

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05507・20K20433

研究課題名（和文）光スピントランジスタ

研究課題名（英文）Optical spin-functional transistor

研究代表者

村山 明宏（Murayama, Akihiro）

北海道大学・情報科学研究所・教授

研究者番号：00333906

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,800,000円

研究成果の概要（和文）：情報社会を支える電子情報や光通信ではエネルギー熱損失の解決が課題である。そのため、消費電力を抑制できる電子スピンメモリと光エレクトロニクスを活用し融合する研究が重要になる。光のスピンの状態は円偏光特性に対応し、GaAsなどの化合物半導体の光吸収や発光などの光電変換時に、電子のスピンの状態と相互に変換可能である。そこで、新しい光スピン機能の開拓に向けて、円偏光の入力により生成する電子のスピンの偏極状態を外部電界により制御し円偏光発光として出力する、電界効果型の光スピントランジスタを研究した。その結果、実用上重要な室温で、電子スピンや円偏光特性の偏り度合いで与えられるスピンの偏極情報の電界制御を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代の高度な情報社会を支える電子情報や光通信では、エネルギー熱損失の解決が課題であり、消費電力を抑制できる電子スピンメモリと光エレクトロニクスを活用し融合する研究が重要で、社会的な意義も大きい。そこで、新しい光スピン機能の開拓に向けて、円偏光の入力により生成する電子のスピンの偏極状態を外部電界により制御し円偏光発光として出力する、電界効果型の光スピントランジスタを研究した。通常は磁場にのみ応答する半導体中の電子のスピンの状態を電界だけで制御するデバイスの研究は、学問的にも意義は大きい。その結果、実用上必須の室温で、電子スピンや円偏光特性の偏り度合いで与えられるスピンの偏極情報の電界制御を実現した。

研究成果の概要（英文）：Solving energy loss is an issue in electronic information and optical communications supporting the information society. Therefore, it is important to conduct research that utilizes and integrates electron spin memory and optoelectronics, which can suppress power consumption. Circularly polarized light is a spin state of light, which can be mutually converted to the spin state of electrons during photoelectric conversion such as light absorption and emission in compound semiconductors such as GaAs.

In order to explore new optical spin functions, a field-effect optical spin transistor was studied, where the spin-polarized state of electrons generated by circularly polarized light input can be controlled by an external electric field, and the output will be circularly polarized luminescence. As a result, electric field control of spin polarization information has been realized at room temperature, which is important for practical use.

研究分野：半導体光スピントロニクス

キーワード：光スピントランジスタ 電界効果 半導体量子ドット 二次元電子系 希薄窒化物半導体 スピンフィルタリング増幅

1. 研究開始当初の背景

(1) 人工知能など現代の情報知価社会の驚異的な発展は、極限的な集積化が進む電子情報エレクトロニクスと超高速大容量の光通信により支えられている。しかし、これら電子光システムの極微細かつ長大な電気配線によるエネルギーの熱損失が大きな課題となっている。この解決には、(a) 光配線(光電融合エレクトロニクス)、(b) 電力消費を極限まで抑える不揮発性メモリである電子スピンによる情報処理(スピントロニクス)が重要である。そこで、(a)(b)を融合した光電融合スピントロニクスの発展には、電子と光が持つスピン情報の相互変換素子が必要不可欠であり、電子スピン(スピン量子数 $1/2$)と光スピン(光子円偏光; スピン量子数 1)の間の角運動量保存則により実現できる。具体的には、スピン偏極電子の電流注入によりスピン情報を転写した円偏光を発するスピン発光ダイオードやレーザ、逆に円偏光を電子スピンに変換するスピンフォトダイオードが研究されている。

そこで、円偏光を入出力信号として、その円偏光により生じる電子スピン状態を電極の電界により直接制御可能な電界効果スピン光トランジスタとして、電界による電子スピンと円偏光の極性(スピンや円偏光の向き)のスイッチやオンオフ、それらの偏り度合いである偏極度(スピン情報)の変調を開拓し、スピンの持つ本質的な情報である位相の電界制御にも挑戦していく。

(2) 本提案の端緒は、半導体量子井戸と量子ドットからなる世界的に見ても独自の結合量子構造において、円偏光励起により量子井戸にスピン偏極電子を生成し、そのスピン偏極電子を量子力学的なトンネル効果により量子ドットに注入する研究から生まれた。この量子井戸・ドット構造に電界を印加すると、量子ドットから生じる電子のスピン状態を転写した円偏光特性の極性を電界により反転させることが可能である(偏極度が数十%にも及ぶ右回りと左回り円偏光(電子のアップとダウンスピンに対応)を電界のみで反転させる)。

