

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01359

研究課題名(和文) ナノ加工技術を用いた機能性流体ECFマイクロ液圧源の高出力パワー密度化

研究課題名(英文) ECF microhydraulic pressure sources with high output power density using nanofabrication technology

研究代表者

金 俊完 (KIM, Joon-wan)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：40401517

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：安価で大量生産が可能であると同時に、世界一の高出力パワー密度を有するマイクロ液圧源を実現するために、直流電圧の印加により電極間に活発な流れが発生する電界共役流体(ECF)の駆動原理とナノ(Nano)加工技術を融合した新たなマイクロポンプを提案した。このマイクロポンプはECF電極対とECFマイクロ流路で構成される。多様なナノ加工技術を用いた ECF電極対の高アスペクト比化と電極先端の鋭利化により、高出力パワー密度を有するとともに、低電圧駆動が可能なマイクロポンプを実現し、マイクロ液圧源としての特性評価を明確にした。また、ソフトアクチュエータなどの具体的な応用研究へ適用し、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ加工技術とECFジェット現象を融合したマイクロ液圧源では、(a) 発生するECFジェットは各要素の微小化に伴い出力エネルギー密度が増加するため、マイクロ化での高出力が期待できる(省エネ)。 (b) ECFジェット発生部である電極対はマイクロ・ナノ構造体であり集積化が可能である(省スペース)。 (c) すべてがバッチプロセスであり、多数のマイクロ液圧源を安価に製作することができる(低コスト)。 (d) ECFジェット発生部は機械的な摺動部・可動部がないため、摩擦と衝撃に強い(耐久性)。この液圧源の実現はマイクロアクチュエータ、マイクロ液体デバイスなどの多様な分野でのブレークスルーが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to realize a micro hydraulic pressure source with the highest output power density in the world as well as low-cost and high-volume production, we proposed a new micropump that combines the driving principle of Electro-Conjugate Fluid (ECF) that generates an active flow between electrodes by applying a DC voltage and nano-fabrication technologies. This micropump consists of a pair of ECF electrodes and an ECF microchannel. By (1) increasing the aspect ratio of the ECF electrodes and (2) sharpening the tip of the electrode using various nano-fabrication technologies, we have realized a micropump that has high output power density and can be driven at low applied voltage. After that, we clarified the characteristics of ECF micro hydraulic power sources. Also, we confirmed the effectiveness by applying developed ECF micropumps to various researches such as soft actuators and microfluidic devices.

研究分野：マイクロメカトロニクス

キーワード：電界共役流体 マイクロポンプ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物理的な性質から、(a)油圧アクチュエータは大きいサイズで高出力パワーが必要とする分野で、(b)電磁アクチュエータなどは広い範囲で汎用として、(c)静電、圧電アクチュエータは高分解、超精密マイクロシステムで使用される。その結果、マイクロサイズで高出力パワーを有するアクチュエータは今までに存在しない。この条件を満たすアクチュエータは、高出力パワーを得意とする油圧アクチュエータのマイクロ化で原理的には実現できるが、機械的な摺動部・駆動部があるオイルポンプの小形化が困難なことから、その実現は簡易ではない。Smits らが 1980 年代に始めて MEMS 技術を用いたマイクロポンプを発表して以来、300 件以上のマイクロポンプに関する論文が報告されたものの、高パワーマイクロアクチュエータの駆動源(液圧源)となるマイクロポンプは存在しない。これは微小化における寸法効果により、相対的に慣性力は小さくまた摩擦力は大きくなるからである。また、仮に摩擦の問題を克服したとしても、粘性力も支配的であるため、ポンプ内部の流体抵抗が大きくなり高パワーマイクロ液圧源の実現は困難である。マイクロ世界における摩擦と粘性の問題を学術的に解決することまたは、これらの問題が発生しない新たな物理現象を学術的に解明することで高パワーマイクロ液圧源が実現できると考えている。

