

平成 21年 4月 10日現在

研究種目：若手研究(A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18681024
 研究課題名(和文) マルチファンクショナル CMOS センサ統合型マイクロリアクタシステムの開発
 研究課題名(英文) Development of micro-reactor system with embedded multifunctional CMOS sensor
 研究代表者
 徳田 崇 (TOKUDA TAKASHI)
 奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・准教授
 研究者番号：50314539

研究成果の概要：

本研究では、小型のチップの上で化学反応や分析を行う技術として研究が進められているマイクロケミストリシステムや μ TAS (Micro Total Analysis System)へ搭載するための CMOS 多機能マイクロセンサチップを開発し、これを搭載したマイクロケミストリシステムの開発を行った。成果として、目標としていた各機能を実現するセンサ回路を実証し、マイクロケミストリシステムへの搭載についても基礎的検証に成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2007年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2008年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
総計	22,600,000	6,780,000	29,380,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：

1. 研究開始当初の背景

近年、 μ TAS(Micro Total Analysis System)あるいは Lab on a Chip と呼ばれる、化学反応や分析をマイクロデバイス上で行う技術について研究が進み、実用化されるものが出てきた。現状において、マイクロ化のアプローチのほとんどは、樹脂基板やガラス基板上に微細流路や反応系を形成し、混合、反応といった液体プロセスを微細化することに注力されている。実際には、多くの化学反応・分析のアプリケーションにおいて、生成物(ときには中間状態)の化学種の状態について多様な計測を行う必要があるが、それらの計測機能の集積化はほとんどなされていない。

2. 研究の目的

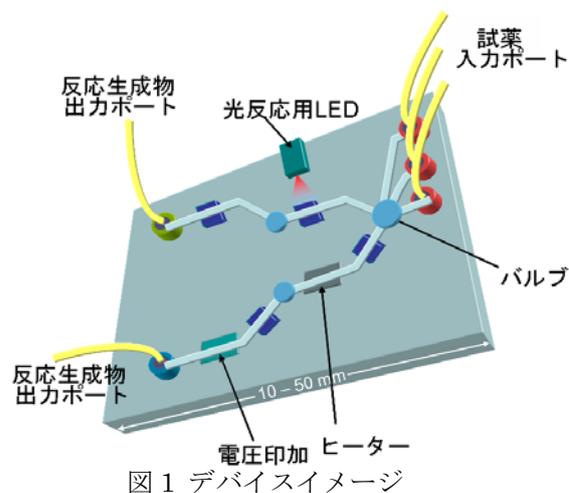


図1 デバイスイメージ

本申請研究では、図 1 に示すような形態のセンサ機能集積化マイクロリアクタを実現することを目指し、そのベースとなるセンサ及びマイクロケミストリシステムへの搭載について検討・実証を行う。

3. 研究の方法

上述のマイクロリアクタシステムを実現するため、以下のような機能をもつ CMOS マイクロチップの機能を実現する。

- ・ UV/VIS 光計測
- ・ 偏光計測
- ・ 蛍光計測
- ・ 電気化学(サイクリックボルタンメトリ)
- ・ pH

さらに、このうち特に、分子の不斉度を計測するために有効な偏光計測センサについて、直線偏光を入射光とする旋光度測定を実現するため、リアルタイムで偏光方向を分析するセンサの開発を行う。

実現したセンサについて、それらの機能を実証するとともに、デバイスをマイクロケミストリシステムに導入し、その機能を実証する。

4. 研究成果

UV/VIS 分光、偏光、蛍光、電気化学、pH を測定するセンサ TEG を設計・試作し、動作検証を行った。それぞれの機能単位センサに関して動作確認を行い、集積化への指針を得た。また、光計測・電気化学・pH に関して液体に浸漬しての測定を実証した。

さらに検証結果に基づき、光計測・電気化学計測機能を集積化したマイクロリアクタ搭載用の小型センサチップの設計・試作を行った。(論文 5, 6, 7)

LSI チップの動作検証に用いるバッチ型リアクタを製作し、LSI チップをアラインメントするプラットフォームおよびセンサ制御システムを試作した。石英製チャンバに微小パッキン構造を導入し、正確なアラインメントで LSI センサチップをチャンバ下部の開口部に密着し、バッチ型リアクタにおける化学種の分析を実施することが可能となった。

マルチファンクショナル CMOS センサの機能のうち、偏光分析機能は化学物質の不斉度を計測することを可能とし、薬品や食品、バイオ分子の合成・分析において有効な計測技術である。本研究では、CMOS デバイスプロセスにおける配線層を利用して、アクティブピクセルセンサ (APS) アレイの直上に微細ワイヤグリッド構造を搭載した構造のセンサにおいて、入射光の偏光に応じた信号強度の変化を検出することに成功した。図 2 に得られ

