

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05962

研究課題名（和文）ゲート誘起キャリアを利用した単一カーボンナノチューブの光物性制御と光電変換

研究課題名（英文）Optical property modulation and optoelectronic conversion in individual carbon nanotubes by gate-induced carriers

研究代表者

加藤 雄一郎 (Kato, Yuichiro)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員

研究者番号：60451788

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,500,000円

研究成果の概要（和文）：単一の架橋カーボンナノチューブを組み込んだデバイスを用いて、ゲート誘起キャリアを利用した光物性制御と光電変換の手法実証に取り組んだ。分割ゲート式ダイオードにより冷たい励起子の電界発光が得られることを実証し、架橋型電界効果トランジスターにより励起子-キャリア相互作用に対する分子遮蔽効果についての知見を得た。空気分子吸着による遮蔽効果を活用して全光メモリの動作を実証したほか、微小光共振器との光結合制御も実現した。有機分子吸着により、さらに大きな遮蔽効果が得られ、また、キャリアを誘起してトリオンが生成できることも示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加熱の影響が無視できる状況でカーボンナノチューブの電界発光が実現できることを初めて示すことができた。また、キャリアと吸着分子による複雑な遮蔽効果を紐解き、物性を制御して応用するための基礎的な知見を得ることができた。これらの成果は、シリコン基板上の電気駆動のナノスケール光源や高密度で集積可能な光メモリなど、ナノスケールのフォトニクスへの応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Optical and optoelectronic properties of individual carbon nanotubes in field effect devices have been investigated. Split-gate diodes have been used to demonstrate cold exciton electroluminescence, while molecular screening effects on exciton-carrier interactions have been studied using field effect transistor structures. Screening effects from molecules have been utilized to demonstrate all-optical memory operation and spectral tuning of optical coupling to microcavities. Organic molecule adsorption has been used to achieve larger screening effects and to generate trions by inducing carriers.

研究分野：光物性・ナノデバイス物理

キーワード：ナノチューブ・グラフェン 光物性 ナノ構造物性 ナノ物性制御 ナノマイクロ物理

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

グラフェンを巻いて筒にした構造を持つ単層カーボンナノチューブ(図1)は、その巻き方により電子構造が大きく変わり、金属にも半導体にもなりうるという性質を持つ。また、一次元構造のため遮蔽効果が弱く、クーロン相互作用が電子状態に強い影響を与えて多体効果に由来する多くの特徴的な光物性を示す。特に、半導体型ナノチューブではバンドギャップの4割に相当する大きな励起子束縛エネルギーが生じ、室温でも励起子由来の発光が起きることが知られている。また、直径が数nmでありながら長さが数十 $\mu\text{m}$ 程度にもなるため、比較的容易に電極を取り付けてデバイスに加工することができる。図2のようなトランジスタ構造を利用すれば、電荷密度を広範囲にわたって制御可能であり、一次元系におけるキャリア誘起光物性現象の研究に適した系であるといえる。

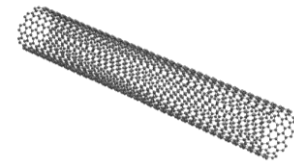


図1: 単層カーボンナノチューブの模式図

### 2. 研究の目的

そこで、本研究では、単一の架橋カーボンナノチューブを組み込んだデバイスにおいて、ゲート誘起キャリアを利用した光物性制御と光電変換の手法実証に取り組んだ。顕微分光を駆使してフォトルミネッセンスや光伝導度、電界発光測定を行うことにより、キャリアが引き起こす諸現象とその機構を明らかにし、低次元材料においてクーロン相互作用がもたらす特異な現象を応用する素子への第一歩とすることを目指した。

