

「プロセスインテグレーションによる機能発現ナノシステムの創製」
平成 21 年度採択研究代表者

H25 年度 実績報告

北森 武彦

東京大学 大学院工学系研究科(工学部)
教授

拡張ナノ空間特異性を利用した革新的機能デバイスの創成

§ 1. 研究実施体制

(1) 「共通技術・エネルギーデバイス」グループ

① 研究代表者: 北森 武彦 (東京大学大学院工学研究科、教授)

② 研究項目

デバイス共通技術の確立・エネルギーデバイスの創成および全体の統括

- ・室温での基板接合を用いた拡張ナノ空間への機能付加法、マイクロ空間と拡張ナノ空間を繋ぐインターフェイス等、デバイス開発のための共通基盤技術
- ・極限分析デバイスおよびエネルギーデバイスの創成・最適化

(2) 「バイオデバイス」グループ

① 主たる共同研究者: 佐藤 香枝 (日本女子大学理学部物質生物科学科、准教授)

② 研究項目

- ・単一細胞・単一分子分析システムの開発

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、研究代表者らが見出してきた 10-1000 nm の「拡張ナノ空間」において発現する特異性(超微小体積、水の特異的化学物性など)を用いた新たなデバイス工学に焦点を絞り、化学、バイオ、エネルギー分野に貢献する新機能デバイスを創成することを目的とする。具体的には、デバイス開発に伴う共通基盤技術を確立し、拡張ナノ空間を用いた極限分析デバイス(研究項目 A)およびエネルギーデバイス(研究項目 B)を創成する。

【共通基盤技術】

研究代表者が特別推進研究(H21～24 年度まで)で開発した微分干渉熱レンズ顕微鏡(DIC-TLM)の技術の一部に応用し、拡張ナノ空間内で数 100～数 1000 分子のタンパク質を検出可能な UV 励起型 DIC-TLM を開発した。後述のスーパークロマトグラフィーと組み合わせることによって、単一細胞から採取した試料をそのまま分離分析することが可能になると期待される。

【研究項目 A:極限分析デバイス】

A-1. 単一細胞・単一分子分析

拡張ナノ空間内に生体分子を部分修飾することで免疫分析デバイスを作製し、可算個分子の免疫分析を実現した。低い試料濃度において単一分子由来とみられる信号も検出されていることから、従来の検量線を測定して濃度を定量する免疫分析に代えて、分子を一つずつ数える画期的な免疫分析法の創成に繋がると期待される。

A-2. スーパークロマトグラフィー

これまでの実験結果により得られた理論式に基づいて分離能をシミュレーションしたところ、直径 300 nm、長さ 89 mm の拡張ナノ流路を用いれば従来技術を圧倒する分離能(理論段 100 万段)が達成可能であることが分かった。これに基づき、最大圧力 200 気圧の超高压流体制御システムを設計・製作し、モデル試料を用いて性能を評価したところ、設計通りの分離能が得られた。従来技術と比較すると、モデル試料では 1 桁優れた分離能で 8 桁少ない体積の試料分離に成功した。将来的には、従来よりも 2 桁以上優れた分離能が得られると期待される。

【研究項目 B:エネルギーデバイス】

B-1. 無電力冷却デバイス(拡張ナノヒートパイプ)

水の凝縮を促進するための拡張ナノピラー、および凝縮水の還流を促進するための拡張ナノピラーを集積化したデバイスを作製し、冷却デバイスとして動作することを確認した。デバイス内部を真空にすれば従来のヒートパイプを超える数 10 W/cm²の冷却効率が達成可能と見込まれる。

