

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02541

研究課題名(和文) 高密度自己組織化タイプ 量子ドット超格子の作製と光起電力物性の制御

研究課題名(英文) Photovoltaic properties in high-density self-organized type-II quantum dot superlattice

研究代表者

岡田 至崇 (Okada, Yoshitaka)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：40224034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,480,000円

研究成果の概要(和文)：1) 自己組織化成長と組成制御が容易でないとされるGaAsSbを、量子ドット及び量子リングとしてGaAs(001)基板上に分子線エピタキシー技術により成長し太陽電池を作製することができた。GaAsSb/GaAs量子リング太陽電池では、キャリアの長寿命化によるデバイス特性の改善が見られた。2) 非発光再結合を最小限に抑制した薄膜 GaAsSb/GaAs 量子リング太陽電池をエピタキシャル・リフトオフ技術を用いて作製し、Fabry-Perot共振による光吸収増大と再結合の抑制による開放電圧の増大を両立することに初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の InAs/GaAs 量子ドット太陽電池で課題となっていた開放電圧の低下が、低欠陥の量子リングの自己組織化成長とその多積層化技術の開発によって解決することができた。量子ナノ構造の物性評価において、量子ドットは弾性緩和が大きく室温では非発光再結合が大きな割合を占め、再現性の高い精密な物性評価やシミュレーション結果との照合が困難であった。一方の量子リングは弾性緩和が小さく非発光再結合が抑制され、また多積層化が実現できたことから、これまで測定が困難だった2段階吸収過程等の室温での評価を行いやすくなったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：1) We have succeeded in a high quality growth of GaAsSb alloy in the form of quantum dots and quantum rings on GaAs(001) substrate by molecular beam epitaxy (MBE) with precise alloy composition. In GaAsSb/GaAs quantum ring solar cells, improved characteristics was observed due to the improvement of carrier lifetime.

2) We have succeeded in the fabrication of thin-film GaAsSb/GaAs quantum ring solar cells integrated with a Fabry-Perot light-trapping structure by using epitaxial lift-off (ELO) technique. We were able to demonstrate an improvement in both the short-circuit current and the open-circuit voltage of solar cell as a result of increased photon absorption as well as reduced recombination rates.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：量子ドット太陽電池 量子ドット 量子ナノ構造 自己組織化成長 分子線エピタキシー 光閉じ込め技術 中間バンド太陽電池

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

Shockley-Queisser 理論に基づく単接合太陽電池の変換効率の最大値を上回る技術として、これまで多接合太陽電池を主とした研究が成されてきた。しかし 50%に達する高い変換効率を得るためには、現状の3接合から4接合以上の多接合化が必要である。Fraunhofer 研究所のグループは、異なる基板上に作製した2接合セルを表面活性ウエハ接合技術により貼付けることにより、InGaP/GaAs/InGaAsP/GaInAs からなる4接合セルを作製し、46% (500倍集光)の世界最高記録を達成した。今後の課題として、太陽光スペクトルと整合した最適なバンドギャップ構成でかつ基板と格子整合する化合物材料、また各セル間をつなぐワイドギャップのトンネル接合材料等の研究が急がれる。

