

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15417

研究課題名(和文) ナノ空間におけるaL-fL/sec流量計測法の創成

研究課題名(英文) Development of aL-fL/sec Flow Monitor in Nanospace

研究代表者

森川 響二郎 (Morikawa, Kyojiro)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任講師

研究者番号：20796437

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：流量計測に必要な制御されたナノ流路の作製に取り組み、最小で50nmの流路から数1000nmのサイズ制御された流路の加工に成功した。また、従来の加工プロセスにナノ流体実験やナノ電気化学実験を導入するという新しい試みによってナノ電極の作製に成功した。流動電流値と流量値の関係については、50nm流路では我々が過去に測定してきたバルクとは異なる粘度、誘電率、解離定数などの物性値を用いた計算値と実験値がよく一致した。これらの物性値を用いた計算から流動電流値を流量値に校正すると50nm流路1本あたり約30aL/secの流量で流れることが判った。以上から初めてのaL/sec領域での流量計測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した制御された流路の加工法や、ナノ電極の作製法、流路の修飾法、閉空間の修飾評価法などは本研究に必須だけでなくナノ流体工学において重要な基盤技術として多に貢献できる。さらに、本研究において流動電流値を流量値に校正するために行ったナノ物性計測結果については、50nmの空間で得られた初めての溶液物性に関する知見であり、ナノ流体工学やナノ溶液化学における基礎科学的な知見として大いに重要な知見が得られたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：For fabrication of the size-regulated nanochannels, we successfully fabricated the size-regulated nanochannels from 50 nm (minimum) to several 1000 nm (maximum). For nano-electrode fabrication, we tried a new fabrication process with nanofluidic and nano-electrochemical experiments and finally succeeded in nano-electrode fabrication. For the relationship between streaming current and flow rate, experimental results corresponded well to calculations using unique properties such as higher viscosity, lower dielectric constant, and lower disassociation constant which we previously found in namespaces. From these parameters, the streaming current value was calibrated to the flow rate value, and the flow rate in a 50 nm channel was approximately 30aL/sec. Therefore, we successfully measured the flow rate in aL/sec region for the first time.

研究分野：マイクロ・ナノ流体工学

キーワード：ナノ流体工学 流動電流 流動電位 ナノ電極

### 1. 研究開始当初の背景

$\mu\text{m}$  スケールの空間を利用して化学プロセスを微小化・高速化・高効率化するマイクロ流体工学が急速に発展している。我々のグループでは、世界に先駆けてマイクロ流体デバイスの汎用的集積化法を確立し、体積  $\text{pL-nL}$  の微量分析・高効率化学合成・細胞プロセッシングなど様々な高性能・高機能化学プロセスを実現してきた (Kitamori et al., Anal. Chem., 2002 など)。さらに最近では、 $\mu\text{m}$  よりも3桁小さい  $10\text{-}100\text{ nm}$  空間 (図1) のナノ流体工学へと研究が展開している。我々は、ナノ加工・空圧駆動送液システム・非蛍光分子検出など独自の方法論と技術を開発して、この空間の研究ツールをはじめて創成した。その結果、超微量体積 ( $\text{aL-fL}$  ( $= 10^{-18}\text{-}10^{-15}\text{ L}$ )) での高効率分子分離や単一分子検出、高速イオン輸送など、マイクロ空間ではできない革新的性能を実現してきた

