

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03822

研究課題名(和文) チャンネル包埋脂質二分子膜に基づく人工活動電位の発現と薬物副作用評価チップへの応用

研究課題名(英文) Expression of an artificial action potential and its application to screening devices for drug side effects

研究代表者

平野 愛弓 (Hirano-Iwata, Ayumi)

東北大学・材料科学高等研究所・教授

研究者番号：80339241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：近年、新薬開発において心臓への副作用のリスク評価が必須となり、これを簡便かつ正確に評価するための人工細胞膜系の構築が期待されている。本研究では、人工細胞膜系での世界初の活動電位の発現とそれに基づく薬物副作用評価系の構築を目指し、そのための最大のボトルネックであったチャンネルタンパク質の包埋効率の問題について検討した。その結果、チャンネルの包埋過程において、膜系全体に適切な遠心力を負荷することにより、包埋確率を従来の約6%から約70%へと10倍以上も向上させることに成功した。その他、ハーグチャンネル含有膜に基づく副作用評価の高効率化を進め、多数のハーグチャンネル電流の同時記録に成功した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the risk evaluation of potential drug side effects to the heart is indispensable in drug discovery, and it is highly desirable to construct an artificial system for this evaluation. In this study, we tried to develop a screening platform for potential drug side effects based on artificially formed bilayer lipid membranes (BLMs) that can express action potentials. However, we faced an issue of a low efficiency in incorporation of ion-channels that are necessary for generation of action potentials. To address this issue, we investigated the process of ion channel incorporation and found that application of appropriate centrifugal forces during the incorporation process lead to a dramatic enhancement of the incorporation probability from ca. 6% to ca. 70%. We also investigated development of high-throughput assay systems for the ion channels and succeeded in simultaneous recordings of hERG channel activities in BLM systems.

研究分野：バイオ分析

キーワード：マイクロ・ナノデバイス ナノバイオ イオンチャンネル シリコンチップ 活動電位

### 1. 研究開始当初の背景

イオンチャネルタンパク質は、創薬における主要ターゲットであり、イオンチャネルへの薬物作用評価法の開発は重要である。特に近年は、心筋のイオンチャネルへの致死性の薬物副作用の問題から、心筋細胞中のイオンチャネル (human Ether-a-go-go Related Gene (hERG) チャンネルや  $\text{Na}_v$  チャンネル) への薬物作用を効率よく評価する方法の開発が盛んである。これらの薬物作用の特徴は、特定のイオンチャネルのみによるものではなく、複数種のイオンチャネルに作用して活動電位の変調を引き起こすことである。しかし、これまでの研究の多くは、研究代表者らが進めてきた半導体微細加工に基づく薬物副作用センサも含めて、薬物に特に敏感といわれる hERG チャンネルへの抑制作用を指標に副作用リスクを評価しており、多種のチャネルへの作用の結果として現れる活動電位の変化を評価する新しい方法の開発が望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、細胞膜の基本構造を成す脂質二分子膜をシリコンチップ中に人工的に形成し、その中に活動電位の主要構成要素である  $\text{Na}$  チャンネル ( $\text{Na}_v$  チャンネル) と  $\text{K}$  チャンネル (hERG チャンネル) を包埋することにより、世界初の人工膜系での活動電位の発現を目指す。さらに、この人工活動電位への変調作用から薬物副作用を評価する新しい方法論の提案についても検討する。また、そのためのボトルネックでもあり、人工脂質二分子膜に基づくイオンチャネル再構成系の大きな課題でもあった、イオンチャネルの脂質膜中への包埋効率が低いという課題の解決にも挑む。この包埋促進法に基づいて人工活動電位の発現を目指すとともに、これまでの hERG チャンネル電流に基づく副作用評価法の high throughput 化を進め、本研究の目指す新評価法の精度・確度・信頼性等について評価する。