一方、従来のpn接合間の最適なエネルギー位置に新たにバンド構造を導入した、中間バンド型太陽電池が実現できると、変換効率の理論値は60% (最大集光時)を上回り、現在の単結晶シリコン太陽電池の2倍以上の発電量が可能となる。このような太陽電池を実現する素子構造として、高密度、高均一で周期配列させた量子ドット超格子(ドット結晶)を光吸収層に用いることが挙げられる([1] A. Luque and A. Martí, Phys. Rev. Lett. **78**, 5014 (1997), [2] Y. Okada, N. J. Ekins-Daukes et al, App. Phys. Revs **2**, 021302 (2015) 他)。中間バンドを用いた高効率化のアプローチでは、(1)中間バンド内の準位に光励起されたキャリアの寿命が十分長いこと、さらに(2)中間バンド伝導帯への光励起が効率良く生じることが必須である。この光励起と再結合レートとの競合関係、及び太陽光スペクトルとの整合性が太陽電池の特性を決定する。したがって、ある中間バンド構造をもった太陽電池が、ある変換効率を示すとき、効率の値を決めている過程が何かを知るためには、競合する個々の過程を個別に取り出して評価解析できる必要がある。本研究では、これまでの高均一で高密度の量子ドット超格子の作製技術の成果を基に、量子ドット超格子中に形成される中間バンドを介した光電変換過程のメカニズム解明とその制御法を研究し、2段階光吸収過程による電流生成の最大化により高効率化を図ることを目指した。

### 2. 研究の目的

太陽電池のエネルギー変換効率は、現在主流の結晶シリコン太陽電池の場合、Shockley-Queisser の理論値の約29%にほぼ到達している。従来の延長線上にない新しいコンセプトや材料を用いて、単接合太陽電池の理論変換効率を上回り、かつ将来低コスト化が展望できる次世代型太陽電池の研究開発が重要視されている。量子ドットを用いる利点は、サイズを変えるだけで光吸収の波長範囲を紫外光から近赤外光にわたって広くチューニングできること(量子サイズ効果)、従来型の太陽電池では熱損失として失われてしまうエネルギーを有効利用することが期待できること(ホットキャリア効果、マルチエキシトン生成効果)、高密度の量子ドットを周期的に配列させた超格子構造を用いて、赤外光を吸収させるためにミニバンド(中間バンド)を形成できること、そしてコロイド量子ドットを用いた塗布技術による低コスト太陽電池に適用できること、などが挙げられる。なかでも、近年、上記とに関する研究が盛んに行われている。

これまでの研究から、中間バンドを用いた高効率化のアプローチの場合、(1)中間バンド内の準位に光励起されたキャリアの寿命が十分長いこと、さらに(2)中間バンド伝導帯への光励起を効率良く生じさせることが更なる高効率化へ向けた課題となっている。光励起と再結合レートとの競合関係、及び太陽光スペクトルとの整合性が太陽電池の特性を決定する。そこで本研究では、高均一で高密度の量子ドット超格子の作製技術の実績を基に、タイプ量子ドット超格子

中に形成される長いキャリア寿命をもつ中間バンドを介した光電変換過程のメカニズム解明とその制御法を研究し、量子ドット太陽電池の高効率化を図ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、まず 電子と正孔の空間的分離を速やかに行いキャリアの長寿命化を実現するため、タイプ 超格子の GaSb/GaAs 量子ドットの高均一・高密度自己組織化成長と多重積層化技術の向上を目指した。次に、量子ドット太陽電池の中間バンドを介したキャリアダイナミクスを精密に評価し、制御因子を明らかにすることを計画した。価電子帯 中間バンドへの励起強度、中間バンド 伝導帯への励起強度と時間遅れが光電流に及ぼす影響を網羅的に調べることにより中間バンドの役割をより明確にし、かつこのときの最適な集光条件を見出すことにより高効率化を図ることができる。

#### GaSb/GaAs 系タイプ 超格子を用いた量子ドット太陽電池の研究

量子ドット超格子を導入した中間バンド型太陽電池では、量子ドットの高密度化、微小化、そしてサイズ揺らぎの低減が課題である。すなわち量子ドットによる光吸収量を増大させるために、ドットの総数と光吸収断面積の両方を増やす必要がある。さらに量子ドットを多重積層して超格子を形成することの他に、電子と正孔の分離を速やかに行い、また太陽光スペクトルとの整合性を高めることが欠かせない。そこで本研究では、タイプ に替えてタイプ 超格子の GaSb/GaAs 量子ドットの自己組織化成長技術の確立と材料物性の研究を行った。特に、分子線エピタキシー(MBE)成長時に Sb を照射するとサーファクタント効果が期待され、ヘテロ界面の低欠陥化、また量子ドットのサイズ均一化と高品質化が期待できる。しかし Sb が量子ドットの自己組織化成長モード、及び結晶性に与える効果についてはまだ不明な点が多く、明らかにすることを目標とした。

