

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H05970

研究課題名(和文)半導体・酸化物複合ナノワイヤ材料の確立と光触媒応用

研究課題名(英文) Establishment of semiconductor-oxide composite nanowires and its application to photocatalyst

研究代表者

石川 史太郎 (Ishikawa, Fumitaro)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：60456994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、GaAs系化合物半導体の高い電子・光学特性と各種酸化物の多様で安定な特性を融合させた新ナノワイヤ材料を確立、その高機能化と光触媒など応用可能域の拡大を目的として研究を実施した。その結果、窒素・ビスマスの添加によるGaAs系ナノワイヤ機能を拡大することに成功した。また、簡易な自然酸化によるGaAs/AlGaOxヘテロ構造ナノワイヤの形成、結晶成長とスパッタリングの組み合わせによる高精度GaAs/TiOヘテロ構造ナノワイヤ作製に成功した。さらに、Si基板上に作製したセンチメートルサイズの基板上に形成したGaAsナノワイヤ配列が光アノードとして動作することを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Si基板上に形成されたGaAs系ナノワイヤの高機能化は、現在のLSI技術を飛躍的に向上させる可能性がある。本研究では、2インチのSi基板全域に高い光・電子機能を有するGaAsナノワイヤを形成することで、その融合可能性を示した。さらに、多様な元素・材料の添加、積層によりその機能が拡張できることを示した。窒素およびビスマスの添加では近赤外域の応用域・機能を拡大することで通信・センシングの動作性能の向上が見込まれる。AlGaOx自然酸化層はこれらの性能と安定性を向上させられる可能性がある。光アノード機能の実証とTiO酸化物の融合は、エネルギー創出のための光触媒応用に有望である。

研究成果の概要(英文)：We establish a new nanowire material that combines GaAs-based compound semiconductors having high electronic and optical properties with oxides of the various and stable properties.

We succeeded in extending the GaAs nanowire function by adding nitrogen and bismuth. In addition, we succeeded in forming GaAs/AlGaOx heterostructure nanowires by simple natural oxidation. Also, we have fabricated high-precision GaAs/TiO heterostructure nanowires by combining crystal growth and sputtering. We demonstrated that the GaAs nanowire array fabricated on the cm-sized Si substrate acts as a photoanode.

研究分野：化合物半導体結晶成長・応用

キーワード：ナノワイヤ 分子線エピタキシー 化合物半導体 酸化物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) ナノワイヤは、結晶成長で自己形成される直径数 100nm 以下の 1 次元細線構造である。従来の薄膜技術の枠組みを打破する革新的なナノ材料として注目され、2000 年以降急速にその研究が発展している。薄膜と比べて大きな実効表面積や、結晶格子定数の大きく異なる材料間でも高品質結晶が作製可能な特徴があり、これらを用いた Si 上高密度トランジスタや太陽電池、発光素子、バイオセンサーなど、各種次世代デバイス実現が期待されている。[1]

(2) 上述のナノワイヤは多くの材料、応用研究がなされているが、その中でも、太陽光を利用して水から水素を取り出す光触媒技術は、再生可能エネルギー技術として注目されている。[2]

2. 研究の目的

(1) 本研究では物質として、I. 化合物半導体 GaAs/AlGaAs、この AlGaAs を酸化させて作製する II. アルミナ系酸化物(AlGaOx)、および III. 酸化チタン(TiOx)のナノスケール機能に注目し、これらの高品質合成条件の確立から従来以上の高機能を発現させる。

(2) 上述の新ナノワイヤ材料を光触媒応用可能にする。その展望を示す。

3. 研究の方法

(1) GaAs ナノワイヤはその高い光・電気特性の反面、キャリアの表面非発光再結合が大きく高い表面積比を持つナノワイヤでは再結合窒素導入による特性の劣化が問題となる。本研究では窒素導入による表面特性の改質と、同時に発生するバンドギャップ縮小・赤外帯域性能の向上を図った。さらに窒素と同様の赤外性能向上が得られる Bi 添加についても検討した。

(2) 高い Al 組成を有する AlGaAs を用いた GaAs/AlGaAs コアシェルナノワイヤを結晶成長させ、AlGaAs を水蒸気酸化することで酸化物の AlGaOx に変質させることができる。同技術は面発光レーザーのブラッグミラーで一般的に用いられる技術で、構成層間の大きな屈折率差や電流狭窄を可能にする。一方同手法では、酸化プロセスが微細な内部 GaAs コアにダメージを与えることが懸念され、特にナノスケールの材料ではその影響が大きいことが考えられる。今回我々は AlGaAs/GaAs ヘテロ構造を成長ワイヤシェルに成長し、さらに最外殻 AlGaAs を自然酸化してパッシベーション層を構成することを試みた。