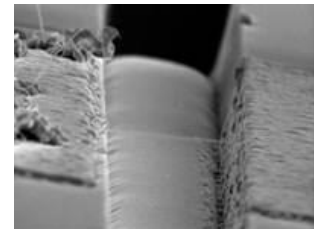


図2: 架橋型電界効果トランジスタの電子顕微鏡像

### 3. 研究の方法

一次元系におけるキャリア誘起光物性現象を調査するために、架橋型電界効果トランジスタに加えて分割ゲート式ダイオード構造を利用し、通信波長帯顕微分光により評価した。

架橋型電界効果トランジスタは、酸化膜付きシリコン基板から作製した。電子線描画とドライエッチングにより溝を加工し、次に電子線描画によるパターニング、チタンとプラチナの蒸着、そしてリフトオフにより電極を形成した。最後に電子線描画により触媒領域をパターニングし、スピコートとリフトオフにより触媒を配置して、化学気相成長法により単層カーボンナノチューブを合成した。

分割ゲート式ダイオード構造は、シリコン・オン・インシュレーター基板に対し、架橋型電界効果トランジスタと同様のプロセスによって作製したが、トップシリコン層を熱酸化することにより分割ゲートとした。

通信波長帯顕微分光は自作の自動装置により測定した。三次元自動ステージ上に試料を設置してチップ上のカーボンナノチューブのフォトルミネッセンスを検出することで、位置を特定するほか、自動化した波長可変レーザーにより励起分光スペクトルを測定することで巻き方(カイラリティ)を同定した。

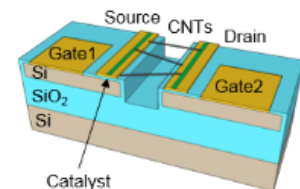


図3: 分割ゲート式ダイオード構造の模式図

### 4. 研究成果

#### (1) 冷たい励起子の電界発光

単層カーボンナノチューブを電極と接触させ、両端から電気的に電子と正孔を注入すると、電界発光が観測される。しかし、ナノチューブには基板に接触していると発光が弱くなるという性質があるため、従来のデバイスでは電界発光を検出するために多くの電流を流す必要があり、加熱によりスペクトルが広がっていることが指摘されていた。そこで、基板に接触していない架橋カーボンナノチューブの電界発光の測定に取り組んだ[1]。分割ゲート式ダイオード構造(図3)において、分割ゲートに正負の電圧を加えてp領域とn領域を作ることによってpn接合ダイオードを形成し、電界を加えて発光スペクトルを計測した。発光強度のゲート電圧およびバイアス電圧依存性についても調査した。その結果、フォトルミネッセンスと同等の線幅の電界発光スペクトルが得られ、加熱や電界の影響がほぼ無視できる状況でも電界発光を起こせることが明らかになった。また、ゲート電圧により静電的に形成したpn接合由来の発光であることが確認できたほか、分割ゲート電圧によるデバイスの再構成が可能であることを実証した。シリコン基板上的電気駆動のナノスケール光源としての応用が期待される。

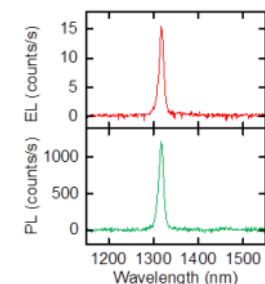


図4: 電界発光スペクトル(上)とフォトルミネッセンススペクトル(下)

#### (2) 単一カーボンナノチューブ超小型全光メモリ

架橋ナノチューブ電界効果トランジスタを用いた光伝導度測定によるキャリア誘起効果の

調査に取り組んでいたところ、キャリアによる遮蔽効果に加えて空気中の水分子吸着による遮蔽効果も同時に生じており、複雑な状況であることが分かってきた。そこで、キャリア誘起効果を理解するために分子吸着の影響調査に着手したところ、カーボンナノチューブを全光メモリとして利用できることを見出した[2]。