#### 量子ドットミニバンドを介した光吸収レートの制御と高効率化検討

量子ドット太陽電池の超格子ミニバンドを介したキャリアダイナミクスを精密に評価し、制御因子を明らかにするためには、量子ドット太陽電池動作で重要となる中間バンド 伝導帯への光吸収係数に関して定量的な評価が重要である。光吸収係数は、選択則と中間バンドに蓄積されたキャリア密度に応じて変化するため、多重積層化した 3 次元構造量子ドットに対して最適な量子ドットの積層構造を決定することができると考えられる。

### 4. 研究成果

GaAs(001)基板上に作製した量子ドット太陽電池、及び量子リング太陽電池において、GaAsSb の組成制御と成長速度の最適化により量子ナノ構造におけるキャリアの長寿命化を試みた。得られた主な結果は次の通りである。

- (1) GaSb量子ドットのキャリアの長寿命化に向けた成長速度の最適化：量子ドットのGaSbと中間層のGaAsの成長速度はともにGaの供給量で決まるため、成長速度を変化させてGaSb量子ドットを成長したところ、高速成長では巨大ドットが発生し、キャリア寿命が大きく低下することがわかった。また量子ドットを量子リングにすることで巨大ドットの影響が低減し、キャリア寿命が回復することがわかった。
- (2) 低速成長におけるGaAsSb/GaAs量子ドットの組成制御：GaAsSbは組成を制御することにより中間バンドの最適化、さらにはGaAsとの格子定数差の低減による欠陥密度の低減が期待される。市販シミュレーションソフトを用いてGaAsSb/GaAs量子ドットのエネルギーバンド構造を計算した結果、As組成が40%を超えるとバンド構造がタイプ になることが示唆

された。実験では成長速度0.10 ML/sで量子ドットの成長が観測できたのは、As組成が6～38%のときであり(図1)、As組成11%～21%の範囲ではキャリア寿命の増大が見られた。

- (3) GaAsSb/GaAs量子リングを用いたキャリアの長寿命化と高速成長の両立：GaAsSb/GaAs量子リングの成長の場合、成長速度を0.20 ML/sまで高速化しても長いキャリア寿命が得られた。またGaSb及びGaAsSb量子ドット太陽電池とGaAsSb/GaAs量子リング太陽電池(図2)を試作し特性を比較したところ、量子ドット太陽電池ではキャリア寿命が1 ns程度まで減少したが、量子リング太陽電池構造では8 ns程度のキャリア寿命が維持されていた。

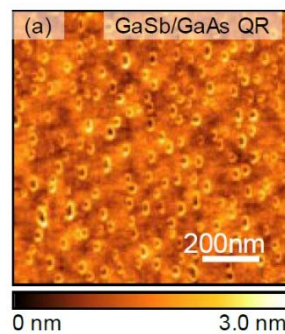


図1 本研究で作製した GaSb/GaAs 量子リング(QR)の AFM 像

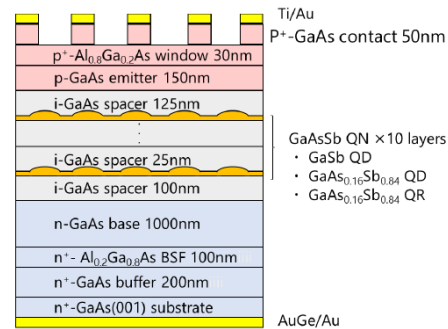


図2 作製・検討した量子ドット(QD)と量子リング(QR)太陽電池

以上の通り、自己組織化成長と組成制御が容易でないといわれる GaAsSb を量子ドット及び量子リングを GaAs(001)基板上に成長し太陽電池を作製することができた。GaAsSb/GaAs 量子リング太陽電池では、キャリアの長寿命化によるデバイス特性の改善が見られた。本成果は、今後の量子ドット太陽電池の効率向上に向けたアプローチの一つとして期待できるものである。

