

平成29年度 研究助成・成果報告書(概要)

本報告書は、公益財団法人三豊科学技術振興協会が平成29年度に実施した研究助成に関して、それぞれの研究成果を報告書としてまとめたものです。

目 次 / I N D E X

1. 高精度・高能率マイクロ加工実現のための機上マイクロ電着工具製造システムの開発
Development of Micro Electroplated Tool Fabrication System
for Realization of Micro Machining with High Quality and Efficiency

宮崎大学 工学教育研究部 准教授
Institute of Education and Research for Engineering,
University of Miyazaki Associate Professor

大西 修
Osamu Ohnishi

2. 面内・面外の変形・変位を高精度に同時・動的計測する技術の開発
High precision dynamic 3D measurement based on phase-shifting digital holography

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 研究員
National Metrology Institute of Japan
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology Researcher

夏 鵬
Peng Xia

3. オゾンガスを援用したドライ研磨法による難加工半導体基板の平坦化
Planarization of difficult to machined semiconductor substrate in
ozone gas assisted polishing

熊本大学 大学院 先端科学研究部 准教授
Faculty of Advanced Science and Technology,
Kumamoto University Associate Professor

久保田 章亀
Akihisa Kubota

4. 光周波数コムを用いたリアルタイム三次元座標導出
Real-time three-dimensional coordinate derivation by using an optical frequency comb

高エネルギー加速器研究機構 機械工学センター 講師
Mechanical Engineering Center,
High Energy Accelerator Research Organization Associate Professor

久米 達哉
Tatsuya Kume

5. 細径マッキベン型空気圧人工筋肉を用いた小児用前腕動力義手の試作と有用性検証
Development of an Externally Powered Prosthetic Hand for
Children Using Miniature McKibben Soft Actuators

大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部 准教授
Faculty of Robotics and Design,
Osaka Institute of Technology Associate Professor

谷口 浩成
Hironari Taniguchi

6. 微小時間および微小空間の切削現象が予測可能な切削シミュレータの開発
Development of cutting simulator for minute time and minute space resolution analysis
神戸大学 大学院 工学研究科 助教 西田 勇
Graduate school of engineering, Isamu Nishida
Kobe University Assistant Professor
7. マイクロハンドの高速ビジュアルフィードバック制御に関する研究
Visual Feedback Control of Micro Ultrasonic Motor
豊橋技術科学大学 機械工学系 准教授 真下 智昭
Mechanical Engineering Department, Tomoaki Mashimo
Toyohashi University of Technology Associate Professor
8. デジタルホログラフィックソノスコープによる超音波3次元イメージング
Three-dimensional Ultrasound Imaging by Digital holographic Sonarscope
神戸大学 大学院 システム情報学研究科 教授 的場 修
Graduate School of System Informatics, Osamu Matoba
Kobe University Professor
9. ゼロコンプライアンス機構を利用した多分力測定装置の開発
Multi-axis Force Measurement Apparatus using Zero-compliance Mechanism
埼玉大学 大学院 理工学研究科 教授 水野 毅
Graduate School of Science and Engineering, Takeshi Mizuno
Saitama University Professor
10. シアノバクテリアの光合成ユニットを活用した1フォトン計測システムの開発
Development of single photon measurement system using cyanobacterial photosynthesis unit
東京大学 大学院 理学系研究科 准教授 山野井 慶徳
School of Science, Yoshinori Yamano
The University of Tokyo Associate Professor

高精度・高能率マイクロ加工実現のための機上マイクロ電着工具製造システムの開発

大西 修

宮崎大学工学教育研究部

1. 概要

近年の製品の小型化・高精度化に伴い、マイクロ加工を高精度・高能率に行う必要性が増しているが、これらを行う加工においては、工具取り付け時の工具の心振れが非常に大きな問題となる。本研究では、工具として電着工具を取り上げており、この問題を解決するため、材料の加工を行う工作機械上でマイクロ電着工具を製造するシステム（以下、機上マイクロ電着工具製造システムと呼ぶ）を構築し、これにより心振れのほとんどない電着工具による高精度・高能率マイクロ加工を実現することを目的としている。