全光メモリとは入力、出力、制御の全てにおいて光だけで動作させることのできるメモリのことであり、従来電気で行われていた信号処理を光で置き換えた光情報処理などへの応用が期待されている。全光メモリは材料の非線形光学効果を用いて実現されるが、ここでは表面に吸着した分子に由来した効果を利用した。フォトルミネッセンス測定における励起レーザーの強度を上げると、架橋カーボンナノチューブの温度が上がって分子が脱離し、その結果として発光および吸収特性が大きく変化する。この際、励起子の共鳴波長より僅かに波長が短い光で励起した場合には光双安定性が生じることを明らかにした。励起強度を上げる過程と下げる過程では、異なる二つの発光波長を示すことを利用し、励起強度の履歴に依存する出力状態をとるメモリとしての動作を実証した。出力状態を光学的に繰り返し切り替えた実験結果を図5に示す。励起レーザーの強度を時間的に切り替えていくことで、単一のナノチューブが繰り返し読み書き可能な全光メモリとして安定に動作するということが確認できた。

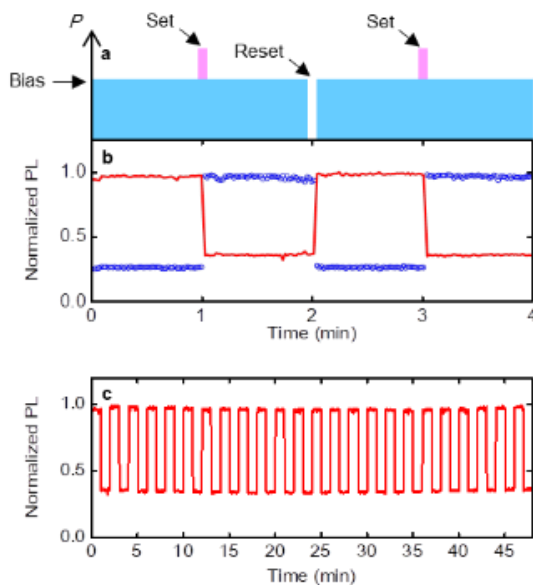


図5：全光メモリ動作

### (3) 波長領域における空気モードナノビーム共振器と単一カーボンナノチューブの光結合の制御

励起レーザーの強度により分子の吸着状態を制御し、発光波長を大幅に制御できることが分かったため、これを微小共振器との結合制御に応用することを試みた[3]。ここでは、カーボンナノチューブと効率良く結合する空気モードナノビーム共振器(図6)を利用した。

共振器との結合による発光増強を大きくするためには、カーボンナノチューブの発光波長と共振波長を一致させる必要がある。したがって、デバイスを作製後に波長を調整することができれば、高効率結合を得やすくなる。

フォトルミネッセンス測定の実験結果を図7に示す。加熱によって分子が外れることでカーボンナノチューブ由来の線幅の太いピークが高エネルギー側にシフトする一方、共振器由来の鋭いピークはほとんど動かないことが分かる。2つのピークが重なる状態で共振器からの発光が最大化されていることが確認でき、最もずれが小さい場合と大きい場合では発光増強率が10倍も違うことが明らかとなった。

### (4) 架橋カーボンナノチューブにおける励起子-キャリア相互作用に対する分子遮蔽効果

引き続き、キャリアと分子吸着による遮蔽効果を調査するため、架橋した単一のナノチューブを組み込んだ電界効果トランジスタ構造を利用した測定に取り組んだ[4]。カーボンナノチューブ

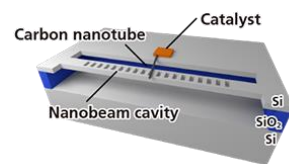


図6：ナノビーム共振器の模式図

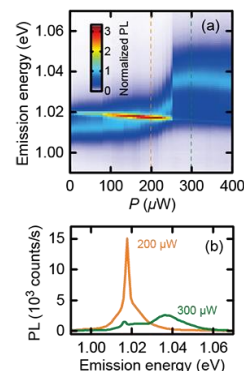


図7：光結合制御

ブを化学気相成長により合成した直後と表面に分子が吸着した後の発光特性を比較することで、分子の遮蔽効果の影響を確認できる。図 8 は、フォトルミネッセンスのゲート電圧依存性を清浄状態（上）と吸着状態（下）で比較したものである。まず、発光ピークの位置が分子吸着によって低エネルギーにシフトしていることが分かる。特に、一番強度の強い励起子の発光とゲート電圧を加えた時に現れるトリオンの発光のエネルギー差が減少しており、トリオンの束縛エネルギーが分子遮蔽効果によって小さくなっていることが明らかになった。次に、励起子の発光が減衰しないゲート電圧領域にもわずかながら変化があることが分かった。分子吸着後は幅が狭くなっており、バンドギャップエネルギーの変化を捉えられている可能性があることが分かった。

