と対象物体との相互作用で局在生成される近接場フォトンの能動的・受動的応答を利用して、数マイクロメートル程度の精密機能部品・デバイスを自律的に製造可能な数mm～数10mmスケールの超小型工場（セルインマイクロファクトリ）コンセプトの実現を目指す。具体的には化学的アプローチでは困難な多種マイクロ粒子複合による多機能マイクロデバイス（複合マイクロ粒子機能構造体）生産を実現する動的局在光場並列制御型セルインマイクロファクトリの開発を目的とする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日、スマートフォンに代表される最先端デバイスでは、10nm以下の微細構造を制御したものづくりがなされている。一方で、製品自体は、人が把持できるサイズのものに限定されている。本研究は、次世代においてその存在が期待されている、人が把持できないような新概念微細機能製品を創出するために不可欠な要素技術開発の意義を有する。すなわち、本研究の成果は、歴史的に、道具（工業製品）は人が把持できることが前提となっている概念自体の変革を促すものであり、全く新しい製品群概念を導出する点で、学術的に及ばず社会科学的に極めて大きな意義を有するものである。

研究成果の概要（英文）：By utilizing the inherent remote-control, parallel processing, and multiple information propagation properties of light energy and the active and passive responses of near-field photons generated locally by the interaction with the target object, we are aiming to develop a cell-in-micro-factory concept on a scale of several micrometers to several tens of millimeters that can autonomously produce precision functional components and devices. Specifically, we develop a dynamically localized light-field parallel-controlled cell-in-micro-factory for the production of multifunctional microdevices (composite microparticulate functional structures) based on multiple microparticle composites, which is difficult to achieve using chemical approaches.

研究分野：光応用ナノ加工計測

キーワード：マイクロファクトリ セルインマイクロファクトリ ナノマイクロ加工

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

精密機械は部品の小型化・高集積化が進み、それに伴って生産・製造システムは巨大化している。その結果、製品サイズと生産システムサイズの乖離がますます増大している。このような背景の中、省エネルギー・省スペースの観点、そして多品種少量生産に適した小型化生産システム（マイクロファクトリ）が注目を浴びている[1]。

本研究は、上述のマイクロファクトリのコンセプトに基づき、数ミリメートル程度の微小セルを工場と見立て、その中で部品となる機能性マイクロ粒子の搬送・加工・アセンブリを行うことで多機能マイクロビーズデバイスを生産するセルインマイクロファクトリを提案する。特にマイクロ粒子のハンドリングや加工時に必要となる供給エネルギー種として、遠隔制御性、並列制御性、高速制御性に優れた光エネルギーを主に適用することを想定し、伝搬光収束による空間的局在や微小物体間で相互作用する近接場光を積極的に利用する。これにより、従来の工場コンセプトでは製造不可能だった、人が把持不可能な多機能マイクロデバイスである、複合マイクロ粒子機能構造体の生産を目指す（図1）ものである。