まず機上で電着工具を製作するために、電着工具台金の表面粗さや、電着条件が電着膜にどのような影響を及ぼすかを調査し、電着工具を製作するための指針を明らかにした。電着工具台金の表面粗さの違いによる電着膜表面への顕著な影響は見られなかったが、電着工具台金の表面は粗い方が剥離率が低い、つまり電着膜の密着性は増すと思われる。また、高い電流密度、長い電着時間、高い電着温度の条件は電着膜の成長を促すが、他方で、電着膜の欠陥の増加を引き起こすと思われる。それ故、これらのパラメタの値を欠陥が少ない範囲で大きくするのが電着工具の製作において望ましいと思われる。一方、高い攪拌速度では電着膜がより成長する傾向が見られた。さらに、大きな電流密度、長い電着時間、高い電着温度において剥離率は低くなる傾向があり、これらのパラメタの値を大きくすることは電着膜の密着性の観点から製作条件として望ましいと思われる。一方、大きな攪拌速度では剥離率は低くなる傾向が見られた。

上記で明らかとなった電着工具の製作条件指針を元にして、台金となる超硬合金の棒材を工作機械主軸に取り付け、この表面を工作機械テーブル上に設置した砥石により加工した。加工後の電着工具台金は工作機械主軸から取り外さずに、そのまま機上で電着工具台金に対する電着を行った。その結果、研削した電着工具台金を用いての機上での電着工具製作、さらにそれをそのまま用いての加工を行うことができ、本システムは特に問題ないことが明らかとなった。

2. 成果発表

- 1) 大西修，宮本敦輝：電着工具の高性能化に関する研究—電着台金の表面粗さが電着膜に及ぼす影響—，2018 年度精密工学会九州支部北九州地方講演会講演論文集，(2018) 137.
- 2) O. Ohnishi: Study on Fabrication of Electroplated Tools with High Performance: Influence of Conditions such as Stirring on Electroplated Layer, Transaction of MIRAI, 7 (2019) 28.

面内・面外の変形・変位を高精度に同時・動的計測する技術の開発

夏 鵬

国立研究開発法人産業技術総合研究所 計量標準総合センター

1. 概要

機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料などの上に微細加工技術によって集積化したデバイス(MEMS)は年々勢いを増している。精密機械の形状計測、欠陥検査、部品の力学特性の評価などは求められる。当グループはナノインプリント技術を用いてマイクロメートルオーダーの規則格子をデバイスに描写し、画像処理から得られるモアレ縞を利用して高精度に面内ひずみ分布を計測する技術を確立した。しかし実際の物体変形は面内だけではなく、面外方向も発生している。面外変形(奥行き方向)は面内変形の計測結果に影響を及ぼすことから、正確な面内変形計測には面外変形を計測した結果を用いて補正する必要がある。従来から存在する 3 次元計測技術である共焦点顕微鏡や AFM 等の技術は、奥行き情報の計測に際して機械的走査が必要であり、動く物体の面外情報取得は不可能であった。

本課題は、2 台のカメラを用いて位相シフトのずれ量を高精度に検出できる校正型位相シフトデジタルホログラフィを開発し、面内面外両方の変位・変形を高精度に動的計測できるシステムの開発を目指した。開発したシステムにより電子デバイスのナノメートルオーダーの熱変形の動的計測を実現した。

2. 成果発表

- (1) P. Xia, Q. Wang, S. Ri, H. Tsuda, "Calibrated Phase-Shifting Digital Holographic Microscope Using a Sampling Moiré Technique," *Appl. Sci.*, **8**(5), 706-1-10, (2018).
- (2) P. Xia, Q. Wang, S. Ri, H. Tsuda, " Nanometer-order thermal deformation measurement by a calibrated phase-shifting digital holography system," *Opt. Express*, **26**(10), 12594-12604 (2018).
- (3) 夏 鵬, 王 慶華, 李 志遠, 津田 浩, “モアレ法を導入した高精度位相シフトデジタルホログラフィ,” レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会講演予稿集, H324pIX03, 京都市, 2018 年 1 月.
- (4) P. Xia, Q. Wang, S. Ri, H. Tsuda, "Improvement of recording speed in calibrated phase-shifting digital holography based on dual-camera system," *Proceedings of Information Photonics 2019 (IP'19)*, pp.83-84, Yokohama, Apr. 2019.