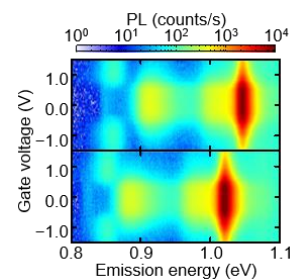


図 8: フォトルミネッセンスのゲート電圧依存性

(5) 架橋カーボンナノチューブにおける多体相互作用の有機分子吸着による制御

さらに大きなバンドギャップエネルギー変化の実験的検証を進めるため、大気分子より大きな遮蔽効果が期待できる有機分子の吸着について調査した[5]。架橋カーボンナノチューブに銅フタロシアニンを蒸着し、励起子エネルギーの変化を測定した結果を図 9 に示す。蒸着量の増加につれて励起子エネルギーが低くなっていくことが観測され、励起子の基底状態の分子脱離状態からの変化量は最大で大気分子吸着の 3 倍以上であることが分かった。また、銅フタロシアニンの吸着により発光スペクトルの低エネルギー領域に新しいピークが観測され、これは電荷と励起子が結合したトリオン発光であることが明らかになり、銅フタロシアニン分子からナノチューブへの電荷移動が起きていることを示唆する結果となった。

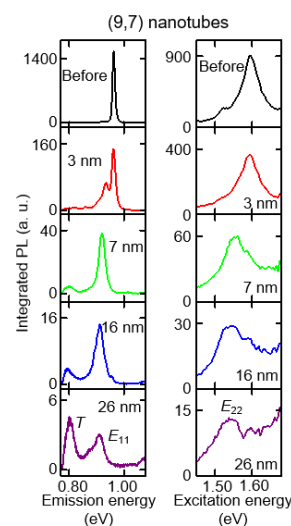


図 9: 有機分子吸着による発光スペクトル (左) と発光励起スペクトル (右) への影響

<引用文献>

- [1] N. Higashide, M. Yoshida, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Cold exciton electroluminescence from air-suspended carbon nanotube split-gate devices”, *Appl. Phys. Lett.* 110, 191101 (2017).
- [2] T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Single carbon nanotubes as ultrasmall all-optical memories”, *ACS Photonics* 5, 559 (2018).
- [3] H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato, “Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes”, *Appl. Phys. Lett.* 112, 021101 (2018).
- [4] T. Uda, S. Tanaka, Y. K. Kato, “Molecular screening effects on exciton-carrier interactions in suspended carbon nanotubes”, *Appl. Phys. Lett.* 113, 121105 (2018).
- [5] S. Tanaka, K. Otsuka, K. Kimura, A. Ishii, H. Imada, Y. Kim, Y. K. Kato, “Organic molecular tuning of many-body interaction energies in air-suspended carbon nanotubes”, *J. Phys. Chem. C* 123, 5776 (2019).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato	4. 巻 27
2. 論文標題 Super-resolution fluorescence imaging of carbon nanotubes using a nonlinear excitonic process	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Express	6. 最初と最後の頁 17463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.017463	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 S. Tanaka, K. Otsuka, K. Kimura, A. Ishii, H. Imada, Y. Kim, Y. K. Kato	4. 巻 123
2. 論文標題 Organic molecular tuning of many-body interaction energies in air-suspended carbon nanotubes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 5776-5781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b12496	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 T. Uda, S. Tanaka, Y. K. Kato	4. 巻 113
2. 論文標題 Molecular screening effects on exciton-carrier interactions in suspended carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 121105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5046433	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 T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato	4. 巻 5
2. 論文標題 Single carbon nanotubes as ultras-small all-optical memories	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Photonics	6. 最初と最後の頁 559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsp Photonics.7b01104	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. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato	4. 巻 112