B-2. 光燃料電池

酸化タングステンとバナジン酸ビスマスを組み合わせた新しいナノ構造体光触媒を提案し、その性能を評価した。その結果、この材料では世界最高となる 3.2%の太陽光-水素変換効率を実現した。また、この光触媒を集積化した燃料生成デバイスと燃料電池デバイスを統合した、光と水のみで自律駆動する革新的な燃料電池デバイスを設計した。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. Yo Tanaka, Tomohiro Fujikawa, Yutaka Kazoe, Takehiko Kitamori, “An active valve incorporated into a microchip using a high strain electroactive polymer”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 184, pp. 163-169, 2013 (DOI: 10.1016/j.snb.2013.04.025)
2. Chih-Chang Chang, Yutaka Kazoe, Kyojiro Morikawa, Kazuma Mawatari, Ruey-Jen Yang, Takehiko Kitamori, “Numerical Simulation of Proton Distribution with Electric Double Layer in Extended Nanospaces”, *Analytical Chemistry*, Vol. 85, No. 9, pp. 4468-4474, 2013 (DOI: 10.1021/ac400001v)
3. Kentaro Shirai, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, “Extended Nanofluidic Immunochemical Reaction with Femtoliter Sample Volumes”, *Small*, accepted, (DOI: 10.1002/smll.201302709)
4. Hisashi Shimizu, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, “Femtoliter-Scale Separation and Sensitive Detection of Nonfluorescent Samples in an Extended-Nano Fluidic Device”, *Analyst*, accepted, (DOI: 10.1039/C3AN02353B)
5. Y. Dong, Y. Xu, Z. Liu, Y. Fu, T. Ohashi, K. Mawatari, T. Kitamori, “Determination of Cattle Foot-and-Mouth Disease Virus by micro-ELISA system”, *Analytical Sciences*, accepted
6. Thu Hac Huong Le, Kazuma Mawatari, Yuriy Pihosh, Tadashi Kawazoe, Takashi Yatsui, Motoichi Ohtsu, Takehiko Kitamori, “Novel Sub-100 nm Surface Chemical Modification by Optical Near-field Induced Photocatalytic Reaction”, *Microfluidics and Nanofluidics*, accepted
7. 査読付き Proceedings (採択率 60%以下のもの)
8. Kentaro Shirai, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, “MOLECULAR CAPTURE IN EXTENDED NANOCHANNELS FOR FEMTO LITER SCALE IMMUNOASSAY”, *Proceedings of MicroTAS 2013*, Vol. 1, pp. 107-109, 2013
9. Yo Tanaka, Kihoon Jang, Jun Wakabayashi, Reina. Ishii, Kae Sato, Kazuma Mawatari, Mats Nilsson, Takehiko Kitamori, “SHALLOW ANTIBODY-COATED MICROCHANNEL BASED SELECTIVE CELL CAPTURE AND ANALYSIS”, *Proceedings of MicroTAS 2013*, Vol. 1, pp. 359-361, 2013
10. Yuriy Pihosh, Yasuhito Kajita, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, “SOLAR LIGHT DRIVEN MICRO FUEL (H₂/O₂) GENERATION DEVICE BASED ON THE MICROFLUIDIC CHIP”, *Proceedings of MicroTAS 2013*, Vol. 1, pp. 608-610, 2013

11. Thu Hac Huong Le, Kazuma Mawatari, Hisashi Shimizu, Takashi Yatsui, Tadashi Kawazoe, Makoto Naruse, Motoichi Ohtsu, Takehiko Kitamori, "NOVEL DETECTION OF NON-ABSORBING MOLECULES BY OPTICAL NEAR-FIELD INDUCED THERMAL LENS MICROSCOPY", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 675-677, 2013
12. Yojiro Hiramatsu, Chenxi Wang, Hisashi Shimizu, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "DEVELOPMENT OF HEAT-DRIVEN NANOFLUIDIC PUMP", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 760-762, 2013
13. Yoshihiro Asano, Hisashi Shimizu, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "DEVELOPMENT OF UV EXCITATION DIFFERENTIAL INTERFERENCE CONTRAST THERMAL LENS MICROSCOPE TOWARD COUNTING OF PROTEIN MOLECULES", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 916-918, 2013
14. Mariko Kumagai, Kihoon Jang, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "DEVELOPMENT OF VOLUME INTERFACE BETWEEN CELL AND ANALYSIS METHOD UTILIZING THE AIR-LIQUID TWO-PHASE FLOW FOR SINGLE CELL ANALYSIS", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1027-1029, 2013
15. Hisashi Shimizu, Adelina Smirnova, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "ATTOLITER CHROMATOGRAPHY AND DETECTION FOR NONFLUORESCENT BIOMOLECULES TOWARD SINGLE CELL ANALYSIS", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1215-1217, 2013
16. Ryoichi Ohta, Kazuma Mawatari, Yutaka Kazoe, Yuriy Pihosh, Takehiko Kitamori, "NEAR-FIELD ILLUMINATION METHOD FOR THE SPECTROSCOPIC MEASUREMENT IN EXTENDED-NANO SPACE", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1568-1570, 2013
17. Kentaro Kasai, Chenxi Wang, Hisashi Shimizu, Yutaka Kazoe, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "ENHANCEMENT OF CAPILLARY CONDENSATION IN EXTENDED NANOSPACE FOR HIGH-PERFORMANCE MICRO HEAT PIPE DEVICE", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1577-1579, 2013
18. Yilin Liu, Hisashi Shimizu, Kazuma Mawatari, Adelina Smirnova, Takehiko Kitamori, "DEVELOPMENT OF MILLION PLATES LIQUID CHROMATOGRAPHY USING EXTENDED-NANO CHANNEL", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1866-1868, 2013
19. Yuriy Pihosh, Hiroyuki Chinen, Kazuma Mawatari, Takehiko Kitamori, "DEVELOPMENT OF A MICRO FUEL CELL DEVICE BASED ON THE MICROFLUIDIC CHIP", Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 1899-1901, 2013
20. Tadahiro Yamashita, Philip Kollmannsberger, Kazuma Mawatari, Viola Vogel,

Takehiko Kitamori, “CURVATURE-INDUCED SPONTANEOUS DETACHMENT OF VASCULAR SMOOTH MUSCLE CELL SHEETS: TOWARDS VASCULAR SELF ASSEMBLY IN MICROCHANNELS”, Proceedings of MicroTAS 2013, Vol. 1, pp. 2022-2024, 2013

(3-2) 知財出願

- ① 平成 25 年度特許出願件数(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3件)