(3) GaAs/TiOx ヘテロ構造ナノワイヤは、分子線エピタキシー(MBE)法による GaAs ナノワイヤ成長と TiOx のスパッタリングにより合成を試みた。成長は導電性を得るため n 型 Si(111)基板上に成長を通じて Si ドーピングを行うことで n 型の GaAs ナノワイヤを得ることを意図した。成長初期の核形成および軸方向成長は Ga 自己触媒を用いた Vapor Liquid Solid 成長を用いた。GaAs ナノワイヤ成長を終えた試料を MBE から取り出し、その後スパッタリングによって TiO₂ コーティングを行なった。

(4) 導電性のある n 型 Si 基板上に、同じ n 型導電性が得られる Si をドーピングした GaAs ナノワイヤを群を成長し、その光アノード応用可能性を検討した。

4. 研究成果

(1) GaAs ナノワイヤに N を数%導入した GaNAs ナノワイヤを成長することで、表面非発光再結合が抑制され高効率に発光し、より長波長・赤外帯域で動作するナノワイヤを得ることができた。その結果、初の GaNAs ナノワイヤレーザー発振や、波長 1 μ m までの長波長化を実現することができた。さらに Bi を導入することで結晶が特徴的な構造変形を示し、あたらしい量子構造形成が得られる可能性を示した。[3]

(2) ナノワイヤ結晶成長は、Si (111) 基板上に Ga 自己触媒 MBE 法を用いて行った。Ga のフラックスは、成長を通して GaAs(001)基板上で GaAs が 1ML/s で成長される条件とした。まず、ナノワイヤコアを 15 分成長した。その後、10 分間成長中断を行うことで支配的な横方向成長を促し、GaAs /Al_{0.2}Ga_{0.8}As / GaAs / Al_{0.9}Ga_{0.1}As の順に成長が行われるよう分子線を供給することで、コア マルチシェル構造を形成した。Al_{0.2}Ga_{0.8}As 層は内部直径約 100nm の GaAs コアのパッシベーション層として、Al_{0.9}Ga_{0.1}As 層は最外殻の自然酸化膜形成を意図して作製した。それぞれの AlGaAs 層の層厚はおおよそ 30nm、その間の GaAs 層は約 20nm とした。成長温度は全体を通して 560 とした。試料を一か月以上放置し、最外殻を自然酸化膜とした。図 1 はナノワイヤ横断面のエネルギー分散型 X 線分析(EDS)画像である。図より、コア GaAs はシャープな正六角形の形状を成していることが確認できる。また、最外殻シェルの頂点が外に引き伸ばされたような形状であることが分かった。ワイヤ中心部に GaAs コアが存在し、その周囲に Ga よりも低い濃度の Al を含有する AlGaAs 層が存在すること、さらにその外部に AlGaO で構成される最外殻が存在することが明確に判別できる。従って、意図した二重のパッシベーション構

造を有する GaAs/Al_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs/Al_{0.9}Ga_{0.1}O_x が形成されていることが確認できた。同試料の発光特性を確認したところ、良好な室温発光と熱安定性が確認され、ナノワイヤ中の光、電流の保持と安定動作に有望であることが示された。さらに、酸化物の積層で発生した歪による発光帯域の短波長がみられ、動作波長の制御も行える可能性を示した。

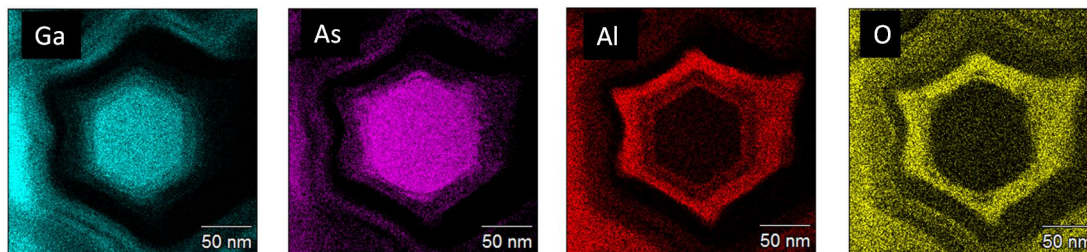


図 1 GaAs/AlGaAs/AlGaO_x 多重マルチシェル構造ナノワイヤの断面 EDS 観察結果。

(3) GaAs ナノワイヤ料を MBE から取り出し、その後スパッタリングによって TiO₂ のコーティングを行なった。試料の走査型電子顕微鏡(SEM)および EDS 観察結果が図 2 である。解析を行った結果、直径 215nm の GaAs ナノワイヤに対して厚さ 24 nm の TiO₂ 膜が形成したことを確認できた。従って本手法を用いることで、GaAs ナノワイヤの周囲に良好に構造制御させて TiO₂ 薄膜を形成できることを確認した。同一試料内で太さの異なる部位についても解析を行ったところ、同程度の膜厚の TiO₂ 膜が形成されていることを確認した。従って、数 cm 角程度の試料サイズにおいては GaAs ナノワイヤ群に対して表面に均質な TiO₂ 膜形成が可能であることを示した。