### 3. 研究の方法

窒化珪素 (SiN) 層が堆積されたシリコン基板中に、滑らかなエッジをもつ微細孔を作製し、その微細孔中で脂質分子の単分子膜を貼り合せて二分子膜を形成した。hERG,  $\text{Nav}1.5$  チャンネルをそれぞれ発現した細胞から膜画分を抽出、ベシクル化することにより、チャネル含有リポソーム (プロテオリポソーム) を調製した。イオンチャネルの脂質二分子膜への包埋は、このプロテオリポソームと脂質二分子膜との膜融合によって行った。種々の条件下における膜融合確率について比較し、最適な膜融合条件について検討した。また、活動電位計測の際に必要な電流固定測定モードを立ち上げ、非常に高抵抗な人工脂質二分子膜系を用いて電流固定測定モードを可能にする条件について検討した。また、脂質二分子膜を多数配列させたアレイ型測定系の設計と構築を行い、hERG チャンネル等のヒトイオンチャネル電流の同時記録を試みた。

### 4. 研究成果

生体チャネルは細胞膜脂質に包まれたりポリソームの状態で抽出され、脂質二分子膜との膜融合によって膜中に包埋される。平野グループでは自発的な膜融合による hERG チャンネルの包埋に成功しているが、その包埋確率が極めて低いことが課題となっていた。本研究では、一過性の種々の物理的摂動による膜融合促進について3種類のヒトイオンチャネルを対象に検討した結果、膜融合時に遠心力を負荷することにより、チャネル包埋確率をこれまでの約 6% から約 70% にまで向上させることに成功した (Biophys. J. 2016, 110, 2207.)。この遠心促進法により、人工活動電位の発現に必須の  $\text{Na}_v$  チャンネル及び hERG チャンネルを、ともに約 70% の高い包埋確率で脂質二分子膜に包埋できるようになった。さらに、この融合過程のメカニズムについて検討し、融合したプロテオリポソームが脂質二分子膜内でドメイン構造を形成し、周りの脂質分子と混じりあわないこと、脂質分子のフォスファチジルエタノールアミンの多いドメインが融合サイトになることを明らかにした (Sci. Rep. 2017, 7, 17905)。

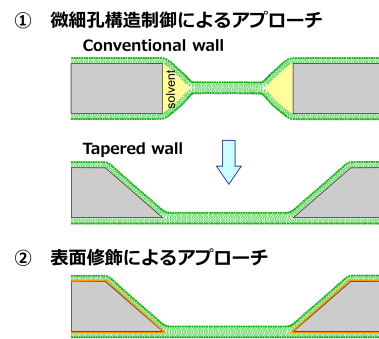


図. 膜安定性向上のためのアプローチ

上述の遠心力によるイオンチャネル包埋促進においては、包埋確率を著しく向上できるが、一部の脆弱な膜は遠心力の負荷により壊れてしまうことも分かり、更なる膜安定性の向上が必要であることが判明した。脂質二分子膜の安定性の向上のためには、膜面積を小さくするアプローチが一般的だが、膜面積の減少はチャネルの包埋確率も下げてしまう。したがって、膜面積を減らすことなく膜安定性を向上させることが必須となる。我々はこのためのアプローチとして、(1) 膜形成場となる微細孔の縁部をテーパ構造とし、さらにそのナノ・マイクロ構造を制御すること、(2) 膜の保持体となるシリコンチップの表面を修飾することにより保持体に接していない自立部分の膜安定性の制御を試みること、の2つの観点から検討を行った (図)。その結果、(1) 微細孔の縁部が、 $\mu\text{m}$  スケールのテーパ構造の上に  $\text{nm}$  スケールのテーパ構造が重畳した構造をもつこと、そして(2) シリコンチップ表面が疎水性かつ疎油性を併せ持つように化学修飾することにより、脂質二分子膜の安定性を著しく向上できることを見出し (Sci. Rep. 2017, 7, 17736., Langmuir, in press.), 高いチャネル包埋確率と

高い膜強度とを兼ね備えた脂質二分子膜系を構築することに成功した。次に我々は、イオンチャネルの共包埋による活動電位の発現と計測を試みた。しかし、脂質二分子膜の高すぎる膜抵抗 (> 100 GΩ) のために膜電位が計測不能になってしまうという新たな課題に直面した。脂質膜に作用する化学物質を投与すれば膜抵抗の制御は可能性だが、薬物に敏感な hERG チャネルを含有する膜には不適切である。そこで、化学物質フリーのアプローチについて検討した結果、適切な大きさの遠心力の負荷により、膜電位計測が可能なレベルまで膜抵抗を調節できることを明らかにし、人工活動電位発現における最大の課題を解決することに成功した。

