

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～ 2012

課題番号：23760361

研究課題名（和文）：デジタルミラーデバイスを用いた超高速・超高解像度化学イメージングシステムの開発

研究課題名（英文）：Development of high resolution chemical imaging systems utilizing ultra-high speed digital mirror devices

研究代表者

ワグナー トーステン（WAGNER TORSTEN）

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70598474

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、光アドレス電極(light-addressable electrodes)と light-addressable potentiometric sensor (LAPS)を融合した新たな測定系を構築する事である。両測定系は光源の移動や形状により関心領域を定義可能であり、本研究は、両者をひとつの測定系として融合させた初めての試みとなった。測定系の構築において、digital light processing (DLP) を照射領域可変の光源として使用し、マイクロ測定チャンバ内において、光アドレス電極によって局所的に生成した pH 変化を、LAPS によって検出することに成功した。本研究によって、光アドレス電極と LAPS を融合した新規測定系の有用性と可能性を示すことができ、さらに両測定系のより深い知見を得ることもできた。

研究成果の概要（英文）：Aim of the research project was the design and combination of light-addressable electrodes (LAE) in conjunction with the light-addressable potentiometric sensor (LAPS), to create a flexible miniaturized sensor and actuator system. Both technologies use the common technique to address there active region with the help of a light-spot. To create a combined system, digital light processing (DLP) technology was utilized to enable the generation of precise light spots for both technologies. Finally, measurements were carried out which combined the local change of the pH value induced by a LAE structure and the observation and detection of those local pH changes by a LAPS structure, both combined in a single micro-chamber measurement cell. This research resulted in valuable results and a deeper understanding in the mechanisms of both technologies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000 円	1,050,000 円	4,550,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：センシングデバイス、化学センサ

1. 研究開始当初の背景

(1) 半導体化学センサの一種である Light-addressable potentiometric sensor (LAPS) は、1988 年に Hafeman らによって発表されて以来、多くの研究が行われてきた。LAPS は半導体-絶縁層-溶液の三層構造にバイアス電圧を印加し、半導体層に変調光を照射した

際に外部回路を流れる交流光電流を測定する。絶縁層表面に発生する界面電位が、半導体中の空乏層容量に影響するため、観測される交流光電流は、溶液の pH などイオン濃度によって増減する。LAPS は、光照射によって測定領域を定義できる特徴がある。大面積の照射ではセンサ面の平均的な情報を得ることができ、一方、局所的な照射により、セ

ンサ面のごく一部を測定領域とする事も可能である。そのため、近年では、LAPS 測定に使用する光源の改良について検討が進行しており、測定の高速度と分解能の向上が焦点となっている。

(2)一方で、近年、光アドレス電極(Light-addressable electrode)の開発と応用について硯川らによる研究が報告された。申請者は、LAPS 測定系と光アドレス電極の構造・特性の類似性について検討を行い、両者を組み合わせる事により二つの系を融合した新規測定系の構築を行う事とした。

2. 研究の目的

LAPS と光アドレス電極は、光照射によって導電領域もしくは測定領域を指定する共通点がある。光アドレス電極は、光照射によって半導体層の一部に電流パスを発生させ、局所的な電気分解反応を起こすことができる。一方 LAPS は、変調光源の照射によって局所的な光電流を発生させ半導体中の電界効果を応用して試料中のイオン濃度を測定する。

本研究の目的は、光アドレス電極と LAPS を融合した新規測定系を構築し、複雑な配線無しで光照射によって自由にマイクロな導電領域と測定領域をアドレス可能にすることである。これによって、生体試料等に対して、光アドレス電極による局所的な電流刺激を行い、LAPS によってその反応を測定することが可能になる。

3. 研究の方法

LAPS 測定系(図 1a)と光アドレス電極(図 1b)の組み合わせには、光照射領域を柔軟に変更しうる新たな測定光源が必要である。そこで、digital light processing (DLP) の利用を検討した。

(1) DLP を用いた光源の開発

市販の DLP プロジェクタは、測定系の構築に十分な性能を有していないことが判明したために、DLP 開発キットと PC による測定系を構築した。この新しい光源には、以下の仕様が必要である。すなわち、画像処理が施されるビデオプロジェクタとは異なり、PC で生成した光スポットの形状をピクセル単位でそのまま投影する必要がある。また、画面のリフレッシュによる点滅を用いて光電流を励起する変調光を生成するためには、通常のビデオプロジェクタにおける画面リフレッシュレートの 60 Hz よりもずっと高い周波数が必要である。照射面積は数 cm² と狭いため、通常の拡大投影ではなく DLP から半導体基板に向けて縮小投影を行う必要が

ある。さらに、この光源は測定セルの下方に設置するため、小型でなければならない。LAPS と光アドレス電極用に開発した、DLP ベースの新しい光源の例を図 2 に示す。

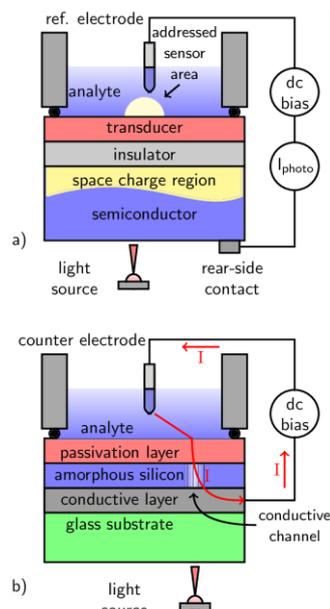


Fig.1 (a) Schematic of the light-addressable potentiometric sensor (LAPS). (b) Schematic of the light-addressable electrode (LAE).

