

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04355

研究課題名(和文) チップ上・高速・高集積ナノカーボン光電子素子開発と光インターコネクタ応用

研究課題名(英文) On-chip, high-speed, integrated optoelectronic nanocarbon devices for optical interconnects

研究代表者

牧 英之 (MAKI, Hideyuki)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・准教授

研究者番号：10339715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、黒体放射光源およびEL発光素子開発と発光メカニズムやデバイス構造探索、シリコン上での高集積光技術との融合技術の構築に関して研究を進めた。黒体放射光源開発では、材料・デバイス構造の最適化、発光メカニズム解明のための理論構築やシミュレーションなどを進めた。また、シリコン上で大面積に作製可能な新たなグラフェン成長方法の構築を進めた。EL発光素子では、発光メカニズム解明や発光素子の性能評価とその向上方法を検討した。また、高集積光技術では、シリコンフォトニクスとの融合手法の構築を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シリコン上に集積化可能なナノカーボン光源の開発に成功したことから、今後、シリコン上での集積光デバイスが実現可能になるとともに、その量産化技術も構築された。また、新たな発光メカニズムが見つかり、更なる高性能のナノカーボン発光素子が実現可能となる。さらに、シリコン上に集積化されたナノカーボン光源の実現により、集積光デバイスの実現とその高性能化が期待され、今後、集積デバイスの更なる高速化・高集積化・低消費電力化への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proceeded with research on the development of a blackbody emitters and EL emitters, investigation of emission mechanisms and the optimization of the device structure, highly integrated optoelectronic devices on silicon chips. In the development of the blackbody emitters, we proceeded with optimization of materials and device structure, construction of theory and simulation for the elucidation of emission mechanisms. We also studied the new graphene growth method that can be directly formed on silicon substrate. For the EL emitter, we investigated the EL emitting mechanisms and its improvement method. In addition, for the highly integrated optoelectronic devices, we studied the coupling of nanocarbon device to silicon photonics, and we demonstrated the optical coupling between carbon nanotube and optical waveguides and the control of emission properties.

研究分野：ナノデバイス

キーワード：光デバイス・光回路 ナノカーボン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高度情報化社会を支える光通信技術では、従来の光ファイバー長距離通信にとどまらず、チップ内・チップ間・ボード間での光インターコネクトといった高集積光情報技術による高速・低消費電力化にまで広がりを見せており、チップ上での光デバイス集積化やシリコンフォトニクスの実現が急務となっている。光インターコネクトの実現には、現在の集積回路の中核を担うシリコンウェハー上へ「直接」形成することが不可欠であるが、従来の固体半導体を用いた光電子デバイスでは、シリコン上への直接形成が難しいことや p-n 接合などの複雑なデバイスプロセスが必要といった材料特有の問題に直面しており、固体半導体系を軸とした光インターコネクトは、実用化の目途が立っていない。化合物半導体によってこれらを実現するには極めて多くのブレイクスルーを要することから、次世代光技術の実現には、全く新しい材料系での発光素子開発が必要となる。そこで本研究では、ナノカーボン材料に着目し、シリコン上に集積可能な超高速・超小型発光・受光素子を提案する。申請者は、これまでに CNT およびグラフェンを用いたナノカーボン発光素子開発に着手し、CNT 特有の電子・正孔注入特性を利用した CNT 電子正孔再結合型発光素子（以下、EL 発光素子）に始まり、CNT への通電に伴う黒体放射を利用した CNT 黒体放射型発光素子、さらにグラフェンへ展開して面発光グラフェン黒体放射発光素子の開発に成功し、シリコン上に集積可能な超小型発光素子を複雑なプロセスを必要とせず簡便に作製可能であることを示した。EL 発光素子においては、キャリア励起・発光機構を明らかにするとともに、発光原理に基づきワイドバンドギャップの CNT へのキャリア励起が可能なデバイス構造を提案し、最も短波長（1.1 $\mu\text{m}$ ）な EL 発光に世界に先駆けて成功した。さらに、CNT 薄膜を用いた高輝度発光素子の開発も行い、発光の高輝度化と歩留まりの大幅向上に成功するとともに、EL 素子の時間分解測定を行った。また、申請者は、CNT 黒体放射発光素子開発も独自に行い、ジュール加熱によってプランク則に従う連続スペクトル発光素子を開発するとともに、高い熱伝導性を利用して実験的には 1Gbps 以上、理論的には 10Gbps 以上の超高速変調性を示してきた。また、グラフェン発光素子では、高輝度な面発光素子開発に成功した。