2. 研究の目的

このような背景から、世界一の高出力パワー密度を有するマイクロ液圧源の実現を目的とし、電界共役流体(Electro-Conjugate Fluid: ECF)に着目している。ECF とは、その中に挿入された電極対に直流電圧を印加することで電極間に活発なジェット流を発生させる機能的な流体である。この ECF ジェットは、微細な電極対と液体(ECF)のみで発生可能であり、機械的な摺動部・可動部がないため、今まで難しかった油圧・空気圧アクチュエータのマイクロ化が実現できる。また、ECF ジェットは電極対の寸法が小さくなるほど、パワー密度が大きくなるのが過去の研究で実験的に確認されていることから、高出力パワー密度を有するマイクロポンプに適している。申請者は、MEMS 加工技術を用いて三角柱 - スリット形電極対(TPSE)を提案し、この TPSE を直列・並列に集積化した ECF マイクロポンプを実現することで、世界トップレベルのマイクロポンプの出力パワー密度より、1 桁以上優れた性能を確認した。しかし、多様な分野で実用化するには、さらに 10 倍程度の出力パワーが必要であり、ECF ポンプのさらなる高出力パワー密度化が求められる。申請者のこれまでの優れた研究成果とさらなる発展性をマイクロ液圧源のロードマップとして日本機械学会誌「技術ロードマップから見る 2030 年の社会」で公開している。本研究の目的は、ナノ加工技術を用いて世界一の高出力パワー密度を有するマイクロ液圧源を開発し、この有効性を示すことである。

3. 研究の方法

本研究課題の目的である世界一の高出力パワー密度を有するマイクロ液圧源を実現する方法として、多様なナノ加工技術を用い、ECF 電極対を高アスペクト比にすることと三角柱電極の先端にナノピンを設けることを提案する。の高アスペクト比化は、(a)電極高さのみを増加させる方法と(b)電極高さは一定に維持しながら上面からの見た電極対のサイズを極端に小さくすることで電極対密度を高くする方法の二方向から検討する。電極高さの増加ではそれに比例する流量の増加が見込まれる。電極対密度の向上では、単純な TPSE の小形化のみならず、TPSE 標準形を連続ジェット形にし、三角柱電極とスリット形電極を融合した五角柱電極アレイを提案する。さらに、五角柱電極アレイを三角柱電極アレイに置き換えた究極の電極対形状を実現することで標準形に対して 77%の体積を減らせる。また、高アスペクト比に最も適している電極形状を設計するため、ECF ジェットの発生メカニズムを明確し、最適化実験を行う。次に、シリコンを高アスペクト比に製作できる (i) 深掘り RIE(Deep RIE)を応用した新たなナノ加工方法も提案し、この有効性を明確にする。また、高アスペクト比化に適している (ii) 化学気相蒸着(CVD)法を用いたカーボンナノチューブ(CNT)成膜法と電気めっきを融合した新たなナノ加工プロセスを提案し、これによる ECF 電極対の性能を評価する。最後に、同じ印加電圧でも極端に急峻な電界勾配を形成できるナノピンを (i)CNT 複合 Au めっき、または、(ii)スピンスプレー-ZnO 蒸着により形成できる新たなプロセスを提案し、高パワー密度化と低電圧化を両立できる ECF マイクロポンプを開発する。

4. 研究成果

(1) オンサガー効果を導入した ECF ジェットの数学モデル

本研究課題では、ECF ジェットを予測する目的でオンサガー効果を導入する ECF ジェットの数学モデルを提案している。オンサガー効果とは通常は物性として定数である誘電性液体の導電率が電界に対して増加する現象である。導出された数学モデルにより印加電圧がどのように ECF ジェットに変換されるかを説明できる。オンサガー効果により、液体に空間伝導率勾配が生じ、その結果、液体中の電荷分布が変化し、流体粒子に発生するクーロン力に起因する体積力により流体力が発生するメカニズムである。最初に、ECF のオンサガー定数を決定することを目的として、ECF の導電率測定を実施している。ECF に挿入された平行電極対を用い、印加電圧に対して電流を測定している。測定された電流から、電界強度の増加による導電率の変化が計算することで、ECF (FF-909EHA2) のオンサガー定数の値は実験的に $2.72 \times 10^{-7} [m / V]$ と決

