

機関番号：14603

研究種目：基盤研究（A）一般

研究期間：2007～2010

課題番号：19206042

研究課題名（和文） 埋込み型機能集積化 CMOS 神経細胞インターフェイスチップ

研究課題名（英文） Implantable smart CMOS neural interface chips

研究代表者

太田 淳（OHTA JUN）

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：80304161

研究成果の概要(和文):薬剤吐出機構を集積化したマイクロ流体制御デバイスの動作実証を行い、CMOS回路によるアドレッシング機能の集積化と5nlの吐出量制御に成功した。更にマウス脳内埋植デバイスとして、蛍光観察と刺激、電位計測を同時に実現できるデバイスの設計試作を行い、基本機能の実証に成功した。これらによりCMOS技術による神経細胞インターフェイス技術を切り開くことができた。

研究成果の概要(英文):We have developed micro-fluidic device integrated with fluid output function and demonstrated its fundamental operation. The fabricated device with CMOS addressing circuits successfully demonstrates a precise output function to control 5-nl volume of liquid. In addition, we have developed an implantable device to measure fluorescence as well as potential and stimulation. These results exploit a new interface technology for neural cells and CMOS chips.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	15,800,000	4,740,000	20,540,000
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2009年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2010年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
年度			
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野:工学

科研費の分科・細目:電気電子工学

キーワード:CMOS, 生体内埋込み, マイクロ流路, イメージセンサ

1. 研究開始当初の背景

本研究は、生体内に埋植し蛍光や電位などの物理量検出とそれに応じた細胞刺激機能を実現する動物実験用埋込み型機能集積化CMOS神経細胞インターフェイスチップ実現を目的とするものである。このデバイスは能動的に細胞活動を監視・刺激する神経細胞インターフェイス機能により、従来になかった脳科学研究ツールとなえとと共に、最終的にはヒトの脳内に埋植し人工的にシナプス機能を実現する臨床治療デバイスへと繋がるものである。

神経細胞インターフェイスの実現方法には大別して電気刺激と化学刺激がある。電気刺激は神経細胞への電気刺激による活動電位誘発(細胞興奮)を基本としたものであり、人工内耳として実用化されており、また近年は人工視覚への適用も進められている。申請者もCMOS LSI技術を用いた人工視覚の研究を進めており家兎眼埋植での刺激実験に成功している。一方、化学刺激は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)や μ TAS (Micro Total Analysis System)技術を背景に研究が盛んになっており、グルタミン

ン酸等の投入によるシナプス活性化を行う人工シナプスの報告がある。電気刺激では実現が困難な単一細胞刺激が可能であると期待されている。

申請者らはこの人工視覚技術を元に平成16年度から3年間科研費基盤(B)(2)「分散型バイオフォトニックデバイスの研究」を進めてきた。これは図1に示すようにマウスの脳深部に新たに開発したCMOSイメージセンサを実装したデバイスを挿入し、マウスが生きた状態でのシナプス活動を蛍光を通じて観察するシステムである。このデバイスにより海馬内のプロテアーゼ等発現の空間的变化をリアルタイムに計測することに成功した。これは従来の脳内活動の計測手段であるfMRI (functional Magnetic Resonance Imaging)等では計測困難なマウスのような小動物の脳深部時間空間領域の観察を可能とする手段であり、今後の脳神経研究にとって重要な測定手段として期待できるものである。

このデバイスは、図1に示すようにセンサ以外に励起光導入ファイバや薬剤導入管の刺入が必要であるためマウスを拘束する必要がある。これらの機能を集積化した図1に示すようなデバイスが実現できれば、マウス脳内への完全埋込が実現でき、非拘束状態での脳深部活動記録が可能となる。このようなデバイスは脳神経機能研究にとって画期的な計測手段として期待できる。