オゾンガスを援用したドライ研磨法による難加工半導体基板の平坦化

Planarization of difficult to machined semiconductor substrate in ozone-gas assisted polishing

久保田章亀 (Akihisa KUBOTA)

熊本大学 (Kumamoto University)

1. 概要

エネルギー消費量の削減やエネルギーの高効率利用に向けたさまざまな取り組みが行われるなかで、電力利用の効率化を担うパワーデバイス用材料や通信システムの高周波・高出力デバイス用材料として、シリコンカーバイド (SiC) や窒化ガリウム (GaN) などのワイドバンドギャップ半導体が注目され、これらを用いた次世代半導体デバイスの研究・開発が精力的に行われている。しかしながら、これらの材料は、ダイヤモンドに次ぐ硬度とその熱的・化学的に極めて安定であるという特性から加工することが非常に難しく、現在、有効な加工方法が模索されているものの、高能率・高精度な加工プロセスは確立されていない。SiC や GaN を用いた次世代半導体デバイスを実現・普及させるためには、大面積で高品位な SiC や GaN の結晶成長技術、高品質かつ均一な精密エピタキシャル膜成長技術の開発とともに、格子欠陥 (格子歪み等) が無い、原子レベルで平坦な基板表面を創成できる新しい加工技術の開発が不可欠であり、これらの技術の確立が次世代半導体デバイスの実現・普及の鍵を握っている。

本研究では、次世代パワー半導体デバイスの実現に向けて、オゾンの化学的作用を援用したドライ研磨法 (オゾンガス援用研磨法) を開発し、デバイス作製時に必要とされるダメージフリーな高品位面を高効率に実現することを目的としている。本研究で提案・開発したオゾンガス援用研磨法を 1cm 角サイズの GaN の研磨に適用した結果、表面粗さの大幅な改善が見られた。原子間力顕微鏡で観察した GaN 基板表面上には、明瞭な原子状のステップ/テラス構造が確認された。また、オゾンガスの導入によって、GaN 基板の加工能率が約 1.5 倍 ($1.7 \mu\text{m/h}$ から $2.7 \mu\text{m/h}$) 増加することを確認した。GaN 基板の加工能率のさらなる向上を図るために、紫外線照射しながら、オゾン援用研磨する手法 (オゾン/紫外線照射援用研磨法) をあらたに提案・開発した。この手法により、高い表面平滑性を維持したままで、さらなる加工能率の向上 ($4.6 \mu\text{m/h}$) を実現した。オゾン/紫外線照射援用研磨後の GaN 表面をカソードルミネセンス法で評価した結果、研磨に起因する表面下へのダメージの導入は見られず、本提案手法の有効性を明らかにすることができた。

今後は、提案・開発した研磨手法を SiC やダイヤモンド基板の表面平坦化加工へ適用し、加工特性を明らかにするとともに、大口径サイズの SiC 基板や GaN 基板の表面平坦化が可能な研磨装置の開発に取り組むと考えている。

2. 成果報告

2020 年度精密工学会春季大会にて発表予定

光周波数コムを用いたリアルタイム三次元座標導出

久米 達哉

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

1. 研究の概要

我々は、過酷環境においても、長期間安定的に、リアルタイムで、高精度な三次元座標導出を可能とすることを目指して、光周波数コムに基づく複数の絶対測長干渉計からなる測長網を、対象に張り巡らせる方式について検討を行っている。これまでに、長さ基準となる、エタロンで圧縮された光周波数コムのパルス間隔に対する、シミュレーションと校正測定に基づく検討を行った。その結果、圧縮された光周波数コムのパルス間隔に対して、エタロンの自由スペクトル間隔(FSR)が支配的であることが示され、エタロンの高精度な評価と安定化が今後の課題となった。