量子ドット太陽電池では、中間バンドを形成することで母体材料のバンドギャップ以下のエネルギーの光を吸収できるようになるため、Shockley-Queisser 限界を上回る変換効率が期待できる。しかし現状では量子ドットによる光吸収量がまだ小さく、期待される短絡電流密度が得られていない。そこで本研究では、Fabry-Pérot 光共振器構造を用いて太陽電池内の共振位置に光電場が増強されることを利用して、これらの共振位置に量子ドット層を挿入することで、量子ドットの光吸収を増大させることを検討した。得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 裏面に Au 等の反射ミラーを配置した厚さ 1.8 $\mu$ m の GaAs 層に波長 1192nm の光が入射したとき、界面から深さ方向に 173.5nm の間隔で光電界強度の共振ピークが計 10 個現れることから、図 3(a)に示した合計 9 個の共振ピークの位置に量子ドット層を挿入した太陽電池構造 (FP-QD) を作製した(同図(b))。MBE 成長により、GaAs 基板上に AlAs リリース層、n-GaAs 層、量子ドット層、p-GaAs 層の順に成長させた後、表面側に Au を蒸着し、エピタキシャル・リフトオフ法(ELO)により太陽電池構造をフレキシブル支持基板側に剝離する技術を開発した。

- (2) 外部量子効率(EQE)測定では、Fabry-Pérot 共振波長と一致する波長位置に量子ドットの吸収ピークが明瞭に観測された(図 4)。電界強度のシミュレーション結果との比較から、Fabry-Pérot 共振によってこれらの波長で量子ドットの吸収が増大しピークが現れたと考えられる。AM1.5 のスペクトルを用いて波長 870～1300nm の EQE から積算して求まる短絡電流密度は 0.390 mA/cm<sup>2</sup>であった。さらに、従来構造の量子ドット太陽電池と比較した場合も、Fabry-Pérot 構造を持つ薄型量子ドット太陽電池の方が、長波長の領域から得られる EQE が大きくなることを実証できた。