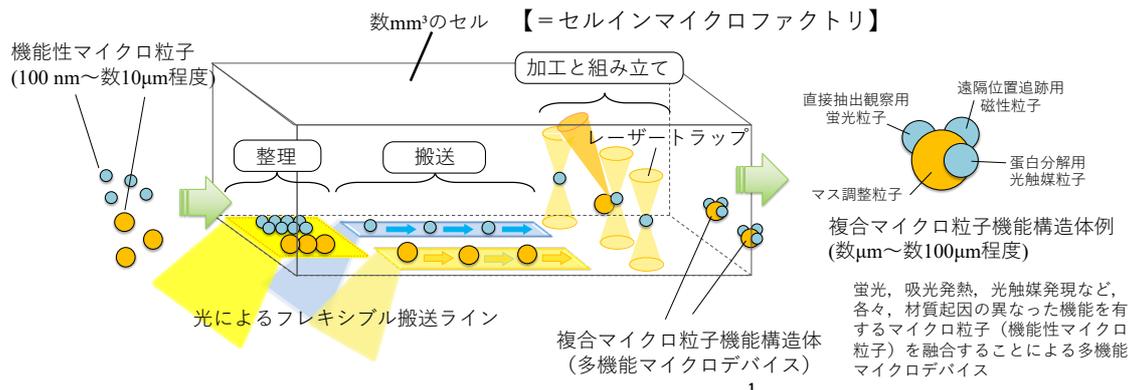


図1 複合マイクロ粒子機能構造体生産のための局在光制御セルインマイクロファクトリの概念図

2. 研究の目的

1章の背景のもと、本研究では、まず、提案マイクロファクトリを実現するための各種要素技術開発を行う。そして提案マイクロファクトリ実証基本システムを開発するとともに、実際に複合マイクロ粒子機能構造体の創出を試みることで、提案コンセプトの有効性について総括する。

3. 研究の方法

2章の目的を達成するために実施した要素技術開発のうち、ここでは、提案コンセプト実現の上で特に重要な位置付けを有する二要素技術課題（100 nm 粒子の新しい位置計測法の開発、光によるフレキシブル部品搬送ラインの開発）をピックアップして、方法詳細を記述する。

(1) 100 nm 粒子の高感度位置計測法の開発

① 手法の提案

提案マイクロファクトリを実現するためには、部品アセンブリの際に、対象部品の位置を正確に検知する必要がある。ここでは、特に位置計測が困難とされる、対象部品のなかでも特に微細な100 nm マイクロ粒子を対象とし、従来ナノ粒子位置計測手法である後側焦点面干渉法の高精度化を試みた。一般的な後側焦点面干渉法による粒子の変位計測[2]の基本原理を図2(a)に示す。レーザー集光点における光軸からの相対変位を、後側焦点面における強度分布（ナノ粒子からの散乱光とベースのレーザー光の干渉分布に相当）をモニターすることで算出する。本申請研究においては、この従来型後側焦点面干渉法の高感度化技術の開発を行った。従来は、図2(b)左に示すように、後側焦点面における強度分布において、QPDの上半分(S₊)と下半分(S₋)に入射する光量差に対し総受光量で規格化した(S₋+S₋)/(S₊₊S₋)により相対変位算出がなされる。これに対し、提案手法（図2(b)右）は、干渉可視度の関係でガウシアン中心部においては変位応答の影響が少ないことに着目し、該当領域にハード的な光学マスク遮蔽を施すことで、変位応答の高感度化を目指した[3]。

② 検証実験装置

提案した高感度化後側焦点面干渉法の実証実験システム（図3）を開発した。レーザーは波長642 nmの半導体レーザーを用い、安定性、集光時の波面などが測定精度に影響するため光ファイバを通し、対物レンズの入射瞳に合うようにf=50 mmの平凸レンズでコリメートした。また、対物レンズの後側焦点面とQPD、マスク走査面が共役になるようにf=40, 60 mmのリレーレンズ系を構築した。マスクは外側の迷光を虹彩絞りで、中央部遮光マスクとしては、印刷したOHPフィルム（黒色：透過率5%，透明：透過率88%）を用いた。

