

平成 22 年 4 月 29 日現在

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19680022

研究課題名 (和文) TFT アクティブマトリクス人工腎臓開発のための基盤研究

研究課題名 (英文) Basic Research on TFT Active-Matrix Artificial Kidney

研究代表者

黒木 伸一郎 (KUROKI SHIN-ICHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70400281

研究成果の概要 (和文)：

本研究は TFT アクティブマトリクス・アレイにマイクロチャネルを積層し、そこにイオン溶液を導入、マイクロチャネルに電圧印加を行うことにより細胞やイオンの分離・輸送を行うことを目的としている。微小流路中に非対称電極対をアレイ状に配置し、相対する電極間に非対称な電界分布をつくることで、擬似血球細胞の輸送を行った。またこれを発展させ、TFT アクティブマトリクス上にマイクロ流路を形成し、流路中で血球細胞の操作可能なデバイスを試作した。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this study was to fabricate microchannel chip with TFT active-matrix array for cell and ion manipulations. For separation of blood cells, asymmetric electrode array was suggested, and micro particles were locally manipulated by dielectrophoresis in microchannel chip. And microchannel chip with TFT active-matrix array for cell sorting was also fabricated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	5,600,000	1,680,000	7,280,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：人工臓器工学

## 1. 研究開始当初の背景

国内の人工透析患者数は、27 万人をこえ、年 1 万人ずつ増加している。これは国民 490 人に 1 人は透析患者である計算であり、もはや人工透析は身近な治療であるといえる。人工透析を受けはじめると、現状では腎臓移植

を行わない限り、一生治療を受ける必要がある。患者側からみれば、2～3 日ごとに 4～5 時間程度の人工透析治療が必要であり、時間的・身体的負担が多大なものである。

## 2. 研究の目的

薄膜トランジスタによるアクティブマトリクス・アレイを用いた電界駆動型マイクロイオンチャンネルチップを研究し、マイクロイオン分離輸送技術と高性能薄膜トランジスタ技術を確認することで、新規 TFT アクティブマトリクス・イオンチャンネル型の人工腎臓（ネフロンチップ）開発につなげる。

### 3. 研究の方法

マイクロ流路チップの作製方法として、石英基板を用いる方法と PDMS を用いる方法を検討し、これを試作した。電極基板の作製では 2 インチ石英基板を用いた。まず、石英基板の表面の有機物、メタル除去のために SPM(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 4 : 1)、DHF (HF (50%) : H<sub>2</sub>O = 1 : 99) による洗浄を行った。基板洗浄後、石英基板上に電極として Ti/Pt をスパッタリングにより成膜した。Ti、Pt の膜厚はそれぞれ、50 nm、200 nm とした。Ti は石英基板と Pt の密着性向上のために成膜した。その後、リソグラフィにより電極のパターニングを行い、続いて、Ti/Pt 電極のエッチングを行った。エッチングには FAB(Fast Atom Beam) を用いた。使用ガスは SF<sub>6</sub> で、45 分エッチングを行った。最後にアセトン超音波によりレジストを除去した。

TFT マイクロ流路チップ作製は以下のように行った。TFT のアクティブ領域は、CW グリーンレーザにより結晶化を行った。この結晶化により a-Si を poly-Si に結晶化をしている。レーザ結晶化後、FAB によりアクティブ領域の素子分離を行った。ドーピングは、ダミーゲートを形成することで SD 領域を分離した後、P ドープ SOG をスピコートした。その後、ファーネス炉において N<sub>2</sub> 雰囲気、900°C で 2 時間加熱をすることで活性化を行った。SOG、ダミーゲートはバッファードフッ酸である LAL800(ステラケミファ)を用いて除去した。APCVD によるゲート酸化膜成膜後、コンタクトホール形成には LAL800 を用いた。配線には Al および Mo を用いた。Mo は Al の成膜直後に連続で成膜をしている Al/Mo の膜厚は 200 nm とした。これは、Al 表面にあらかじめ Mo を成膜することで、Al が酸化して Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> もしくは Al/Ti のコンタクトが取れなくなってしまうことを防ぐためである。Al/Mo のエッチングにはリン硝酸酸によるウェットエッチングで行った。また、層間絶縁膜には SOG をスピコートすることで成膜した。層間絶縁膜のエッチングには FAB を用いた。使用ガスは SF<sub>6</sub> を使用し、9 分エッチングを行った。第 2 層層間絶縁膜成膜後、電極部分である Ti/Pt をスパッタリングにより成膜した。最後に水素シンタリングを行った。