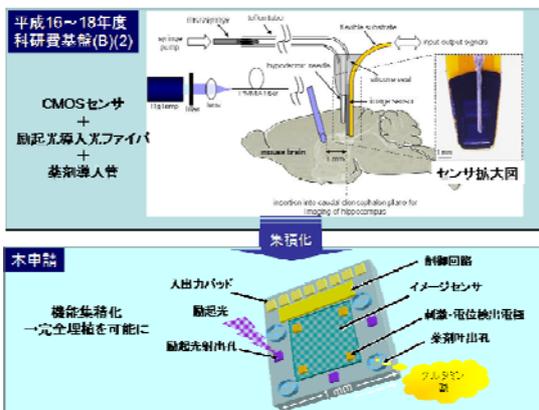


図1:埋込型CMOSセンサ。上:これまでの実施方式。下:本申請方

更にこのデバイスは、外界物理情報(光、電位、pH等)を感受して細胞を能動的に刺激するいわばシナプス機能を人工的に実現できるものと言え、その考え方にに基づき申請者らはデバイスの治療応用を着想した。具体的には、現在研究が進み一部実用化されている脳深部刺激デバイスの高機能化である。脳深部刺激はパーキンソン病などの不随意運動の軽減を目指して脳深部内に刺激電極[4]を埋植するもので、脳深部に刺入した電極をユーザが意識的に刺激操作

するものである。これに対して、脳深部に埋植したデバイスが感受した周囲の物理量を元に電気刺激・化学刺激を自律的に制御することができれば、より効果的な治療が期待できる。

なお、このような機能デバイス実現には、上述の疾患への有効性のみならずデバイスの人体への安全性の確認など長期の臨床試験等を要するため、本申請期間中ではその基本的な動作実証のみを目的とするものである。

2. 研究の目的

今回の申請は申請者が研究代表者である平成16年度～18年度 科研費基盤(B)(2)「分散型バイオフォトニックデバイスの研究」におけるデバイスの高機能化と応用範囲拡大を狙ったものである。具体的には以下の3点が研究課題となる。

【1】 前述の人工視覚デバイスにおける電気刺激機能集積化やMEMS技術を援用して励起光源集積化と薬剤投入機能集積化したデバイスの設計・試作ならびに生理食塩水中における動作実証を行うこと(in vitro実証), 【2】 本デバイスをマウス脳内深部に埋植し、電気刺激ならびに化学刺激を行い、シナプス活動の賦活とそのイメージングを行い、より能動的なシナプス活動記録を実現する、すなわち、本デバイスにより電気・化学刺激を行いその活動結果を蛍光強度ならびに電位変化により検知し、それに応じた刺激を行う、といったフィードバック機能を行うこと(in vivo実証), 【3】 デバイスの小型化を図り、マウス脳内への完全埋込(但し電力供給、データ送受信は有線)を実施し、完全非拘束状態でのシナプス活動記録を目指す(完全非拘束と将来の臨床実験への布石)。これらの結果により、埋込型機能集積化CMOS神経細胞インターフェイスチップの脳神経科学分野における有用性を実証し、もって本分野における新しい知見の発見に資することを目指す。更に、これらの結果からヒト脳深部刺激の本デバイスの臨床応用への可能性について検討を行う。

前述のマウス脳内への埋め込みチップによる脳深部でのシナプス活動を観察した例は研究代表者らのオリジナルな技術であり、このような報告は申請者の知る限り現状では国内外ではない。前述のようにこの技術は従来のfMRI等では困難な時空間分解能領域の測定を可能とするものである。今回の申請ではこれらの研究成果をベースとし、更に電気刺激、励起光源、薬剤投入機構を集積化した他に類を見ない研究である。ガラス基板や高分子基板を用いたMEMSや・TAS技術を用いたバイオメディカルデバイスは研究が進んでいるが、Si-LSI技術を用いたバイオメディカルデバイスは研究がまだ進んでおら

ず、材料、デバイス、システムの観点からバイオとLSIとの融合技術として極めて重要な意義があると期待される。また脳神経科学分野への一層の寄与と共に、更にこれらの知見を元に本デバイスの脳治療用デバイスへの適用可能性についての知見が得られ、Si-LSI技術の医療分野への展開に関する重要な布石になると期待される。