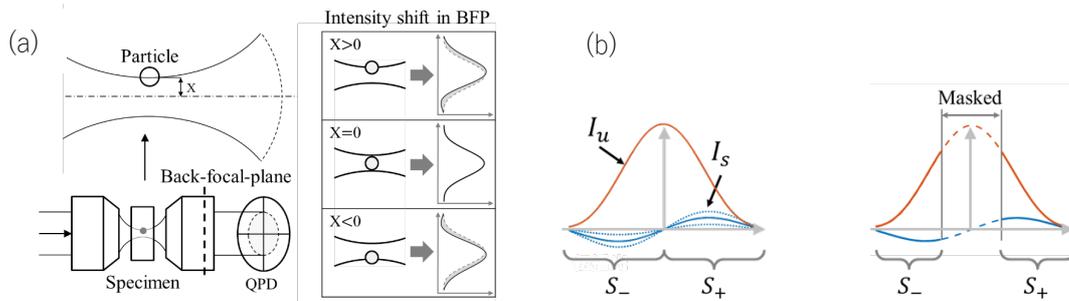


図2 後側焦点面干渉法 (a) 基本原理 (b) 左：従来手法, 右：新開発高精度化手法

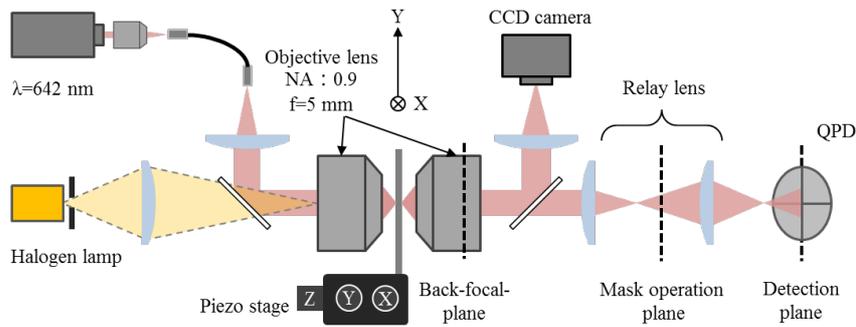


図3 高感度後側焦点面干渉法実証システム

(2) 界面近接光波を用いたフレキシブル部品搬送ラインの開発

① 手法の提案および検証実験装置

光が物体に及ぼす力学的作用は光放射圧として知られており、レーザートラップなど微小粒子を対象にした技術に幅広く利用されている[4-6]。この原理を応用し、集光したレーザーを粒子の存在する液相界面の近接領域に局在させることで粒子をレーザーの伝搬方向に沿って駆動することが可能となり、先述したマイクロ粒子の整理・搬送システムへの適用が期待できる。図4に界面近接光波を用いたフレキシブル部品搬送ラインの概念図[7]および検証実験システムを示す。高屈折率基板から臨界角付近で集光して入射することでレーザーが界面を通り抜け伝搬光として基板に沿って伝わる。透過したレーザーが集光後の拡散により強度が減衰することに加え粒子自身の重力も働くため、界面近接光波の生成条件を適切に設定することでマイクロ粒子の搬送を行う。本手法の特徴として、界面近傍の粒子を選択的に駆動する手法でありながら、伝搬光を用いることによって、基板上面内の2次元駆動だけでなく基板から数 $10\mu\text{m}$ 離れた領域においても駆動を行うことが期待(三次元フレキシブルライン)されること、粒径の大きなものなど、より多様な粒子を搬送システムの対象に含められる可能性があること、などが挙げられる。