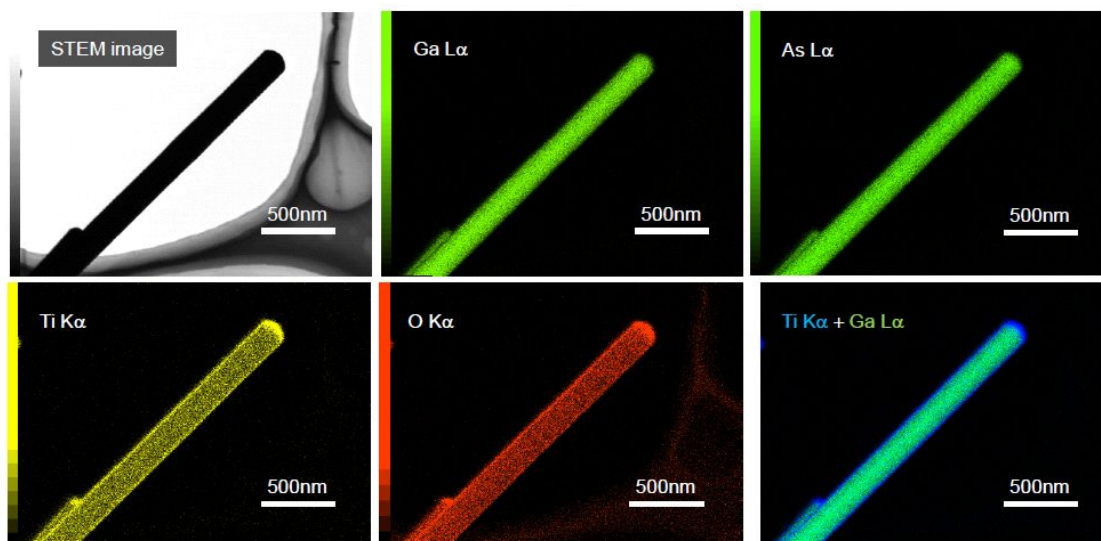


図 2 GaAs/TiO_x コア-シェル構造ナノワイヤ SEM/EDS 観察結果

(4) GaAs ナノワイヤを、リンドープされた n 型 Si (111) 基板上に分子線エピタキシー法を用いて作製した。成長には Ga 自己触媒を用いた Vapor Liquid Solid 成長を用いた。成長条件を調整して、長さが約 3 μm、直径が 300 nm、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以上の高密度のナノワイヤを作製した。図 3 左に試料表面の SEM 観察画像を示す。枝の存在は、光電気化学実験で溶液にさらされる表面積が大きくなるため、ナノワイヤの光電気化学用途に適していると考えられる。ナノワイヤを成長させていない Si 基板と、同一 Si 基板上に GaAs ナノワイヤを形成した試料に対して光電気化学実験を実施した。試料サイズは $1 \times 1 \text{ cm}^2$ である。測定は、0.1M の H₂SO₄ 溶液中で AM 1.5G の光照射を行い実施した。電極は、対極に Pt を使用し、参照極に Ag/AgCl を使用した。また、IrO_x ナノ粒子を共触媒に使用した。光電気化学的スペクトル応答を図 3 右に示す。Si 基板のみではほとんど光電流を得られなかった。一方、Si 基板に GaAs ナノワイヤを成長した試料では、 $5 \text{ mA} / \text{cm}^2$ の電流密度で明確な光電流を示した。この結果より、Si 基板上で形成される GaAs ナノワイヤの光電気化学的応用の有効性を示すことができた。

