

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19026

研究課題名（和文）ダイヤモンド表面での実神経細胞回路構築とNVセンタを用いた自発発火活動の長期計測

研究課題名（英文）Constructing artificial neuronal circuits on diamond and long-term monitoring of the spontaneous firing pattern with NV centers

研究代表者

谷井 孝至（TANI, Takashi）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339708

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：脳のような極めて複雑なシステムの理解には、システム全体から構成要素へと階層的に落とし込めていく還元論的アプローチと、個々の構成要素を階層的に積み上げていくことでシステム全体を組み上げる構成論的アプローチの2通りが採られる。本研究では、後者のスタンスに基づき、(1)表面近傍に配列形成したNVセンターと細胞パターンニングとの融合による神経細胞の自発発火パターンの長期計測を可能にする方法論の構築、および、(2)神経細胞どうしの接続を制御し、単一または少数個の実神経細胞回路の再構成とその発火パターンの解析を実験と理論の双方から検討することを目的として本研究を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ダイヤモンド中のNVセンターを電位プローブとして実神経細胞の発火を検出できる計測系の実現を試みると同時に、そのようにして基板上の構築された実神経細胞回路が提示するであろう発火パターンの理論予測の両面から研究を進めた。現時点では、NVセンターによる実神経細胞の発火計測は、当初の予測に反し、感度不足が原因で達成されていない。一方、単一または少数個の実細胞からなる神経細胞回路が発現する自発発火パターンに関する理論予測において、特にオータプスが発現する機能の観点から新たな発見があり、オータプスが神経ネットワーク全体の同期生成に深く関与していることを示唆した。

研究成果の概要（英文）：There are two approaches to understand an extremely complex system such as the brain; namely, top-down approaches which resolve the whole system into building blocks and bottom-up approaches to construct the whole system from scratch. In this work, we aimed at (1) developing a method to detect and monitor neural spikes by combining cell-patterning techniques with NV centers in diamond for a long term and (2) understanding the spontaneous firing patterns experimentally and theoretically by constructing neuronal circuits containing only a single or a few neurons on the substrate surface.

研究分野：量子センシング

キーワード：神経細胞回路 自発発火 NVセンター ダイヤモンド 細胞パターンニング

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの脳は約 **1,000** 億個の神経細胞が結合した複雑な電気回路網であり、高次情報処理を高速かつ高エネルギー効率の下に行く。しかしながら、脳神経系が時空間的に変化する感覚器からの入力を受け取り、接続様式にしたがった細胞間の並列な相互作用を通じて、いかにして自己組織的かつ可塑的に状態を変化させながら自律的に動作するのか、については多くの謎が残されている。この課題に取り組むには、神経細胞が放つ発火パターンの長期計測が欠かせない。

実神経細胞の分散培養系に、研究代表者らが開発してきた細胞パターンニング法を適用すると、神経細胞間の接続制御法、入出力端子としての神経突起の選別法(軸索/樹状突起)、さらには、接着した細胞種の同定法(興奮性/抑制性細胞)を制御しながら神経細胞回路をガラス表面に構築することが可能となっている。この細胞パターンニング法は、細胞固定(細胞死)をとまわず、神経細胞がパターン上で自発的にとる形状の観察だけ(非侵襲かつ非標識)で神経細胞どうしの接続を誘導できる点に特長を有する。しかしながら、このようにして神経細胞回路の接続を制御しても、神経細胞の活動(すなわち、神経細胞の発火の時刻歴)を計測するための手法(例えば、膜電位依存性蛍光プローブを用いた蛍光イメージング)には、長期計測が困難であるか、長期計測できても細胞パターンニング法との整合性が悪い、といった課題が残っていた。

一方、単結晶ダイヤモンド中の表面近傍に配列形成された窒素-原子空孔欠陥(以下、**NV** センター)は、高い磁場感度を有するため、細胞パターンニング法を用いて **NV** センター直上のダイヤモンド表面に神経突起や細胞体を配置すれば、神経細胞活動にともなう神経パルス(電流)を、磁場計測を通して計測できる可能性が示された。細胞毒性がなく、広い電気化学的電位窓をもち、表面終端状態を制御することで細胞の接着/非接着を制御できることがダイヤモンドを母材基板として用いることの利点であり、それによって細胞パターンニング法との整合性が担保され、なおかつ、上記の長期計測に関する課題を克服できることが期待された。