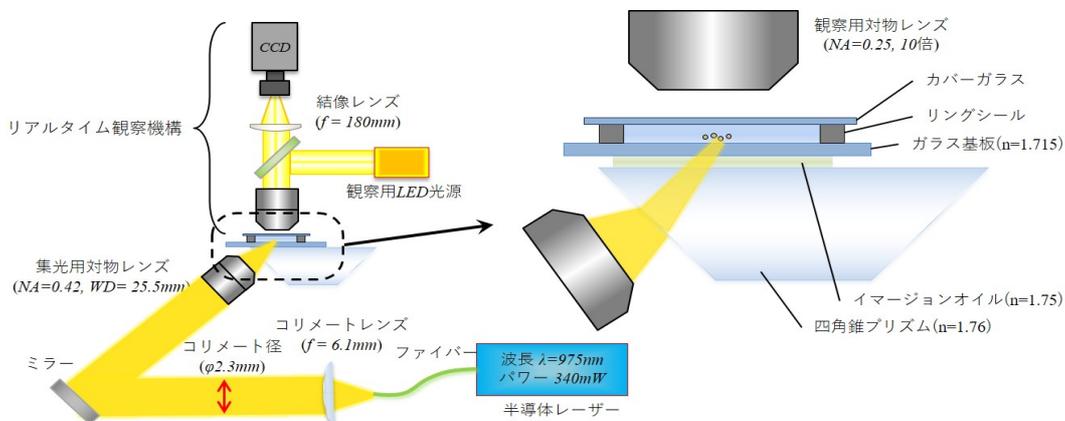


図4 界面近接光波を用いたフレキシブル部品搬送ライン構築実験装置

4. 研究成果

(1) 100 nm 粒子の高感度位置計測法の開発

図3に示した実験装置を用いて、高感度化検証実験を行った。図5に結果の一例として、粒径 90 nm の酸化チタンナノ粒子の相対変位検出実験を示す。中央部遮光マスクとしては、直径 2 mm のものを用いた。X方向変位感度は 1.9 倍に、Y方向変位感度は 2.3 倍に向上し、おおよそ 2 倍

の感度向上を実現できた。これによりマイクロファクトリ内において、アセンブリプロセスの際の集光レーザートラップにおいて、従来、トラップミスも生じていた微細粒子に対して、確実にトラップ領域 (± 200 nm 以下) に位置特定を実現できることを示した。

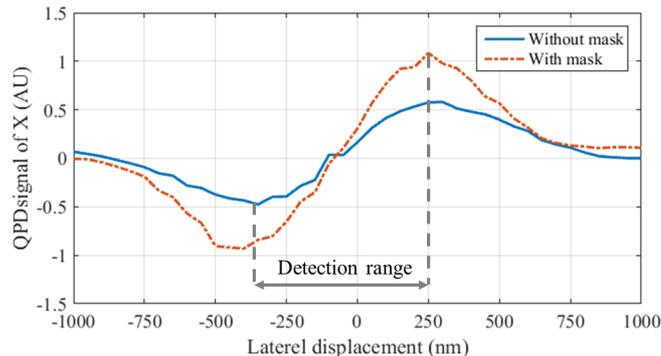


図5 提案ナノ粒子位置検出法による感度向上

(2) 界面近接光波を用いたフレキシブル部品搬送ラインの開発

① 実験結果

図4に示した実験装置を用いて、フレキシブル部品搬送ライン構築検証実験を行った。図6は、実験結果の一例として、粒径 $3\mu\text{m}$ のシリカ粒子を 1.0 mg/ml の濃度で分散させた懸濁液を封じたセルを作成し、(プリズム入射時のパワーが 130 mW の) レーザーを5秒間照射した時のガラス基板上粒子挙動の様子を示したものである。赤い点線で囲った領域に近赤外フィルターでカットしたレーザーが照射されている。観察結果から、粒子が順に自律的に一列に並んだ状態でレーザーの伝搬方向に数 $10\mu\text{m/s}$ 程度で移動する部品搬送ラインを形成することが確認された。また、粒子が移動しながら基板から徐々に浮いており、基板から最大 $80\mu\text{m}$ 程度まで浮いた後数秒かけて自重で基板に戻り降ってくる様子も観察された。これにより、粒子サイズ、質量などの粒子特性に基づいた、自動弁別の可能性ならびに、照射ビーム位置制御による三次元フレキシブルライン形成の可能性を確認することができた。

② 想定していなかった新たな知見の創出

上述の実験において、形成されたフレキシブルライン粒子搬送列において、外乱により、粒子ずれが発生しても、そこでラインが破綻するわけではなく、そのずれを追いかけるように、下流粒子が追従し、その後、外乱前のラインに順に戻っていく、自動修復現象が観察された。図7のFDTD法による近接電磁場解析から、自動修復メカニズムを明らかにした。

