

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24350032

研究課題名(和文) 生体ナノ空間シナプスのためのバイオセンシング法の開発と脳機能計測への応用

研究課題名(英文) Biosensing for nanospace synapses and its application to measurements of brain functions

研究代表者

平野 愛弓 (Hirano-Iwata, Ayumi)

東北大学・医工学研究科・准教授

研究者番号：80339241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：生体ナノ空間シナプスを調べるためのバイオセンサーの構築を行い、実際に脳スライス中での計測について検討した。申請者らが開発してきたキャピラリー型グルタミン酸センサーを用いて、これを細胞外記録と組み合わせることにより、マウス脳スライス中でのグルタミン酸(前膜) - fEPSP(後膜)レベルの同時測定法を開発した。さらに、この方法を、海馬の長期増強(LTP)に適用し、テタヌス刺激時のグルタミン酸濃度とLTP発現の間には相関があることを見出し、脳研究のための新ツールとして提案した。また、イオンチャンネルを用いたナノ薄膜型(脂質二分子膜型)センサーの高効率構築のための基礎をつくった。

研究成果の概要(英文)：We have developed biosensors for bio-nanospace “synapses” and investigated their application to measurements in brain. We combined amperometric glutamate microsensor and recording of field excitatory postsynaptic potentials (fEPSPs) as a new method for analyzing relation between presynaptic and postsynaptic activities. Although it was found that electric stimuli and evoked fEPSPs induced a capacitive transient current at the microsensor, we proposed a method to extract a faradaic signal from the observed currents. Then we applied this method to long-term potentiation (LTP) in the hippocampus. It was found that the level of the extracellular L-glutamate during tetanus stimulation was significantly related to LTP induction. Thus, our simultaneous recording method for pre- and post-synaptic activities can be a useful tool for neurosciences. We also investigated efficient construction of lipid bilayer-based sensor utilizing ion channel as a sensory element for neurotransmitters.

研究分野：バイオセンシング

キーワード：バイオセンサ 神経伝達物質 シナプス イオンチャンネル 脂質二分子膜

1. 研究開始当初の背景

生体内においては、ナノ空間での物質認識により極めて効率のよい信号伝達を達成している。例えば神経シナプス(数 10 nm)では、前細胞からシナプス内に放出された神経伝達物質が後細胞膜表面で受容体チャネルと結合し、後細胞へのイオン流入を引き起こすことにより信号が伝達される。特に中枢神経系においては、刺激頻度によりシナプスの伝達効率が長期間変化する可塑性現象が知られており、これが記憶・学習の素過程と考えられている。その一方で、シナプス間隙は数 10 nm の極小領域であり、直接シナプスを調べる方法がないことがボトルネックとなっている。ナノ空間のシナプスを調べるための方法としては、生理学分野では古くから、後細胞のシナプス応答の中から前細胞由来成分を抽出して放出グルタミン酸量を推定する間接的なアプローチが用いられてきた。しかし、これは多くの経験的仮定に基づく方法であり、その解釈が難しいことが問題であった。近年は、グルタミン酸結合タンパク質を用いた蛍光プローブを用いてシナプス内外のグルタミン酸を可視化しようとする試みもあるが、感度の向上が課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、生体ナノ空間シナプスを調べるためのナノ・およびマイクロバイオセンサーの構築を行い、実際に脳スライス内や培養神経細胞系での計測について検討する。特に、操作性の高いマイクロセンサーでシナプス外(~ μm)に漏出した神経伝達物質 L-グルタミン酸を測定してシナプス内を推定する方法について検討する。(a)申請者らがこれまでに開発してきたキャピラリー酵素センサーの神経可塑性への適用と、(b)感度、選択性、応答速度のより優れたイオンチャネルを用いたナノ薄膜型(脂質二分子膜型)センサーの開発を行う。構築したセンサーについて実際の脳試料中での測定を行い、刺激によって誘起される神経伝達物質の放出(前膜の活動)と fEPSP(field Excitatory Post Synaptic Potential、後膜の活動)の同時計測の可能性について検討する。さらに、センサーの感度、選択性、応答速度、測定精度、耐久性等について評価する。本研究の進展により、生体ナノ空間シナプスを対象とした新しい機能解析法が開発されれば、脳科学・神経科学の分野に測定手法の観点から貢献できると期待される。