### 4. 研究成果

基本的技術としてまず二次元マイクロチャンネルの作製技術を確認し、イオン輸送・分離を行うための電極マスクパターン設計とマスク作製を行った。マイクロチャンネルは基板として石英基板を用い、石英基板上にハードマスクとして Si 薄膜をスパッタ法により成膜し、その後レジスト成膜、マスクアライナによりパターン形成を行い、その後 FAB (Fast Atom Beam) 法により Si ハードマスクをエッチング、その後 BHF(バッファード HF)液により、石英基板のエッチングを行った。また希 HF 溶液を用いた石英基板同士の常温張り合わせ技術の確認を行った。常温張り合わせはクリーンルーム内ウェットステーションで行われるよう、専用テフロン治具を試作し実施した。これらの作製プロセスを用いて、二次元マイクロチャンネルチップの試作を行った。試作後マイクロチャンネルチップにシリコンチューブを接続し、電気浸透流ポンプを用いて、チップへの液体導入を行った。流体観察はチップへ蛍光ビーズ (1 μm 径) を導入し、蛍光顕微鏡で観察することで行った。イオン輸送・分離を行うための電極マスクパターンとしては、流路上に等間隔で電極の配置した単純電極パターンの他、電極間隔に傾斜をつけた櫛型パターンを設計し、電子線露光装置を用いて試作を行った。

TFT アクティブマトリクス・アレイにおける血球細胞の輸送を目的として、誘電泳動による細胞輸送チップを試作し、実験を行った。従来、誘電泳動デバイスでは、単一電極による細胞分離等を行われているが、本研究では、非対称形状の電極対を並べ、これに連続的に電圧印加し、擬似細胞（マイクロビーズ）の電気的制御を行っている。石英基板上に Ti (50nm)/Pt (200nm) 膜を形成し、ドライエ

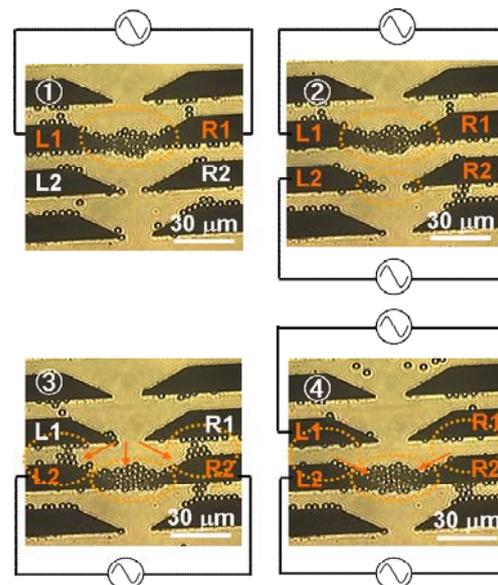


図1. 非対称形状の電極アレイによる擬似細胞（マイクロビーズ）操作。

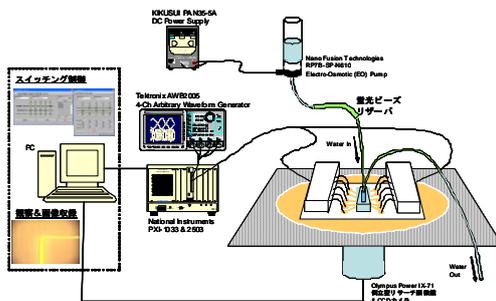


図2. マイクロ流路デバイス駆動制御システム

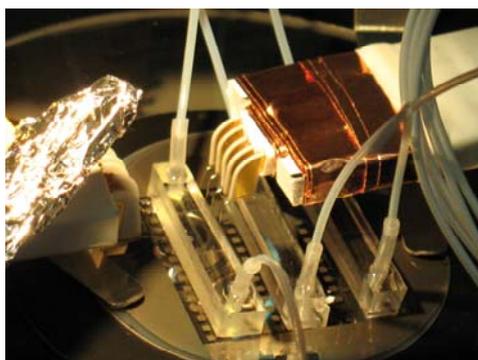


図3. 擬似細胞操作実験の実験時写真

ッチングにより鋭角を持つ非対称形状の電極アレイを形成し、これに、PDMS による流路を接着し、マイクロビーズを導入した。電極形状を非対称にし、電極対に位相を  $180^\circ$  ずらした電圧を印加することで、擬似細胞（マイクロビーズ）を高い効率で操作移動することに成功した（図1参照）。また電極形状の最適化のために、有限要素法により静電ポテンシャル分布の計算を行った。この実験と合わせて、マイクロ流路デバイスを駆動するための、制御システムを構築した（図2参照）。ウェーブフォームジェネレータにより生成した電圧を、スイッチングユニットを通して電極アレイに印加し、スイッチングユニットを PC 上で作成したプログラムにより制御することで、チップ中の電極アレイ間にある擬似細胞（マイクロビーズ）を連続的に操作が可能となった。図3に実験時の写真を示す。