3. 研究の方法

本研究では埋込み型機能集積化CMOS神経細胞インターフェイスチップ実現に向けて、図2に示すような以下の3つの研究課題を設定する。

【1】in vitro実証:機能集積化CMOS神経細胞インターフェイスチップの試作と生理食塩水中での動作実証

【2】in vivo実証:チップのマウス脳内埋植による動作実証と電気・化学刺激による能動的シナプス動作検証

【3】完全非拘束実験と将来の臨床試験への布石:マウス脳内完全埋植を可能とするチップ小型化により、完全非拘束状態でのシナプス機能実証、ならびに、ヒト臨床試験への適用を目指した基本検討。

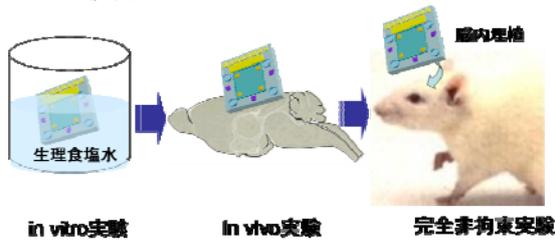


図2: 研究課題

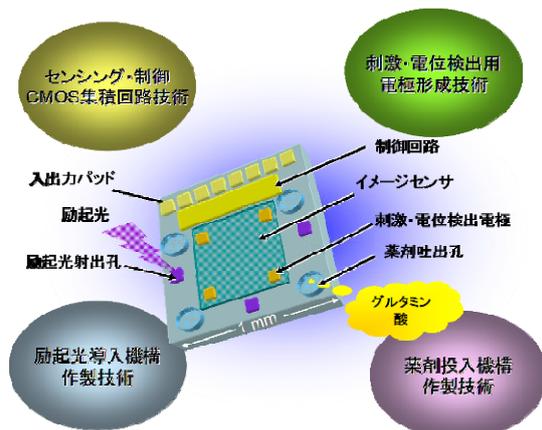


図3: 機能集積化神経細胞インターフェイスチップの研究課題

【1】in vitro実証

本課題は、図3に示すように(a) 刺激電極・電位検出電極の集積化、(b) 励起光源の集積化、(c) 薬剤投入機構の集積化に分けられる。(a)は

人工視覚研究で培ったLSIチップ上への刺激電極形成技術を援用する。電極はPt/Au2 重スタッドバンプを用いて形成する。細胞刺激を可能とする電荷注入能力を有する電極形成を行う。更にPt以外の高電荷注入効率材料であるIrOx, TiNや誘電体電極(Ta2O5, BaTiO3 等)を検討する。

(b)と(c)はDRIE(Deep Reactive Ion Etcher)を用いてチップに貫通孔を形成し、その孔を通じて励起光や薬剤を導入する構造とする。(b)では、励起光源として近紫外チップLEDをチップ裏面に実装することで効率よくターゲットに励起光を照射しかつチップに励起光が照射されにくくなる。これにより従来は光ファイバで導入していた励起光に比べて格段に高効率化が実現できると期待される。

(c)の薬剤導入に関しては、当初はチップ裏面に実装した薬剤導入チューブから貫通孔を通じて薬剤注入が行えることを確認する。次に、薬剤注入機構の集積化について集中的に研究を行う。まず薬剤を効率よく注入する機構をDRIEとXeF2 等方エッチャーなどを用いて作製する。完全にSi-LSI内に流路を構成して薬剤投入機構を作りこむ手法と、既存のμTASデバイスを参考として高分子材料(PDMSなど)を使いLSI上にハイブリッド集積化を行うなどの手法も検討し、リスク分散を図る。また高電荷注入効率電極形成技術を実施し、チップ上への集積化を行い、生理食塩水中での動作実証を行う。刺激電極集積化、励起光源集積化、及び薬剤投入機構集積化を行った高機能CMOS神経細胞インターフェイスチップを生理食塩水中で動作させ、水密性など包埋技術の検証を行う。デバイスの包埋材料として水密性と絶縁性に優れたパリレンを用いる。

