

令和 3 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H04342

研究課題名(和文)メタ表面実装光ファイバが切り拓く測定場所を選ばない革新的超精密ナノセンシング

研究課題名(英文)Ultra-precision nanosensing using an optical fiber with a meta surface formed at the tip

研究代表者

金森 義明 (Kanamori, Yoshiaki)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：10333858

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノインプリント技術で光ファイバ先端に平面型メタマテリアル(メタ表面)を安価かつ高精度に製作し、局所領域のin situ超高感度測定を可能とする革新的超精密ナノセンサの実現を目指した。その結果、光ファイバ先端専用光ナノインプリント装置の構築、石英モールドの製作技術の確立に成功した。また、光ナノインプリントによる光ファイバ端面上のメタマテリアル製作条件を探索し、光ファイバ端面上に屈折率センサおよびワイヤグリッド偏光子を製作することに成功した。更に、石英基板上に偏光無依存メタマテリアルによる屈折率センサを製作し、DNAのラベルフリー検出に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノインプリント技術を用いて光ファイバ先端にセンサとして機能するメタ表面を製作した例は過去に無く、超精密加工やマイクロマシニングの分野において新たな加工技術となる。また、屈折率センサを用いたDNAのラベルフリー検出技術は、これまで大型装置が必要でコストと時間がかかったがん、糖尿病、感染症診断等の血液検査が、小型・簡便でその場で結果が出るような小型・高性能バイオセンサを実現するコア技術となることが期待され、超高齢社会が進む国内の社会課題を解決する技術として期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to realize an innovative ultra-precision nanosensor that enables in situ ultra-sensitive measurement of local regions by manufacturing a flat metamaterial (meta surface) at the tip of an optical fiber at low cost and with high accuracy using nanoimprint technology. As a result, we succeeded in constructing an optical nanoimprint apparatus dedicated to the tip of an optical fiber and establishing a manufacturing technology for quartz molds. In addition, we searched for metamaterial production conditions on the end face of the optical fiber by optical nanoimprint, and succeeded in manufacturing a refractive index sensor and a wire grid polarizer on the end face of the optical fiber. Furthermore, we manufactured a refractive index sensor using a polarization-independent metamaterial on a quartz substrate, and succeeded in label-free detection of DNA.

研究分野：微細加工学、ナノ光学

キーワード：光デバイス マイクロ・ナノデバイス メタマテリアル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微細加工技術の発展に伴い、プラズモン・フォトリソグラフィなどナノフォトニクスを用いたセンサが提案され、金ナノ粒子を用いた SERS (表面増強ラマン分光) によるバイオセンサは実用化されている。現状のナノフォトニックセンサはフラット基板の上に製作されており、被測定物をセンサ部に導く構造が不可欠で、本来ある場所での *in situ* 測定が困難である。また、表面プラズモン・ポラリトンや近接場の浸み出し領域 (1 波長程度) でのセンシングのため、検知範囲は基板表面近傍に限られてしまう。

メタマテリアルは、金属サブ波長構造を単位素子とした人工光学材料であり、フォトリソグラフィのような周期構造を必ずしも必要とせず、素子単位での自由な光学設計が可能である。自然界に存在しない屈折率の実現や新奇光学応答、回折限界を超えたサブ波長空間への電磁場局在を実現でき、これまでの光波操作技術の範疇を超えた新たなデバイス創出が期待される。メタマテリアルは光学応答が環境(屈折率)変化に敏感なため、屈折率変化に基づく局所場の高感度センシングを実現する。また、偏光の入射電磁波情報を計測できるため、物質の複屈折情報を取得することができる。メタマテリアルとプラズモニクスとの違いとして、両方とも表面プラズモンモードが光学応答を決める点で同質であるが、メタマテリアルは電気回路のアナロジーで構造設計する考え方に基づき設計の自由度や原理の理解に優れ、複雑な構造設計も可能となる。従って、メタマテリアルは光共振器としての Q 値や共振波長の設計自由度が高く、金ナノ粒子を用いたプラズモンセンサよりも高機能・高感度なセンサが実現可能となる。これまで、屈折率変化による共振波長のシフト量から読み取るメタマテリアルを用いたバイオセンサの試作例があり、センサ感度 436 nm/refractive index unit (RIU) が得られている。従来の金ナノ粒子によるセンサ感度が 100 nm/RIU 程度であるのと比べると 4 倍以上高感度である。