TFT アクティブマトリクス上にマイクロ流路を形成し、流路中を自由に血球細胞の操作可能なデバイスを試作した。TFT アクティブマトリクス上に、マイクロ流路を形成し、自由に血球細胞を操作するには、1 次元的な流路に加えて、十字路型の流路において直線的な操作に加え、左右に操作をする必要がある。このために十字路型流路のための最適な電極配置を示した。TFT アクティブマトリクスは、最下層の TFT のアクティブ層に、二層の配線層を形成し（一層あたりビア層とワイヤ層からなる）、最上層にチタンと白金からなる電極層を形成し、作製を行った。この白金層が流路に露出しており、流路中液体への電

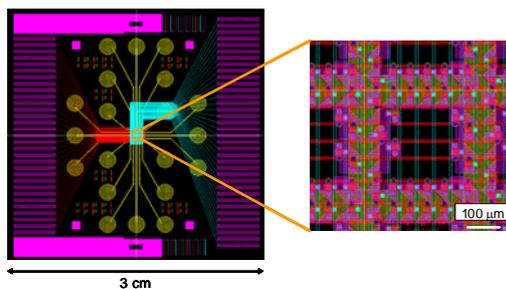


図4. TFTアクティブマトリクス・マイクロ流路チップのマスクデザイン

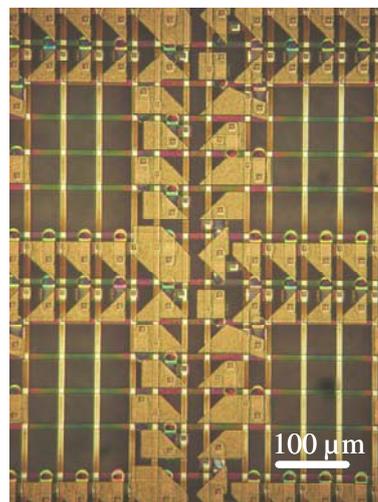


図5. 試作したTFTアクティブマトリクス・マイクロ流路チップの写真

圧印加を行う。このチップのマスクデザインを図4に示し、また図5に試作チップの写真を示す。本デバイスに実際に血液を導入する場合、電極や流路への血球細胞の付着や、アルブミン等タンパク質の吸着が問題になる。これを抑止するために、表面処理技術の検討を行った。

#### 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6件）

1. Shin-Ichiro Kuroki, Xiaoli Zhu, Koji Kotani, and Takashi Ito, "Enhancement of Current Drivability of Nanograting Polycrystalline Silicon Thin-Film Transistors", Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DJ11-1 - 04DJ11-5, 査読有。
2. Jun Jiang, Shin-Ichiro Kuroki, Koji Kotani, and Takashi Ito, "Ferroelectric Properties of Lead Zirconate Titanate Thin Film on Glass Substrate Crystallized by Continuous-Wave Green Laser Annealing", Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 04DH14-1 - 04DH14-4, 査読有。
3. Shin-Ichiro Kuroki, Kiichiro Tago, Koji Kotani, and Takashi Ito, "Low-Temperature Recrystallization of

Ferroelectric Lead Zirconate Titanate Thin Films on Glass Substrate Using Continuous-Wave Green Laser”, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C142-1 - 04C142-4, 査読有.

4. Shuntaro Fujii, Shin-Ichiro Kuroki, Masayuki Numata, Koji Kotani, and Takashi Ito, “Roughness Reduction in Polycrystalline Silicon Thin Films Formed by Continuous-Wave Laser Lateral Crystallization with Cap SiO<sub>2</sub> Thin Films”, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C129-1 - 04C129-4, 査読有.
5. S. Fujii, S. Kuroki, X. Zhu, M. Numata, K. Kotani, and T. Ito, “Crystallinity and Internal Strain of One-Dimensionally Long Si Grains by CW Laser Lateral Crystallization”, ECS Trans. 16 (9), 145 (2008), 査読有.
6. Shuntaro Fujii, Shin-Ichiro Kuroki, Xiaoli Zhu, Masayuki Numata, Koji Kotani, and Takashi Ito, “Analysis of Continuous-Wave Laser Lateral Crystallized Polycrystalline Silicon Thin Films with Large Tensile Strain”, Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) pp. 3046-3049, 査読有.