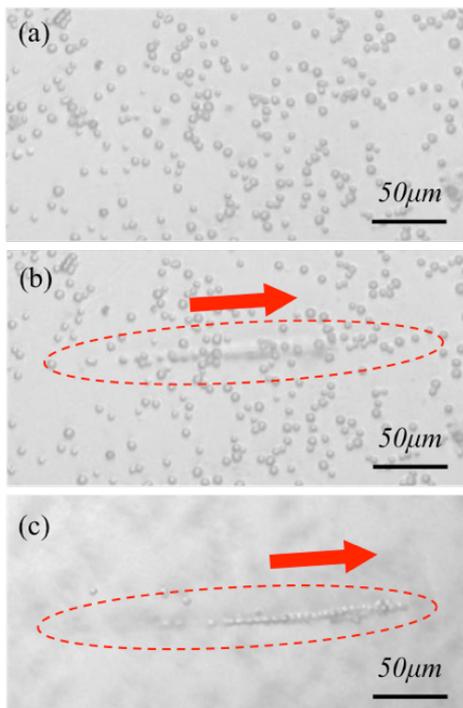


図6 界面近接光波によるフレキシブル部品搬送ライン実証実験

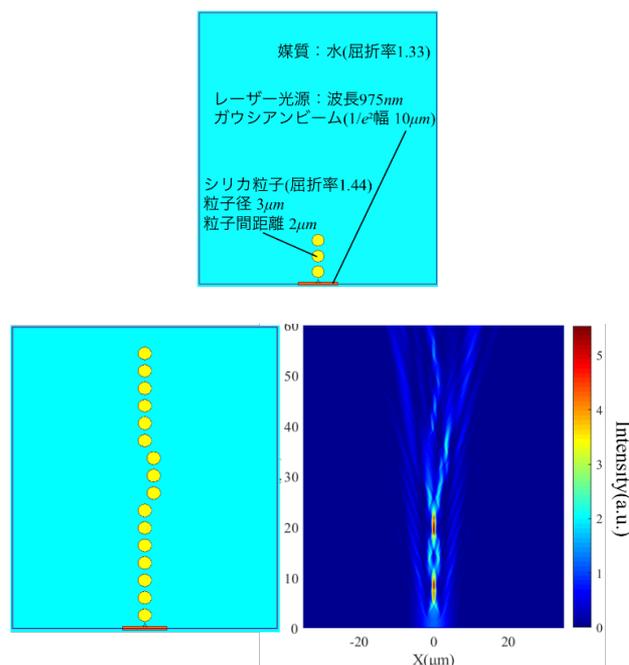


図7 外乱による部品ずれ発生時のライン自動修復現象メカニズムのFDTD解析(ずれた粒子の直後にトラップポテンシャルが生じるが、順に本来の光制御中心に整列していく)

(3) 複合マイクロ粒子構造体製造実験

最後に、開発した提案マイクロファクトリ実証基本システムを用いて、実際に複合マイクロ粒子構造体の生産を試みた。図8に開発したマイクロファクトリシステムを示す。マイクロビーズをトラップするための波長 642 nm の半導体レーザと粒子間バインド励起用の波長 405 nm 半導体レーザを適用し、創製の様子を無限遠補正型顕微システムで拡大光学インプロセス観察が可能な構成となっている。