## 2. 研究の目的

脳のような極めて複雑なシステムの理解には、システム全体から構成要素へと階層的に落とし込めていく還元論的アプローチと、個々の構成要素を階層的に積み上げていくことでシステム全体を組み上げる構成論的アプローチの **2** 通りが採られる。システムが発現する特定の高度機能に着目して全体像を把握しようとする前者のスタンスをとる研究がこれまでによく行われていたのに対し、本研究では後者のスタンス—すなわち、最も低層にある構成要素の単純な機能にまず着目し、それを構成ブロックとしてシステム全体の現実的な再構成を試みるスタンスをとった。そして、(1)表面近傍に配列形成した **NV** センターと細胞パターンニングとの融合による神経細胞の自発発火パターンの長期計測を可能にする方法論の構築、および、(2)神経細胞どうしの接続を制御し、単一または少数個の実神経細胞回路の再構成とその発火パターンの解析と数理モデル化を通して、回路が創出する局所的な活動表現と大域的な活動表現との関係を、実験と理論の双方から検討することを目的として本研究を進めた。

## 3. 研究の方法

ダイヤモンド中の **NV** センターを電位プローブとして実神経細胞の発火を検出できる計測系の実現を試みると同時に、そのようにして基板表面に構築された実神経細胞回路が提示するであろう発火パターンの理論予測の両面から研究を進めることとした。

(1) 表面近傍に配列形成した **NV** センターと細胞パターンニングとの融合による神経細胞の自発発火パターンの長期計測を可能にする方法論の構築

ガラス基板表面で構築されていた細胞パターンニング法をダイヤモンド基板表面で実行するためのプロセスを検討した。細胞パターンニング法は、細胞接着性分子(例えば、ポリリジン)で修飾される領域と、非接着性分子(例えばポリエチレングリコール)で修飾される領域とにつくり分けることで達成される。これをダイヤモンド基板表面でも同様に実行できる表面修飾分子を選定した。細胞毒性がない表面修飾分子を用いて、高い再現性の下で、単一細胞レベル( $\sim 5\mu\text{m}$ )の精度のパターンを安定に形成できることが鍵となる。ダイヤモンド基板表面でラット大脳皮質神経細胞が2週間程度、活性を維持したまま培養できるかどうかを実験的に調べた。

単一 **NV** センター配列は電子線リソグラフィ、窒素イオン注入、熱処理の3段階のプロセスによって形成した。ダイヤモンド表面が細胞培養液に浸漬され、さらに神経細胞がダイヤモンド表面で培養されている状態で **NV** センターにマイクロ波を印加し、光磁気共鳴計測を通して **NV** センターの蛍光強度変化を計測することにより、**NV** センターによる神経パルスの検出の実行可能性を調べた。

(2) 少数個の実神経細胞回路の再構成とその発火パターンの解析と数理モデル化

**Hodgkin-Huxley** モデルに基づいて、基板表面に構築された単一または少数個の実神経細胞回路が発現するであろう発火パターンを理論的に予測した。上記の長期計測が可能となれば、この数理モデル予測と実験結果との突合により、数理モデルとそれによる機序の理解の妥当性を示すことができる。

#### 4. 研究成果

(1) 表面近傍に配列形成した NV センターと細胞パターニングとの融合による神経細胞の自発発火パターンの長期計測を可能にする方法論の構築

それまでガラス基板表面上の細胞パターニングに用いられていた分子が有効に機能することを実験的に確認した。ポリリジンを接着性表面修飾に用い、非接着表面としては、ネイティブな酸素終端ダイヤモンド、または、オクタデシルシラン等のシランカップリング剤で表面修飾することが有効であることが見いだされた。神経細胞のパターニングは、ホトリソグラフィを用いてポリリジン修飾領域をパターニングすることで実行できることを確認した。これにより、細胞体や細胞突起を NV センターの直上表面に配置できる。しかしながら、現時点で NV センターによる神経パルスの検出には至っていない。NV センターの磁気感度が溶液中のノイズと同程度であることが課題となる。なお、本研究中に発表された他グループからの発表によれば、細胞中に導入された NV センターを内包するナノダイヤモンドでも、本研究のように基板表面近傍に NV センターを形成した場合でも、感度不足が課題となることが報告されている。