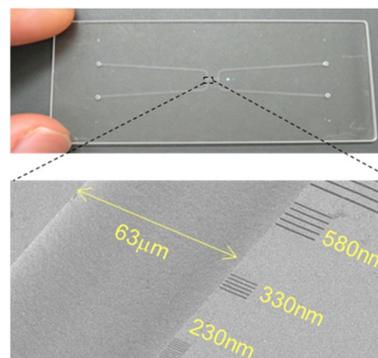


図1 マイクロ空間とナノ空間

(Morikawa et al., Analyst, 2016; Proc. MicroTAS 2018 など)。従って、拡張ナノ空間を利用すればバイオ分析や化学合成、エネルギー産生などで革新的機能を有するデバイス工学が期待できる。しかしながら、化学工学、流体工学において最も基本的かつ重要となる溶液の輸送量を規定する流量制御について、ナノ空間では非常に困難であることが革新的デバイス創成のボトルネックとなっている。具体的には、幅・深さ  $10\text{-}100\text{ nm}$  の空間を流れる溶液の流量は  $\text{aL-fL/sec}$  のオーダーであり、このような極微量流量を制御可能なポンプも計測可能な流量計も存在しない。そのため、現状のナノ流体デバイスでは流量を規定するための内部標準試料 (プローブ分子 / プローブイオン) を添加しなければならない。これらのプローブの添加はナノ流路内部での反応や検出の妨げになるだけでなく、そもそもバルクとは異なる溶液物性を有するナノ空間 (Morikawa et al., Isr. J. Chem., 2014 など) ではプローブとして機能するかどうか不明である。以上から、革新的ナノ流体デバイス創成のためにはナノ空間での  $\text{aL-fL/sec}$  流量をプローブなしに計測する技術が求められている。

### 2. 研究の目的

そこで、我々はナノ空間の圧力駆動流を電流 / 電圧として計測する流動電流 / 流動電位法をナノ空間での流量計として活用することを着想した。この方法は流路表面近傍で形成している電気二重層内のイオンを溶液の圧力駆動流によって押し流し、それに伴って発生した電流 / 電位を検出する方法 (図2) であり、我々がナノ空間で発生する流動電流 / 流動電位の計測に初めて成功した (Morikawa et al, Lab Chip 2010)。この方法では計測原理的に、ナノ空間を流れる溶液の流速 / 流量が計測した電流 / 電位に比例し、プローブを添加する必要がない。以上から本研究の目的を流動電流 / 流動電位によるナノ空間での  $\text{aL-fL/sec}$  流量計測法の創成とした。

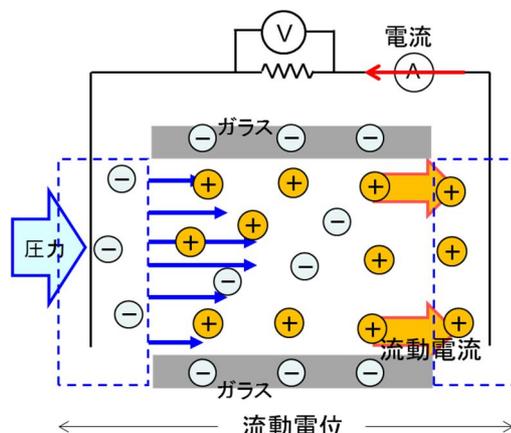


図2 流動電流 / 流動電位法の原理

### 3. 研究の方法

主に3つのフェーズにわけて研究を遂行した。

#### 3 - 1. 極限流量を実現するためのナノ流路およびナノ流体デバイス加工

正確な流量計測を実現するためには、第一に正確な流路サイズを有する流路加工が必須となる。方法としては電子線リソグラフィとドライエッチング条件を探索し、ガラス基板上に数  $10\text{ nm}$  から数  $1000\text{ nm}$  に至るまでのあらゆる種類のナノ流路を加工することを目指した。さらに、作製したナノ流路を閉じた空間とするための基板接合条件についても探索した。同時に、ナノ流路内にナノ電極を有するデバイス加工についても新しい加工法を着想し、その実現に取り組んだ。

#### 3 - 2. ナノ物性評価

原理的にナノ流路を流れる液体による流動電流 / 流動電位はその流量に比例するが、ナノ空間におけるバルクとは異なるユニークな物性によって校正に関わるパラメータが変化していると考えられる。よってナノ空間におけるナノ物性を評価し、シミュレーションも活用しながらナノ流路内を流れる液体の流量値と流動電流 / 流動電位値の関係を明らかにした。

#### 3 - 3. ナノ空間流量計測の原理検証

上記3 - 2で得られた流量値と流動電流 / 流動電位値の関係から、流動電流 / 流動電位計

測によって得られた流量値について検証した。また、上記の流動電流 / 流動電位値から校正する以外の方法として、校正が不要になる流動電流 / 流動電位を用いた流量計測法を考案し、発展版として取り組んだ。具体的にはホイートストンブリッジ回路を構築し、そこから得られた流量値を計測する方法に取り組んだ。