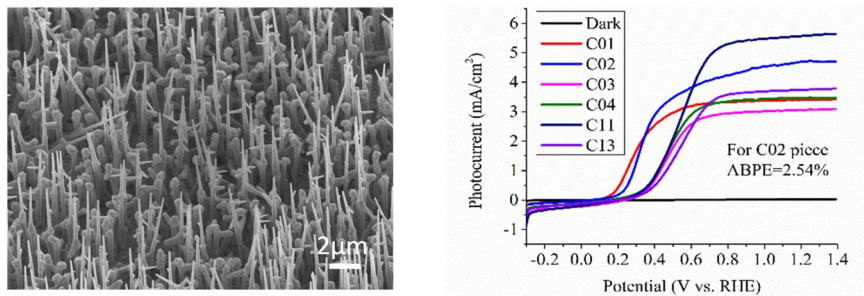


図3 作製した Si 基板上ナノワイヤ群の SEM 観察結果と光アノード反応

< 引用文献 >

- P. Yang, R. Yan, M. Fardy, Nano Lett. 10, 1529, 2010 (Perspective Review).
M. G. Kibria, F. A. Chowdhury, S. Zhao, B. Alotaibi, M. L. Trudeau, H. Guo, Z. Mi, Nature Comm. 6, 6797, 2015.
F. Ishikawa and I. A. Buyanova, Novel Compound Semiconductor Nanowires - Materials, Devices, and Applications, ISBN 978-981-4745-76-5, 2017, Pan Stanford Publishing.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jan Eric Stehr, Roman Balagula, Mattias Jansson, Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Fumitaro Ishikawa, Weimin Chen, Irina A Buyanova	4. 巻 31
2. 論文標題 Effects of growth temperature and thermal annealing on optical quality of GaNAs nanowires emitting in the near-infrared spectral range	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 065702-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab51cd	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 石川史太郎	4. 巻 46
2. 論文標題 (総合報告) 薄膜技術応用による化合物半導体ナノワイヤ新材料の開拓	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本結晶成長学会誌	6. 最初と最後の頁 46(2) 04-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.19009/jjacg.46-2-04	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 Teruyoshi Matsuda, Kyohei Takada, Kosuke Yano, Rikuo Tsutsumi, Kohei Yoshikawa, Satoshi Shimomura, Yumiko Shimizu, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida, Fumitaro Ishikawa	4. 巻 19
2. 論文標題 Controlling Bi Provoked Nanostructure Formation in GaAs/GaAsBi Core-Shell Nanowires	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 8510-8518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b02932	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 T. Matsuda, K. Takada, K. Yano, S. Shimomura, F. Ishikawa	4. 巻 125
2. 論文標題 Strain deformation in GaAs/GaAsBi core-shell nanowire heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 194301-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5092524	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 Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Takaya Mita, Naoki Tsuda, Jun Natsui, Yumiko Shimizu, Mattias Jansson, Roman Balagula, W M Chen, Irina A Buyanova, Fumitaro Ishikawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Molecular beam epitaxial growth of dilute nitride GaNAs and GaInNAs nanowires	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 244002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ab0974	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 Shula Chen, Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Fumitaro Ishikawa, Weimin M Chen, and Irina A Buyanova	4. 巻 19
2. 論文標題 Near-Infrared Lasing at 1 micro-m from a Dilute Nitride-Based Multishell Nanowire	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 885-890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1021/acs.nanolett.8b04103	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 M. Jansson, F. Ishikawa, W. M. Chen, I. A. Buyanova	4. 巻 10
2. 論文標題 N-induced Quantum Dots in GaAs/Ga(N,As) Core/Shell Nanowires: Symmetry, Strain, and Electronic Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 044040-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.10.044040	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 Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Hiroya Ikeda, Kohsuke Yano, Kyohei Takada, Mattias Jansson, Weimin Chen, Irina Buyanova, and Fumitaro Ishikawa	4. 巻 113
2. 論文標題 GaAs/GaNAs core-multishell nanowires with nitrogen composition exceeding 2%	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 011901-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5029388	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 E. Luna, R. Gargallo-Caballero, F. Ishikawa, and A. Trampert	4. 巻 110
2. 論文標題 Morphological and chemical instabilities of nitrogen delta-doped GaAs/(Al, Ga)As quantum wells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 201906-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4983837	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 Kohei Nishioka, Hidetoshi Suzuki, Kentaro Sakai, Fumitaro Ishikawa	4. 巻 254
2. 論文標題 Material conversion of GaAs nanowires	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physica Status Solidi b	6. 最初と最後の頁 1600522-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1002/pssb.201600522	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 Shula Chen, Mattias Jansson, Jan E. Stehr, Yuqing Huang, Fumitaro Ishikawa, Weimin M. Chen, Irina A. Buyanova	4. 巻 17
2. 論文標題 Dilute Nitride Nanowire Lasers Based on a GaAs/GaNAs Core/Shell Structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 1775-1781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b05097	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 Fumitaro Ishikawa, Pierre Corffdir, Uwe Jahn, Oliver Brandt	4. 巻 4
2. 論文標題 White-Light Emitters: (Al,Ga)Ox Microwire Ensembles on Si Exhibiting Luminescence over the Entire Visible Wavelength Range	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2016-2016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1002/adom.201670068	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 Fumitaro Ishikawa, Pierre Corffdir, Uwe Jahn, Oliver Brandt	4. 巻 4
2. 論文標題 (Al,Ga)Ox Microwire Ensembles on Si Exhibiting Luminescence over the Entire Visible Wavelength Range	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2017-2020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1002/adom.201600695	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 Jan E. Stehr, Shula Chen, Mattias Jansson, Fumitaro Ishikawa, Weimin M. Chen, Irina A. Buyanova	4. 巻 109
2. 論文標題 Defect formation in GaAs/GaNxAs1-x core/shell nanowires	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 203103-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1063/1.4967721	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 Szymon J. Zelewski, Jan Kopaczek, Wojciech M. Linhart, Fumitaro Ishikawa, Satoshi Shimomura, Robert Kudrawiec	4. 巻 109
2. 論文標題 Photoacoustic spectroscopy of absorption edge for GaAsBi/GaAs nanowires grown on Si substrate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 182106-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1063/1.4966901	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 Filippov, M Jansson, J E Stehr, J Palisaitis, P Persson, F Ishikawa, W M Chen, I Buyanova	4. 巻 8
2. 論文標題 Strongly polarized quantum-dot-like light emitters embedded in GaAs/GaNAs core/shell nanowires	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 15939-15947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1039/C6NR05168E	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 Shula Chen, Mattias Jansson, Stanislav Filippov, Fumitaro Ishikawa, Weimin M. Chen, Irina A. Buyanova	4. 巻 34
2. 論文標題 Core shell carrier and exciton transfer in GaAs/GaNAs coaxial nanowires	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology B	6. 最初と最後の頁 04J104-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1116/1.4953184	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74件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 35件)