た偏光計測プロファイルを示す。

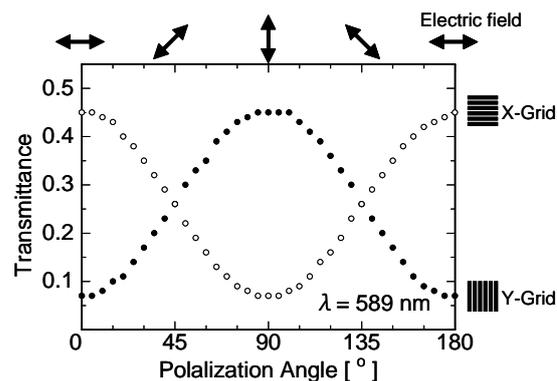


図 2: 偏光計測プロファイル

さらに、同センサによってスクロースおよびメントール溶液を用いた機能評価においては、分解能 0.05 度での旋光度計測に成功した。図 3 に、スクロースの計測例を示す。

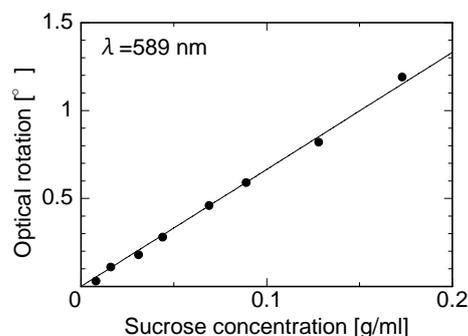


図 3: 旋光計測の例

さらに、マイクロリアクタへの組み込みと機能検証を行った。Si ウェハを Deep RIE プロセスによって加工し、CMOS センサと適合するバッチ型リアクタを製作し、送液機能を実現し、さらに化学種の分析を実施することが可能となった。濃度の異なるスクロース溶液を順次注入し時間経過とともに旋光度が変化様子などの観察に成功し、in situ 不斉度計測機能の基礎的な実証に成功した。図 4 に試作したマイクロリアクタの写真を示す。



図 4: CMOS チップ搭載マイクロリアクタ

研究の最終段階においては、上述のデバイスの実用化に向けての課題解決を行った。実現した計測原理を用いながら、イメージセンサ構成を採った新しいマイクロケミストリ向け偏光計測センサを実現した。CMOS デバイスプロセスにおける配線層を利用した微細ワイヤグリッド構造を利用することは同じであるが、さらに本研究独自の設計技術によって、多数の異なるグリッド角で設計し、これを集積化したイメージセンサ型偏光計測センサを設計・試作・動作検証した。図5に、試作したイメージセンサ型マイクロセンサチップのレイアウトを示す。

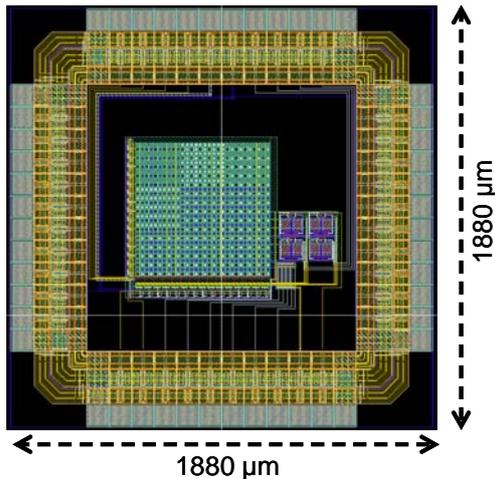


図5:高性能化偏光分析チップ

スクロースを用いた旋光度計測において、旧型のデバイスにおいては1分以上を計測に要していた旋光度計測を1秒以内に完了する、リアルタイム計測技術を達成した。分解能についても0.04度となり、向上することに成功した(図6)。これにより、マイクロリアクタへの組み込み時におけるin situ不斉度計測機能の実証に成功した。