近年、光ファイバを通信だけでなくセンシングに利用する技術が国際的に著しく発展しており、様々な物理・化学量の計測が可能となっている。光ファイバ先端にナノ光学素子を形成する技術も進展し、近年、レビュー論文が立て続けに出ていることから注目度の高さを裏付けている。研究代表者は、光ファイバ先端にサブ波長構造の反射防止素子を世界に先駆けて実現した (Y.Kanamori 他, Opt. Express 21, (2013)322)。関連成果は、2015 年 SPIE Photonic West(米国)での招待講演および新聞報道(2010 年 11 月 26 日、日刊工業新聞)された。その後、2015 年に M.Kowalczyk らがレーザ描画法により同様の素子を試作している。その他、2015 年に Z.Zhang らは集束イオンビーム加工により光ファイバ先端にプラズモンセンサを試作し、屈折率と温度のセンシングに成功した。

光ファイバ先端への金属ナノ構造の製作に、集束イオンビーム、フェムト秒レーザ、電子線描画による手法が提案されているが、これらはポイントビームによる一筆書きなので生産性が悪い。また、干渉リソグラフィによる手法もあるが、構造パターンが限定される。その他、2010 年に D.J.Lipomi らによる、水槽に浮いた金属ナノ構造形成シートに光ファイバ先端を押し付けて付着させるユニークな手法もあるが量産性に乏しい。一方、ナノインプリント技術は、一度モールドを作ってしまうと、ナノ構造を安価に大量生産できる。しかしながら、現状のナノインプリント装置は平行な平板同士をプレスする機構なため、光ファイバのように細長く柔軟な構造の先端にナノインプリント加工するのは極めて困難であった。研究代表者は、光ファイバ先端に任意形状のナノ構造を転写できる専用のナノインプリント装置を開発し、上述のように光ファイバ先端のサブ波長反射防止構造の製作に成功した。

メタマテリアルの研究成果として、研究代表者は電磁誘起透明化メタマテリアルを試作し、世界で初めて可視光領域でメタマテリアルによる電磁誘起透明化現象の観測に成功した (R.Hokari, Y.Kanamori 他, Opt.Express 22,(2014)3526)。これによりメタマテリアルの微細加工技術を確立した。

2. 研究の目的

本研究では、ナノインプリント技術で光ファイバ先端に平面型メタマテリアル(メタ表面)を安価かつ高精度に製作し、局所領域の *in situ* 超高感度測定を可能とする革新的超精密ナノセンサの実現を目的とする。また、メタ表面の設計・製作技術を確立し、センサの感度特性を明らかにする。

3. 研究の方法

メタ表面実装光ファイバによる超高感度センサの実現に向け、以下の順に研究を進める。

- (1) 光ファイバ先端専用光ナノインプリント装置を構築する。
- (2) 石英モールドの製作技術を確立する。
- (3) 光ナノインプリントによる光ファイバ端面上のメタマテリアル製作条件を探索する。
- (4) 石英基板上に製作したメタマテリアルによる屈折率センサを製作する。

- (5) 屈折率センサを光ファイバ端面上に製作する。
- (6) 光ファイバ端面上にワイヤグリッド偏光子を製作する。

4. 研究成果

● 光ファイバ先端専用光ナノインプリント装置の構築

研究代表者が過去に開発した光ファイバ先端専用熱ナノインプリント装置を改良することで、光ファイバ先端専用光ナノインプリント装置を構築した。また、光ファイバ先端とモールド上のメタ材料パターンを精密に重ね合わせるために、バックサイド・アライメント機構を追加した。

● 石英モールドの製作技術の確立

ナノインプリント用石英モールドを製作した。モールドパターンは実際に試作するメタ材料パターンとした。モールド製作のための電子線(EB)描画装置及びイオンミリング装置の条件出しを行った。

● 光ナノインプリントによる光ファイバ端面上のメタ材料製作条件の探索

構築した光ナノインプリント装置と製作した石英モールドを用いて、光ファイバ端面にメタ材料を形成するための製作条件を探索した。光ファイバ端面に Au コートするためのスパッタ装置の条件出し、光ナノインプリントの条件出し、イオンミリング加工の条件出しを行った。

● 石英基板上に製作したメタ材料による屈折率センサの製作

石英基板上に電子線描画装置を用いて高精度にメタ材料を製作し、屈折率の異なる液体(水、イソプロパノール、グリセリン)を滴下することで屈折率センサとしての特性を評価し、明確に共振スペクトルの変化としてとらえることに成功した。次に、偏光無依存メタ材料を用いた屈折率センサを石英基板上に製作し、その特性を評価した。メタ材料の単位構造は基板上に 2 次元周期配列される。メタ材料の形状は偏光無依存にするために回転対称形状とし、材料には近赤外域で反射率が高い Au を選定した。屈折率を測定したい試料をメタ材料上に滴下し、メタ材料の反射スペクトルを分光器で検出する。空気(屈折率 $n = 1.0$)を基準として、試料滴下による屈折率変化に応じた反射スペクトルシフトから屈折率を算出する。Rigorous Coupled-Wave Analysis 法を用いたメタ材料の光学設計を行った。設計では 593 nm/RIU の屈折率感度を得ることができた。メタ材料は、EB リソグラフィ、EB 蒸着、リフトオフによって石英基板上に製作した。実際に製作したデバイスの測定結果からは 585 nm/RIU と高感度な特性を得た。実際のメタ材料の寸法に基づいた屈折率感度の計算値は 605 nm/RIU であり、実測値と近い値を得た。また、回転対称カットワイヤ構造で構成されるメタ材料による屈折率センサの高感度化と DNA 検出の実証を行った。具体的には、回転対称カットワイヤ構造表面に吸着層が存在するシミュレーションモデルを用いて、構造近傍の電場モード解析を行ない、バイオアフィニティセンシングに適した回転対称カットワイヤ構造を設計・製作した。製作したメタ表面を用いて DNA のラベルフリー検出に成功した。