1. 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, F. Ishikawa
2. 発表標題 Growth of Dilute Nitride Core-Multishell Heterostructured Nanowires
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ohno, M. Yukimune, R. Fujiwara, Y. Wang, Z. Mi, F. Ishikawa
2. 発表標題 GaAs Nanowires on Si for its application to photoanodes
3. 学会等名 Micro Nano Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Fujiwara, Mitsuki Yukimune, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Growth of Dilute Nitride Core-Multishell Nanowires
3. 学会等名 7th International Workshop on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures, SemiconNano 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoki Tsuda, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Outermost Native Oxide AlGaOx Shell for GaAs Related Core-Shell Nanowires
3. 学会等名 7th International Workshop on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures, SemiconNano 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teruyoshi Matsuda, Kosuke Yano, Satoshi Shimomura, Yumiko Shimizu, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Bi segregation in GaAs/GaAsBi/GaAs core-multishell nanowires
3. 学会等名 Nanowire Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, T. Mita, F. Ishikawa
2. 発表標題 Polytypism transfer observed in GaAs/GaNAs core-shell nanowires
3. 学会等名 Nanowire Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Mita, R. Fujiwara, M. Yukimune, R. Tsutsumi, F. Ishikawa
2. 発表標題 Molecular beam epitaxial growth of various diluted nitride nanowires
3. 学会等名 Nanowire Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Tomoki Ohno, Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Synthesis of GaAs/TiO ₂ composite nanowires
3 . 学会等名 Nanowire Week 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Teruyoshi Matsuda, Kosuke Yano, Satoshi Shimomura, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Bi localization in GaAs/GaAsBi/GaAs heterostructured nanowires
3 . 学会等名 The 10th International Workshop on Bismuth-Containing Semiconductors (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Fumitaro Ishikawa, Shula Chen, Mattias Jansson, Weimin M. Chen, Irina A. Buyanova
2 . 発表標題 Dilute Nitride GaNAs Nanowires for Optoelectronics ” Growth of GaAs/GaNAs/GaAs Core-Multishell Nanowires Lasing at 1micro-m
3 . 学会等名 EDISON 21; The 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Teruyuki Matsuda, Kosuke Yano, Satoshi Shimomura, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 GaAs/GaAsBi Core-Multishell Nanowires Forming Quantum Confined Structure
3 . 学会等名 EDISON 21; The 21st International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuki Yukimune, Ryo Fujiwara, Fumitaro Ishikawa, Shula Chen, Weimin M. Chen, Irina A. Buyanova
2. 発表標題 Growth of GaAs/GaNAs/GaAs Core-Multishell Nanowires Lasing at micro-m
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Mita, Ryo Fujiwara, Mitsuki Yukimune, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Crystal structures of GaAs/GaNAs core-multishell nanowires
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 翔太, 堤 陸朗, 行宗 詳規, 石川 史太郎
2. 発表標題 GaAs/GaAsBi コアシェルナノワイヤ成長におけるBi フラックスの影響
3. 学会等名 2020年度 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Mori, M. Yukimune, R. Fujiwara and F. Ishikawa
2. 発表標題 GaNAsBi heterostructure nanowires showing zincblende and wurtzite related x-ray diffraction peaks
3. 学会等名 38th Electronic Materials Symposium EMS-38
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Tsutsumi, N. Tsuda and F. Ishikawa
2. 発表標題 Characteristics of GaAs related multi-shell nanowires surrounded by native oxide AlGaOx layer
3. 学会等名 38th Electronic Materials Symposium EMS-38
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ohno, M. Yukimune, R. Fujiwara, Y. Wang, Z. Mi and F. Ishikawa
2. 発表標題 Photoanode measurement of GaAs nanowires grown on silicon substrates