この結果は、上記の光スピントランジスタの雛型となり、低温動作に限られるが、量子ドット特有の非常に強い量子閉じ込め効果を生かして室温動作を目指していく。また、次元性が異なる量子井戸・ドットの結合波動関数は電界により形状が大きく変化しスピン状態の動特性に影響を与えるため、電界によるスピン位相の制御も期待できる。

2. 研究の目的

現代の情報社会を支える電子情報処理や光通信においては、エネルギー熱損失の解決が課題である。この問題を解決するためには、不揮発性の電子スピンメモリと光エレクトロニクスを融合する研究が重要である。例えば、電子スピンと光のスピン情報である円偏光の光電変換素子が必要となり、スピン偏極電子の電流注入により円偏光を発するスピン発光ダイオードやレーザ等の二端子素子が研究されている。そこで、新しい光スピン機能の開拓に向けて、円偏光の入力により生成する電子のスピン状態を外部電界により制御可能な光スピントランジスタを研究する。電子や円偏光のスピン極性を電界により切り替え、さらに電子スピンや円偏光特性の偏り度合いで与えられるスピン情報の電界変調を実現する。そして、最終目標としてスピンの持つ本質的な情報である位相の電界制御にも挑戦する。

3. 研究の方法

GaAs などの化合物半導体のエピタキシャル成長が可能な分子線エピタキシーにより、二次元電子系である InGaAs の量子井戸と量子ドットからなる結合量子構造を p ドープした GaAs(100)基板上に作製する。さらに、電子スピン偏極度のフィルタリングが可能な 1%程度の窒素濃度をもつ希薄窒化 GaNAs 量子井戸も成長させる。この場合には、窒素ガスを導入するプラズマソースを併用する。GaAs キャップ層を形成したのち、成長した半導体試料を大気中に取り出し、その表面に Ti や Au などの薄膜を蒸着し、電界を印加する外部電極を形成する。

作製した電界印加型の素子に対して、円偏光を照射し GaAs バリアにスピン偏極電子を励起する。この場合の電子スピン偏極度は 50%である。その後、スピン偏極電子は量子井戸層を経て、発光層となる量子ドットへとエネルギー緩和し発光する。この際の、発光の円偏光度を計測することにより、電子スピン偏極度を評価する。測定時には上記電極に電圧をかけ、半導体層へ電界を印加する。半導体試料内部の電界分布はシミュレーション計算により求める。また、励起光を円偏光レーザーパルスとして、発光測定に円偏光の識別可能な光学素子を配置したストリークカメラを用いることで、時間分解円偏光発光測定も行った。これより、量子ドットへのスピン偏極電子の注入や電界に依存したスピン偏極度の時間変化を研究した。また、これらの測定においては、4 K から室温までの領域で温度依存性を評価した。

さらに、電子スピンの歳差運動による伝導電子スピンの位相振動を直接計測するため、円偏光と試料に対して精度の高い横磁場の印加を可能にする電磁石を用いる時間分解発光分光測定系の構築を行った。測定は室温のみであるが、最大印加磁場は 1 T である。これより、電界によるスピン位相の制御に向けて、電子スピンの歳差運動による発光円偏光度の時間振動、すなわち伝導電子スピンの位相振動を直接計測する。

4. 研究成果

(1) 2次元電子系である InGaAs 量子井戸といわゆるゼロ次元の量子閉じ込め構造である InGaAs 量子ドットからなり、GaAs トンネルバリアを介して両者の電子波動関数を結合させた半導体量子構造を用いて、スピン偏極電子を量子井戸からトンネル効果により量子ドットに注入する電界効果型素子を作製した。作製した素子の構造を模式的に図 1 に示す。素子構造の詳しい検討を行い、量子井戸やトンネルバリアの厚さを変えることで、井戸とドットの結合ポテンシャルやスピン偏極電子の注入トンネル確率を変えた試料を分子線エピタキシーにより作製した。そして、井戸からドットに注入する電子スピン偏極特性に対する電界効果の影響を研究した。その結果、特定のバイアス印加時に、電子の波動関数が井戸とドット間で強く結合する共鳴励起状態が、自己組織化量子ドット下面に自然形成される非常に薄い 2次元の濡れ層を介して形成されることを明らかにした。この共鳴状態は、ドットの擬 0 次元励起状態に滑らかに接続し、効率的な電子スピン注入を可能にすると考えられる。