この他、hERG チャネル含有膜に基づく副作用の high throughput 化を進め、多数の二分子膜から hERG チャネル電流の同時記録を達成した(投稿準備中)。また、神経細胞の自発的な活動電位によって発生する細胞外信号を、細胞膜の高抵抗性を利用して増幅記録することに成功した(Appl. Phys. Lett. **2016**, 108, 023701.)。

## 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 18 件)

- (1) D. Yamaura, D. Tadaki, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, M. Kato, T. Ma, R. Miyata, H. Yamamoto, R. Tero, M. Sakuraba, T. Ogino, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Amphiphobic septa enhance the mechanical stability of free-standing bilayer lipid membranes”, *Langmuir*, in press (2018). (査読有)
- (2) D. Tadaki, D. Yamaura, K. Arata, T. Ohori, T. Ma, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Micro- and nano-fabrication methods for ion-channel reconstitution in bilayer lipid membranes”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 57, 03EA01 (2018). (査読有)
- (3) S. Kono, K. Furusawa, A. Kurotobi, K. Hattori, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, “In situ modification of cell-culture scaffolds by photocatalysis of visible-light-responsive TiO<sub>2</sub> film”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 57, 027001 (2018). (査読有)
- (4) R. Tero, K. Fukumoto, T. Motegi, M. Yoshida, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Formation of cell membrane component domains in artificial lipid bilayer”, *Sci. Rep.* 7, 17905 (2017). (査読有)
- (5) D. Tadaki, D. Yamaura, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, K. Ishibashi, M. Kato, T. Ma, R. Miyata, Y. Tozawa, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Mechanically stable solvent-free lipid bilayers in nano- and micro-tapered apertures for reconstitution of cell-free synthesized hERG channels”, *Sci. Rep.* 7, 17736 (2017). (査読有)
- (6) N. Sakaguchi, Y. Kimura, A. Hirano-Iwata, T. Ogino, “Fabrication of Au-nanoparticle-embedded lipid bilayer membranes supported on solid substrates”, *J. Phys. Chem. B.* 121, 4474-4481 (2017). (査読有)
- (7) H. Kawano, K. Oyabu, H. Yamamoto, K. Eto, Y. Adaniya, K. Kubota, T. Watanabe, A. Hirano-Iwata, J. Nabekura, S. Katsurabayashi, K. Iwasaki, “Astrocytes with previous chronic exposure to amyloid β-peptide fragment 1–40 suppress excitatory synaptic transmission”, *J. Neurochem.* 143, 626-634 (2017). (査読有)
- (8) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, M. Yoshida, S. Araki, D. Tadaki, R. Miyata, K. Ishibashi, H. Yamamoto, Y. Kimura, M. Niwano, “Reconstitution of human ion channels into solvent-free lipid bilayers enhanced by centrifugal forces”, *Biophys. J.* 110, 2207-2215 (2016). (査読有)
- (9) R. Matsumura, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “An electrically resistive sheet of glial cells for amplifying signals of neuronal extracellular recordings”, *Appl. Phys. Lett.*, 108, 023701 (2016). (査読有)
- (10) H. Yamamoto, R. Matsumura, H. Takaoki, S. Katsurabayashi, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, “Unidirectional signal propagation in primary neurons micropatterned at a single-cell resolution”, *Appl. Phys. Lett.*, 109, 043703 (2016). (査読有)
- (11) H. Yamamoto, S. Kubota, Y. Chida, M. Morita, S. Moriya, H. Akima, S. Sato, A. Hirano-Iwata, Ta. Tanii, Michio Niwano, “Size-dependent regulation of synchronized activity in living neuronal networks”, *Phys. Rev. E.*, 94, 012407 (2016). (査読有)
- (12) A. Hirano-Iwata, Y. Ishinari, H. Yamamoto, M. Niwano, “Micro- and nano-technologies for lipid bilayer-based ion-channel functional assays”, *Chemistry-An Asian Journal*, 10, 1266-1274 (2015). (査読有)
- (13) Yamamoto, H., Demura, T., Sekine, K., Kono, S., Niwano, M., Hirano-Iwata, A., Tanii, T., “Photopatterning proteins and cells in aqueous environment using TiO<sub>2</sub> photocatalysis”, *Journal of Visualized Experiments*, 104, e53045, 1-6 (2015). (査読有)