【2】in vivo実験

申請者らは平成16年度～18年度科研費基盤(B)(2)にて、マウス脳内に電気刺激用プローブを刺し電気刺激を行い、開発したマウス脳内埋植用CMOSイメージセンサデバイスを用いて、電気刺激による細胞応答がセンサにより取得可能なことを実証している。この知見を元に、形成したPt/Auスタッドバンプ電極による応答を蛍光を通じて本デバイスで計測し、その有効性を確認する。

確立したチップ試作技術により刺激電極、励起光源を集積化した埋植チップを用いて、マウス海馬における短期記憶活動を詳細に解析すると共に、電気刺激を行った結果のシナプス活動を検出後、更に電気刺激にフィードバックする一連の動作によるシナプス機能実証を行う。また化学刺激によるシナプス活動の実験も行う。試作した薬剤投与機構を集積化した埋植チップを用いて薬剤投与を行い、in vivoでの化学刺激を

実施する。

【3】完全非拘束実験と臨床試験への布石
まずチップ小型化に必要な回路構成や低消費電力化、ワイヤレス電力伝送などの検討を行う。次に、チップの完全埋植を可能とする小型化を実施する。具体的には1mm角以下に励起光源、刺激電極、光・電位検出機能を集積化した超小型神経細胞インターフェイスチップを試作し、動作実証を行う。更に薬剤投入機構の集積化についても2mm角程度のチップで検討を行う。

この1mm角以下の超小型チップを数本の有線を体外に出す以外は全て脳内に埋込み、ほぼ自由な状態(非拘束状態)でマウスを行動させ、短期記憶形成など脳神経科学上重要な現象の測定を実施する。これらの超小型チップはLSI試作には0.18 μm CMOSプロセスを用い、また体内外との通信はシリアル通信とし出来る限りワイヤの本数を減らす工夫をする。

超小型チップのin vivo動作実証ができれば最後に実際の臨床試験に必要な仕様について検討を行う。実装材料には基本的に生体適合性材料を用いていけば、材料溶出等による安全性にはほぼ懸念はないが、耐久性や電気的安全性などの課題が残る。特に水密性には充分注意を払う必要があり、この点に関する動作実証を月単位で行い、将来の臨床試験への基礎データとする。

4. 研究成果

【1】in vitro実証: 薬剤注入機構の集積化について 研究を行った。まず薬剤を効率よく注入する機構をDRIEを用いて作製した。方式検討をした結果、既存の μTAS デバイスを参考としてLSI上にハイブリッド集積化を行う手法を採用した。また初年度実施した高電荷注入効率電極形成技術を引き続き実施し、チップ上への集積化を行い、生理食塩水中での動作実証を行った。

更に、CMOSチップ駆動型微小流体吐出デバイスを試作し、微小流体制御を目的とし、試作デバイスを用いて動作検証を行った。電気化学CMOSチップを設計し、2ビットデコーダーにより4×4単位セルアレイ内の電極の選択が可能となる。Auバンプ電極をCMOSチップのAlパッドに形成し、パリレン保護により電極の腐食を防止した。これによりAuバンプ電極で電気分解によるガスの発生を観測した。デバイスを試作し、マイクロポンプ機能の検証としてガス発生によるシリコン膜の変位を計測した。シリコン膜の変位は80 μm に達し、マイクロポンプ機能を実証した。また、電圧範囲5.0 V以下で駆動可能であることを確認した。薬剤吐出機構を検証するためにマイクロ流体の吐出量を計測し、注入電荷量に部分的に比例した吐出量を確認した。この結果、5nlの吐出量を得た。注入電荷量を調整することにより微小流体吐出の制御が可能であると考え