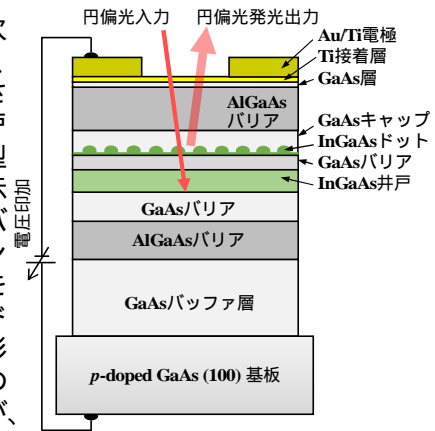


図 1 作製した InGaAs 量子井戸と量子ドットの結合構造を有する電界効果素子構造の模式図

この素子では、低温領域ではあるが、特定のバイアス印加条件において、井戸からドットに注入した電子のスピン偏極極性を電界により反転制御することが可能である。通常の半導体では、電子のスピン偏極状態は磁場のみに強く影響され、電界にはほとんど応答しない。量子ドットという非常に限られたナノ空間における電子のスピン状態が、電界に依存した電子と正孔の散乱現象によりその極性を反転することは知られていたが、2次元電子系との独自の結合構造を用いることにより、効率的に電界誘起のスピン反転特性を得ることができた。60 K 以下ではあるが、 ± 1 V 程度以内のバイアス印加により、スピン偏極度としては例えば +10% から -20% の範囲で電界制御が可能である。さらに、量子井戸からの電子スピン注入直後の量子ドットにおける励起状態に対して、そのスピンドYNAMICS を直接検出可能な円偏光発光の時間分解測定を行い、電子・正孔スピン散乱によるドット中の電子スピンの非対称反転速度が特定のバイアス印加により増加するスピン反転ダイナミクスを明らかにした。そして同時に、ドット基底状態においてスピンと円偏光の電界による反転が生じていることがわかった。

一方、温度の上昇により、100 K 近傍の領域では電界誘起によるスピン反転現象は観測されなくなる。主な要因として、温度の増加により量子ドットの基底状態から様々な励起状態に電子が熱的に再励起され、その結果スピン偏極特性が変化することが考えられる。

しかしながら、さらに温度を上げて室温領域に近づくと、スピン極性の反転は生じないものの、電界によりスピン偏極度が変化する。そこで、素子構造の詳しい検討を行い、特に、量子ドットに正孔を供給するリモート p ドーピングの詳しい濃度依存性を研究した。その結果、素子特性において本質的に重要な特性であるドットからの発光強度と電界により制御可能な電子スピン偏極度の両者を最大化することができた。例えば、室温においても、やはり ± 1 V 程度以内のバイアス印加により、スピン偏極度として例えば +3% から +15% の範囲で電界制御が可能となった。時間分解円偏光発光分光により電子スピン偏極特性の時間変化であるスピンドYNAMICS を計測したところ、このような高温領域においては、最初に光で生成した電子のスピン偏極が、スピン緩和現象により、例えば低温では 50% であったのが 20~30% と低下していることがわかった。また、温度の上昇に伴い、量子ドットにいったん注入されるスピン偏極電子が量子井戸へと熱的に再励起されスピン緩和が促進されることもわかった。この結果は、室温動作を目指す量子構造のエネルギー準位やトンネルポテンシャルの設計に対して有用な知見を与えている。

(2) そこで、量子井戸の材料として、1% 程度の窒素濃度を持つ希薄窒化 GaNAs を用いることにした。この GaNAs 中では、窒素添加に伴い Ga 原子空孔が形成されるが、この空孔準位は伝導帯から数百 meV 以上も深いエネルギーに分布するため、室温でも電子を捕獲しかつ伝導帯への熱的再励起が生じない。この場合、最初に光生成したスピン偏極電子が確率的に多く捕獲される。すると、その後は同じ向き多数個スピンはパウリの排他律により捕獲されずに、反対向きの少数個スピン偏極電子が優先的に捕獲されることになる。このプロセスが熱的に伝導帯を遍歴するスピン偏極電子の集団において繰り返されることで、結果的に多数個スピンの偏極をもつ電子が多く存在することになりスピン偏極度が高まることが知られている。すなわち、この希薄窒化 GaNAs を用いることにより電子の集団におけるスピン偏極度を高めることができ、いわゆるスピン偏極のフィルタリング増幅と呼ばれている。

そこでまず、InAs 量子ドットに対して希薄窒化 GaNAs 井戸をトンネル結合させた試料を窒素プラズマソースを持つ分子線エピタキシーにより作製し、その窒素濃度や井戸の膜厚、結晶成長条件などの検討を行った。その結果、窒素添加により生じる Ga 空孔の持つ上記のスピンフィルタリング効果により、GaNAs 伝導帯の多数個スピン偏極率の増幅効果を室温で確認した。