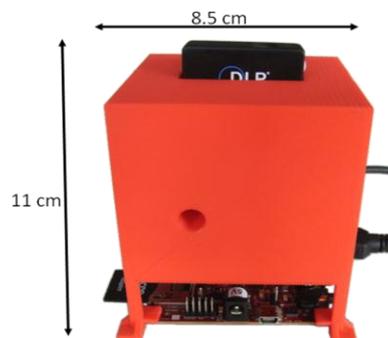


Fig.2 Customized DLP set-up based on an embedded microprocessor board and a DLP development system.

(2) 光アドレス電極の製作

ドイツ・ユーリッヒ研究センターとの共同研究により、ガラス基板上に堆積したアモルファスシリコン薄膜を用いた光アドレス電極の作製プロセスを確立した。作製した光アドレス電極を測定セルに合わせて切り出し、さまざまな測定条件下でチップの光電特性を測定できることを確認した。また、前述の硯川らの協力を得て、LAPS との組み合わせに適した光アドレス電極をデザインした。

(3) 融合測定システムの構築

二つの系を組み合わせた測定系(図 3)を構築し、実証実験を行った。まず、LAPS および光アドレス電極の動作を個別にテストし、両者を組み合わせた測定を行った。すなわち、LAPS と光アドレス電極の間に低容量のバッファ溶液を満たし、光アドレス電極によって生じさせた変化を LAPS によって検出できることを確認した。電極表面の劣化が起きていないかどうかを調べるため、測定サイクルの前後で光学顕微鏡による観察を行った。

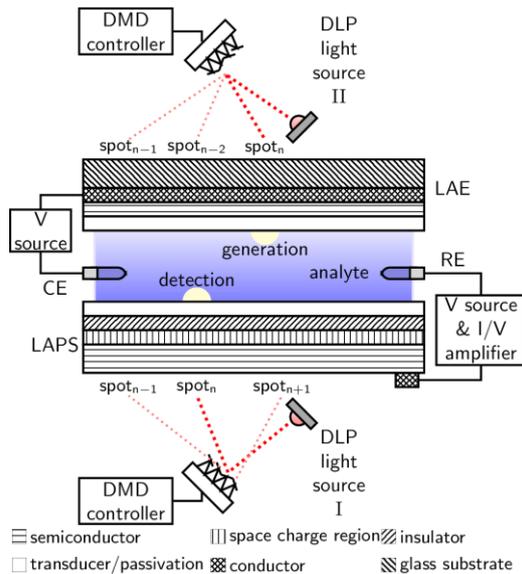


Fig.3 Schematic of a combined set-up based on the LAPS (bottom) and LAE (top).

4. 研究の成果

(1) DLP 光源の性能の確認

新たに開発した DLP ベースの光源は、LAPS-光アドレス電極複合測定システムに必要な性能を備えていることを確認した。すなわち、この光源は最大 153,600 個の光スポットを生成することができ、1 個の光スポットの最小サイズは $43 \mu\text{m}^2$ 、毎秒最大 1,440 回の点滅が可能である。測定系の改良により、最大の解像度で全スポットをスキャンするのに要する時間は、数時間から 1 時間以下に短縮することができた。なお、光アドレス電極で生成可能な電流の大きさは、DLP キットに組み込まれた LED の光強度によって制限されていることがわかったので、より高出力の LED を用いることによって、より大きな電流を得られるものと期待できる。

(2) 複合測定システムの動作の実証

マクロチャンバ内において、光アドレス電極によって局所的に生成した pH 変化を、LAPS によって検出することに成功した。複合測定システムによる pH 分布の測定例を図 4 に示す。光アドレス電極および LAPS に加え

る直流バイアス電圧の干渉を避けるため、各構造へのバイアスの印加は交互に行った。光アドレス電極に大きな電流を長時間流した場合、光学観察において劣化が認められたので、長期間にわたって使用するためには、パルス状の電流を用いる必要があると考えられる。LAPS 表面については長期間使用しても顕著な劣化は認められなかった。光アドレス電極において電流値を制御するためのパッシベーション層の検討を行った。これらの結果により、複合測定システムの動作を確認し、有用性を示すことができた。