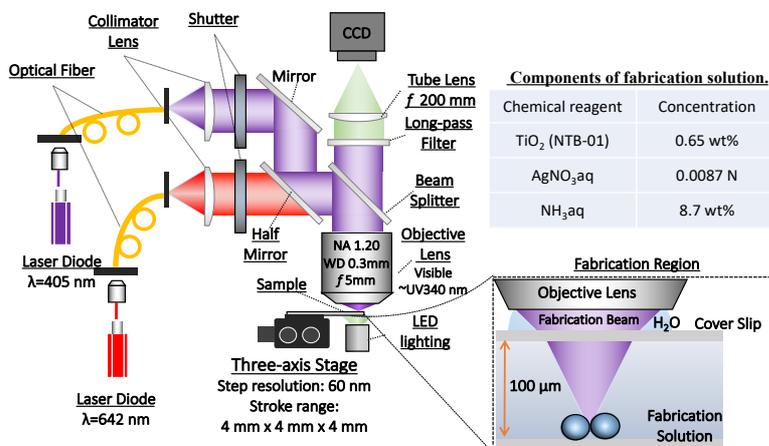


図8 局在光制御によるマイクロファクトリ実証基本システム

図8の開発システムにより複合マイクロ粒子構造体の生産に成功した。図9に一体化構造創出過程をインプロセス顕微観察したものを示す。集光レーザトラップにより、複数の粒径 5 μm の熱硬化樹脂球状微粒子（エポスター、屈折率 1.66）の位置を制御し、粒径 10 μm のシリカ粒子（ハイプレシカ、屈折率 1.52）に近接させた。その後、シリカ粒子の所望位置にレーザーバインド法で接着した。接着後の集光レーザトラップ時の挙動から、4つの異なったマイクロ粒子が複合マイクロ粒子構造体として一体化できたことを確認した。

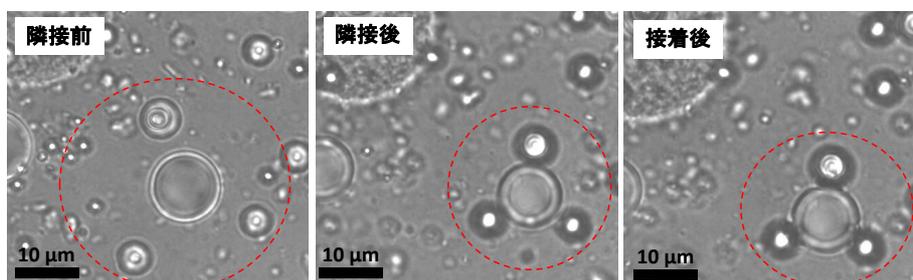


図9 開発セルインマイクロファクトリによる複合マイクロ粒子構造体の生産実証実験

以上、(1)-(3)で記載したように、各種要素技術開発ならびに、物理メカニズム解析、複合マイクロ粒子構造体生産実験を通して、目的としていた、複合マイクロ粒子機能構造体を生産可能な局在光制御セルインマイクロファクトリの実現が可能であることを実証した。