3. 研究の方法

グルタミン酸オキシダーゼ(GluOx)で表面修飾した金線を作用電極とし、アスコルビン酸オキシダーゼを内封したガラスキャピラリー内に Ag-AgCl 電極、Pt 電極とともに挿入してキャピラリー型グルタミン酸センサーを作製した。同様に、GluOx を修飾しない電極を作用電極としたブランクセンサーを作

製した。刺激電極と記録電極、グルタミン酸センサーもしくはブランクセンサーを急性マウス海馬スライスに挿入して電気刺激を行い、グルタミン酸電流と興奮性シナプス後電位(fEPSP)の同時計測について検討した。

もう一つのアプローチとして、脳内計測が可能なナノ薄膜型(脂質二分子膜型)グルタミン酸センサーの開発についても検討する。そのためのボトルネックとなっている脂質二分子膜中へのイオンチャネルの包埋促進について、微細加工基板中に形成した脂質二分子膜を典型例として用い、融合促進因子について調べる。種々の物理的刺激を付与した際の膜融合確率について検討する。

4. 研究成果

神経活動の計測において、前シナプスから放出されるグルタミン酸のレベルと、それに伴って誘起される後シナプスの活動レベルとを同時に計測することは、前膜・後膜の活動レベルの相関を知るために重要である。しかし、生理レベルの微弱な刺激によって誘起されるグルタミン酸放出量は極微量であり、同時測定は極めて困難であった。本研究では、申請者らが開発してきた高感度なキャピラリー型グルタミン酸センサーを用いて、これを細胞外記録と組み合わせることにより、グルタミン酸(前膜)・fEPSP(後膜)レベルの同時測定法の開発を行った。マウス脳スライス中に電気刺激用の刺激電極、fEPSP 測定用の記録電極を配置し、その真ん中にグルタミン酸センサーを配置し、電気刺激によって誘起される fEPSP とグルタミン酸電流を測定した。その結果、fEPSP とグルタミン酸の同時計測により、グルタミン酸センサーの側にアーティファクト電流が発生すること、その原因が fEPSP に伴う容量性電流であることを明らかにし、アーティファクト電流が重畳しないファラデー電流の抽出法を創案した(*Electrochem. Commun.*, **2014**, *45*, 1-4.)。さらに、この方法を、神経可塑性の代表例である海馬の長期増強(LTP)に適用し、LTP が誘導される際にはテタヌス刺激時のグルタミン酸濃度が上昇し、LTP が誘導されない時にはグルタミン酸濃度が上昇せず、LTP 発現とテタヌス刺激時のグルタミン酸濃度との間には相関関係があることを見出した(*Sensing and BioSensing Research*, **2014**, *2*, 31-37.)。

一方、酵素よりも高いリガンド認識能を有するイオンチャネルを用いた脂質二分子膜グルタミン酸センサーの開発を目指し、その課題となっている安定化脂質二分子膜へのイオンチャネルの包埋についての検討も行った。チャネルタンパク質はリポソームに埋め込まれた状態で抽出されるので、チャネルの包埋のためにはチャネル含有リポソームを平面脂質二分子膜と効率よく融合(ベシクル融合)させる必要がある。まず始めに、イオンチャネルタンパク質として心筋の human

ether-a-go-go-related gene (hERG) チャンネルを対象に、種々の物理的なベシクル融合促進因子について検討した。脂質二分子膜として、微細加工したシリコン基板中に形成した二分子膜を典型例として用い、hERG チャンネルの包埋を試みた結果、シリコン基板中での hERG チャンネルの単一チャンネル電流記録に成功した (*Anal. Sci.*, **2012**, 28, 1049-1057; *Anal. Chem.*, **2013**, 85, 4363-4369.)。さらに、脂質二分子膜へのイオンチャンネルタンパク質の高効率包埋についても検討を行った (投稿準備中)。

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9件)