そして、InAs量子ドットとトンネル結合したGaAs量子井戸の構造について詳しい検討を行い、量子ドットに対するトンネルスピン注入特性などの素子構造依存性を明らかにした。そして、量子ドットに注入する電子スピンの偏極特性とその偏極度の増幅機能、特に室温を含めた高温領域での電界動作特性を明らかにした。

その結果、室温において、 ± 2 V程度以内のバイアス印加により、ドット基底状態におけるスピン偏極度としては例えば+10%から+20%、第1励起状態においては+10%から+30%の範囲で電界制御が可能になった。すなわち、室温において、電子のスピン偏極度を20%の範囲にわたって電界で制御することができた。また、詳しい時間分解円偏光発光分光の電界依存性の測定から、GaAs量子井戸のスピン偏極が増幅されることに加えて、増幅されたスピン偏極電子のドットへの注入ダイナミクスを電界で制御できることを明らかにした。この場合、ドットでの電子スピン偏極状態を示すドットからの時間分解円偏光発光から求められる時間に依存した円偏光度すなわち電子スピン偏極度について、以下のような結果を得た。光励起直後に注入される電子のスピン偏極度は電界によらず18%程度でほぼ一定である。これに対して、数十psの領域においてスピン偏極度は増加していき、70ps程度以内で最大値を示す。そして、この最大値は電界に大きく依存し30~60%の範囲で変化する。すなわち、ある特定のバイアス条件では、光励起直後が20%であるのが、時間に依存して最大60%に変化しており、これはGaAs井戸において増幅されたスピン偏極電子が電界に依存して注入されるダイナミクスを反映している。

(3)さらに、GaAs中の電子スピンの歳差運動による伝導電子スピンの位相振動を直接計測するため、円偏光と試料に対して精度の高い横磁場の印加を可能にする電磁石を用いる時間分解発光分光測定系の構築を行い測定を行った。その結果、GaAs中の電子スピンの歳差運動による発光円偏光度の時間振動、すなわち伝導電子スピンの位相振動を、横磁場を印加する時間分解発光分光測定を用いて直接計測することができた。そして得られた磁場に依存する振動周期のデータの解析を行い、電子のg値を決定するとともにその試料構造依存性を研究した。

引用文献

H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, S. Park, K. Sueoka, A. Murayama, Electric field control of spin polarity in spin injection into InGaAs quantum dots from a tunnel-coupled quantum well, *Applied Physics Letters* **114**, 2019, 133101:1-5.

H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, S. Park, K. Sueoka, A. Murayama, Enhanced hetero-dimensional electron-spin injection in a resonantly tunnel-coupled InGaAs quantum dot-well nanosystem, *Applied Physics Express* **13**, 2019, 015003:1-5.

S. Park, H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama, Electric-Field-Effect Spin Switching with an Enhanced Number of Highly Polarized Electron and Photon Spins Using p-doped Semiconductor Quantum Dots, *ACS Omega* **6**, 2021, 8561-8569.

S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama, Efficient Room-Temperature Voltage Control of Picosecond Optical Spin Orientation Using a III-V Semiconductor Nanostructure, *Advanced Electronic Materials* **8**, 2022, 2200588:1-8.

Yuqing Huang, Ville Polojarvi, Satoshi Hiura, Pontus Hojer, Arto Aho, Riku Isoaho, Teemu Hakkarainen, Mircea Guina, Shino Sato, Junichi Takayama, Akihiro Murayama, Irina A. Buyanova, Weimin M. Chen, Room-temperature electron spin polarization exceeding 90% in an opto-spintronic semiconductor nanostructure via remote spin filtering, *Nature Photonics* **15**, 2021, 1-9.