3. 学会等名 38th Electronic Materials Symposium EMS-38
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 美田 貴也, 藤原 亮, 行宗 詳規, 石川 史太郎
2. 発表標題 X線回折によるGaAs系コア-マルチシェルナノワイヤの構造解析
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川 晃平, 松田 晃賢, 下村 哲, 石川 史太郎, 長島 一樹, 柳田 剛
2. 発表標題 Bi導入で引き起こされるGaAs/GaAsBiヘテロ構造ナノワイヤの構造変形
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 行宗 詳規, 藤原 亮, 美田 貴也, 石川 史太郎
2. 発表標題 Ga照射表面処理によるナノワイヤの成長方向制御
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森翔太, 行宗詳規, 藤原亮, 石川史太郎
2. 発表標題 MBE による GaAs/GaAsNbi ヘテロ構造ナノワイヤ成長
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野 智樹, 石川 史太郎, 長島 一樹, 柳田 剛
2. 発表標題 分子線エピタキシャル成長GaAsナノワイヤへのTiO ₂ コーティング
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤 陸朗, 津田 眞, 石川 史太郎
2. 発表標題 最外殻に自然酸化膜 AlGaO _x を持つ GaAs/AlGaAs コアマルチシェル型ナノワイヤの特性
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 亮, 行宗 詳規, 石川 史太郎
2. 発表標題 GaAsナノワイヤの窒素導入量による結晶欠陥の変化
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森翔太, 行宗詳規, 藤原亮, 石川史太郎
2. 発表標題 GaAsNBi ナノワイヤの分子線エピタキシャル成長
3. 学会等名 2019年度 日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野智樹, 長島一樹, 柳田剛, 石川史太郎
2. 発表標題 GaAs/TiO _x 複合ナノワイヤの作製
3. 学会等名 2019年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森翔太, 行宗詳規, 藤原亮, 石川史太郎
2. 発表標題 GaAs/GaAsNBi コアマルチシェル型ナノワイヤの成長
3. 学会等名 2019年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤陸朗, 津田眞, 石川史太郎
2. 発表標題 自然酸化膜AlGaOxで覆ったGaAs/AlGaAsコアマルチシェル型ナノワイヤの特性
3. 学会等名 2019年度 応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤陸朗, 津田眞, 石川史太郎
2. 発表標題 自然酸化膜AlGaOxを最外殻に持つGaAs/AlGaAsコアマルチシェル型ナノワイヤの特性
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会中国四国支部 若手半導体研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森翔太, 行宗詳規, 藤原亮, 石川史太郎
2. 発表標題 GaAs/GaAsNBi コアマルチシェル型ナノワイヤの分子線エピタキシャル成長
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会中国四国支部 若手半導体研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野智樹, 長島一樹, 柳田剛, 石川史太郎
2. 発表標題 TiOをコーティングしたGaAsナノワイヤの合成
3. 学会等名 2019年度 応用物理学会中国四国支部 若手半導体研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 亮、行宗 詳規、石川 史太郎
2. 発表標題 Si及びS01上のGaAs/GaNAsコア・マルチシェルナノワイヤの成長
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 行宗 詳規、藤原 亮、石川 史太郎
2. 発表標題 GaAs/GaNAs/GaAsコア - マルチシェルナノワイヤの結晶構造解析
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 美田 貴也、藤原 亮、行宗 詳規、石川 史太郎
2. 発表標題 NおよびBiを導入したGaAsナノワイヤのXRD測定
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 松田 晃賢、矢野 康介、高田 恭兵、下村 哲、清水 夕美子、石川 史太郎
2. 発表標題 Si(111) 基板上GaAs/GaAsBiヘテロ構造ナノワイヤにおけるBi偏析構造Si(111) 基板上GaAs/GaAsBiヘテロ構造ナノワイヤにおけるBi偏析構造
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 Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Extending Compound Semiconductor Nanowire Functions by the Introduction of Additional Elements
3 . 学会等名 the AVS Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings and Interfaces (PacSurf 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Fumitaro Ishikawa, Kosuke Yano, Kyohei Takada, Pallavi Patil, Satoshi Shimomura, and Yumiko Shimizu
2 . 発表標題 Low-dimensional quantum structure formation in GaAs/GaAsBi core-multishell nanowires
3 . 学会等名 The 9th International Workshop on Bismuth-Containing Semiconductors (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. L. Chen, M. Jansson, F. Ishikawa, W. M. Chen, and I. A. Buyanova
2 . 発表標題 GaAs/GaNAs core/shell nanowires - a promising platform for nanoscale optoelectronics
3 . 学会等名 Nanowire Week 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. L. Chen, M. Jansson, F. Ishikawa, W. M. Chen, and I. A. Buyanova
2 . 発表標題 GaAs/GaNAs CORE/SHELL NANOWIRES for FUTURE OPTOELECTRONICS
3 . 学会等名 2nd JSPS workshop on Japan-Sweden frontiers in photon and spin functionalities of nanomaterials (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 F. Ishikawa, M. Yukimune, R. Fujiwara, N. Tsuda, J. Natsui, M. Jansson, W. M. Chen, and I. A. Buyanova
2. 発表標題 Another Strategies for the Molecular Beam Epitaxy of III-V Nanowires