<引用文献>

- [1] Yuichi Okazaki, et al. ,” Microfactory-Concept, History, and Developments” , Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol.126, 2004, p.p.837-844.
- [2] F. Gittes et al. “Interference model for back-focal-plane displacement detection in optical tweezers,” Opt. Lett., vol. 23, no. 1, pp. 7-9, 1998.
- [3] 増井他：光触媒ナノ工具に関する基礎的研究（第9報）—ナノ粒子位置同定法の検討—，2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，2016，1007-1008.
- [4] A. Ashkin. ” Acceleration and trapping of particles by radiation pressure” , Phys. Rev.Lett. 25, 1970, 156.
- [5] S. Kawata, and T. Sugiura. ” Movement of micrometer-sized particles in the evanescent field of a laser beam” , Opt. Lett. 17, 1992, 772-774.
- [6] S. Nam, N. Umeda, and A. Takayanagi. ” Position Control of Micrometer-Sized Particle with Evanescent Photon Force” , Proc. SPIE Vol.4456, 2001, 1-7.
- [7] 古谷他：局在光制御によるセルインマイクロファクトリに関する基礎的研究—界面近接光波の任意制御によるマイクロ粒子整理・搬送システムの検討—，2018年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，861-862.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Suzuki Yuki, Tahara Hiroyuki, Michihata Masaki, Takamasu Kiyoshi, Takahashi Satoru	4. 巻 42
2. 論文標題 Evanescent Light Exposing System under Nitrogen Purge for Nano-Stereolithography	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 77 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.192	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 Ye Shiwei, Takahashi Satoru, Michihata Masaki, Takamasu Kiyoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Modified Linnik microscopic interferometry for quantitative depth evaluation of diffraction-limited microgroove	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 054011 ~ 054011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1361-6501/aab008	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 Kong Deqing, Michihata Masaki, Takamasu Kiyoshi, Takahashi Satoru	4. 巻 1
2. 論文標題 In-Process Measurement of Thickness of Cured Resin in Evanescent-Wave-Based Nano-stereolithography Using Critical Angle Reflection	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanomanufacturing and Metrology	6. 最初と最後の頁 112 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s41871-018-0013-z	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 Suzuki Yuki, Suzuki Kunikazu, Michihata Masaki, Takamasu Kiyoshi, Takahashi Satoru	4. 巻 54
2. 論文標題 One-shot stereolithography for biomimetic micro hemisphere covered with relief structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 353 ~ 360
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2018.07.004	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 Kong Deqing、Michihata Masaki、Takamasu Kiyoshi、Takahashi Satoshi	4. 巻 31
2. 論文標題 In-process Measurement of Gradient Boundary of Resin in Evanescent-wave-based Nano-stereolithography using Reflection Interference Near Critical Angle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 441 ~ 446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2494/photopolymer.31.441	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 Takahashi S.、Kong D.、Michihata M.、Takamasu K.	4. 巻 68
2. 論文標題 In-process measurement for cure depth control of nano stereolithography using evanescent light	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 527 ~ 530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.072	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 Masui Shuzo、Torii Yuki、Michihata Masaki、Takamasu Kiyoshi、Takahashi Satoru	4. 巻 27
2. 論文標題 Fabrication of nano/micro dual-periodic structures by multi-beam evanescent wave interference lithography using spatial beats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 31522 ~ 31522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OE.27.031522	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33件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Satoru Takahashi
2. 発表標題 New Developments for Next-generation Precision Engineering Opened with Localized Light Energy Control
3. 学会等名 ASPEN2017, 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuzo Masui, Yuki Suzuki, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, Satoru Takahashi
2. 発表標題 Thoretical Analysis of Multi-Beam Interference Lithography Combining Evanescent and Propagation Light
3. 学会等名 ASPEN2017, 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoru Takahashi
2. 発表標題 New Developments on Micro/nano Manufacturing Science based on Evanescent Light
3. 学会等名 IMCC2017 (17th International Manufacturing Conference in China) & ICMT2017 (6th International Conference of Manufacturing Technology Engineers (招待講演) (国際学会))
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古谷成康, 増井周造, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 局在光制御によるセルインマイクロファクトリに関する基礎的研究 (第3報) - FDTD法によるマイクロ粒子の整理駆動現象の解明 -