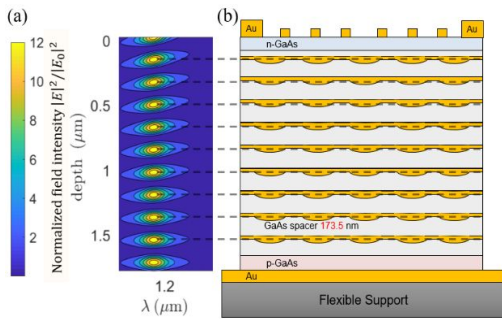


図3 (a)薄膜中において量子ドットの吸収波長で Fabry-Pérot 共振が生じる位置と数、(b)作製した薄膜量子ドット太陽電池(FP-QD)。

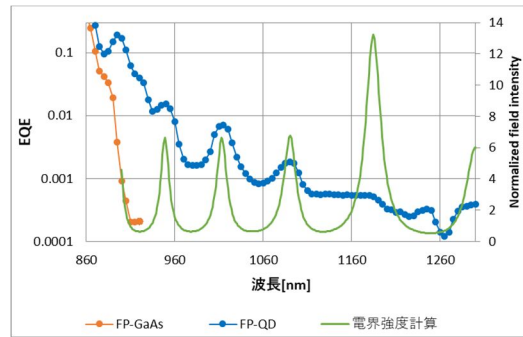


図4 作製した薄膜量子ドット太陽電池のEQE 特性と Fabry-Pérot 共振による電界強度増大(光閉じ込め)係数の波長依存性

(3) 同様に上記 で開発した量子リング(QR)を用いて、QR の光吸収波長と Fabry-Pérot 共振のピーク波長とが一致する位置に QR 層を成長させた薄膜太陽電池の作製を試みた。QR 積層数を9層から30層に増やしたことで、開放電圧0.76 Vを維持したまま電流密度が増大した。GaSb/GaAs QRはキャリア寿命の長いタイプII型バンド構造を有し、また成長中断によって弾性緩和の大きい量子ドットの頂点部が再蒸発して無くなることで欠陥密度が減少する。よって GaSb/GaAs QRセルの場合、積層によって増大した光励起キャリアが発光再結合、非発光再結合する前に取り出されたため、電流は増大し、開放電圧の低下が生じない結果となったと考えられる。

以上のように、本研究では非発光再結合を最小限に抑制した薄膜 GaSb/GaAs 量子リング太陽電池を作製し、Fabry-Pérot 共振による光吸収増大と再結合の抑制による開放電圧の増大を両立することに初めて成功した。本成果は、今後の量子ドット太陽電池の効率向上に向けたアプローチの一つとして期待できるものである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 10件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Maxime Giteau, Yusuke Oteki, Kento Kitahara, Naoya Miyashita, Ryo Tamaki, Yoshitaka Okada	4. 巻 11824
2. 論文標題 Optimizing the vertical position of quantum dots and wells to maximize light absorption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SPIE Proceedings, New Concepts in Solar and Thermal Radiation Conversion IV	6. 最初と最後の頁 1182406
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2593862	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 Myeongok Kim, Nazmul Ahsan, Zacharie Jehl, Yudania Sanchez, Yoshitaka Okada	4. 巻 743
2. 論文標題 Properties of sputter-grown CuGaS <sub>2</sub> absorber and CuGaS <sub>2</sub> /Cd <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> S buffer heterointerface for solar cell application	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139063
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tsf.2021.139063	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 該当する
1. 著者名 S. Suba Viveka, T. Logu, N. Ahsan, K. Asokan, S. Kalainathan, K. Sethuraman, Y. Okada	4. 巻 164
2. 論文標題 Study of sub-band states formation in the optical band gap of CuGaS <sub>2</sub> thin films by electronic excitations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics and Chemistry of Solids	6. 最初と最後の頁 110636
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jpccs.2022.110636	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 該当する
1. 著者名 Tomah Sogabe, Chao-Yu Hung, Ryo Tamaki, Stanko Tomic, Koichi Yamaguchi, Ned Ekins-Daukes, Yoshitaka Okada	4. 巻 4
2. 論文標題 Experimental demonstration of energy-transfer ratchet intermediate-band solar cell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42005-021-00543-1	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 M. Giteau, E. de Moustier, D. Suchet, H. Esmaelpour, H. Sodabanlu, K. Watanabe, S. Collin, J-F Guillemoles, Y. Okada	4. 巻 128
2. 論文標題 Identification of surface and volume hot-carrier thermalization mechanisms in ultrathin GaAs layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 193102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0027687	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 該当する

1. 著者名 Logu Thirumalaisamy, Nazmul Ahsan, Kalainathan Sivaperuman, Myeongok Kim, Sethuraman Kunjithapatham, Yoshitaka Okada	4. 巻 709
2. 論文標題 Engineering of sub-band in CuGaS <sub>2</sub> thin films via Mo doping by chemical spray pyrolysis route	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2020.138252	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 該当する