定された．得られたオンサガー定数を提案された数学モデルに組み込むことにより，ECF ジェットの数値シミュレーションを実行している．次に，シミュレーション結果を検証するために，シミュレーションモデルと同じ形状の ECF マイクロデバイスを MEMS プロセスで作製し，可視化実験で流速を測定している．実験結果とシミュレーション結果印加電圧 1.0 [kV] までは概ね一致していることを確認している．

(2) ECF ジェットを用いたマイクロ液圧源の高出力化と低電圧化

本研究課題では，各構造パラメータ（スリット電極の穴幅： w ，スリット電極の穴深さ： t ，三角柱電極の先端角度： θ ，三角柱電極とスリット電極との間のギャップ： d ）に基づいて，12種類の ECF マイクロポンプが設計・製作され，ECF マイクロポンプの性能を実験的に評価している．TPSE の構造パラメータの最適値は，スリット穴の幅 $w=200\ \mu\text{m}$ ，スリット穴の深さ $t=200\ \mu\text{m}$ ，三角形の先端角度 $\theta=60^\circ$ ，電極ギャップ $d=200\ \mu\text{m}$ であることを明確にしている．

また，高アスペクト比の SU-8 マイクロモールドを除去できるハイブリッド除去プロセスを提案し，実証している．CO₂ レーザにより短時間で膨潤することなく大半の SU-8 モールドを除去し，O₂ / CF₄ プラズマと組み合わせたハイブリッド除去プロセスを導入することで高速かつ非膨潤性の除去を実現している．高さ 970 μm までの高アスペクト比 TPSE を備えた ECF マイクロポンプでは TPSE の損傷なしで正常に製造できている．

高アスペクト比 TPSE で構成される ECF マイクロポンプを実現するために，多層 UV-LIGA と精密表面研削を組み合わせた新しい MEMS 製造方法を提案している．マイクロモールドの形成とその電鍍プロセス後，精密機械を用いて平坦化することで，次の層のマイクロモールドを正確に形成できる．この多層化で，TPSE の高さが 880 μm の ECF マイクロポンプの製作に成功している．

本研究課題では，電極への印加電圧を切り替えることにより双方向の ECF ジェットを生成できる新たな ECF マイクロポンプを提案している．静的性能として，2.0kV を印加したとき圧力と流量は，13kPa と 81mm³/s である．動的性能として，1.5kV の印加電圧での 1Hz から 100Hz までの周波数応答が実験的に明らかにされ，20Hz で出力圧力が最大圧力の半分の振幅になることを確認している．

(3) マイクロ流体デバイスへの応用

高出力 ECF マイクロポンプの応用として，本研究課題では，2つの ECF マイクロポンプによって作動する新しい T 字形のマイクロ液滴生成デバイスを開発し，その性能を評価している．ECF マイクロポンプの 1つは連続相の流れを直接制御するために使用され，もう 1つは 2つの非混和性流体間の界面を使用して分散相の流れを制御する構成である．ECF マイクロポンプの印加電圧が液滴の生成速度と液滴の直径に及ぼす影響を明確にしている．

また，2つの ECF マイクロポンプと T 字形マイクロ流路を統合することで新たな Oil-in-Oil (O/O) マイクロ液滴生成デバイスを開発している．当社の新しい O/O マイクロ液滴生成デバイスはチップ上に均一性の高い液滴を生成できることが実証している．

上記で生成したマイクロ液滴をチップ上の ECF マイクロポンプを使用して油中水 (W/O) 液滴を分類するオンデマンドの方法を提案している．ECF マイクロポンプで発生された ECF ジェット流により特定のマイクロ液滴を別の流路へ誘導するデバイスである．製作してデバイスを用いて，ECF ジェットの強度と液滴サイズの 2つの重要なパラメータがソータの性能に与える影響を明確にしている．