(2) 神経細胞どうしの接続を制御し、単一または少数個の実神経細胞回路の再構成とその発火パターンの解析と数理モデル化

直径 100  $\mu\text{m}$  程度の円形の細胞接着領域を非接着表面の中に数百  $\mu\text{m}$  間隔で配列形成された基板を用意し、これにラット大脳神経細胞または海馬神経細胞を播種して初代培養をおこなうと、単一の円形接着領域の中で単一神経細胞を孤立させた状態で成長させることができる。このようにして孤立培養された単一神経細胞は、自身の軸索と樹状突起とが結合したオータプスのみを形成し、さらに培養 10 日目頃から自発的な発火活動を示すようになる。

オータプス培養した単一神経細胞の AMPA / NMDA 受容体のバランスによる発火パターン

オータプスは他細胞を介さない基本的な帰還接続であり、哺乳類の大脳新皮質 V 層の神経細胞の約 80% がオータプスを有することが知られている。パターン基板上でオータプス培養を行うと、培養 10 日目頃から観察される自発発火パターンは、長期バースト、短期バースト、および、周期的バースト発火のいずれかに分類できることがパッチクランプにより計測された。

**Hodgkin-Huxley** モデルに基づいて、オータプス培養した単一神経細胞の数理モデルを構築し、これらのバースト発火の発生メカニズムを解析したところ、これらの発火パターンはオータプスにおける AMPA / NMDA 受容体のバランスによることが示された。これらのバースト発火パターンの違いは、オータプスのもつ同時検出としての機能を豊富にするだけでなく、神経ネットワークの大域的な同期にリズムを形成するものと示唆される。

オータプス伝搬遅延による STDP シナプスの淘汰

の解析では、オータプスのみをもつ単一神経細胞の数理モデルを構築したが、ここではオータプスの可塑性が考慮されていない。しかしながら、脳内にはオータプスのみならず多数の帰還接続が存在しており、それらは脳波の生成といった神経細胞の同期活動に重要な役割を果たしている。さらにその同期活動はシナプス可塑性によって制御されており、帰還接続を有するネットワーク中のシナプス接続にスパイクタイミング依存性可塑性 (STDP) を導入することで、淘汰される接続と強化される接続がそれぞれ取捨選択される。本研究では、オータプスに STDP を導入するための数理モデルを **Hodgkin-Huxley** モデルに組み込み、それが神経ネットワークの同期にどのような影響を及ぼすかを解析した。