[学会発表] (計 17 件)

1. Masaki Midorikawa, Shin-Ichiro Kuroki, Koji Kotani, and Takashi Ito, “Continuous manipulation of micro particles by Use of dielectrophoresis using asymmetric electrodes array”, 5th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, 2010年2月25日, 仙台市.
2. Shin-Ichiro Kuroki, Shuntaro Fujii, Jiang Jun, Masaki Midorikawa, Koji Kotani, and Takashi Ito, “One-dimensionally Long Silicon Grain Formation by Continuous-Wave Green Laser and Its Applications” (招待講演), International Thin-Film Transistor Conference 2010, 2010年1月28日, 姫路市.
3. Shin-Ichiro Kuroki, Xiaoli Zhu, Koji Kotani and Takashi Ito, “The Drivability Enhancement of Poly-Si TFTs by use of Nanograting Substrate”, the 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2009年10月8日, 仙台市.
4. Masaki Midorikawa, Shin-Ichiro Kuroki, Daiki Obara, K. Kotani and T. Ito, “Continuous Manipulation of Micro Particles by Use of Asymmetric Electrodes Array”, the 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2009年10月8日, 仙台市.
5. Jun Jiang, Shin-Ichiro Kuroki, Koji Kotani, and Takashi Ito, “Highly-(001)-Oriented Ferroelectric PZT Thin Films on Glass by CW Green-Laser Crystallization”, the 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2009年10月8日, 仙台市.
6. 緑川真己、黒木伸一郎、小原大輝、小谷光司、伊藤隆司、「非対称電極を用いたマイクロビーズの連続的操作」、第56回応用物理学関係連合講演会講演会、2009年3月31日、つくば市.
7. 岩田英範、黒木伸一郎、藤井俊太郎、小谷光司、伊藤隆司、「CWレーザー多重照射によるシリコン薄膜の(100)結晶配向性向上」、第56回応用物理学関係連合講演会講演会、2009年3月31日、つくば市.
8. 藤井俊太郎、黒木伸一郎、岩田英範、沼田雅之、小谷光司、伊藤隆司、「Cap SiO<sub>2</sub>薄膜によるラテラル結晶化Poly-Si薄膜のラフネス低減」、第56回応用物理学関係連合講演会講演会、2009年3月31日、つくば市.
9. 黒木伸一郎、沼田雅之、藤井俊太郎、小谷光司、伊藤隆司、「エタノール添加スラリーを用いたCWレーザー結晶化Si薄膜のCMP」、薄膜材料デバイス研究会第5回研究集会、2008年10月31日、奈良市.
10. 沼田雅之、黒木伸一郎、藤井俊太郎、小谷光司、伊藤隆司、「エタノール添加スラリーを用いたCMPによるCWレーザー結晶化Si薄膜の平坦化」、電子情報通信学会SDM研究会 SDM2008-151、2008年10月9日、仙台市.
11. S. Fujii, S. Kuroki, X. Zhu, M. Numata, K. Kotani, and T. Ito, “Carrier Transport Mechanism in Poly-Si TFTs with One-Dimensionally Long Grains.” the 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2008年9月13日, つくば市.
12. S. Fujii, S. Kuroki, M. Numata, K. Kotani, and T. Ito, “Roughness Reduction Technique for High Performance Poly-Si TFTs by CW Laser Lateral Crystallization with Cap SiO<sub>2</sub> Thin Films”, the 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2008年9月13日, つくば市.
13. 藤井俊太郎、黒木伸一郎、朱小莉、沼田雅之、小谷光司、伊藤隆司、「CLC poly-Si

- TFTのキャリア輸送メカニズムの解析」、第 69 回応用物理学会学術講演会講演会、2008 年 9 月 2 日、春日井市。
14. 藤井俊太郎、黒木伸一郎、朱小莉、田主裕一郎、小谷光司、伊藤隆司、「CLC poly-Si TFTの電界効果電子移動度」、第 55 回応用物理学関係連合講演会講演会、2008 年 3 月 28 日、船橋市。
  15. 沼田雅之、黒木伸一郎、藤井俊太郎、小谷光司、伊藤隆司、「エタノール添加CMPによるCWレーザ結晶化Si薄膜の平坦化」、第 55 回応用物理学会関係連合講演会、2008 年 3 月 28 日、船橋市。
  16. 黒木伸一郎、藤井俊太郎、朱小莉、沼田雅之、小谷光司、伊藤隆司、「連続波グリーンレーザ再結晶化Si 薄膜における結晶性と歪み」、薄膜材料デバイス研究会第 4 回研究集会、2007 年 11 月 2 日、京都市。
  17. S. Fujii, S. Kuroki, Z. Xiaoli, M. Numata, K. Kotani, and T. Ito, “Lateral Recrystallized Si Thin Films with Large Tensile Strain for High Performance Thin Film Transistors”, the 2007 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2007 年 9 月 19 日、つくば市。

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：マイクロ流路デバイス  
発明者：黒木伸一郎、伊藤隆司  
権利者：東北大学  
種類：特願  
番号：2009-074999  
出願年月日：平成 21 年 3 月 25 日出願  
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等  
<http://www.sse.ecei.tohoku.ac.jp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒木 伸一郎 (KUROKI SHIN-ICHIRO )  
東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70400281

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者 なし