1. 著者名 Yasushi Shoji, Ryo Tamaki, Yoshitaka Okada	4. 巻 11
2. 論文標題 Temperature Dependence of Carrier Extraction Processes in GaSb/AlGaAs Quantum Nanostructure Intermediate-Band Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano11020344	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 M. Giteau, D. Suchet, S. Collin, J.-F. Guillemoles, Y. Okada	4. 巻 10
2. 論文標題 Detailed balance calculations for hot-carrier solar cells: coupling high absorptivity with low thermalization through light trapping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Photovoltaics	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjpv/2019001	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 M. Bouttemy, D. Aureau, M. Fregnaud, Y. Shoji, Z. Jehl, D. Suchet, J.-F. Guillemoles, A. Etcheberry, Y. Okada	4. 巻 89
2. 論文標題 Nanoscale Wet Chemical Engineering of III-V Quantum Dots for Emerging Solar Applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ECS Meeting Abstracts	6. 最初と最後の頁 37~46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/MA2019-01/24/1230	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 該当する

1. 著者名 B. Behaghel, R. Tamaki, H.-L. Chen, P. Rale, L. Lombez, Y. Shoji, A. Delamarre, A. Cattoni, S. Collin, Y. Okada, J.-F. Guillemoles	4. 巻 34
2. 論文標題 A hot-carrier assisted InAs/AlGaAs quantum-dot intermediate-band solar cell	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Semiconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 84001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6641/ab23d0	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 該当する

1. 著者名 Y. Shoji, K. Watanabe, Y. Okada	4. 巻 204
2. 論文標題 Photoabsorption improvement in multi-stacked InGaAs/GaAs quantum dot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solar Energy Materials & Solar Cells	6. 最初と最後の頁 110216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.solmat.2019.110216	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. Xu, A. Delamarre, B. M. F. Yu Jeco, H. Johnson, K. Watanabe, Y. Okada, J.-F. Guillemoles, Y. Nakano, M. Sugiyama	4. 巻 27
2. 論文標題 Current transport efficiency analysis of multijunction solar cells by luminescence imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Photovoltaics: Research and Applications	6. 最初と最後の頁 835-843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pip.3140	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 該当する