2. 成果発表

国際会議報告(査読あり)

- 1) T. Kume, H. Yasuda, T. Mibe, M. Michihata, and K. Takamasu, “Pulse Interval Calibration of an Optical Frequency Comb Compressed by an Etalon “The 8th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2019), C18, Matsue, Japan, Nov. 12-14, (2019).
- 2) T. Kume, H. Yasuda, T. Mibe, M. Michihata, and K. Takamasu, “Pulse Interval of an Optical Frequency Comb Compressed by an Etalon, “The 14th International Symposium of Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTH 2019), A10, Niigata, Japan, Sep. 1-4, (2019).

国内会議報告

- 1) 久米, 安田, 三部, 道畑, 高増, “光周波数コムを用いた高精度アライメントモニター(第3報)-リングングを用いない光周波数コムパルス間隔の校正, “2019年度精密工学会秋季大会予稿集, D31, 静岡大, Sep. 4-6, (2019).
- 2) 久米, 安田, 三部, 高増, “光周波数コムを用いた高精度アライメントモニター(第2報)-エタロンで圧縮された光周波数コムのパルス間隔の測定, “2019年度精密工学会春季大会予稿集, O13, 東京電機大, Mar. 13-15, (2019).
- 3) 久米, 三部, 安田, 高増, “光周波数コムを用いた高精度アライメントモニター—パルス間隔に及ぼすエタロンフィルタの効果, “2018年度精密工学会秋季大会予稿集, 1P(T)63, 函館アリーナ, Sep. 5-7, (2018).

1. 概要

小児から義手を使うことは、筋肉を強化し、体のバランスをとるのに有効である。しかし、小児用義手は、その価格とサイズなどが原因のため普及していない。そこで本研究は、細径マッキベン型空気圧人工筋肉を用いた小児用の前腕動力義手を開発した。3D プリンタを使用することで、安価で軽量の義手を試作した。細径マッキベン型空気圧人工筋肉は、空気圧を印加することにより軸方向に張力を発生する。細径マッキベン型空気圧人工筋肉を義手の各指に配置し指の動作を実現した。その結果、より柔軟な把持動作を確認した。把持実験では、ボール、立方体、乾電池、500g ボトルなどの様々な物体を把持できることを確認した。また、指を約 0.1 秒で曲げることができ、健常者が指を動かすのと同等の動作が可能であることを確認した。ユーザー試験では、本義手をユーザーの筋電信号により動かし、形状と硬さが異なり、つかみ方も異なる物体に対して、正常に把持することが出来ることを確認した。これらのことから、開発した小児用前腕動力義手は、握力把持と精密把持の両方が可能であり、有用性があることを実証した。

2. 成果発表

- [1] 竹本薫生, 谷口造成, 脇元修一, 浅野皓洋, “細径マッキベン型ソフトアクチュエータを用いた小児用前腕動力義手の提案”, 第 38 回バイオメカニズム学術講演会 SOBIM2017 予稿集, 1C-2-1, pp. 165-166, (2017).
- [2] 浅野皓洋, 竹本薫生, 谷口造成, 脇元修一, 森永浩介, 神田岳文, “細径 McKiben 型人工筋肉を使用した小児用義手の設計”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2A2-H14, pp. 181-182, (2018).
- [3] Koyo Asano, Nobuo Takemoto, Shuichi Wakimoto, Hironari Taniguchi, Kosuke Morinaga and Takefumi Kanda, “Fundamental design of a myoelectric prosthesis hand for children using pneumatic artificial muscles”, Proceedings of International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPM2018), (2018).
- [4] 竹本薫生, 浅野皓洋, 谷口造成, 脇元修一, 森永浩介, 神田岳文, “細径マッキベン型アクチュエータを用いた小児用前腕動力義手の試作と性能評価”, 日本機械学会 2018 年度年次大会講演論文集, S1110604, (2018).
- [5] Nobuo Takemoto, Hironari Taniguchi, Shuichi Wakimoto, Koyo Asano, Kosuke Morinaga and Takefumi Kanda, “Development of an Externally Powered Prosthetic Hand for Children Using Miniature McKibben Soft Actuators”, Proceedings of The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2019), TH-D-2-2, (2019).
- [6] Nobuo Takemoto and Hironari Taniguchi, “Proposal of a Pediatric Externally Powered Prosthetic Hand”, Short paper of 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering In Medicine & Biology Society (EMBC2019), (2019).