その他の応用として，ECF マイクロポンプと統合された PDMS ベースの漏れのない On/Off マイクロバルブを提案している．デバイスの組み立てられた PDMS 膜は，電圧の印加で ECF マイクロポンプによって生成された流体圧力により変形し，マイクロチャネルのポートをブロックするメカニズムである．ECF マイクロポンプに 1.5kV と 2.0kV の印加電圧でそれぞれ 20kPa と 50kPa のクラッキング圧力であることを明確にしている．この研究は，提案された On/Off マイクロバルブの実現可能性と，正確な液量の制御が必要とされるマイクロ流体デバイスへの統合の可能性を実験的に実証している．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 303
2. 論文標題 Active sorting of droplets by using an ECF (Electro-conjugate Fluid) micropump	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 111702 ~ 111702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.111702	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 Han Dong, Wang Haibo, Yokota Shinichi, Kim Joon-Wan	4. 巻 30
2. 論文標題 Configurations of triangular prism and slit electrode pairs to enhance the performance of electro-conjugate fluid micropumps	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	6. 最初と最後の頁 025007 ~ 025007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6439/ab5ef3	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 該当する
1. 著者名 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 23
2. 論文標題 A droplet-generator-on-a-chip actuated by ECF (electro-conjugate fluid) micropumps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microfluidics and Nanofluidics	6. 最初と最後の頁 130 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10404-019-2298-7	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 Kim Joon-wan, Yamada Yoshiho, Yokota Shinichi	4. 巻 106
2. 論文標題 Micro ECF (electro-conjugate fluid) hydraulic power sources based on the modular design of TPSEs (triangular prism and slit electrode pairs)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 627 ~ 639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00170-019-04598-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 Matsubara Tatsuya, Huynh Huy Hoang, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 295
2. 論文標題 Development of MEMS-fabricated bidirectional ECF (electro-conjugate fluid) micropumps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 317 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.06.022	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 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 296
2. 論文標題 Developing O/O (oil-in-oil) droplet generators on a chip by using ECF (electro-conjugate fluid) micropumps	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators B: Chemical	6. 最初と最後の頁 126669 ~ 126669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.snb.2019.126669	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 Kim Joon-wan, Tanabe Yusuke, Yokota Shinichi	4. 巻 295
2. 論文標題 Comprehending electro-conjugate fluid (ECF) jets by using the Onsager effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 266 ~ 273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.06.013	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 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 212
2. 論文標題 Releasing large-area SU-8 structures without using any sacrificial layers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microelectronic Engineering	6. 最初と最後の頁 53 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mee.2019.04.006	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 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 289
2. 論文標題 Fast packaging by a partially-crosslinked SU-8 adhesive tape for microfluidic sensors and actuators	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 77 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2019.02.020	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 Nagaoka Tomonobu, Mao Zebing, Takemura Kenjiro, Yokota Shinichi, Kim Joon-wan	4. 巻 28
2. 論文標題 ECF (electro-conjugate fluid) finger with bidirectional motion and its application to a flexible hand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Smart Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 025032 ~ 025032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-665X/aaf49a	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 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 33
2. 論文標題 Alleviation of the adhesive protrusion problem at the bonding interface of free-standing microstructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 749 ~ 757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12206-019-0129-0	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 Han Dong, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-Wan	4. 巻 27
2. 論文標題 A Novel Hybrid Removal Technology for High-Aspect-Ratio SU-8 Micromolds in ECF (Electro-Conjugate Fluid) Micropumps Fabrication by UV-LIGA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Microelectromechanical Systems	6. 最初と最後の頁 818 ~ 826