1. 著者名 Oteki Yusuke, Shoji Yasushi, Miyashita Naoya, Okada Yoshitaka	4. 巻 132
2. 論文標題 Dependence of the radiative lifetime on the type-II band offset in GaAsxSb1-x/GaAs quantum dots including effects of photoexcited carriers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 134402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0105306	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 Oteki Yusuke, Miyashita Naoya, Giteau Maxime, Shiba Kodai, Sogabe Tomah, Okada Yoshitaka	4. 巻 16
2. 論文標題 Enhanced current generation in quantum-dot intermediate band solar cells through optimizing the position of quantum dot layers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optical Materials: X	6. 最初と最後の頁 100207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.omx.2022.100207	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 Myeongok Kim, Maxime Giteau, Nazmul Ahsan, Naoya Miyashita, Logu Thirumalaisamy, Chen Chen, Joan M Redwing, Yoshitaka Okada	4. 巻 33
2. 論文標題 Co-deposition of MoS2 films by reactive sputtering and formation of tree-like structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 345708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac70e3	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 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Approaches to high-efficiency intermediate band photovoltaics
3. 学会等名 European MRS Spring 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maxime Giteau, Yoshitaka Okada他
2. 発表標題 Enabling hot-carrier solar cells by combining ultrathin quantum absorbers with light trapping
3. 学会等名 SPIE Photonics West 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榑木悠亮、北原健渡、宮下直也、岡田至崇
2. 発表標題 薄膜中間バンド型太陽電池の電流増大に向けた量子ドット位置の最適化
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Myeongok Kim, Nazmul Ahsan, Nicholas Trainor, Chen Chen, Dorota Kowalczyk, Joan Redwing, Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Epitaxial Growth of MoS2 on Sapphire (c-Al2O3) by MOCVD
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島 啓、Maxime Giteau、岡田至崇
2. 発表標題 光閉じ込め効果を用いたInAs/GaAs量子ドット太陽電池の光吸収特性解析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮下直也、岡田至崇
2. 発表標題 エピタキシャルリフトオフ法を用いた薄膜太陽電池の作製
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樽木悠亮、Maxime Giteau、福島啓、北原健渡、宮下直也、玉置亮、岡田至崇
2. 発表標題 Fabry-Perot共振を用いた量子ドット太陽電池の光吸収率増強
3. 学会等名 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 Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Optimizing the structure of quantum dot intermediate-band solar cells
3. 学会等名 30th World Nano Conference (NANO30) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Giteau, K. Watanabe, H. Sodabanlu, N. Miyashita, M. Sugiyama, A. Cattoni, S. Collin, J.-F. Guillemoles, Y. Okada
2. 発表標題 Epitaxial Lift-Off of Ultrathin Heterostructures for Hot-Carrier Solar Cell Applications
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (CSW2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yoshitaka Okada
2 . 発表標題 Quantum Dot Photovoltaics: Challenges Towards 50% Efficiency
3 . 学会等名 10th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Okada, N. Miyashita, Y. Oteki, Y. Shoji
2 . 発表標題 High-Efficiency InAs-InGaAs Quantum Dash Solar Cells Developed Through Current Constraint Engineering
3 . 学会等名 46th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC46) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yoshitaka Okada
2 . 発表標題 Progress and Approaches to High-Efficiency Intermediate Band Photovoltaics
3 . 学会等名 7th International Workshop on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures (SemiconNano 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Oteki, N. Miyashita, M. Giteau, K. Kitahara, Y. Okada
2 . 発表標題 Optimizing the positions of quantum dot layers for light absorption enhancement in quantum dot solar cells with light trapping
3 . 学会等名 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshitaka Okada, Tomah Sogabe, Chao-Yu Hung, Ryo Tamaki
2. 発表標題 Demonstration of Energy-Transfer Ratchet Intermediate-Band Solar Cells Using Erbium-Doped GaAs
3. 学会等名 22nd International Vacuum Congress (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Myeongok Kim, Nazmul Ahsan, Chen Chen, Dorota A. Kowalczyk, Nicholas Trainor, Joan M. Redwing, Yoshitaka Okada
2. 発表標題 Effect of Off-angle on the Epitaxial Growth of MoS <sub>2</sub> on Off-angle Sapphire by Metal-organic Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北原健渡、樽木悠亮、宮下直也、岡田至崇
2. 発表標題 薄型量子ドット太陽電池における光閉じ込め構造と光吸収の増大
3. 学会等名 第19回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム(第2回日本太陽光発電学会学術講演会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 樽木悠亮, 北原健渡, 宮下直也, 岡田至崇
2. 発表標題 Fabry-Perot光閉じ込め構造を用いた薄膜量子ドット太陽電池の評価
3. 学会等名 第93回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 樽木悠亮, 岡田至崇
2. 発表標題 光閉じ込め構造を用いたGaSb/GaAs量子リング中間バンド型太陽電池
3. 学会等名 2022年度多元系化合物・太陽電池研究会年末講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yoshitaka Okada, Katsuhisa Yoshida, Yasushi Shoji, Ryo Tamaki	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 498
3. 書名 Semiconductor Nanodevices, Frontiers of Nanoscience (Ch.10 Semiconductor quantum dot solar cells)	

1. 著者名 Naoya Miyashita, Yoshitaka Okada	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 505
3. 書名 PHOTOVOLTAICS FOR SPACE: KEY ISSUES, MISSIONS, AND ALTERNATIVE TECHNOLOGIES (Ch.10 Inverted lattice-matched GaInP/GaAs/GaInNASb triple-junction solar cells: Epitaxial lift-off thin-film devices and potential space applications)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学先端科学技術研究センター岡田研究室  <a href="https://mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp/">https://mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp/</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
--	---------------------------	-----------------------	----

## 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			
	フランス	CNRS	C2N	Ecole Polytechnique
オーストラリア	University of New South Wales			
英国	University of Cambridge			
米国	Pennsylvania State University			