1. 研究の概要

切削加工の加工効率を向上させるためには、加工状況を把握し切削条件を適切に設定することが重要となる。切削力は加工状況を把握するために有効な情報である。切削力を予測するための代表的なモデルとして瞬間切削力モデルがあり、被削材と工具切れ刃との干渉量から切削力を簡便に予測することができる。しかし、従来では工具1刃当りの送り量ごとに被削材と工具切れ刃との干渉量を算出していたため、工具の弾性変形の影響を考慮することが難しかった。本研究では、工具微小回転量ごとの切削現象を予測し、工具の弾性変形を考慮できる切削シミュレータを開発し、その妥当性を検証した。

2. 成果発表

(学術論文)

1. 西田勇, 佐藤隆太, 白瀬敬一, ボクセルモデルを用いた切削シミュレーションにおける微小時間および微小空間解析の高速処理手法, 精密工学会誌, Vol.84, No.2, pp.175-181, DOI: 10.2493/jjspe.84.175 (2018)
2. Isamu Nishida, Ryuma Okumura, Ryuta Sato, Keiichi Shirase, Cutting Force Simulation in Minute Time Resolution for Ball End Milling Under Various Tool Posture, Journal of Manufacturing Science and Engineering (ASME), Vol.140, No.2, DOI: 10.1115/1.4038499 (2017)
3. 西田勇, 奥村龍馬, 佐藤隆太, 白瀬敬一, 工具切れ刃形状および被削材形状のボクセルモデルによるラジラスエンドミルの切削力シミュレーション, 自動車技術会論文集, Vol.49, No.1, pp.107-111, DOI: 10.11351/jsaeronbun.49.107 (2018)
4. 西田勇, 奥村龍馬, 佐藤隆太, 白瀬敬一, 工具系の弾性変形を考慮したボクセルモデルによるエンドミル加工シミュレーション, 精密工学会誌, Vol.84, No.6, pp.572-577, DOI: 10.2493/jjspe.84.572 (2018)
5. Isamu Nishida, Ryo Tsuyama, Ryuta Sato, Keiichi Shirase, Customized End Milling Operation of Dental Artificial Crown without CAM Operation, International Journal of Automation Technology, Vol.12, No.6, pp.947-954 (2018)
6. 西田勇, 白瀬敬一, 工具系の弾性変形に起因する加工誤差の予測結果に基づく加工誤差補正, 精密工学会誌, Vol.85, No.1, pp.91-97, DOI: 10.2493/jjspe.85.91 (2019)

1.概要

内視鏡などへの応用を目指し、マイクロメカニズムの機構設計や制御手法が期待されている。一つの重要な技術は、マイクロハンドの開発であるが、その制御を行うためのセンサがないことが課題であった。そこで、マイクロ超音波モータのロータにミラー部を搭載して角度センサとして用いるシステムを提案する。本研究では、図 1 に示す大きさ 1mm 立方の小型超音波モータと高速度カメラを用いた視覚フィードバックシステムを構築し、迅速かつ広範囲を撮影することが出来る制御システムの開発を行った。高速度カメラを用いることによってモータの高速回転をリアルタイムで計測し、バースト波を使用した p 制御によってロータ角度を正確な位置決めする。実験では、高速度カメラによって得られた角度情報をもとに、小型回転ミラーの回転を視覚フィードバックによって制御を行った。また、視覚フィードバック制御を実証するために、LED が発する光の動きに合わせて超音波モータに挿入されたミラーを回転させる実験を行い、角度 1° 以下の位置決めを実現した。図 2 は、システムが LED の光を追跡する様子である。