#### 4. 研究成果

電子線レジストの厚み、電子線リソグラフィの露光時間、現像時間、ドライエッチング時間など様々な加工条件を探索し、図3に示すように最小で 50 nm の流路 (Morikawa et al, Micromachines, 11, 995, (2020))から数 1000 nm のサイズ制御された流路 (Morikawa et al, Micromachines, 12, 917, (2021) , 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 44 回研究会, ビジュアルムービー賞などの加工に成功した。また、これらの流路を閉じた空間とするため接合条件を探索し、接合面の表面粗さと接合強度の関係 (Ohta et al, Proceeding of MicroTAS, 1237, (2022) ) を明らかにすることによってナノ流体デバイスを作製する上で重要な知見を得た。さらに、ナノ電極加工において、従来のリソグラフィ、エッチング、基板接合という加工法に加え、金属メッキ液をナノ流路へ流し、金属メッキによってナノ流路を形成するという新しい手法を開発した。これは従来の加工プロセスの中にナノ流体実験やナノ電気化学実験を導入するという新しい試みであった。電極自体が 100 nm スケールという流路サイズと同スケールの加工となるゆえ、ナノ流路での溶液の流れの妨げ、または電極のスペースへの溶液のリークなどを防止しつつ電極を集積化することは非常に困難であったが、この手法によってナノ電極デバイスの作製に初めて成功した (Morikawa et al, Electrophoresis, submitted)。

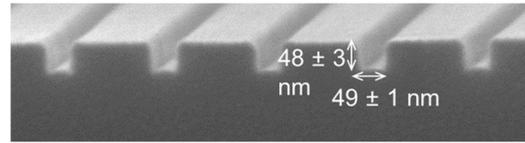


図3 加工したガラス製 50nm 流路

次に、ナノ物性についてシミュレーションも交えて評価した結果を図4に示す。流量値の校正に必要な流動電流値と流量値の関係についても明らかにするため、流動電流実験を我々のグループで行い、シミュレーションは National Kaohsiung Normal University の Chang 先生との共同研究で行った。990nm や 1680nm の流路ではバルクの物性値をもとに計算した値 (図4 計算値) と実験値が一致した。よってバルク物性値と理論式をもとに流動電流値を流量値に変換することは可能であった。一方で 50nm の流路ではバルクの物性値をもとにした計算した値は実験値と一致しなかった。我々のグループが過去に測定してきたバルクとは異なる粘度、誘電率、解離定数などの物性値を用いて計算したところ (計算値) 計算値と実験値がよく一致した。これらの結果は 50nm の空間で得られた初めての溶液物性に関する知見であった (Morikawa et al, Proceeding of MicroTAS, 825, (2022) )。これらの物性値を用いた計算から流動電流値を流量に変換すると 50nm の流路 1 本あたり約 30aL/sec の流量で流れていることが見積もられた。以上から世界で初めての aL/sec 領域での流量計測に成功した。しかしながら、流動電流の計測のたびにシミュレーションが必要なほどの校正方法となり、バルクとは異なる物性値をもつナノ空間で普遍的な校正方法を開発するという点においては課題を残した。

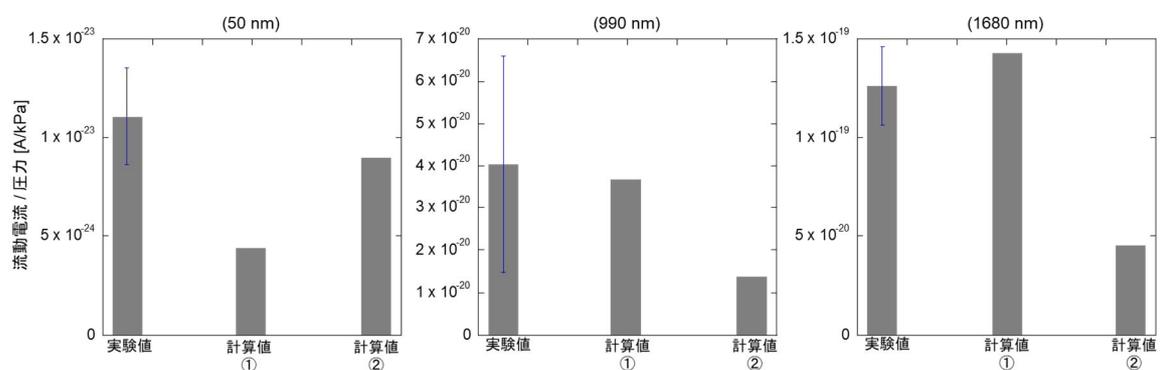


図4 流動電流の実験値と計算値の比較

上記の課題を受け、本研究の発展テーマとして校正が必要ない流量計測システムの構築にも取り組んだ。流量を計測する目的の流路を取り囲む形で複数の流路を配置したホイートストンブリッジ回路をデバイス内に構築した。これによって目的流路の流量と釣り合う流量が達成された際に流動電流が検出され、これに基づいて目的流路の流量を計測可能なシステムを考案した。このシステムの原理検証にまでは至らなかったが、このシステムを構築する上で必要であった流路表面修飾方法および流動電流値との関係について、特に閉空間の表面修飾方法および修飾評価法について大いに知見を得た (Morikawa et al, Micromachines, 12, 1367, (2021))。