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JMEMS.2018.2865201	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 Mao Zebing, Yoshida Kazuhiro, Kim Joon-wan	4. 巻 25
2. 論文標題 A micro vertically-allocated SU-8 check valve and its characteristics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microsystem Technologies	6. 最初と最後の頁 245 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00542-018-3958-3	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 1件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Joon-wan KIM, Zebing MAO, Kazuhiro YOSHIDA
2. 発表標題 Performance of ECF Micropumps-integrated O/O (oil-in-oil) Droplet Generators
3. 学会等名 The 16th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zebing Mao, Kazuhiro Yoshida, Joon-wan Kim
2. 発表標題 Droplet Sorter Using a Cantilever Actuated by Electro-conjugate Fluid Micropumps
3. 学会等名 The 23rd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zebing Mao, Kazuhiro Yoshida, Joon-wan Kim
2. 発表標題 On demand water in oil droplet generation using ECF (electro conjugate fluid) micropump
3. 学会等名 14th IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference - IEEE NMDC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Huy Hoang Huynh, Kazuhiro Yoshida, Joon-Wan Kim
2. 発表標題 Proposal of a MEMS-based Cooling System Using an ECF Micropump
3. 学会等名 International Symposium on PRecision Engineering and Sustainable Manufacturing (PRESM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩田 陽平, 吉田 和弘, 金 俊完
2. 発表標題 ECFマイクロポンプのラボオンチップへのパッケージングに関する研究
3. 学会等名 2019年秋季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金俊完, 濱野真衣, 吉田和弘
2. 発表標題 電界共役流体(ECF)を液圧源とするマイクロジャミンググリッパに関する研究
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相 翔太, 吉田 和弘, 金 俊完
2. 発表標題 ECFマイクロポンプの高出力化を可能にする新たな電極対の提案
3. 学会等名 2019年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金 俊完, 鳴海 将, 吉田 和弘
2. 発表標題 ECF液圧源で駆動する昆虫形ソフトロボットに関する研究
3. 学会等名 第31回 「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD31)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masashi Ogawa , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan Kim
2. 発表標題 Development of Au-ITO composite wiring for the back UV-LIGA
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dong Han , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan Kim
2. 発表標題 Proposal on an effective removing method of micromolds in UVLIGA by combining CO2 laser engraving with O2/CF4 plasma etching
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zebing Mao , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan Kim
2. 発表標題 Proposal on manipulating droplets by a cantilever check valve operated by an ECF micropump
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩田 陽平 , 巖 祥仁 , 吉田 和弘 , 金 俊完
2. 発表標題 裏面露光を用いたUV硬化性PDMSによる生体模倣膜の形成に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 山梨講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳴海 将 , 吉田 和弘 , 金 俊完
2. 発表標題 ECFマイクロポンプを搭載した昆虫形ソフトロボットの提案
3. 学会等名 日本機械学会 山梨講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joon-wan Kim , Yusuke Tanabe , Shinichi Yokota
2. 発表標題 Modeling Electro-conjugate Fluid (ECF) Jet by Using Onsager Effect
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zebing Mao , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan Kim
2. 発表標題 Fast bonding technology by using partially-crosslinked SU-8 for MEMS-fabricated actuators and sensors
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuya Matsubara , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan Kim
2. 発表標題 Development of MEMS-fabricated Bidirectional ECF micropump
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小川 真史 , 吉田 和弘 , 金 俊完
2. 発表標題 Au-ITO 複合配線を用いたUV 裏面露光による新たなUV-LIGA プロセスの提案
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 Huy Hoang Huynh , Kazuhiro YOSHIDA , Joon-wan
2. 発表標題 Formation of Micropillars for Higher Performance of ECF Planar Micropumps
3. 学会等名 International Symposium on Precision Engineering and Sustainable Manufacturing (PRESM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zebing Mao , Kazuhiro Yoshida , Joon-wan KIM
2. 発表標題 Research on the Protrusion Problem in the Bonding Process of Free-standing SU-8 Microstructure
3. 学会等名 International Symposium on Precision Engineering and Sustainable Manufacturing (PRESM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金俊完 , 嵯峨由彬 , Zebing MAO , 吉田和弘
2. 発表標題 ECF マイクロポンプを用いたジャミンググリッパの提案
3. 学会等名 平成30年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mao Zebing , 吉田 和弘 , 金 俊完
2. 発表標題 犠牲層を用いないISU-8構造体の剥離方法の提案
3. 学会等名 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2018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	吉田 和弘 (Yoshida Kazuhiro) (00220632)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	
研究 分担者	嚴 祥仁 (Eom Sang In) (20551576)	東京工業大学・科学技術創成研究院・助教 (12608)	削除：2020年2月10日

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
---------	---------