### 2. 研究の目的

本研究では、化合物半導体に代わる全く新しい材料系としてナノカーボン材料に注目し、シリコン上に集積化が可能な超高速のナノカーボン発光・受光素子を開発することを目的としている。ここでは、ナノカーボン光デバイスの高速化・高効率化に関する学理追求、高集積・大面積作製プロセスといったナノカーボン光デバイスの実用化技術構築を行う。さらに、シリコンフォトニクスや光共振器との融合技術構築を進め、光導波路とナノカーボン発光素子をエバネッセント結合を実演するとともに、共振器素子への光閉じ込め技術構築に関する研究を進めることで、ナノカーボン材料の高密度光インターコネクト技術等への応用技術の構築を進めることを目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、黒体放射光源および EL 発光素子開発と発光メカニズムやデバイス構造探索、シリコン上での高集積光技術との融合技術の構築に関して研究を進めた。黒体放射光源開発では、グラフェンの層数・大きさといった材料側の検討、デバイス構造の最適化、発光メカニズム解明のための理論構築やシミュレーションなどを進めた。また、グラフェンを用いた黒体放射光源では、シリコン上で大面積に作製可能な新たな作製方法の構築を進めた。EL 発光素子では、様々なアプローチで EL 発光素子開発を進め、EL 発光素子の発光メカニズム解明や発光素子の性能評価とその向上方法を検討した。また、高集積光技術では、シリコン上において、光導波路との融合手法の構築を進め、カーボンナノチューブと光導波路の光学的な結合やそれによる発光素子制御を試みた。

### 4. 研究成果

黒体放射光源では、グラフェンを用いることによるチップ上・高速・高集積の黒体放射発光素子に関する研究を進めた。本研究では、数  $\mu\text{m}$  角のグラフェンに対して、高周波印加が可能なコプレーナ構造の電極を形成して発光素子を作製した。この素子に対して、直流～高周波での発光特性を評価した。電圧を印加した結果、通電加熱によってプランク則に従ってブロードなスペクトルを有する熱放射による赤外発光が得られた。この素子に対して、高速変調した矩形電圧を印加して発光特性を評価した。その結果、発光の時間分解測定より、層数に依存して高速変調性を有する発光が得られることが明らかとなった。単層から三層の薄いグラフェンでは、1GHz 以上での超高速な直接変調が可能である一方、それ以上の多層グラフェンでは、高速変調性は MHz オーダーとなり、層数に依存した高速変調性を有する光源となっていることを示した。さらに、この高速変調性のメカニズムを解明するため、熱伝導方程式を用いた熱輸送の解析を行い、メカニズムの解明を試みた。その結果、得られた GHz オーダーの超高速変調は、従来の古典的な熱輸送モデルでは、説明できないことが明らかとなった。そこで、本研究では、新たな高速変調のメカニズムとして、基板の表面極性フォノンによる遠隔の量子熱輸送モデルを考案して、それを取り入れたシミュレーションを進めた。その結果、実験で得られた高速変調性を説明することに成功し、グラフェンによる高速変調発光が量子的な熱輸送によるもので

あることを初めて示した。また、実験的に得られた高速変調性のグラフェン層数依存性は、グラフェンと基板間の接触熱輸送の違いで説明できることが明らかとなった。ここでは、単層程度の薄いグラフェンでは、基板上のグラフェンはリップル構造を有していることから、基板との熱的なカップリングが小さくなる一方、多層グラフェンでは、平板上の平らな構造となり基板との熱的なカップリングが大きくなることに起因して、変調速度の層数依存性があることが明らかになった。さらに本研究では、グラフェン光源の集積光デバイスや光通信などへの応用を目指し、光通信実験や大気中動作、高集積化に関する研究を進めた。その結果、リアルタイムの光通信実験を行った結果、1Mbpsでの光通信を実演することに成功した。また、大気中動作に関しては、アルミナによるキャップ構造を有する発光素子を作製した結果、大気中でも全く劣化せずに長時間動作可能な発光素子の開発に成功した。さらに、CVDグラフェンを用いて発光素子アレーを作成した結果、シリコンチップ上での発光素子の高集積化も実演することに成功した。以上の成果は、Nature Communications 誌に掲載された。

また、グラフェンを用いた発光素子に関連して、シリコンウェハー上にダイレクトに大面積に多結晶グラフェンを成長する技術の構築も進めた。その結果、固体カーボンソースと触媒を形成して、高速熱処理炉を用いてアニールすることにより、グラフェンが形成可能であることを示した。さらに、この手法では、予めカーボンソースをパターニングすることにより、任意のグラフェン形状を自由に形成可能であることも明らかにした。これにより、シリコン基板上にダイレクトに任意のパターンが形成可能となっている。さらに、このパターン化されたグラフェンを用いて発光素子を作製した結果、通電による黒体放射発光が得られることが明らかとなり、大量生産が可能なグラフェン光源技術の構築に成功した。