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 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kyojiro Morikawa, Po-yin Chen, Hai Linh Tran, Yutaka Kazoe, Chihchen Chen and Takehiko Kitamori	4. 巻 33
2. 論文標題 Fused silica microchannel fabrication with smooth surface and high etching selectivity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering	6. 最初と最後の頁 47001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6439/acbe4a	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 Kyojiro Morikawa, Takehiko Tsukahara	4. 巻 50
2. 論文標題 Shift of charge inversion point of a trivalent ion solution in a nanofluidic channel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloid and Interface Science Communications	6. 最初と最後の頁 100646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colcom.2022.100646	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 Kyojiro Morikawa, Chih-Chang Chang, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari and Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 STREAMING CURRENT IN 50NM NANOFUIDIC CHANNEL	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 825-826
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 該当する
1. 著者名 Kyojiro Morikawa, Ryoichi Ohta, Naoya Sawahata, and Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 GENERATION AND FUSION OF SIZE-CONTROLLED FL DROPLETS USING GAS/LIQUID INTERFACE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 1025-1026
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 Ryoichi Ohta, Kyojiro Morikawa, Takehiko Kitamori	4. 巻 -
2. 論文標題 LOW TEMPERATURE BONDING WITH ROUGH BONDING SURFACE FOR GLASS MICRO/NANOFLUIDIC DEVICE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 1237-1238
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 Kyojiro Morikawa, Chih-Chang Chang, Yutaka Kazoe	4. 巻 -
2. 論文標題 ELECTROKINETIC ENERGY CONVERSION IN NANOFUIDIC CHANNEL: SQUARE NANOCHANNEL VS PLATE NANOCHANNEL	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 1259-1260
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 該当する