[学会発表](計 74 件)

- (1) 平野愛弓, “生体二次元材料・脂質二分子膜に基づくバイオデバイスの創成”, グラフェンコンソーシアム第 16 回研究講演会, 2018 年(招待講演)
- (2) 出口貴史, 馬騰, 鹿又健作, 山浦大地, 但木大介, 廣瀬文彦, 平野愛弓, “PCBM 包埋脂質二分子膜への光照射における電

- 流応答 I I ”, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018 年
- (3) 加藤美生, 吉田美優, 山浦大地, 荒田航平, 但木大介, 山本英明, 戸澤謙, 庭野道夫, 平野愛弓, “微細加工チップ中に形成した脂質二分子膜への無細胞合成イオンチャネルの包埋と薬物副作用の定量”, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 2018 年
- (4) 平野愛弓, “半導体微細加工に基づく薬物副作用センサの開発”, 2017 年度電子情報通信学会 電子デバイス(ED)研究会, 2017 年(招待講演)
- (5) A. Hirano-Iwata, “Reconstitution and Recording Ion Channel Activities in Artificially Formed Cell Membranes”, 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9), 2017 年(招待講演)
- (6) 平野愛弓, “半導体微細加工で創る人工細胞膜を用いた薬物副作用センサ”, Nanion・東京女子医大 イオンチャネルフォーラム 2017, 2017 年(招待講演)
- (7) 平野愛弓, “半導体微細加工で創るイオンチャネルセンサ”, イオンチャネル研究会~チャンネル七夕~, 2017 年(招待講演)
- (8) 平野愛弓, “半導体微細加工で創るイオンチャネルセンサ”, REDEEM シンポジウム, 2017 年(招待講演)
- (9) 平野愛弓, “人工細胞膜に基づく薬物副作用センサ”, 第 21 回次世代医工学研究会, 2017 年(招待講演)
- (10) A. Hirano-Iwata, “Reconstitution of Ion Channel Functions in Artificially Formed Cell Membranes”, 5th Ito International Research Conference, RIKEN Centennial Anniversary, ISSP International workshop & Surface and Interface Spectroscopy 2017 (IIRC5), 2017 年(招待講演)
- (11) 山浦大地, 但木大介, 荒木駿, 吉田美優, 荒田航平, 大堀健, 山本英明, 庭野道夫, 平野愛弓, “自己組織化単分子膜による自立型脂質二分子膜の膜特性制御”, 電子情報通信学会 電子デバイス(ED)研究会, 2017 年
- (12) 但木大介, 山浦大地, 荒木駿, 吉田美優, 荒田航平, 大堀健, 山本英明, 庭野道夫, 平野愛弓, “安定な人工脂質二分子膜形成のためのテーパ構造を有した微細孔をもつ半導体シリコンチップの作製”, 電子情報通信学会 電子デバイス(ED)研究会, 2017 年
- (13) 平野愛弓, 但木大介, 大堀健, 荒田航平, 馬騰, 山本英明, 庭野道夫, “ナノ・マイクロ構造制御に基づく人工細胞膜の安定化”, 第 37 回表面科学学術講演大会, 2017 年
- (14) 山浦大地, 宮田隆典, 荒木駿, 但木大介, 山本英明, 平野愛弓, “マルチウェル型チャンバーによる高効率薬物副作用検査系の構築”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017 年
- (15) 鹿又健作, 長谷山拓実, 平野愛弓, 廣瀬文彦, “ITO 上 PCBM ドープ脂質膜の可視光照射による光起電力効果”, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 2017 年
- (16) A. Hirano-Iwata, “Microfabrication method for investigating ion channel activities”, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017 年
- (17) 出口貴史, 馬騰, 鹿又健作, 山浦大地, 但木大介, 廣瀬文彦, 平野愛弓, “PCBM 包埋脂質二分子膜への光照射における電流応答 I”, 応用物理学会東北支部第 72 回学術講演会, 2017 年
- (18) T. Otori, D. Tadaki, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Fabrication of multidirectional electrical characteristics evaluation system of BLM based on microfabrication”, 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9), 2017 年
- (19) D. Yamaura, D. Tadaki, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Lipophobic surfaces enhance the stability of suspended lipid bilayers”, 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9), 2017 年
- (20) K. Arata, D. Tadaki, H. Yamamoto, Y. Tozawa, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Recording activities of cell-free synthesized ion-channels at artificial lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips”, 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9), 2017 年
- (21) K. Arata, D. Tadaki, H. Yamamoto, Y. Tozawa, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Functional reconstruction of cell-free synthesized human ion channels in artificial bilayer lipid membranes”, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017 年
- (22) T. Otori, D. Tadaki, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Microfabricated silicon chips for evaluation of multidirectional electrical properties of BLMs”, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017 年
- (23) D. Yamaura, D. Tadaki, H. Yamamoto, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, “Modified aperture surface with self-assembled monolayer enhanced stability of suspended lipid membrane”, The 8th International Symposium on Surface Science (ISSS-8), 2017 年
- (24) 但木大介, 平野愛弓, 山浦大地, 荒木駿, 吉田美優, 荒田航平, 大堀健, 山