- (1) Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano, "Micro- and Nano-Technologies for Lipid Bilayer-Based Ion-Channel Functional Assays", *Chemistry-An Asian Journal*, in press (2015). (査読有)
- (2) Hideaki Yamamoto, Takanori Demura, Kohei Sekine, Sho Kono, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata and Takashi Tanii, "Photopatterning Proteins and Cells in Aqueous Environment using TiO₂ Photocatalysis", *Journal of Visualized Experiments*, in press (2015). (査読有)
- (3) 庭野道夫, 平野愛弓, "赤外分光「その場」解析法によるバイオ計測" *分析化学*, in press (2015). (査読有)
- (4) Yuki Ikegami, Shizuko Hozumi, Atsushi Shoji, Ayumi Hirano-Iwata, Tim Bliss and Masao Sugawara, "Real-time monitoring of extracellular L-glutamate levels released by high-frequency stimulation at region CA1 of hippocampal slices with a glass capillary-based L-glutamate sensor", *Sensing and BioSensing Research*, **2**, 31-37 (2014). (査読有) dx.doi.org/10.1016/j.sbsr.2014.10.006
- (5) Ayumi Hirano-Iwata, Ryosuke Matsumura, Ryuta Tezuka, Michio Niwano, Tim V. P. Bliss, Masao Sugawara, "Interference between Field Excitatory Postsynaptic Potentials and Simultaneously Recorded Chronoamperometric L-Glutamate Currents in Mouse Hippocampal Slices", *Electrochem. Commun.*, **45**, 1-4 (2014). (査読有) dx.doi.org/10.1016/j.elecom.2014.04.016
- (6) 平野愛弓, 石成 裕, 木村康男, 庭野道夫, "シリコン微細加工で創るイオンチャンネルチップ", *表面科学*, **35**(8), 438-442 (2014). (査読有)
- (7) Yuki Aonuma, Yasuhiko Kondo, Ayumi Hirano-Iwata, Atena Nishikawa, Yasuo Shinohara, Hiroo Iwata, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Label-free and real time monitoring of adipocyte differentiation by surface infrared spectroscopy", *Sensors & Actuators: B. Chemical*, **176**, 1176-1182 (2013). (査読有) dx.doi.org/10.1016/j.snb.2012.10.030
- (8) Azusa Oshima, Ayumi Hirano-Iwata, Hideki Mozumi, Yutaka Ishinari, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Reconstitution of Human *Ether-a-go-go*-Related Gene Channels in Microfabricated Silicon Chips", *Anal. Chem.*, **85**, Issue 9, 4363-4369 (2013). (査読有) dx.doi.org/10.1021/ac303484k
- (9) Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Hideki Mozumi, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication as a Platform for Recording Ion-Channel Activities", *Analytical Sciences*, **28**, No. 11, 1049-1057 (2012). (査読有)

[学会発表](計49件)

- (1) 平野愛弓, "シリコン微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャンネルチップ", 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月13日(招待講演)
- (2) 中山貴裕, 今井裕司, 馬 騰, 山本英明, 平野愛弓, 庭野道夫, "溶液塗布法による有機強誘電体薄膜(PVDF薄膜)の成膜", 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月13日
- (3) 齋藤栄幸, 馬 騰, 山本英明, 平野愛弓, 庭野道夫, "規則ナノ細孔を有する多孔質薄膜を用いたナノバブル発生", 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月13日
- (4) 坂口直駿, 横田圭司, 仲山智明, 木村僚佑, 木村康男, 平野愛弓, 荻野俊郎, "金ナノ粒子を含む脂質二重膜の液中におけるAFM評価", 第62回応用物理学会春季学術講演会, 平塚, 東海大学, 2015年3月11日
- (5) 平野愛弓, "ナノ構造設計に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップの開発", 日本分析化学会東北支部受賞講演会, 仙台, 東北大学, 2015年3月7日(招待講演)
- (6) 平野愛弓, "シリコン微細加工に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップの開発", (独)日本学術振興会「薄膜第131委員会、半導体界面制御技術第154委員会」合同研究会, 東京, ホテルアジュール竹芝, 2015年2月24日(招待講演)
- (7) 石成 裕, 平野愛弓, 山本英明, 木村康男, 庭野道夫, "微細加工シリコン基板とイオンチャンネルの融合", 第34回表