2. 論文標題 Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 21101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5008299	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 A. Ishii, T. Uda, and Y. K. Kato	4. 巻 8
2. 論文標題 Room-Temperature Single-Photon Emission from Micrometer-Long Air-Suspended Carbon Nanotubes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Applied	6. 最初と最後の頁 54039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.8.054039	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 N. Higashide, M. Yoshida, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato	4. 巻 110
2. 論文標題 Cold exciton electroluminescence from air-suspended carbon nanotube split-gate devices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 191101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4983278	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45件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 D. Kozawa, X. Wu, A. Ishii, J. Fortner, K. Otsuka, R. Xiang, T. Inoue, S. Maruyama, Y. H. Wang, Y. K. Kato
2. 発表標題 Vapor-phase functionalization of air-suspended single-walled carbon nanotubes using an aryl-halide
3. 学会等名 The 58th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Machiya, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Radiative quantum efficiency of bright excitons in carbon nanotubes
3 . 学会等名 The 58th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 N. Fang, K. Otsuka, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Dielectric screening effects on photoluminescence of carbon nanotubes on hexagonal boron nitride
3 . 学会等名 The 58th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 H. Machiya, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Radiative quantum efficiency of bright excitons in carbon nanotubes
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 2020年

1 . 発表者名 D. Kozawa, X. Wu, A. Ishii, J. Fortner, K. Otsuka, R. Xiang, T. Inoue, S. Maruyama, Y. H. Wang, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Diameter-dependent photoluminescence energy observed in color centers of air-suspended single-walled carbon nanotubes
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 2020年

1. 発表者名 N. Fang, K. Otsuka, T. Taniguchi, K. Watanabe, K. Nagashio, Y. K. Kato
2. 発表標題 Dielectric screening effects on photoluminescence of carbon nanotubes on hexagonal boron nitride
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 2020年

1. 発表者名 Y. K. Kato
2. 発表標題 Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics
3. 学会等名 Optics & Photonics Taiwan, International Conference (OPTIC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. K. Kato
2. 発表標題 Exciton physics in individual carbon nanotubes
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 (物性) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 W. Terashima, H. Machiya, K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato
2. 発表標題 Bright electroluminescence from air-suspended carbon nanotubes
3. 学会等名 The 57th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2019年