られる高電荷注入効率電極形成技術を実施し、IrO_xとTiN薄膜のスパッタによる成膜形成条件と電荷注入効率との関係を詳細に検討した。

【2】in vivo実証: 刺激電極、励起光源を集積化した埋植チップを用いて、マウス海馬における短期記憶活動を詳細に解析すると共に、電気刺激を行った結果のシナプス活動を検出後、更に電気刺激にフィードバックする一連の動作によるシナプス機能実証を行い、基本的な動作実証を確認した。更に、励起光源を集積化した埋植チップを用いて、マウス海馬および視床下部に埋植し脳機能計測を実施した。今年度は特にチップ保護に従来のエポキシ樹脂からパリレンに変更することでチップ表面保護膜厚を薄くすることを可能とし分解能向上を達成できた。さらにチップ上の励起光源配置等を検討し、励起光分布の均一化を試みた。

【3】完全非拘束実験と臨床試験への布石
以上の結果をもとに、チップの完全埋植を可能とする小型化を実施した。具体的には励起光源、刺激電極、光・電位検出機能を集積化した超小型神経細胞インターフェイスチップを試作し、動作実証を行った。チップ上には約10000画素の蛍光検出機能と電気特性評価用の10個の電極、及び励起用LEDを実装した。電極は蛍光検出機能による画像を妨げないように、メタルをメッシュ状に形成した。標準0.35 μm CMOSプロセスを用いてチップを試作し、脳内挿入を容易とするためシャンク形状にDeep RIE装置を用いて加工した。また電極にはAlパッドの上にAuを形成することで生理食塩水中での電気分解を抑制した。試作したチップを用いて生理食塩水中で、電位計測と電流注入が可能であることを実証した。更にマウス脳内に埋植に撮像が可能であることを実証した。次に長期動作についての検討を実施した。包埋材料を検討し、細胞毒性試験を行い生体安全性について確認を行うと共に、生理食塩水中での動作実証を1月以上おこない、水密性についても実証を行った。これにより将来の臨床試験への基礎データとすることができた。本研究期間の成果により、マルチモーダルCMOSセンサの基本実証を行うことに成功し、これにより脳科学への応用を一層推進し、更にはてんかんやパーキンソン等の機能性脳疾患への応用についてより詳細な検討を行うための礎を築くことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計12件)

1. S. Shishido, Y. Oguro, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, J. Ohta, CMOS Imaging Device for Optical Imaging of Biological Activities, IEEJ Trans. EIS, 131, 76-82, 2011. 査読有
2. K. Minakawa, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, J. Ohta, Microfluid Ejection Device Based on Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Technology as an Artificial