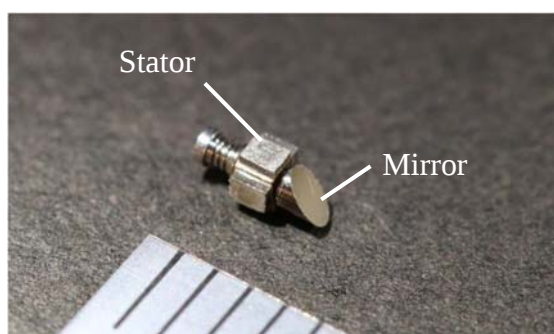
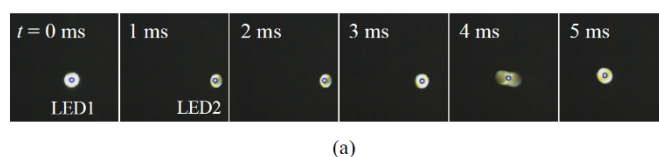


Fig. 1 Micro-ultrasonic motor with a rotating mirror



(a)



(b)

Fig.2 Camera images obtained in tracking experiment when the light of LEDs moves. (a) The control system rotates the mirror from LED1 to LED2. (b) The system tracks the light of LEDs in order.

2.成果発表

論文

Tomoaki Mashimo, Shunsuke Iduhara, Zhong Zhang, Hiromasa Oku “High-speed Visual Feedback Control of Miniature Rotating Mirror System using a Micro Ultrasonic Motor”, IEEE Access, (査読中)

国際会議

S. Izuhara, Z. Zhang, T. Mashimo, “Visual Feedback Control of Micro Ultrasonic Motor”, International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMMA2019), 2019

1. S.K. Rajput, X. Quan, O. Matoba, and Y. Awatsuji, "Three-times extended observation field by multiplexed holograms for sound wave imaging," 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム 2019, 14-1, 2019.

ゼロコンプライアンス機構を利用した多分力測定装置の開発

水野 毅

埼玉大学

1. 概要

「力」は最も基本的な物理量の一つであり、科学・工学のいろいろな場面で、その高精度な測定が求められている。力測定には、既に様々な方法が提案され、実用化されている。それらは、開いたシステムによる測定（偏位法）と閉じたシステムによる測定（零位法）とに大別できる。一般で広く用いられているのは前者に属する装置で、代表的な例がロードセルである。このような偏位法による測定の根本的な問題は、測定感度を高くするために測定系の剛性を低くすると、測定すべき力が作用したときに作用点の変位が大きくなり、力の発生源と作用点の距離などの測定条件が変わってしまうことである。また、測定系の固有振動数が低くなり、測定周波数帯域が狭くなることも大きな問題である。一方、零位法の一つとして、サーボ系を構成して、力が作用する点の位置を一定に保つような制御入力から力を推定する方法がある。この場合、作用点は変位しないので、偏位法のような測定条件が変わるという問題が生じない。しかしながら、測定帯域を広くする場合には、ハイゲインフィードバックが必要となる。フィードバックゲインが大きくなると、制御入力に混入するノイズも増幅されるため、測定感度が低下してしまうという問題が生じる。このため、原子間力のような微小力を測定する場合には、偏位法が利用される場合が多いが、測定条件が変わるという基本的な問題点は解決できない。

本研究は、力測定にゼロコンプライアンス機構を導入することによって、従来の力測定の持つ上述のような問題を克服している。本研究で利用するゼロコンプライアンス機構とは、正の剛性を持つばねと負の剛性を持つばねとを直列に接続して、その剛性を大きさを等しくすることによって、機構全体の剛性を無限大とするものである。このような機構を利用することによって、力が作用しても作用点の変位がなく、かつ高感度での力測定を実現できる。本研究では、従来の装置では実現が困難であった高剛性無限剛性と高感度とを両立した多分力測定装置を開発している。

2. 成果発表

【学術雑誌】

Md .Helal An NAHIYAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI, Modeling and Validation of Vertical Direction Force Estimation with a Three-Dimensional Force Measurement Instrument Based on a Zero-Compliance Mechanism, *Sensors* 2019, 19, 799, DOI: 10.3390/s19040799 (2019).