- 面科学学術講演会，松江，くにびきメッセ，2014年11月6日
- (8) T. Nakayama, Y. Imai, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, M. Teng and M. Niwano, “Infrared absorption spectroscopic study of surface chemical reactions on Pd exposed to hydrogen and oxygen”, The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Kunibiki Messe, November 6, 2014.
- (9) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, H. Yamamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, “Microfabricated Si Chips for Reconstitution of Ion Channel Proteins”, The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Kunibiki Messe, November 5, 2014.
- (10) A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, K. Okada, N. Yamashita, M. Teng, M. Niwano and K. Nishikawa, “Behavior of plasma-generated water cluster ions at chemically-modified Si surfaces investigated by surface infrared spectroscopy”, The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Kunibiki Messe, November 4, 2014.
- (11) R. Matsumura, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, M. Niwano, “Interference between chronoamperometric L-glutamate currents and simultaneously recorded field excitatory postsynaptic potentials”, The 7th International Symposium on Surface Science (ISSS-7), Matsue, Kunibiki Messe, November 3, 2014.
- (12) R. Matsumura, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, T. Bliss, M. Sugawara, “Simultaneous Recording of Chronoamperometric L-Glutamate Current and Field Excitatory Postsynaptic Potentials in Mouse Hippocampal Slice”, 2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting, Cancun, Moon Palace Resort, October 7, 2014.
- (13) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, Y. Kimura, and M. Niwano, “Microfabricated Si Chips Containing human Ether-a-go-go-Related Gene Channels as a Platform for Drug Safety Screenings”, 2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting, Cancun, Moon Palace Resort, October 6, 2014.
- (14) Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, M. Niwano, “Recording Ion-Channel Activities Based on Microfabricated Silicon Chips”, 第52回日本生物物理学会年会，札幌，札幌コンベンションセンター，2014年9月27日
- (15) 山本英明，谷井孝至，庭野道夫，平野愛弓，“培養神経細胞・神経回路操作のための表面マイクロ加工技術”，第52回日本生物物理学会年会，札幌，札幌コンベンションセンター，2014年9月25日（招待講演）
- (16) 松村亮佑，平野愛弓，山本英明，庭野道夫，“グルタミン酸電流と興奮性シナプス後電位の同時測定”，第75回応用物理学会秋季学術講演会，札幌，北海道大学，2014年9月19日
- (17) 平野愛弓，松村亮佑，菅原正雄，庭野道夫，“マウス脳スライスにおけるグルタミン酸電流に及ぼす興奮性後シナプス電位の影響”，日本分析化学会第63年会，広島，広島大学，2014年9月18日
- (18) 木村康男，平野愛弓，庭野道夫，“ナノデバイス構築のための局所陽極酸化セルブライメント技術”，第75回応用物理学会秋季学術講演会，札幌，北海道大学，2014年9月18日（招待講演）
- (19) 高沖英里，山本英明，桂林秀太郎，木村康男，平野愛弓，庭野道夫，“マイクロコンタクトプリンティング法による培養マウス海馬神経細胞の軸索誘導”，第37回日本神経科学大会，横浜，パシフィコ横浜，2014年9月13日
- (20) Ayumi Hirano-Iwata, “Bio-electroanalytical Methods Targeted for Neuronal Function”, International Workshop “Bioelectronics”, Kleinwalsertal (Austria), Söllerau, September 8, 2014. (招待講演)
- (21) 平野愛弓，“微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャネルチップ”，（独）日本学術振興会「分子系の複合電子機能第181委員会」第19回研究会，東京，化学会館，2014年6月10日（招待講演）
- (22) 松村亮佑，平野愛弓，木村康男，庭野道夫，“電気刺激によって放出された神経伝達物質グルタミン酸の時間分解計測”，第61回応用物理学会春季学術講演会，相模原，青山学院大学，2014年3月18日
- (23) 高沖英里，小山内進一郎，平野愛弓，木村康男，庭野道夫，“マイクロコンタクトプリンティング法に基づく培養神経細胞の極性制御”，第61回応用物理学会春季学術講演会，相模原，青山学院大学，2014年3月18日
- (24) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, Y. Kimura, and M. Niwano, “Microfabricated silicon chips for recording ion channel activities”, 2013 MRS Fall Meeting, Boston, Sheraton Hotels and Resorts, December 6, 2013.
- (25) Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, and M. Niwano, “Human Ether-a-go-go-Related Gene Channels Reconstituted in Microfabricated Silicon Chips”, 2013 MRS Fall Meeting, Boston, Sheraton Hotels and Resorts, December 4, 2013.
- (26) R. Matsumura, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura and M. Niwano, “An electrochemical method for monitoring L-glutamate locally released by weak electrical stimuli”, 2013 MRS Fall Meeting, Boston, Sheraton Hotels and Resorts, December 4, 2013.
- (27) 平野愛弓，石成 裕，木村康男，庭野道夫