EL発光素子に関しては、高輝度化や高歩留まり化が可能な半導体カーボンナノチューブ薄膜を用いたEL発光素子開発を進めた。ここでは、半導体カーボンナノチューブ溶液を基板上にスパインコートし、半導体カーボンナノチューブ薄膜を形成し、これに電極を形成することで発光素子を作製した。その結果、黒体放射とは異なり、バンドギャップによるピーク形状の発光が得られ、電子・正孔再結合によるEL発光が得られた。このEL発光は、電流電圧特性やゲート電圧依存性との比較により、加速された正孔によって励起子がダイレクトに生成される衝突励起であることが明らかとなった。さらに、この発光ピークを、フォトルミネッセンスや吸収スペクトルと比較した結果、EL発光ピークのみが200meV程度レッドシフトしていることが明らかになり、EL発光では、フォトルミネッセンスにおける励起子発光とは異なり、励起子にさらに正孔が追加されたトリオンからの発光であることが明らかとなった。このトリオンは、衝突励起で生成された励起子に加えて、注入された高濃度の正孔が存在することで、トリオンを形成していることが明らかとなった。さらに、このEL発光素子の発光を時間分解測定したところ、100psオーダーの高速変調が可能であることが明らかとなり、将来的には、高速変調を利用した光通信へも応用可能であることを示した。また、更なる高輝度化を目指して、架橋構造を有するEL発光素子の作製も試みた結果、架橋構造からの発光を得ることに成功した。

シリコンフォトニクスとの融合に関しては、シリコン導波路上にカーボンナノチューブを形成することによって、カーボンナノチューブの発光とシリコンフォトニクスのカップリングを試みた。その結果、カーボンナノチューブのフォトルミネッセンスをシリコンフォトニクスを介して観測することに成功した。また、共振器構造中にカーボンナノチューブを形成した結果、PL発光スペクトルに変化が得られ、発光制御が可能であることを示した。また、シリコンチップ上にグラフェンを用いた受光素子開発を進めた結果、可視～赤外での受光特性を得ることに成功したことから、これらを融合して、将来的には、シリコンフォトニクスを利用した光インターコネクトなどの実現が可能であることを示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Takahashi Hidenori, Suzuki Yuji, Yoshida Norito, Nakagawa Kenta, Maki Hideyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 High-speed electroluminescence from semiconducting carbon nanotube films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 164301-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0002092	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 Kawabe Rintaro, Takaki Hiroshi, Ibi Takayuki, Maeda Yutaka, Nakagawa Kenta, Maki Hideyuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Pure and Efficient Single-Photon Sources by Shortening and Functionalizing Air-Suspended Carbon Nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 682~690
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsanm.9b02209	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 Nakagawa Kenta, Takahashi Hidenori, Shimura Yui, Maki Hideyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 A light emitter based on practicable and mass-producible polycrystalline graphene patterned directly on silicon substrates from a solid-state carbon source	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 37906~37910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9RA07294B	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 Moriyama Satoshi, Morita Yoshifumi, Yoshihira Masanori, Kura Hiroaki, Ogawa Tomoyuki, Maki Hideyuki	4. 巻 126
2. 論文標題 Discrete quantum levels and Zeeman splitting in ultra-thin gold-nanowire quantum dots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 044303-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5085230	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 牧 英之、 中川鉄馬	4. 巻 54
2. 論文標題 ナノカーボン発光素子の開発とその応用展開	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 315 ~ 324
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 Yamada K, Yamada M, Maki H, Itoh K M	4. 巻 29
2. 論文標題 Fabrication of arrays of tapered silicon micro-/nano-pillars by metal-assisted chemical etching and anisotropic wet etching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 28LT01-1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aac04b	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 An Hongyu, Haku Satoshi, Kanno Yusuke, Nakayama Hiroyasu, Maki Hideyuki, Shi Ji, Ando Kazuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Manipulation of Spin-Torque Generation Using Ultrathin Au	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064016-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.9.064016	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 Kumagai Tsutaru, Hirota Naoya, Sato Katsuya, Namiki Koki, Maki Hideyuki, Tanabe Takasumi	4. 巻 123
2. 論文標題 Saturable absorption by carbon nanotubes on silica microtoroids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 233104-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5025885	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 Yusuke Miyoshi, Yusuke Fukazawa, Yuya Amasaka, Robin Reckmann, Tomoya Yokoi, Kazuki Ishida, Kenji Kawahara, Hiroki Ago & Hideyuki Maki	4. 巻 9
2. 論文標題 High-speed and on-chip graphene blackbody emitters for optical communications by remote	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1279-01 ~ 09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-03695-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 牧英之	4. 巻 85
2. 論文標題 シリコン上での小型・高速ナノカーボン発光素子	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 947-951
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 -