1 . 発表者名 A. Sharma, S. Tanaka, H. Machiya, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Molecular screening effects on bandgap renormalization in air-suspended single-walled carbon nanotubes
3 . 学会等名 Fundamental Optical Processes in Semiconductors (FOPS) 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Exciton physics in air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT19) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Super-resolution imaging of air-suspended carbon nanotubes by extracting nonlinear excitonic processes
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT19) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Emission enhancement of carbon nanotubes using nanobeam cavities
3 . 学会等名 International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT19) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Tanaka, K. Otsuka, K. Kimura, A. Ishii, H. Imada, Y. Kim, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Organic molecular tuning of many-body interaction energies in air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 235th Electrochemical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics
3 . 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Tanaka, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Organic molecule adsorption effects on air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 March Meeting of the American Physical Society (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Otsuka, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Subdiffraction imaging of carbon nanotubes using nonlinear excitonic processes
3 . 学会等名 The 56th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Tanaka, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Molecular screening effects on exciton-carrier interactions in suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia, the 79th JSAP Autumn Meeting 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Uda, S. Tanaka, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Molecular screening effects on exciton-carrier interactions in suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 The 55th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Air-suspended carbon nanotubes for nanoscale quantum photonics
3 . 学会等名 International Workshop on Nanocarbon Photonics and Optoelectronics (NP02018) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Tanaka, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Molecular screening effects on trion binding energies and electronic band gaps in air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON18) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes
3 . 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Ishii, X. He, N. F. Hartmann, H. Machiya, H. Htoon, S. K. Doorn, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Room-temperature single photon emission from carbon nanotubes
3 . 学会等名 7th Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy (WONTON18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics
3 . 学会等名 OSA Advanced Photonics Congress (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Ishii, T Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Room-temperature single photon emission from micrometer-long air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 233rd Electrochemical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes
3 . 学会等名 The 54th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Emission enhancement of air-suspended carbon nanotubes using air-mode nanobeam cavities
3 . 学会等名 March Meeting of the American Physical Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single carbon nanotubes as ultrasmall all-optical memories
3 . 学会等名 March Meeting of the American Physical Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Ishii, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Room-temperature single photon emission from micron-long air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia, the 78th JSAP Autumn Meeting 2017 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia, the 78th JSAP Autumn Meeting 2017 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single-carbon-nanotube photonics and optoelectronics
3 . 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia, the 78th JSAP Autumn Meeting 2017 ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Machiya, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Spectral tuning of optical coupling between air-mode nanobeam cavities and individual carbon nanotubes
3 . 学会等名 Fundamental Optical Processes in Semiconductors (FOPS) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 A. Ishii, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Room-temperature single photon emission from micron-long air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 Fundamental Optical Processes in Semiconductors (FOPS) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. K. Kato
2. 発表標題 Single-carbon-nanotube photonic devices
3. 学会等名 Fundamental optical processes in semiconductors (FOPS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. K. Kato
2. 発表標題 Optical bistability in air-suspended carbon nanotubes
3. 学会等名 231st Electrochemical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Yoshida, A. Popert, Y. K. Kato
2. 発表標題 Gate-voltage induced trions in suspended carbon nanotubes
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2. 発表標題 Optical bistability in carbon nanotubes
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 A. Sasabe, T. Uda, M. Yoshida, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Fabrication and photoluminescence characterization of carbon nanotube dual-gate devices
3 . 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 A. Ishii, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single photon generation through exciton-exciton annihilation in air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 March Meeting of the American Physical Society ( 国際学会 )
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 N. Higashide, M. Yoshida, T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Cold exciton electroluminescence from air-suspended carbon nanotube split-gate devices
3 . 学会等名 The 52nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Uda, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Optical bistability in carbon nanotubes
3 . 学会等名 The 52nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2017年



1 . 発表者名 A. Ishii, T. Uda, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Single photon generation through exciton-exciton annihilation in air-suspended carbon nanotubes
3 . 学会等名 The 52nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 A. Sasabe, T. Uda, M. Yoshida, A. Ishii, Y. K. Kato
2 . 発表標題 Fabrication and photoluminescence characterization of carbon nanotube dual-gate devices
3 . 学会等名 The 52nd Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Surface and screening effects on optical properties of carbon nanotubes
3 . 学会等名 Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings & Interfaces (Pacsurf 2016) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. K. Kato
2 . 発表標題 Exciton dissociation and trion generation in individual carbon nanotubes
3 . 学会等名 229th Electrochemical Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 A. Ishii, H. Machiya, T. Uda, Y. K Kato	4. 発行年 2019年
2. 出版社 World Scientific Publishing	5. 総ページ数 128
3. 書名 “Exciton Physics in Single-Wall Carbon Nanotube Photonic and Optoelectronic Devices”, in Handbook of Carbon Nanomaterials edited by R. B. Weisman and J. Kono (World Scientific Publishing, Singapore, 2019) Vol. 9, Optical Properties of Carbon Nanotubes, Part I: A Volume Dedicated to the Memory of Professor Mildred S Dresselhaus, Chap. 7, p. 269-396.	

〔産業財産権〕

〔その他〕

理化学研究所 加藤ナノ量子フォトニクス研究室 <a href="http://katogroup.riken.jp/">http://katogroup.riken.jp/</a>
---

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