- 夫, “チャンネル包埋脂質二分子膜チップに基づく薬物副作用の評価”, 第33回表面科学学術講演会・第54回真空に関する連合講演会, つくば, つくば国際会議場, 2013年11月26日
- (28) 山下尚哉, 木村康男, 平野愛弓, 庭野道夫, “水クラスターイオンのシリコン酸化膜表面上の吸着・脱離過程の赤外分光計測”, 第33回表面科学学術講演会・第54回真空に関する連合講演会, つくば, つくば国際会議場, 2013年11月26日
- (29) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, Y. Ishinari, Y. Kimura and M. Niwano, “A Chip-Based Stable Lipid Bilayers for Recording hERG Channel Activities”, SSDM 2013, Fukuoka, Hilton Fukuoka Sea Hawk, September 25, 2013.
- (30) 平野愛弓, 石成 裕, 木村康男, 庭野道夫, “人工脂質二分子膜 hERG チャンネルチップの開発”, 第74回応用物理学会学術講演会, 京都, 同支社大学, 2013年9月16日
- (31) 平野愛弓, 石成 裕, 木村康男, 庭野道夫, “薬物副作用評価のための hERG チャンネルチップの開発”, 日本分析化学会第62年会, 大阪, 近畿大学, 2013年9月12日
- (32) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, Y. Kimura, M. Niwano, “Reconstitution of hERG Channels in Microfabricated Silicon Chips”, RSC Tokyo International Conference 2013, Makuhari, Makuhari Messe, September, 6, 2013.
- (33) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, H. Mozumi, Y. Kimura, M. Niwano, “A Chip-Based Stable Lipid Bilayer for Recording Activities of Biological Channels”, Seventh International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE7), Fukuoka, Fukuoka International Congress Center, March 19, 2013.
- (34) 手塚竜太, 平野愛弓, 菅原正雄, 庭野道夫, “マウス海馬スライス内 CA1 領域における L-グルタミン酸放出量の高精度解析”, 応用物理学会東北支部第67回学術講演会, 仙台, 東北大学, 2012年12月6日
- (35) 大嶋 梓, 平野愛弓, 茂住英輝, 木村康男, 庭野道夫, “マイクロ加工に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルセンサーの開発”, 応用物理学会東北支部第67回学術講演会, 仙台, 東北大学, 2012年12月6日
- (36) 大嶋 梓, 平野愛弓, 茂住英輝, 木村康男, 庭野道夫, “マイクロ加工に基づく生体イオンチャンネルセンサーの開発”, 第32回表面科学学術講演会, 仙台, 東北大学, 2012年11月21日
- (37) 茂住英輝, 那須朋第, 平野愛弓, 大嶋 梓, 木村康男, 庭野道夫, “複数チャンネル同時記録のための脂質二分子膜アレイの開発”, 第32回表面科学学術講演会, 仙台, 東北大学, 2012年11月21日
- (38) 平野愛弓, “半導体微細加工に基づくイオンチャンネルチップの開発”, 第32回表面科学学術講演会, 仙台, 東北大学, 2012年11月20日(招待講演)
- (39) Ayumi Hirano-Iwata, “A Chip-Based Stable Lipid Bilayer for Recording Ion-Channel Activities”, Sendai Symposium on Analytical Sciences 2012, Sendai, Tohoku University, November 9, 2012. (招待講演)
- (40) H. Mozumi, T. Nasu, A. Oshima, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, M. Niwano, “Lipid bilayer array for parallel recording of ion channel activities”, Sendai Symposium on Analytical Sciences 2012, Sendai, Tohoku University, November 9, 2012.
- (41) 平野愛弓, 大嶋 梓, 那須朋大, 木村康男, 庭野道夫, “半導体加工に基づく人工脂質二分子膜イオンチャンネルアレイの開発”, 日本分析化学会第61年会, 金沢, 金沢大学, 2012年9月21日
- (42) 大嶋 梓, 平野愛弓, 茂住英輝, 木村康男, 庭野道夫, “半導体加工技術を利用したイオンチャンネルセンサーの開発”, 日本分析化学会第61年会, 金沢, 金沢大学, 2012年9月21日
- (43) 手塚竜太, 平野愛弓, 菅原正雄, 庭野道夫, “脳スライス内グルタミン酸放出の時間変化とその放出量の高精度解析”, 日本分析化学会第61年会, 金沢, 金沢大学, 2012年9月21日
- (44) 穂積志津子, 池上由季, 東海林敦, 平野愛弓, Bliss Tim, 菅原正雄, “海馬スライス CA1 領域での長期増強現象におけるグルタミン酸の役割の検討”, 日本分析化学会第61年会, 金沢, 金沢大学, 2012年9月21日
- (45) 平野愛弓, 大嶋 梓, 茂住英輝, 木村康男, 庭野道夫, “半導体微細加工に基づく人工脂質二分子膜イオンチャンネルチップの開発”, 第73回応用物理学会学術講演会, 松山, 愛媛大学・松山大学, 2012年9月12日
- (46) 木村康男, 岡田健太, 青沼有紀, 平野愛弓, 庭野道夫, “赤外吸収分光法による水クラスターイオンの吸着脱離過程のその場観察”, 第73回応用物理学会学術講演会, 松山, 愛媛大学・松山大学, 2012年9月13日
- (47) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, H. Mozumi, Y. Kimura, M. Niwano, “A Chip-Based Stable Lipid Bilayer for Single-Channel Recordings”, The 2012 International Conference on Flexible and Printed Electronics, Tokyo, University of Tokyo, September 7, 2012.
- (48) 大嶋 梓, 平野愛弓, 茂住英輝, 木村康