〔学会発表〕 計40件(うち招待講演 13件/うち国際学会 17件)

1. 発表者名 加藤浩太、高木将、田邊孝純、森山悟士、守田佳史、牧英之
2. 発表標題 マイクロ波照射下の架橋カーボンナノチューブ上の超伝導NbNナノワイヤにおける位相スリップの制御
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボン材料を用いたチップ上光電子デバイス開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボン材料を用いた光電子デバイス開発
3. 学会等名 「原子層物質活用高性能量子デバイス開発」プラズマアグリコンソーシアム研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 低次元材料成長を用いた量子デバイス開発
3. 学会等名 スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点報告会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河部倫太郎、加藤浩太、中川鉄馬、牧英之
2. 発表標題 ナノカーボン材料による量子デバイス開発
3. 学会等名 スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志村惟、中川鉄馬、高橋英統、牧英之
2. 発表標題 量子熱輸送を用いたナノカーボン発光素子開発
3. 学会等名 スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧英之、高橋英統、志村惟、深澤佑介、三好勇輔、河原憲治、吾郷浩樹、中川鉄馬
2. 発表標題 ナノカーボン材料を用いたシリコンチップ上高集積光源開発
3. 学会等名 第46回炭素材料学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-based optoelectronic devices on silicon chips
3. 学会等名 The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and related 2D materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. S. L. Prugger Suzuki, Shun Fujii, Rammaru Ishida, Riku Imamura, Mizuki Ito, Hideyuki Maki, Lan Yang, Sze Yun Set and Takasumi Tanabe
2. 発表標題 Towards mode-locking of an active Whispering-Gallery-Mode microresonator
3. 学会等名 The 4th Graphene Flagship EU-Japan Workshop on Graphene and related 2D materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川鉄馬、高橋英統、志村惟、牧英之
2. 発表標題 シリコン上グラフェン黒体放射発光素子の発光特性
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 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボン光電子デバイス開発
3. 学会等名 二次元材料に関する第3回KOINEミーティング(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋英統、鈴木裕司、吉田識人、中川鉄馬、牧英之
2. 発表標題 トリオン発光によるカーボンナノチューブ薄膜高速EL素子
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 今村陸、鈴木智生、石田蘭丸、鈴木良、藤井瞬、伊藤瑞生、牧英之、ヤン リャン、田邊孝純
2. 発表標題 小型モード同期レーザに向けたエルビウム添加微小光共振器の作製
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 中川鉄馬、深澤祐介、三好勇輔、天坂裕也、レックマン ロビン、横井智哉、河原憲治、吾郷浩樹、牧英之
2. 発表標題 超高速Siチップ上のグラフェン黒体放射発光
3. 学会等名 第56回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボン材料による高速・オンチップ光源開発
3. 学会等名 神奈川ものづくり技術交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深澤祐介、三好勇輔、天坂裕也、レックマン ロビン、横井智哉、河原憲治、吾郷浩樹、牧英之
2. 発表標題 Siチップ上での高速・高集積グラフェン黒体放射発光素子
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rintaro Kawabe, Takumi Endo, Hiroshi Takaki, Junko Ishi-Hayase, Hisashi Sumikura, Hideyuki Maki
2. 発表標題 Photon antibunching in single-walled carbon nanotubes at telecommunication wavelengths and room temperature
3. 学会等名 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials(NT18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyuki Maki, Yusuke Fukazawa
2. 発表標題 High-Speed and on-Chip Blackbody Emitters based on nanocarbon materials
3. 学会等名 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials(NT18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kota Kato, Tasuku Takagi , Kohei Masuda , Satoshi Moriyama, Yoshifumi Morita, Takasumi Tanabe, Hideyuki Maki
2. 発表標題 Anti-proximity effect in superconducting NbN nanowires based on suspended carbon nanotubes
3. 学会等名 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials(NT18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kaiki Yo, Hideyuki Maki
2. 発表標題 Electronic Property of the Composite of Carbon Nanotube and Carbon Nanobelt
3. 学会等名 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials(NT18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusuke Fukazawa, Yusuke Miyoshi, Yuya Amasaka, Robin Reckmann, Tomoya Yokoi, Kazuki Ishida, Kenji Kawahara, Hiroki Ago and Hideyuki Maki
2. 発表標題 High-Speed and integrated graphene blackbody emitters
3. 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rintaro Kawabe, Takumi Endo, Hiroshi Takaki, Junko Ishi-Hayase and Hideyuki Maki
2. 発表標題 Photon antibunching in single-walled carbon nanotubes at telecommunication wavelengths and room temperature
3. 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-based optoelectronic devices