- 本英明, 庭野道夫, “半導体シリコンチップ上に作製された微細孔における安定な人工脂質二分子膜形成のためのエッジ構造の最適化” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年
- (25) 荒田航平, 平野愛弓, 但木大介, 山浦大地, 荒木 駿, 吉田美優, 大堀 健, 山本英明, 庭野道夫, “微細加工シリコンチップにおける脂質二分子膜中のイオンチャンネル電流計測” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年
- (26) 平野愛弓, “ナノ形状設計に基づく人工細胞膜の安定化とそのセンサ応用”, 機能物質セミナー, 2016 年(招待講演)
- (27) 平野愛弓, “人工細胞膜を用いたチャンネルデバイスによる薬物副作用のセンシング” 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会講習会 2016年(招待講演)
- (28) 平野愛弓, 吉田美優, 荒木 駿, 但木大介, 山本英明, 庭野道夫, “微細加工脂質二分子膜チップへのイオンチャンネルの包埋” 2016 年度電子情報通信学会 電子デバイス(ED)研究会, 2016 年
- (29) 但木大介, 平野愛弓, 石橋健一, 荒木駿, 吉田美優, 荒田航平, 大堀 健, 山本英明, 庭野道夫, “安定な人工脂質二分子膜形成のための微細孔を有するシリコンチップの作製” 2016 年度電子情報通信学会 電子デバイス(ED)研究会, 2016 年
- (30) D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, K. Ishibashi, S. Araki, M. Yoshida, K. Arata, T. Ohori, H. Yamamoto, M. Niwano, “Fabrication method of silicon chips with micro-apertures for formation of artificial bilayer lipid membranes” 20th International Vacuum Congress (IVC-20), 2016 年
- (31) A. Hirano-Iwata, M. Yoshida, S. Araki, D. Tadaki, R. Miyata, K. Ishibashi, K. Arata, T. Ohori, H. Yamamoto, M. Niwano, “Reconstitution of human ion channels in lipid bilayers formed in microfabricated apertures” 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 2016 年
- (32) A. Hirano-Iwata, M. Yoshida, S. Araki, D. Tadaki, R. Miyata, K. Ishibashi, H. Yamamoto, M. Niwano, “Reconstitution of human ion channels into solvent-free lipid bilayers in microfabricated silicon chips: accelerated vesicle fusion via centrifugation” 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2016), 2016 年
- (33) 山浦大地, 但木大介, 荒木 駿, 吉田美優, 荒田航平, 山本英明, 荻野俊郎, 庭野道夫, 平野愛弓, “自己組織化単分子膜修飾による自立型脂質二分子膜の安定性の制御” 2016 年真空・表面科学合同講演会, 2016 年
- (34) 吉田美優, 平野愛弓, 山本英明, 但木大介, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板に基づく脂質二分子膜へのヒトイオンチャンネル機能の再構成” 2016 年真空・表面科学合同講演会, 2016 年
- (35) 平野愛弓, 山本英明, 庭野道夫, “半導体微細加工に基づくイオンチャンネル再構成系の構築と薬物スクリーニング系への応用”, 第 89 回日本薬理学会年会, 2016 年
- (36) A. Hirano-Iwata, “Reconstitution of Ion Channel Functions in Microfabricated Silicon Chips” 2015 International Symposium for Advanced Materials Research (ISAMR 2015), 2015 年(招待講演)
- (37) H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii, M. Niwano “Manipulating neuronal cells in situ by TiO<sub>2</sub>-assisted photocatalytic lithography” 9th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2015), 2015 年(招待講演)
- (38) 平野愛弓, “半導体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” 神奈川 R&D 推進協議会イノベーション研究会 技術討論会, 2015 年(招待講演)
- (39) 平野愛弓, “半導体微細加工で創る脂質二分子膜イオンチャンネルチップ” 物性研・短期研究会「反応と輸送」, 2015 年(招待講演)
- (40) 平野愛弓, “微細加工シリコン基板に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルチップ” 日本分析化学会第 64 年会, 2015 年(招待講演)
- (41) 平野愛弓, “微細加工シリコン基板を用いたイオンチャンネル機能の再構成” 電子情報通信学会ソサイエティー大会, 2015 年(招待講演)
- (42) 平野愛弓, “An ion-channel biosensor based on microfabrication” 化学系学協会東北大会, 2015 年(招待講演)
- (43) K. Fukumoto, Y. Ishinari, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, R. Tero, “Reconstitution of proteoliposome containing human ether-a-go-go-related gene channel into supported lipid bilayer” Eighth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8), 2015 年
- (44) 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に基づくイオンチャンネル機能の再構成”, 2015 年度電子情報通信学会電子デバイス研究会, 2015 年
- (45) 吉田美優, 山本英明, 平野愛弓, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板に基づくイオンチャンネル機能の発現” 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年
- (46) 荒木 駿, 平野愛弓, 山本英明, 庭野道夫, “微細加工シリコン基板を用いた人工細胞膜の構築” 2015 年真空・表面科学合