1. 著者名 Kyojiro Morikawa, Haruki Kazumi, Yoshiyuki Tsuyama, Ryoichi Ohta and Takehiko Kitamori	4. 巻 12
2. 論文標題 Surface Patterning of Closed Nanochannel Using VUV Light and Surface Evaluation by Streaming Current	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 1367(11pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi12111367	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 Kyojiro Morikawa, Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori	4. 巻 12
2. 論文標題 Metal-Free Fabrication of Fused Silica Extended Nanofluidic Channel to Remove Artifacts in Chemical Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 917(10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi12080917	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 Kyojiro Morikawa, Shu Matsuura, Hiroki Sano, Yutaka Kazoe and Takehiko Kitamori	4. 巻 1
2. 論文標題 MICRO- AND NANOFLUIDIC CONTROL WITH PARTIAL INTEGRATION OF PDMS VALVE INTO GLASS NANOFLUIDIC DEVICE	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceeding of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 1405-1406
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 Kyojiro Morikawa, Yutaka Kazoe, Yuto Takagi, Yoshiyuki Tsuyama, Yuriy Pihosh, Takehiko Tsukahara, Takehiko Kitamori	4. 巻 11
2. 論文標題 Advanced Top-Down Fabrication for a Fused Silica Nanofluidic Device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 995(11pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11110995	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 Thu Hac Huong Le, Hisashi Shimizu, Kyojiro Morikawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Advances in Label-Free Detections for Nanofluidic Analytical Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 885(21pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi111100885	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 Kyojiro Morikawa, Haruki Kazumi, Ryoichi Ohta, and Takehiko Kitamori	4. 巻 1
2. 論文標題 SURFACE PATTERNING OF NANOFLUIDIC CHANNELS AND ITS EVALUATION USING STREAMING CURRENT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 356-357
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 Kyojiro Morikawa, Erina Takeuchi, and Takehiko Kitamori	4. 巻 1
2. 論文標題 DEVELOPMENT OF FABRICATION METHOD FOR CONCENTRIC CONNECTION OF MICROCHANNEL AND NANOCHANNEL	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceeding of MicroTAS	6. 最初と最後の頁 362-363
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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 森川響二郎, Po-yin Chen, Hai Linh Tran, 嘉副裕, Chihchen Chen, 北森武彦
2. 発表標題 ドライエッチングによる平滑なガラス製マイクロ流路の高選択比加工法
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第47回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa
2. 発表標題 Nanofluidic Device Fabrication and Application to Picoliter Protein Analysis
3. 学会等名 International Conference on Smart Sensors 2022 (ICSS 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa
2. 発表標題 Picoliter protein digestion and separation with glass nanofluidic device fabrication
3. 学会等名 Pittcon2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Chih-Chang Chang, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari and Takehiko Kitamori
2. 発表標題 STREAMING CURRENT IN 50NM NANOFUIDIC CHANNEL
3. 学会等名 The 26th Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Ryoichi Ohta, Naoya Sawahata, and Takehiko Kitamori
2. 発表標題 GENERATION AND FUSION OF SIZE-CONTROLLED FL DROPLETS USING GAS/LIQUID INTERFACE
3. 学会等名 The 26th Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryoichi Ohta, Kyojiro Morikawa, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 LOW TEMPERATURE BONDING WITH ROUGH BONDING SURFACE FOR GLASS MICRO/NANOFUIDIC DEVICE
3. 学会等名 The 26th Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Chih-Chang Chang, Yutaka Kazoe
2. 発表標題 ELECTROKINETIC ENERGY CONVERSION IN NANOFUIDIC CHANNEL: SQUARE NANOCHANNEL VS PLATE NANOCHANNEL
3. 学会等名 The 26th Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森川響二郎、嘉副裕、太田諒一、清水久史、陳致真、北森武彦
2. 発表標題 ガラス製ナノ・マイクロ流体デバイス加工法
3. 学会等名 4 大学ナノ・マイクロファブ리케이션コンソーシアム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森川響二郎, Po-yin Chen, Hai Linh Tran, 嘉副裕, Chihchen Chen, 北森武彦
2. 発表標題 ドライエッチングによる平滑なガラス製マイクロ流路の高選択比加工法
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第47回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Shu Matsuura, Hiroki Sano, Yutaka Kazoe, and Takehiko Kitamori
2. 発表標題 MICRO- AND NANOFUIDIC CONTROL WITH PARTIAL INTEGRATION OF PDMS VALVE INTO GLASS NANOFUIDIC DEVICE
3. 学会等名 MicroTAS2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川響二郎、太田諒一、馬渡和真、北森武彦
2. 発表標題 Crフリー加工法によるガラス製拡張ナノ流路・マイクロ流路の作製
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第44回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森川響二郎、松浦柊、佐野大樹、嘉副裕、北森武彦
2. 発表標題 ガラス製ナノ流体デバイスへのPDMS部分集積と局所変形バルブへの応用
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第44回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ガラス製ナノ流路加工法の開発とナノ流体デバイスへの展開
2. 発表標題 森川響二郎
3. 学会等名 4 大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム・シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Haruki Kazumi, Ryoichi Ohta, and Takehiko Kitamori
2. 発表標題 SURFACE PATTERNING OF NANOFUIDIC CHANNELS AND ITS EVALUATION USING STREAMING CURRENT
3. 学会等名 MicroTAS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kyojiro Morikawa, Erina Takeuchi, and Takehiko Kitamori
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF FABRICATION METHOD FOR CONCENTRIC CONNECTION OF MICROCHANNEL AND NANOCHANNEL
3. 学会等名 MicroTAS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森川響二郎, 竹内絵里奈, 北森武彦
2. 発表標題 マイクロ・ナノ流路の同心配置のための加工法
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第42回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoaki Takeuchi, Kyojiro Morikawa, Takehiko Kitamori
2. 発表標題 Fabrication of electrode integrated nanofluidic device
3. 学会等名 RSC Tokyo International Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内智章, 森川響二郎, 北森武彦
2. 発表標題 電極集積ナノ流体デバイス加工法の開発
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第40回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森川響二郎, 竹内智章, 北森武彦
2. 発表標題 電極集積ナノ流体デバイス加工とその応用
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 森川響二郎、北森武彦	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株) エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1570
3. 書名 2020版 薄膜作製応用ハンドブック 第4編7章4節11項	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Research Map <a href="https://researchmap.jp/KyojiroMorikawa">https://researchmap.jp/KyojiroMorikawa</a>
---

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

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		
台湾	National Tsing Hua University	National Kaohsiung Normal University	