3. 学会等名 2nd JSPS workshop on Japan-Sweden frontiers in photon and spin functionalities of nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, F. Ishikawa
2. 発表標題 Electron backscattered diffraction analysis of GaNAs nanowires
3. 学会等名 2nd JSPS workshop on Japan-Sweden frontiers in photon and spin functionalities of nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Fujiwara, M. Yukimune, F. Ishikawa
2. 発表標題 Growth of GaAs/GaNAs Core-Multishell Nanowires on Silicon and SOI by Molecular Beam Epitaxy
3. 学会等名 2nd JSPS workshop on Japan-Sweden frontiers in photon and spin functionalities of nanomaterials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, F. Ishikawa
2. 発表標題 Molecular Beam Epitaxial Growth of Dense GaAs/GaNAs Core-Multishell Nanowires on Silicon and SOI
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jun Natsui, Naoki Tsuda, Naoki Yamamoto, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Over visible wavelengths polarized light from AlGaOx nanowire
3 . 学会等名 Nanowire Week 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, H. Ikeda, M. Jansson, W. M. Chen, I. A. Buyanova, F. Ishikawa
2 . 発表標題 Molecular beam epitaxial growth of GaNAs and GaInNAs nanowires
3 . 学会等名 Nanowire Week 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kosuke Yano, Kyohei Takada, Pallavi Patil, Satoshi Shimomura, Yumiko Shimizu, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Structural investigations on GaAs/GaAsBi core-multishell nanowires
3 . 学会等名 Nanowire Week 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kosuke Yano, Kyohei Takada, Pallavi Patil, Satoshi Shimomura, Yumiko Shimizu, Fumitaro Ishikawa
2 . 発表標題 Structural Characteristics of GaAs/GaAsBi Nanowires
3 . 学会等名 Compound Semiconductor Week 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Tsuda, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Native Oxide AlGaOx Outermost Shell for a Passivation Structure of GaAs related Multi Layered Nanowires
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitsuki Yukimune, Hiroya Ikeda, Ryo Fujiwara, Mattias Jansson, Weimin Chen and Irina Buyanova, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Molecular Beam Epitaxial Growth of GaInNAs Nanowires
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryo Fujiwara, Hiroya Ikeda, Mitsuki Yukimune, Mattias Jansson, Weimin Chen and Irina Buyanova, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Growth of GaNAs Nanowires with Nitrogen Concentration over 2Percent
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Natsui, Naoki Yamamoto, Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Investigations of Light Polarization of GaAs/AlGaOx Nanowire
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mita , R. Fujiwara , M. Yukimune and F. Ishikawa
2. 発表標題 XRD measurement of GaAs/GaNAs/GaAs core-multishell nanowires
3. 学会等名 第37回電子材料シンポジウム (The 37th Electronic Materials Symposium)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Fujiwara, M. Yukimune, M. Jansson, W. M. Chen, I. A. Buyanova, F. Ishikawa
2. 発表標題 Growth of GaNAs nanowires with nitrogen over 2%
3. 学会等名 第37回電子材料シンポジウム (The 37th Electronic Materials Symposium)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Yukimune, R. Fujiwara, M. Jansson, W. M. Chen, I. A. Buyanova, F. Ishikawa
2. 発表標題 Growth of GaInNAs nanowires by molecular beam epitaxy
3. 学会等名 第37回電子材料シンポジウム (The 37th Electronic Materials Symposium)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津田 眞、石川 史太郎
2. 発表標題 GaAs/AlGaAsヘテロ構造と自然酸化AlGaO _x 最外殻によるパッシベーション構造を用いたコアシェルナノワイヤの作製
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 夏井 潤、山本 直紀、石川 史太郎
2. 発表標題 白色発光するAlGaOxナノワイヤの偏光特性
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 藤原 亮、行宗 詳規、Jansson Mattias、Chen Weimin、Buyanova Irina、石川 史太郎
2. 発表標題 窒素2%以上のGaAsナノワイヤの成長