同講演会，2015年

〔図書〕(計1件)

- (1) 平野愛弓(他44名)“すごいぞ!身の回りの表面科学“(分担執筆), 講談社, p.93-95, 2015年

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

名称: シリコンチップ及びその製造方法  
発明者: 平野愛弓, 庭野道夫, 但木大介  
権利者: 東北大学  
種類: 特願  
番号: 2017-037453  
出願年月日: 2017年2月28日  
国内外の別: 国内

名称: シリコンチップ及びその製造方法  
発明者: 平野愛弓, 庭野道夫, 但木大介  
権利者: 東北大学  
種類: 特願  
番号: 2017-037453  
出願年月日: 2017年2月28日  
国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

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

〔その他〕

ホームページ等

平野研究室ホームページ URL

<http://www.riec.tohoku.ac.jp/~hir-lab/index.html>

プレスリリース(和文)

合成した膜タンパク質に対する薬物副作用を測るバイオチップ~個別化医療を指向した薬物の選別が加速~

[www.tohoku.ac.jp/japanese/2017/12/press20171225-02.html](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2017/12/press20171225-02.html)

プレスリリース(英文)

A tapering silicon hole could lead to better drug testing.

[https://www.tohoku.ac.jp/en/press/reshaping\\_drug\\_tests.html](https://www.tohoku.ac.jp/en/press/reshaping_drug_tests.html)

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

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

(2) 研究分担者

但木 大介 (TADAKI, DAISUKE)  
東北大学・電気通信研究所・助教  
研究者番号: 30794226

(2) 研究分担者

馬 騰 (MA, TENG)  
東北大学・材料科学高等研究所・助教  
研究者番号: 10734543

(3) 連携研究者

庭野 道夫 (NIWANO, MICHIO)  
東北福祉大学・感性福祉研究所・教授  
研究者番号: 20134075