男, 庭野道夫, “ マイクロ加工に基づく
イオンチャネルセンサーの開発”, 日本
分析化学会東北支部みちのくシンポジウ
ム 2012, 米沢, 山形大学, 2012年7
月21日

- (49) 平野愛弓, 那須朋大, 大嶋 梓, 木村康
男, 庭野道夫, “ 半導体微細加工に基づ
く脂質二分子膜イオンチャネルアレイの
開発”, 日本分析化学会東北支部みちの
くシンポジウム 2012, 米沢, 山形大学,
2012年7月21日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

東北分析化学賞受賞
ナノ構造設計に基づく脂質二分子膜イオン
チャネルチップの開発
2015年3月7日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 愛弓 (HIRANO-IWATA, AYUMI)
東北大学・大学院医工学研究科・准教授
研究者番号: 80339241

(2) 研究分担者

庭野 道夫 (NIWANO, MICHIO)
東北大学・電気通信研究所・教授
研究者番号: 20134075

木村 康男 (KIMURA, YASUO)
東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号: 40312673

青沼 有紀 (AONUMA, YUKI)
東北大学・電気通信研究所・助教
研究者番号: 80582262

山本 英明 (YAMAMOTO, HIDEAKI)
東北大学・学際科学フロンティア研究所・
助教
研究者番号: 10552036

(3) 連携研究者

菅原 正雄 (SUGAWARA, MASAO)
日本大学・文理学部・教授
研究者番号: 50002176