3. 学会等名 JSPS-DFG Bilateral Meeting on Carbon Nanotube Optics and Nanospectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボンを用いた光電子デバイス開発
3. 学会等名 電子情報通信学会2018年総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊谷傳、廣田直弥、佐藤克哉、並木洸樹、堀敦裕、牧英之、田邊孝純
2. 発表標題 カーボンナノチューブ可飽和吸収特性を付与したトロイド微小光共振器
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボンによるチップ上量子デバイス・光電子デバイス開発
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木宏、遠藤匠、早瀬潤子、牧英之
2. 発表標題 量子暗号通信に向けたカーボンナノチューブ室温・通信波長帯単一光子源開発
3. 学会等名 「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-Based Quantum and Optoelectronic Devices
3. 学会等名 KEIO International Symposium on 2D Materials 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tutaru Kumagai, Naoya Hirota, Katsuya Sato, Koki Namiki, Atsuhiko Hori, Hideyuki Maki, Takasumi Tanabe
2. 発表標題 Saturable absorption by carbon nanotubes on silica microtoroids for stable mode-locking
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon Based Light Sources and Detectors for Integrated Optoelectronics
3. 学会等名 The 24th International Display Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永合祐輔、田中悠、高木将、谷川俊太郎、大里啓孝、津谷大樹、牧 英之、村川智、白濱圭也
2. 発表標題 超流動流れ場検出のための架橋ナノワイヤー共振器の開発
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yusuke Nago, Yu Tanaka, Tasuku Takaki, Shuntaro Tanigawa, Hiroataka Osato, Daiju Tsuya, Hideyuki Maki, Satoshi Murakawa, Keiya Shirahama
2. 発表標題 Nanomechanical Wire Resonator based on Carbon Nanotube for Study of Quantum Fluids
3. 学会等名 ULT 2017: Frontiers of Low Temperature Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボンを用いた量子デバイスおよび光・電子デバイス開発
3. 学会等名 ナノ茶論(ナノサロン)(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoya Hirota, Wataru Yoshiki, Atsuhiko Hori, Koki Namiki, Katsuya Sato, Hideyuki Maki and Takasumi Tanabe
2. 発表標題 Growing carbon nanotubes on a silica toroid microcavity to observe saturable absorption
3. 学会等名 The 6th Advanced Lasers and Photon Sources (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-Based Optoelectronic Devices
3. 学会等名 The 1st International Workshop on Chromogenic Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-based light sources for integrated optoelectronics and optical communications
3. 学会等名 17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials (NT16) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirosi Takaki, Takumi Endo, Junko Ishi-Hayase, Hideyuki Maki
2. 発表標題 Photon antibunching in single-walled carbon nanotubes at telecommunication wavelengths and room temperature
3. 学会等名 17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials (NT16) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yusuke Miyoshi, Yuya Amasaka, Robin Reckmann, Tomoya Yokoi, Kazuki Ishida, Hiroki Ago, Hideyuki Maki
2. 発表標題 On-silicon-chip, integrated, high-speed blackbody emitter based on graphene
3. 学会等名 17th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and low-dimensional materials (NT16) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hideyuki Maki
2. 発表標題 Nanocarbon-based light emitters for optical communications
3. 学会等名 Optoelectronics and Communications Conference/International Conference on Photonics in Switching 2016 (OECC/PS 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 牧英之
2. 発表標題 ナノカーボンを用いた光デバイスおよび超伝導デバイス開発
3. 学会等名 第70回日本磁気学会ナノマグネティクス専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 牧英之、丸山茂夫、野田優、寺澤知潮、斉木幸一朗、吾郷浩樹、畠賢治、斎藤毅、楠美智子、重松航、長谷川雅考、仁科勇太、中嶋直敏、古月文志、柳和宏、田中丈士、大町遼、北浦良、篠原久典、本間芳和、他	4. 発行年 2016年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 480 ( 365-370 )
3. 書名 カーボンナノチューブ・グラフェンの応用研究最前線	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>牧研究室HP  <a href="http://www.az.appi.keio.ac.jp/maki/">http://www.az.appi.keio.ac.jp/maki/</a></p>
--



## 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
研究 分 担 者	森山 悟士  (MORIYAMA Satoshi)  (00415324)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・主任研究員     (82108)	