3. 学会等名 2018 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 函館, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古谷成康, 増井周造, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 局在光制御によるセルインマイクロファクトリに関する基礎的研究 (第2報) - 界面近接光波の任意制御によるマイクロ粒子整理・搬送システムの検討 -
3. 学会等名 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会, 中央大学, 2018, P33
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Seiko Furuya, Shuzo Masui, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, Satoru Takahashi
2. 発表標題 Basic Study on Cell-in-Microfactory System with Localized Light Control
3. 学会等名 17th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増井周造, 堀田陽亮, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 後側焦点面干渉法を用いた光触媒ナノ加工粒子変位計測の高感度化
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Takahashi
2. 発表標題 Challenge of Evanescent Light Exposing Micro-Stereolithography
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松本侑己, 鈴木裕貴, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 エバネッセント露光型ナノ光造形法に関する研究 エバネッセント露光用光硬化性樹脂の開発
3. 学会等名 日本機械学会 第11回生産加工・工作機械部門講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shuzo Masui, Yousuke Horita, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, and Satoru Takahashi
2. 発表標題 Theoretical Analysis of Improved Back-Focal-Plane Interferometry for Monitoring Nanoparticle Position
3. 学会等名 ASPE2016 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shuzo Masui, Yousuke Horita, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, and Satoru Takahashi
2. 発表標題 Improved back-focal-plane interferometry for monitoring nanoparticle position
3. 学会等名 International Symposium on Optomechatronic Technology 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shuzo Masui, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, and Satoru Takahashi
2. 発表標題 Highly Sensitive Back-Focal-Plane Interferometry for Tracking Nanoparticle Position
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木裕貴, 松本侑己, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 エバネッセント露光型ナノ光造形法に関する研究(第26報)ー多光束干渉によるミリオーダ領域のサブミクロン表面微細構造創製ー
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本侑己, 鈴木裕貴, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲, 工藤宏人
2. 発表標題 エバネッセント露光型ナノ光造形法に関する研究 (第27報) -エバネッセント光による面内形状制御性の解析-
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀田陽亮・儲 博懐・増井周造・道畑正岐・高増 潔・高橋 哲
2. 発表標題 全方位姿勢制御型光触媒ナノ加工工具に関する研究 (第2報) - 液相内における工具創製の実験的検討 -
3. 学会等名 2016年度精密工学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増井周造・堀田陽亮・道畑正岐・高増 潔・高橋 哲
2. 発表標題 光触媒ナノ加工工具に関する基礎的研究 (第9報) - ナノ粒子位置同定法の検討 -
3. 学会等名 2016年度精密工学会春季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shuzo Masui, Yousuke Horita, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, and Satoru Takahashi
2. 発表標題 Theoretical Analysis of Improved Back-Focal-Plane Interferometry for Monitoring Nanoparticle Position
3. 学会等名 31st Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 堀田陽亮・儲 博懐・道畑正岐・高増 潔・高橋 哲
2. 発表標題 全方位姿勢制御型光触媒ナノ加工工具に関する研究(第1報) - 姿勢制御ユニット創製に関する実験的検討 -
3. 学会等名 2015年度精密工学会秋季学術講演会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yosuke Horita, Shotaro Kadoya, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu and Satoru Takahashi
2. 発表標題 Fundamental study on fabrication of multi-functional micro device based on micro-beads using photocatalytic reaction
3. 学会等名 The 6th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 増井周造・堀田陽亮・道畑正岐・高増 潔・高橋 哲
2. 発表標題 後側焦点面干渉法を用いた光触媒ナノ加工粒子変位計測の高感度化
3. 学会等名 日本機械学会2016年度年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 D. Kong, M. Michihata, K. Takamasu, S. Takahashi
2. 発表標題 In-Process Measurement of Resin's Curing Degree in Micro-Stereolithography Using Internal Reflection at Critical Angle
3. 学会等名 XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryoko Sakuma, Hiromasa Kume, Masaki Michihata, Kiyoshi Takamasu, Satoru Takahashi
2. 発表標題 Investigation of super-resolution microscopy by use of a nano-patterned substrate
3. 学会等名 17th International Conference on Precision Engineering (ICPE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 道畑正岐, 孔徳卿, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 臨界角照明を用いたナノ光造形硬化樹脂のインプロセス計測 (基本原理の検証)
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 藤原和, 増井周造, 道畑正岐, 高増潔, 高橋哲
2. 発表標題 局在光制御によるセルインマイクロファクトリに関する基礎的研究 (第 4 報) 一定在波制御によるマイクロ粒子整列・搬送に関する研究 —
3. 学会等名 2019年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学 先端科学技術研究センター 高橋研究室
<http://www.photon.rcast.u-tokyo.ac.jp/index.html>

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	高増 潔 (Takamasu Kiyoshi) (70154896)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	道畑 正岐 (Michihata Masaki) (70588855)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	