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 行宗 詳規、藤原 亮、Jansson Mattias、Chen Weimin、Buyanova Irina、石川 史太郎
2. 発表標題 GaAs/GaN _{0.02} As _{0.98} /GaAsコア-マルチシェルナノワイヤの成長と評価
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 矢野 康介、高田 恭兵、Patil Pallavi、下村 哲、清水 夕美子、長島 一樹、柳田 剛、石川 史太郎
2. 発表標題 Si(111) 基板上GaAs/GaAsBiヘテロ構造ナノワイヤにおける微細構造成長
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 夏井 潤, 山本 直紀, 石川 史太郎
2. 発表標題 AlGaOxナノワイヤの発光特性
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 津田 真, 石川 史太郎
2. 発表標題 自然酸化AlGaOx最外殻とGaAs/AlGaAsヘテロ構造を用いたGaAsナノワイヤパッシベーション構造の作製
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 Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Epitaxial nanowires/microstructures exploring next generation electronics
3. 学会等名 STINT/JSPS (The Swedish Foundation for International Cooperation in Research and Higher Education/The Japanese Society for the Promotion of Science) summer workshop 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Looking for extra compound semiconductor nanowires
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Smart Materials and Engineering for Nano- and Bio-Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kyohei Takada, Kosuke Yano, Takeshi Hayakawa, Kohei Nishioka, Pallavi Patil, Fumitaro Ishikawa, Satoshi Shimomura, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida
2. 発表標題 Vertically coherent lattice deformation in GaAs/GaAsBi heterostructural nanowires
3. 学会等名 8th International Workshop on Bismuth-Containing Semiconductors (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kohsuke Yano, Takeshi Hayakawa, Kyohei Takada, Kohei Nishioka, Pallavi Patil, Fumitaro Ishikawa, Satoshi Shimomura, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida
2. 発表標題 Branch formation in GaAs/GaAsBi nanowires on Si(111)
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 夏井 潤、山本 直紀、石川 史太郎
2. 発表標題 AlGaOxナノワイヤの発光特性
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 津田 眞、石川 史太郎
2. 発表標題 自然酸化AlGaOx最外殻とGaAs/AlGaAsヘテロ構造を用いたGaAsナノワイヤパッシベーション構造の作製
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 矢野 康介、高田 恭兵、Patil Pallavi、下村 哲、清水 夕美子、長島 一樹、柳田 剛、石川 史太郎
2. 発表標題 Si(111) 基板上GaAs/GaAsBiヘテロ構造ナノワイヤにおける微細構造成長
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 K. Yano, K. Takada, K. Nishioka, P. Patil, F. Ishikawa, S. Shimomura, K. Nagashima, and T. Yanagida
2. 発表標題 GaAs/GaAsBi nanowire growth on Si(111)
3. 学会等名 第36回電子材料シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 N. Tsuda and F. Ishikawa
2. 発表標題 Synthesis of GaAs-related multishell nanowires with native oxide AlGaOx outermost shell
3. 学会等名 第36回電子材料シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢野 康介、高田 恭兵、Pallavi Patil、石川 史太郎、下村 哲、長島 一樹、柳田 剛
2. 発表標題 GaAs/GaAsBi歪コアシェルナノワイヤ側壁での垂直格子定数合致型コヒーレント成長
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 Fumitaro Ishikawa
2. 発表標題 Additional GaAs related nanowires
3. 学会等名 JSPS workshop on Japan-Sweden frontiers in spin and photon functionalities of semiconductor nanostructures, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Irina Buyanova, Fumitaro Ishikawa, Charles Tu, Weimin Chen
2. 発表標題 Novel GaNAs and GaNP-Based Nanowires ・Promising Materials for Optoelectronics and Photonics
3. 学会等名 IEEE NANO 2016- 16th International Conference On Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Fumitaro Ishikawa and Satoshi Shimomura
2. 発表標題 GaAsBi Heterostructured Nanowires Grown by Molecular Beam Epitaxy
3. 学会等名 The 7th International Workshop on Bismuth-Containing Semiconductors (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Fumitaro Ishikawa and Irina A. Buyanova	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing	5. 総ページ数 527
3. 書名 Novel Compound Semiconductor Nanowires - Materials, Devices, and Applications	

〔産業財産権〕

〔その他〕

愛媛大学 融合電子材料工学研究室ホームページ
<http://www.ee.ehime-u.ac.jp/yugo/index.html>

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