Synapse, Jpn. J. Appl. Phys., 49, 01AG03-1, 4, 2010. 査読有

3. A. Tagawa, H. Minami, M. Mitani, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, H. Tamura, Y. Hatanaka, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Multimodal Complementary Metal- Oxide- Semiconductor Sensor Device for Imaging of Fluorescence and Electrical Potential in Deep Brain of Mouse, Jpn. J. Appl. Phys., 49, 01AG02-1, 4, 2010. 査読有
4. A. Tagawa, M. Mitani, H. Minami, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, J. Ohta, Complementary Metal Oxide Semiconductor Based Multimodal Sensor for In vivo Brain Function Imaging with a Function for Simultaneous Cell Stimulation, Jpn. J. Appl. Phys., 49, 04DL02-1, 4, 2010. 査読有
5. K. Sasagawa, M. Mitani, Tetsuya Sugiyama, T. Noda, T. Tokuda, J. Ohta, Implantable Image Sensor with Light Guide Array Plate for Bioimaging, Jpn. J. Appl. Phys., 49, 04DL03-1, 4, 2010. 査読有
6. T. Kobayashi, A. Tagawa, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, Y. Hatanaka, H. Tamura, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Potentiometric Dye Imaging for Pheochromocytoma and Cortical Neurons with a Novel Measurement System Using an Integrated Complementary Metal- Oxide Semiconductor Imaging Device, Jpn. J. Appl. Phys., 49, 117001-1, 7, 2010. 査読有
7. J. Ohta, T. Tokuda, K. Sasagawa, T. Noda, Implantable CMOS biomedical devices, Sensors, 9, 9073-9093, 2009. 査読有
8. A. Tagawa, A. Higuchi, T. Sugiyama, K. Sasagawa, T. Tokuda, H. Tamura, Y. Hatanaka, S. Shiosaka, J. Ohta, Development of Complementary Metal Oxide Semiconductor Imaging Devices for Detecting Green Fluorescent Protein in the Deep Brain of a Freely Moving Mouse, Jpn. J. Appl. Phys., 48, 04C195-1,-5, 2009. 査読有
9. K. Minakawa, H. Yamada, K. Sasagawa, T. Tokuda, J. Ohta, Micro-Chamber Device Equipped with CMOS Optical Polarization Analyzer Chip for Micro Total Analysis System, Jpn. J. Appl. Phys., 48, 04C192-1,-5, 2009. 査読有
10. D. C. Ng, H. Tamura, T. Mizuno, T. Tokuda, M. Nunoshita, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, An implantable and fully- integrated complementary metal- oxide semiconductor device for in vivo neural imaging and electrical interfacing with the mouse hippocampus , Sensors & Actuators A, 145-146, 176-186, 2008. 査読有
11. D. C. Ng, T. Nakagawa, T. Mizuno, T. Tokuda, M. Nunoshita, H. Tamura, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Integrated in vivo neural

imaging and interface CMOS devices: design, packaging, and implementation, IEEE Sensors J, 8, 121-130, 2008. 査読有

12. H. Tamura, D.C. Ng, T. Tokuda, H. Naoki, T. Nakagawa, T. Mizuno, Y. Hatanaka, Y. Ishikawa, J. Ohta, S. Shiosaka, One-chip sensing device (biomedical photonic LSI) enabled to assess hippocampal steep and gradual up-regulated proteolytic activities, J. Neuroscience Methods, 173, 114-120, 2008. 査読有

[学会発表] (計 18 件)

1. K. Sasagawa, T. Noda, T. Tokuda, M.S. Islam, J. Ohta, Metallic Nano-Slit Array Lens for Spatial Resolution Improvement of In-vivo CMOS image sensor, SSDM, 2010/9/24, 東京大学.
2. A. Nakajima, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Planar Multi Electrode Array Coupled CMOS Image Sensor for in vitro Electrophysiology, SSDM, 2010/9/24, 東京大学.
3. J. Ohta, Smart CMOS Image Sensors for Biomedical Applications, The 10th Emerging Information and Technology Conference (EITC-2010), 2010/8/15, Stanford, CA, USA.
4. T. Kobayashi, A. Tagawa, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, Y. Hatanaka, H. Tamura, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Potentiometric dye imaging for pheochromocytoma and cortical neurons with a novel complementary metal-oxide semiconductor imaging sensor, Beyond Brain Machine Interface Workshop: From Senses to Cognition, 2010/6/20, Long Beach, CA, USA.
5. J. Ohta, Implantable Microelectronic Devices for Biomedical Applications, The 6th International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation (INC6), 2010/5/19, Grenoble, France.
6. J. Ohta, Implantable CMOS Imaging Devices for Biomedical Applications, International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics, 2009/12/11, Melbourne, Australia.
7. K. Sasagawa, A. Tagawa, H. Minami, M. Mitani, T. Noda, T. Tokuda, H. Tamura, Y. Hatanaka, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, A CMOS sensor for in-vivo fluorescence and electrical imaging in a mouse brain, IEEE BioCAS, 2009/11/27, Beijing, RPC.
8. K. Minagawa, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, J. Ohta, A CMOS-based chemical stimulation with microfluid ejection function toward an artificial synapse, IEEE BioCAS, 2009/11/27, Beijing, RPC.
9. J. Ohta, A. Tagawa, H. Minami, T. Noda,

K. Sasagawa, T. Tokuda, Y. Hatanaka, H. Tamura, S. Shiosaka, A Multimodal Sensing Device for Fluorescence Imaging and Electrical Potential Measurement of Neural Activities in a Mouse Deep Brain, EMBC09, 2009/9/6, Minneapolis, MI.