減衰シナプスモデルを用いて AMPA / NMDA コンダクタンスを表現し、神経細胞が発火してからある一定のオータプス伝搬遅延の後に元の細胞体にオータプス電流が帰還するモデルを構築した。伝搬遅延時間の異なる複数のオータプスをもつ単一神経細胞をモデル化し、発火にともなってシナプス重みを STDP 曲線にしたがうように時間発展的に更新させた。単一神経細胞が、それぞれ 1 ~ 20 ms (1 ms 刻み) のオータプス伝搬遅延時間をもつ計 20 個のオータプスを有するとし、それぞれのシナプス重みの初期値は 0.5 とした。電流注入 (15 s) により細胞刺激を加え、間の細胞活動のシミュレーションを実行した。この注入電流は、注目している単一神経細胞が細胞ネットワーク中にあるとしたときに周囲の細胞から受け取る信号を平均化したものとも見なせる。計算終了時の各オータプスの重みを注入電流の大きさをパラメータとして解析したところ、オータプス伝搬遅延に依存して、増強されるオータプスと抑圧されるオータプスが周期的に現れた。なお、電流注入なしの場合、細胞は発火せず、すべてのオータプスの接続重みは初期値から変化しないようになっている。伝搬遅延に依存する、この周期的なオータプスの増強 / 抑圧は、STDP 曲線の非対称性に由来する。これらの結果は、注入電流を周囲の細胞活動の平均と見なすと、細胞ネットワークの活動によって伝搬遅延時間に依存してオータプスが選別されることを意味する。これは有効なオータプスの伝搬遅延時間および接続強度がネットワークの活動に応じて時間変化することで、オータプスが同期活動/非同期活動の生成に深く関与している可能性を示唆する。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 M. Haruyama, S. Onoda, T. Higuchi, W. Kada, A. Chiba, Y. Hirano, T. Teraji, R. Igarashi, S. Kawai, H. Kawarada, Y. Ishii, R. Fukuda, T. Tanii, J. Isoya, T. Ohshima, O. Hanaizum	4. 巻 10
2. 論文標題 Triple nitrogen-vacancy centre fabrication by C5N4Hn ion implantation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2664
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-019-10529-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 H. Yamamoto, S. Moriya, K. Ide, T. Hayakawa, H. Akima, S. Sato, S. Kubota, T. Tanii, M. Niwano, S. Teller, J. Soriano, A. Hirano-Iwata	4. 巻 4
2. 論文標題 Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaau4914
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.aau4914	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 S. Kawai, H. Yamano, T. Sonoda, K. Kato, J. Buendia, T. Kageura, R. Fukuda, T. Okada, T. Tanii, T. Higuchi, M. Haruyama, K. Yamada, S. Onoda, T. Ohshima, W. Kada, O. Hanaizumi, A. Stacey, T. Teraji, S. Kono, J. Isoya, H. Kawarada	4. 巻 123
2. 論文標題 Nitrogen-Terminated Diamond Surface for Nanoscale NMR by Shallow Nitrogen-Vacancy Centers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 3594-3604
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpcc.8b11274	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Hattori, T. Hayakawa, A. Nakanishi, M. Ishida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii	4. 巻 198
2. 論文標題 Contribution of AMPA and NMDA receptors in the spontaneous firing patterns of single neurons in autaptic culture	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biosystems	6. 最初と最後の頁 104278
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biosystems.2020.104278	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 K. Hattori, H. Kurakake, J. Imai, T. Hashimoto, M. Ishida, K. Sato, H. Takahashi, S. Oguma, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tanii	4. 巻 なし
2. 論文標題 Selective Stimulation of a Target Neuron in Micropatterned Neuronal Circuits Using a Pair of Needle Electrodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 21-00032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ramin Hasani, Giorgio Ferrari, Hideaki Yamamoto, Takashi Tanii, Enrico Prati	4. 巻 未定
2. 論文標題 Role of Noise in Spontaneous Activity of Networks of Neurons on Patterned Silicon Emulated by Noise--activated CMOS Neural Nanoelectronic Circuits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Express	6. 最初と最後の頁 100438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2632-959X/abf2ae	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 谷井孝至、石田実穂子、石井邑
2. 発表標題 単一NVセンター規則配列と単一細胞パターンニングを用いた神経細胞回路の自発発火パターンの長期計測に向けて
3. 学会等名 量子生命科学会第1回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Nakanishi, Kouhei Hattori, Takeshi Hayakawa, Mihoko Ishida, Hekiru Kurakake, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii
2. 発表標題 Synaptic plasticity in an isolated single autaptic neuron on a micropattern
3. 学会等名 日本神経回路学会 第29回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 服部 晃平、鞍掛 碧流、今井 絢子、橋本 拓弥、佐藤 晃揮、高橋 穂乃歌、早川 岳志、山本 英明、平野 愛弓、谷井 孝至
2. 発表標題 2本針型刺激電極の試作とマイクロパターン上神経細胞回路への刺激導入に関する実行可能性評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideaki Yamamoto, Satoshi Moriya, Katsuya Ide, Takeshi Hayakawa, Hisanao Akima, Shigeo Sato, Shigeru Kubota, Michio Niwano, Sara Teller, Jordi Soriano, Takashi Tanii, Ayumi Hirano-Iwata
2. 発表標題 Microcontact printing of scaffold proteins for engineering neuronal network functions
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mihoko Ishida, Kouhei Hattori, Akira Nakanishi, Takeshi Hayakawa, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii
2. 発表標題 A computational study on the spontaneous firing pattern of single autaptic neurons -The contribution of AMPA and NMDA current-