● 屈折率センサの光ファイバ端面上への製作

光ファイバ端面に、石英基板上に製作したメタ材料と同じ設計寸法のメタ材料を製作した。石英基板上に製作したメタ材料と比べ製作精度が若干悪くなった。そのため、屈折率測定の実験値が低下したが、メタ材料周辺の屈折率の変化を読み取ることができた。

● 光ファイバ端面上へのワイヤグリッド偏光子の製作

光ファイバ端面上のワイヤグリッド偏光子の製作を行った。ワイヤグリッド偏光子は、平行に並べられた多数の金属ワイヤで構成され、TE 偏光は透過せず、TM 偏光は透過する。はじめに、ワイヤグリッド偏光子の仕様を検討し、消光比や透過率の目標値を設定した。次に、光学設計を行った。計算は Rigorous coupled-wave analysis 法に基づく数値計算ソフトを用いて行った。動作波長を 550 nm とし、ワイヤグリッド偏光子の線幅、厚み、および周期をパラメータとして透過率のマッピングを計算した。その結果、消光比 200 を超える設計が可能であることが分かった。次に製作方法の検討を行い、光ナノインプリント技術を用いて光ファイバ端面にワイヤグリッド偏光子を製作する手順を考案した。次に、光ナノインプリントで用いるモールドの製作を行った。線幅 133 nm、周期 300 nm のワイヤグリッド偏光子を光ナノインプリントでパターン転写するためのモールドを製作することができた。次に、光ファイバ端面にワイヤグリッドを構成する金属を成膜し、その後、製作した光ナノインプリント用モールドを用いて光ファイバ端面にワイヤグリッドパターンを転写した。光ファイバ中心のコア部にパターン転写することに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshiaki Kanamori	4. 巻 16
2. 論文標題 High Efficiency Optical Filters Based on Nanophotonics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 662 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23345	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 金森 義明, 清水 友己, 野村 慎一郎, 羽根 一博	4. 巻 139
2. 論文標題 偏光無依存メタマテリアルを用いた屈折率センサの製作と化学物質濃度計測及びDNA検出への適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 163-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.163	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 Yoshiaki Kanamori, Tomoki Shimizu, Shin-Ichiro Nomura, and Kazuhiro Hane	4. 巻 102
2. 論文標題 Fabrication of refractive index sensors using polarization independent metamaterial and their application to chemical concentration measurement and DNA detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 34-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12208	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 金森義明	4. 巻 3
2. 論文標題 高感度バイオ・ケミカルセンシングを実現するメタマテリアル	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 82-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 金森義明	4. 巻 3
2. 論文標題 メタマテリアルを用いた高感度バイオセンサとDNA検出への適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 44-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Tomoki Shimizu, Hitoshi Sai, Yoshiaki Kanamori, Kazuhiro Hane	4. 巻 137
2. 論文標題 Transmissive Plasmonic Color Filters with Built-in Si Photodiodes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 134-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yuto Moritake, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane	4. 巻 137
2. 論文標題 Dynamic Spectral Control of Fano Resonance by MEMS Actuated Optical Metamaterials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 357-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 大久保 藍, 金森 義明, 羽根 一博	4. 巻 137
2. 論文標題 面外配置された非対称型ダブルパーメタマテリアルの製作と光学応答	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 363-370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 江間 大祐, 金森 義明, 齋 均, 羽根 一博	4. 巻 137
2. 論文標題 プラズモニックカラーフィルター体型フォトダイオードアレイ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 379-386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 清水 友己, 金森 義明, 羽根 一博	4. 巻 137
2. 論文標題 偏光無依存メタマテリアルを用いた屈折率センサ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 415-416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Daisuke EMA, Yoshiaki KANAMORI, Hitoshi SAI, and Kazuhiro HANE	4. 巻 101
2. 論文標題 Plasmonic Color Filters Integrated on a Photodiode Array	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 95-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yuto Moritake, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane	4. 巻 24
2. 論文標題 Demonstration of sharp multiple Fano resonances in optical metamaterials	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 9332-9339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.24.009332	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 石井 雄大, 瀧田 佑馬, 金森 義明, 南出 泰垂, 羽根 一博	4. 巻 136
2. 論文標題 THz帯におけるメタマテリアル・アブソーバの製作と吸収特性の評価	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 172-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.136.172	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 Y. Moritake, Y. Kanamori, and K. Hane	4. 巻 6
2. 論文標題 Emission wavelength tuning of fluorescence by fine structural control of optical metamaterials with Fano resonance	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 33208-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep33208	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 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 金森義明
2. 発表標題 メタサーフェースによる光波制御デバイス
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori
2. 発表標題 Miniature spectrometers with metamaterial filter array
3. 学会等名 The 4th A3 Metamaterials Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori, Daisuke Ema, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Miniature Spectroscopes with Metasurfaced Transmitted Color Filters Integrated on a Photodiode Array
3. 学会等名 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森義明
2. 発表標題 小型分光器・高感度バイオセンサを実現する人工光学物質「メタマテリアル」
3. 学会等名 第64回光波センシング技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 友己、金森 義明、羽根 一博
2. 発表標題 偏光無依存メタマテリアルの製作と屈折率センサへの応用
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori, Daisuke Ema, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Transmissive metamaterial color filters
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金森 義明、江間 大祐、羽根 一博
2. 発表標題 Si フォトダイオード上のメタマテリアル・カラーフィルタによる分光デバイス
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuta Ishii, Yoshiaki Kanamori, Kazuhiro Hane, Yuma Takida, and Hiroaki Minamide
2. 発表標題 Experimental Demonstration of Wavelength-Selective Metamaterial Absorbers in the 1.5 THz Range
3. 学会等名 11th IEEE Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Daisuke Ema, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Wavelength-selective Transmission from Plasmonic Nanostructured Arrays in the Visible Region
3. 学会等名 11th IEEE Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomoki Shimizu, Hitoshi Sai, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Fabrication of transmissive plasmonic color filters with built-in Si photodiodes
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2016 (APCOT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Daisuke Ema, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Spectral sensitivity control of Si photodiodes by subwavelength structures
3. 学会等名 The 1st A3 Metamaterials Forum (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Ai Okubo, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Movable transparent membranes designed for tunable metamaterials in the optical region
3. 学会等名 The 1st A3 Metamaterials Forum (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuta Ishii, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Metamaterial absorbers fabricated on silicon cantilevers
3. 学会等名 The 1st A3 Metamaterials Forum (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomoki Shimizu, Hitoshi Sai, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Photovoltaic transmissive color filters based on Metal-Photodiode-Metal metamaterials
3. 学会等名 The 1st A3 Metamaterials Forum (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Kanamori, K. Nakamura, K. Hane
2. 発表標題 Fabrication of electromagnetically induced transparency like metamaterials in THz region
3. 学会等名 5th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori
2. 発表標題 Observation of Fano resonance in Optical Metamaterials
3. 学会等名 11th IEEE Annual International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori
2. 発表標題 Planar metamaterials for transmission and absorption control
3. 学会等名 EMN Meeting on Metamaterials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Kanamori
2. 発表標題 Fabrication of Planar Metamaterials for Transmission and Absorption Control
3. 学会等名 第77回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金森義明
2. 発表標題 ナノフォトニック構造のMEMS制御
3. 学会等名 平成29年電気学会全国大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoki Shimizu, Hitoshi Sai, Yoshiaki Kanamori, and Kazuhiro Hane
2. 発表標題 Fabrication of transmissive plasmonic color filters with built-in Si photodiodes
3. 学会等名 平成28年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 江間大祐、金森義明、羽根一博
2. 発表標題 フォトダイオード一体型誘電体光メタ表面による色度選択光検出
3. 学会等名 第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森竹勇斗、金森義明、羽根一博
2. 発表標題 MEMS駆動光メタマテリアルによるファノ共鳴スペクトル制御
3. 学会等名 電気学会フィジカルセンサ/マイクロマシン・センサシステム合同研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大久保藍、金森義明、羽根一博
2. 発表標題 金属・誘電体・金属構造の非対称型ダブルパーメタマテリアルの製作と光学特性
3. 学会等名 電気学会フィジカルセンサ/マイクロマシン・センサシステム合同研究会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 金森義明	4. 発行年 2016年
2. 出版社 株式会社シーエムシー・リサーチ	5. 総ページ数 8
3. 書名 インスツルメンテーションの視点からみたバイオメティクス:第3編第7章 構造色の制御技術とその工学分野への応用	

〔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
連携研究者	羽根 一博 (Hane Kazuhiro) (50164893)	東北大学・工学研究科・教授 (11301)	
連携研究者	佐々木 敬 (Sasaki Takashi) (60633394)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

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
---------	---------