【国内講演会】

水野 毅, 高橋 弘享, 高崎 正也, 山口 大介, 石野 裕二: 3自由度ゼロコンプライアンス機構を用いたカンチレバー式力測定装置の開発, *Dynamics and Design Conference 2019 (D&D2019)* 講演論文集, 549 (2019).

シアノバクテリアの光合成ユニットを活用した1光子計測システムの開発

山野井 慶徳

東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻

1. 概要

植物の光合成ユニットの高い光電変換能力を最大限に利用するため、耐熱性シアノバクテリアから単離した光合成タンパク質複合体と微小電極を組み合わせて光センサを構築した。具体的には、グラフェン FET 上に金ナノ粒子(AuNP)と光化学系 I(PSI)を固定化し、グラフェンの I - V 特性変化から光検出を行った。まず、グラフェン上に AuNP と PSI を固定化するための最適条件を見い出した。続いてグラフェン FET 上にこれらを固定化し、励起光照射下(680 nm, 2.98 mWcm⁻²)での I - V 特性を調べた。ドレイン電流が極小値をとるときのゲート電圧値 (Charge neutrality point, CNP)を調査したところ、単電子移動に由来する結果として 12 mV 負方向へシフトした。これらの実験結果は、光合成タンパク質を用いた高感度光センサを構築するための基礎的な知見となり、将来的に単光子検出が可能な光センサが開発できる。

2. 成果発表

a. 査読あり原著論文

1. “Photosensing system using photosystem I and gold nanoparticle on graphene field-effect transistor”, Nishiori, D.; Zhu, W.; Salles, R.; Miyachi, M.;* **Yamanoi, Y.;*** Ikuta, T.; Maehashi, K.; Tomo, T.; Nishihara, H.* *ACS Appl. Mater. Inter.* **2019**, 11, 42773–42779.
2. “A Photochemical Hydrogen Evolution System Combining Cyanobacterial Photosystem I and Platinum Nanoparticle-terminated Molecular Wires”, Miyachi, M.; Okuzono, K.; Nishiori, D.; **Yamanoi, Y.;*** Tomo, T.; Iwai, M.; Allakhverdiev, S. I.; Nishihara, H.* *Chem. Lett.* **2017**, 46, 1479–1481.

その他 8 報

b. 総説

1. 「分子アーキテクチャの化学：電子部品と分子構造」、**山野井 慶徳**、西原 寛、「CSJ カレントレビュー 分子アーキテクチャ」、化学同人、**2018**, 22–29.
2. “Modification of Electrode Interfaces with Nanosized Materials for Electronic Applications”, **Yamanoi, Y.;*** Miyachi, M.; Nishihara, H.*, *Molecular Architectonics: The Third Stage of Single Molecule Electronics*, Ogawa, T. Ed. Springer, **2017**, 399–416.

c. 学会発表

1. 「光化学系 I および白金ナノ粒子ナノシートで構成される光電極の作製と物性評価」、宮地 麻里子、朱 文超、Raphaël Salles、**山野井 慶徳**、靱 達也、西原 寛、第 10 回分子アーキテクチャ研究会、2019 年 11 月、福岡
2. 「光化学系 I および金ナノ粒子で修飾したグラフェン FET の光応答」宮地 麻里子、西織大輝、朱 文超、Raphaël Salles、**山野井 慶徳**、生田 昂、前橋 兼三、靱 達也、西原 寛、第 99 日本化学会春季年会、2019 年 3 月、神戸
3. 「光化学系 I および白金ナノ粒子で構成される積層ナノシートの作製と物性評価」、宮地麻里子、Raphaël Salles、朱 文超、**山野井 慶徳**、靱 達也、西原 寛、第 9 回分子アーキテクチャ研究会、2018 年 11 月、函館

その他 5 件