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Honoka Takahashi, Koki Sato, Mihoko Ishida, Soichiro Oguma, Takeshi Hayakawa, Kouhei Hattori, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii
2. 発表標題 An experimental study on the spontaneous firing of single isolated autaptic neurons using micropatterned substrates
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Kazuto Kawakatsu, Yu Ishii, Yuki Hata, Yuta Saito, Kosuke Nakamura, Kirou Nagaoka, Takahiro Sonoda, Tetsuya, Tatsuishi, Tokuyuki Teraji, Shinobu Onoda, Taisei Higuchi, Keisuke Yamada, Takeshi Oshima, Takahiro Shinada, Hiroshi Kawarada, Wataru Kada, Osamu Hanaizumi, Junichi Isoya and Takashi Tani
2. 発表標題	Self-align fabrication of nano-reservoir with NV center in diamond surface for nuclear magnetic resonance of small molecules
3. 学会等名	32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Kouhei Hattori, Koki Sato, Honoka Takahashi, Soichiro Oguma, Mihoko Ishida, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani
2. 発表標題	An experimental study on the spontaneous firing of single isolated neurons in autaptic culture using micropatterned substrates
3. 学会等名	the 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Junko Imai, Hekiru Kurakake, Takuya Hashimoto, Kouhei Hattori, Koki Sato, Honoka Takahashi, Soichiro Oguma, Mihoko Ishida, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani
2. 発表標題	Junko Imai, Hekiru Kurakake, Takuya Hashimoto, Kouhei Hattori, Koki Sato, Honoka Takahashi, Soichiro Oguma, Mihoko Ishida, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani
3. 学会等名	the 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	齋藤悠太、石井邑、川勝一斗、永岡希朗、畑雄貴、中村洸介、榎田尊昭、徐海州、園田隆弘、立石哲也、金久京太郎、寺地徳之、小野田忍、樋口泰成、山田圭介、大島武、品田高宏、川原田洋、加田渉、花泉修、磯谷順一、谷井孝至
2. 発表標題	高分解能ナノ NMR に向けたダイヤモンドへの NV センターと微小容器の一括形成
3. 学会等名	第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 鞍掛 碧流, 服部 晃平, 今井 絢子, 橋本 拓弥, 佐藤 晃揮, 高橋 穂乃歌, 小熊 奏一郎, 石田 実穂子, 山本 英明, 平野 愛弓, 谷井 孝至
2. 発表標題 マイクロパターン上の神経細胞への2針電極による刺激とその応答計測
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷井孝至、品田高宏、寺地徳之、小野田忍、大島武、McGuinness Liam, Jelezko Fedor, Liu Yan, Wu E, 加田渉、花泉修、川原田洋、磯谷順一
2. 発表標題 イオン注入による単一不純物欠陥の規則的配列形成をその応用
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Kurotobi, Sho Kono, Takayuki Ichikawa, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata and Tani Takashi
2. 発表標題 Surface modification with visible-light-responsible TiO2 thin film
3. 学会等名 The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Sato, Takahiro Nakane, Honoka Takahashi, Kouhei Hattori, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata and Takashi Tani
2. 発表標題 An experimental study on spontaneous firing of a single neuron on micropatterned substrates
3. 学会等名 The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Kouhei. Hattori, Takeshi Hayakawa, Akira Nakanishi, Mihoko Ishida, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani i
2. 発表標題 Computational modeling of spontaneous firing patterns generated by single autaptic neurons
3. 学会等名 The 7th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永岡 希朗, 畑 雄貴, 川勝 一斗, 石井 邑, 福田 諒 介, 寺地 徳之, 小野田 忍, 大島 武, 品田 高宏 , 川 原田 洋, 磯谷 順一, 谷井 孝至
2. 発表標題 ダイヤモンド中単一NVセンターのパルス光磁気共鳴測 定のためのローエンドFPGAへのフォトンカウンタの実装
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 第66回応用物理学会春季学術講演会
2. 発表標題 高被覆率窒素終端(111)ダイヤモンドの作製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 春山 盛善, 小野田 忍, 樋口 泰成, 加田 渉, 千 葉 敦也, 平野 貴美, 寺地 徳之, 五十嵐 龍治, 河合 空, 川原田 洋, 石井 邑, 福田 諒介, 谷井 孝至, 磯谷 順一, 大島 武, 花泉 修
2. 発表標題 C5N4Hnイオン注入による双極子結合したNVセンターの 形成
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小熊奏一郎, 服部晃平, 鞍掛碧流, 今井絢子, 石田実穂子, 高橋穂乃歌, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至
2. 発表標題 マイクロパターン上の神経回路における標的ニューロンへの二本針電極を用いた選択的刺激
3. 学会等名 2021年 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kouhei Hattori, Mihoko Ishida, Honoka Takahashi, Soichiro Oguma, Takashi Tanii, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata
2. 発表標題 Extracellular stimulation of a target neuron in a micropatterned neuronal circuit using a pair of needle electrodes
3. 学会等名 The 8th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, BFBC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kouhei Hattori, Hekiru Kurakake, Junko Imai, Takuya Hashimoto, Mihoko Ishida, Koki Sato, Honoka Takahashi, Soichiro Oguma, Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tanii
2. 発表標題 Extracellular stimulation of a target neuron in micro-patterned neuronal circuits using a pair of needle electrodes
3. 学会等名 PRIME2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田実穂子, 中西彬, 服部晃平, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至
2. 発表標題 オータプス伝搬遅延によるSTDPシナプスの淘汰: 孤立した単一神経細胞に関する数理モデル化
3. 学会等名 日本神経回路学会全国大会 (JNNS2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------