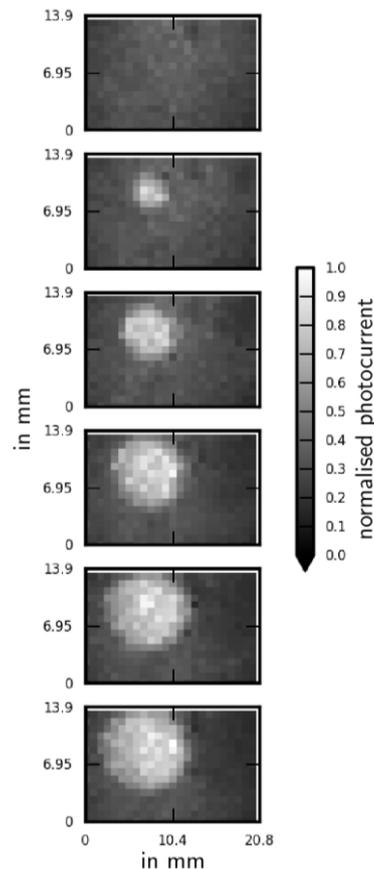


Fig.4 Local change of the pH value generated by the LAE (500 pulses of 5V each 2ms long) and simultaneously visualized by the LAPS (24 x 16 measurement spots).

(3) 研究結果の対外発表と反響

研究成果を国際学会にて対外発表し、その応用の可能性についても議論を行った。参加者からの反応は大きく、本システムの応用に関する共同研究の申し出があった。具体的には、細胞への刺激と測定を行うシステムの開発、Lab-on-Chip などの微小流体デバイスへの展開、材料評価システムへの応用などが考えられる。

(4) 将来展望

研究代表者は既に医学またはバイオ用途のアプリケーションに目標を定めて測定系をカスタマイズし、研究ツールとしての有用性を実証することに着手している。将来的には、製品化を視野に入れて研究を継続する予定である。申請者は、本研究の成果がバイオメディカル・臨床検査・オーダーメイド医療などの市場でインパクトのあるアプリケーションとして成長して行くことを確信する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) **T. Wagner**, C. F. Werner, K. Miyamoto, M. J. Schöning and T. Yoshinobu, "Development and Characterisation of a Compact Light-Addressable Potentiometric Sensor (LAPS) Based on the Digital Light Processing (DLP) Technology for Flexible Chemical Imaging" Sensors and Actuators B, 170 (2012) pp.34-39. 査読有り (DOI: 10.1016/j.snb.2010.12.003).

(2) **T. Wagner**, K. Miyamoto, C. F. Werner, M. J. Schöning and T. Yoshinobu, "Utilising Digital Micro Mirror Device (DMD) as Scanning Light Source for Light-Addressable Potentiometric Sensors (LAPS)" Sensor Letters, 9 (2011) pp.812-815. 査読有り (DOI: 10.1166/sl.2011.1620).

(3) C. F. Werner, S. Schusser, H. Spelthahn, **T. Wagner**, T. Yoshinobu and M. J. Schöning "Field-Programmable Gate Array Based Controller for Multi Spot Light-Addressable Potentiometric Sensors with Integrated Signal Correction Mode" Electrochimica Acta, 56 (2011) pp.9656-9660. 査読有り (DOI: 10.1016/j.electacta.2011.03.012)

〔学会発表〕(計5件)

(1) **T. Wagner**, N. Shigihara, K. Miyamoto, J. Suzurikawa, F. Finger, M. J. Schöning and T. Yoshinobu, "Light-Addressable Potentiometric Sensor and Light-Addressable Electrodes as a Combined Sensor-and-Manipulator Microsystem with High Flexibility" Eurosensors XXVI, Krakow, Poland, 9-12 September 2012.

(2) N. Shigihara, **T. Wagner**, K. Miyamoto and T. Yoshinobu, "Combination of the DMD-Based Chemical Imaging System and the Light-Addressable Electrode for Stimulating Cells", The 6th International

Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, Sendai, 8 March 2012.

(3) **T. Wagner**, K. Miyamoto, N. Shigihara, M. J. Schöning and T. Yoshinobu "Microfluidic Systems with Free Definable Sensor Spots by an Integrated Light-Addressable Potentiometric Sensor" Eurosensors XXV, Athens, Greece, 5-7 September 2011.

(4) **T. Wagner**, K. Miyamoto, T. Kaga, F. Werner, M.J. Schöning and T. Yoshinobu "Light-Addressable Potentiometric Sensor System Based on a Single-Chip Controller Unit" Engineering of Functional Interfaces Workshop 2011 (EnFI2011), Linz, Austria, 19-20 July 2011.

(5) **T. Wagner**, K. Miyamoto, C. F. Werner, M. J. Schöning and T. Yoshinobu "Flexible Electrochemical Imaging by Light-Addressable Potentiometric Sensor with 'Zoom-in' Functionality" The 16th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers'11), Beijing, China, 5-9 June 2011.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ワグナー トーステン (WAGNER TORSTEN)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：70598474

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：