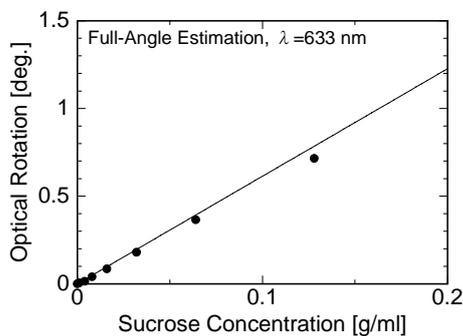


図6:高性能化チップによる旋光計測結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Takashi Tokuda, Hirofumi Yamada, Kiyotaka Sasagawa, and Jun Ohta, "Polarization-Analyzing CMOS Image Sensor with Monolithically Embedded Polarizer for Microchemistry Systems," IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, 掲載号・頁未定 (2009), 査読有, 掲載確定
- ② Takashi Tokuda, Sho Sato, Hirofumi Yamada, Kiyotaka Sasagawa, and Jun Ohta, "Polarization-analyzing CMOS photosensor with monolithically embedded wire grid polarizer," Electronics Letters, Vol. 45, 228-230 (2009) 査読有
- ③ Kyosuke Minakawa, Hirofumi Yamada, Kiyotaka Sasagawa, Takashi Tokuda, and Jun Ohta, "Micro-Chamber Device Equipped with CMOS Optical Polarization Analyzer Chip for Micro Total Analysis System," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 48 (2009), 査読有
- ④ 徳田 崇, 山田 博文, 笹川 清隆, 太田 淳, "標準 CMOS プロセスを用いた MicroTAS 向け偏光検出イメージセンサ," 電気学会 E 部門論文誌 Vol. 129, (2009) 査読有, 掲載確定
- ⑤ T. Tokuda, K. Tanaka, M. Matsuo, K. Kagawa, M. Nunoshita, J. Ohta, "Optical and Electrochemical dual-image CMOS sensor for on-chip biomolecular sensing applications," Sensors & Actuators: A, Vol. 135, 315-322 (2007) 査読有
- ⑥ T. Tokuda, I. Kadowaki, K. Kagawa, M. Nunoshita, J. Ohta, "A new imaging scheme for on-chip DNA spots with optical / potential dual-image CMOS sensor in dry situation," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, 2806-2810 (2007) 査読有
- ⑦ T. Tokuda, A. Yamamoto, K. Kagawa, M. Nunoshita, J. Ohta, "A CMOS image sensor with optical and potential dual imaging function for on-chip bioscientific applications," Sensors & Actuators: A, Vol. 125, 273-280 (2006), 査読有

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① K. Minakawa, H. Yamada, K. Sasagawa, T. Tokuda and J. Ohta, "CMOS Optical Polarization Analyzer Chip for MicroTAS," 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2008), E-6-4, 2008/8/25, Tsukuba, Japan
- ② Takashi Tokuda, Sho Sato, Hirofumi Yamada, Jun Ohta, "Polarization Analyzing CMOS Sensor for microchamber / Microfluidic System Based on Image Sensor Technology," IEEE Int'l Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), C4L-F-2, 2008/5/21, Seattle, WA.
- ③ T. Tokuda, S. Sato, K. Kagawa, M. Nunoshita and J. Ohta, "CMOS Optical Polarization Analyzer Chip for Microchamber and Microfluidic System," The 11th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2007), W16G 2007/10/10, Paris, France
- ④ T. Tokuda, S. Sato, M. Nunoshita and J. Ohta, "CMOS Optical Polarization Analyzer Chip for μ TAS," 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2007), D-9-3, 2007/9/21, Tsukuba, Japan
- ⑤ T. Tokuda, S. Sato, K. Kagawa, M. Nunoshita, and J. Ohta, "An optical / potential / voltammetric multifunctional CMOS image sensor for on-chip biomolecular / neural analytical applications," 2007 International Image Sensor Workshop (IISW2007), P24, 2007/6/7, Ogunquit, Maine, USA.
- ⑥ T. Tokuda, I. Kadowaki, K. Kagawa, M. Nunoshita, J. Ohta, "An Optical/Potential/Voltammetric Multifunctional CMOS Image Sensor for On-chip Biomolecular/Neural Sensing Applications," Int'l Conf. Solid State Devices & Materials (SSDM2006), p. 894, 2006/9/15, Yokohama.
- ⑦ 下島弘也, 山田博文, 笹川清隆, 徳田崇, 太田 淳 リアルタイム不斉度計測のための偏光分析 CMOS イメージセンサ 第 56 回応用物理学関係連合講演会 2009/3/30 筑波大学
- ⑧ 山田博文, 笹川清隆, 徳田崇, 太田淳 マイクロケミストリに向けたイメージセンサ型偏光分析 CMOS センサ 第 69 回応用物理学学会学術講演会 2008/9/4 中部

大学

- ⑨ 皆川亨介, 山田博文, 笹川清隆, 徳田崇, 太田淳 イメージセンサ型偏光分析 CMOS センサ搭載マイクロチャネルデバイス 第 69 回応用物理学学会学術講演会 2008/9/4 中部大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳田 崇 (TOKUDA TAKASHI)
奈良先端科学技術大学院大学
物質創成科学研究科 准教授
研究者番号 : 5 0 3 1 4 5 3 9