10. J. Ohta, Electrode-embedded CMOS image sensors, Int'l Conf. Neuroprosthetic Devices, 2009.3.20, National Chiao Tung Univ., Taiwan.

11. J. Ohta, Microelectronics-based devices for biomedical applications, LifeChips, 2009/1/9, Univ. California, Irvine, USA.

12. J. Ohta, Implantable Microelectronic Devices for Biomedical Applications, Taiwan/Japan Microelectronics International Symposium, 2008/12/22, National Chiao Tung Univ., Taiwan.

13. J. Ohta, A. Higuchi, A. Tagawa, K. Sasagawa, T. Tokuda, Y. Hatanaka, H. Tamura, S. Shiosaka, An Implantable CMOS Image Sensor for Monitoring Deep Brain Activities of a Freely Moving Mouse, IEEE BioCAS, 2008/11/28, Blatimroe, MA, USA.

14. 太田 淳, CMOS技術の バイオメディカル 応用, システムLSIワークショップ, 2007/11/19, 北九州国際会議場

15. D.C. Ng, T. Mizuno, T. Tokuda, K. Kagawa, M. Nunoshita, H. Tamura, S. Shiosaka, J. Ohta, Development of a CMOS-based Neural Imaging and Interface Device, SSDM, 2007/9/20, Tukuba.

16. D.C Ng, T. Mizuno, T. Tokuda; M. Nunoshita, H. Tamura, Y. Ishikawa; S. Shiosaka, J. Ohta, Integration of CMOS and MEMS Technologies in the Development of a Neural Imaging and Interface Device: Showcase of an Emerging Bioimaging Technique, IEEE CICC '07, 2007/9/19, San Jose, CA.

17. J. Ohta, Implantable CMOS sensors for biomedical applications, International Symposium on Photoelectron Detection and Imaging (ISPD), 2007/9/11, Beijing, RPC.

18. D. C. Ng, T. Nakagawa, T. Mizuno, T. Tokuda, M. Nunoshita, H. Tamura, Y. Ishikawa, S. Shiosaka, J. Ohta, Design and Packaging of an Implantable CMOS Neural Imaging and Interface Device, Int'l Image Sensor Workshop, 2007/6/7, Ogunquit, Maine.

[図書] (計 4 件)

1. 太田 淳(分担執筆), CMOSイメージセンサの バイオメディカル応用概論, シーエムシー出版, 2011, 総ページ数 7.

2. 太田 淳(分担執筆), Electronic Journal 別冊 2008 イメージセンサ&カメラモジュール(分担執筆)「第 2 編第 4 章 イメージセンサのバイオ・医療分野への応用」, 電子ジャーナル, 2008, 総

ページ数 4.

3. 太田 淳 監修, CMOSイメージセンサの最新動向 —高性能化, 高機能化から応用展開まで—, シーエムシー出版, 2007, 総ページ数 281.

4. 太田 淳 (分担執筆), 「第 7 章 ビジョンチップ」, 金光 義彦, 深津 晋 著 「シリコンフォトニクス」, オーム社, 2007, 総ページ数 35.

[その他]

ホームページ等

<http://mswebs.naist.jp/LABs/pdslab/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

太田 淳(OHTA JUN)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号:80304161

(2)研究分担者

塩坂 貞夫(SHIOSAKA SADA0)

奈良先端科学技術大学院大学・バイオサイエンス研究科・教授

研究者番号:90127233

(3)連携研究者

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

笹川 清隆(SASAGAWA KIYOTAKA)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・助教

研究者番号:50392725

野田 俊彦(NODA TOSHIHIKO)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・助教

研究者番号:20464159