S. Park, S. Hiura, H. Kise, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama, Room-temperature electric field control of spin filtering efficiency for enhanced modulation of optical spin polarization in a defect-functional 0D-2D hybrid nanostructure, *Nanoscale* **15**, 2023, 16784-16794.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 S. Park, S. Hiura, H. Kise, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Room-temperature electric field control of spin filtering efficiency for enhanced modulation of optical spin polarization in a defect-functional 0D-2D hybrid nanostructure | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Nanoscale | 6. 最初と最後の頁 16784-16794 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D3NR03438K | 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 S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Efficient Room-Temperature Voltage Control of Picosecond Optical Spin Orientation Using a III-V Semiconductor Nanostructure | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Advanced Electronic Materials | 6. 最初と最後の頁 2200588:1-8 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/aelm.202200588 | 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 K. Etou, S. Hiura, S. Park, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, A. Murayama | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Efficient Room-Temperature Operation of a Quantum Dot Spin-Polarized Light-Emitting Diode under High-Bias Conditions | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Applied | 6. 最初と最後の頁 024055:1-9 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevApplied.19.024055 | 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 Kohei Etou, Satoshi Hiura, Soyoung Park, Kazuya Sakamoto, Junichi Takayama, Agus Subagyo, Kazuhisa Sueoka, Akihiro Murayama | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Room-Temperature Spin-Transport Properties in an In0.5Ga0.5As Quantum Dot Spin-Polarized Light-Emitting Diode | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Applied | 6. 最初と最後の頁 014034:1-10 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevApplied.16.014034 | 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 S. Park, H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Electric-Field-Effect Spin Switching with an Enhanced Number of Highly Polarized Electron and Photon Spins Using p-doped Semiconductor Quantum Dots | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 ACS Omega | 6. 最初と最後の頁 8561-8569 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c00377 | 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 Yuqing Huang, Ville Polojarvi, Satoshi Hiura, Pontus Hojer, Arto Aho, Riku Isoaho, Teemu Hakkarainen, Mircea Guina, Shino Sato, Junichi Takayama, Akihiro Murayama, Irina A. Buyanova, Weimin M. Chen | 4. 巻 15 |
| 2. 論文標題 Room-temperature electron spin polarization exceeding 90% in an opto-spintronic semiconductor nanostructure via remote spin filtering | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Nature Photonics | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41566-021-00786-y | 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. Hiura, M. Takishita, J. Takayama, S. Sato, A. Murayama | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Highly efficient room-temperature electron-photon spin conversion using semiconductor hybrid nanosystem with gradual quantum dimensionality reduction | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Applied | 6. 最初と最後の頁 044011:1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.044011 | 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 S. Hiura, S. Hatakeyama, J. Takayama, A. Murayama | 4. 巻 116 |
| 2. 論文標題 Asymmetric spin relaxation induced by residual electron spin in semiconductor quantum-dot-superlattice hybrid nanosystem | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 262407:1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0010754 | 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 S. Sato, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama | 4. 巻 116 |
| 2. 論文標題 Suppression of thermally excited electron-spin relaxation in InGaAs quantum dots using p-doped capping layers toward enhanced room-temperature spin polarization | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 182401:1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0004300 | 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 S. Sato, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama | 4. 巻 127 |
| 2. 論文標題 Temperature dependence of inter-dot electron-spin transfer among laterally coupled excited states in high-density InGaAs quantum dots | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 043904:1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5134002 | 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 H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, S. Park, K. Sueoka, A. Murayama | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Enhanced hetero-dimensional electron-spin injection in a resonantly tunnel-coupled InGaAs quantum dot-well nanosystem | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Express | 6. 最初と最後の頁 015003:1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab59bb | 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36件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Kise, S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Electric-field effects on optical spin polarization in III-V semiconductor quantum-dot-superlattice hybrid nanostructure |
| 3. 学会等名 The 9th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Sato, M. Hosoe, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Thickness effects of dilute GaAs nitride quantum wells on optical spin properties of tunnel-coupled InAs quantum dots |
| 3 . 学会等名 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Izumi, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Structural and optical properties of InAs quantum dots capped with GaAs grown at different rates |
| 3 . 学会等名 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Room-temperature operation characteristics of a spin-polarized light-emitting diode using InAs quantum dots tunnel-coupled with GaNAs |
| 3 . 学会等名 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Park, H. Kise, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Bias voltage and temperature dependence of electron-spin polarization in InAs quantum dots tunnel-coupled with a GaNAs quantum well |
| 3 . 学会等名 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2022) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐藤紫乃, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 希薄窒化GaNaNs量子井戸とInAs量子ドットのトンネル結合における電子スピン増幅ダイナミクス; GaNaNs井戸配置の影響 |
| 3. 学会等名 第83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 細江真義, 佐藤紫乃, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 厚さを変えた希薄窒化GaNaNs量子井戸とトンネル結合したInAs量子ドットの円偏光発光特性 |
| 3. 学会等名 第83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 日置拓実, 江藤巨平, 樋浦諭志, 高山純一, スバギョ アグス, 末岡和久, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 半導体量子ドットを用いたスピン受光ダイオードの光電流特性 |
| 3. 学会等名 第83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 和泉蒼翼, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 高速成長GaAsキャップ層をもつInGaAs量子ドットの円偏光発光特性のIn組成依存性 |
| 3. 学会等名 第83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 Kohei Eto, Satoshi Hiura, Soyoung Park, Junichi Takayama, Agus Subagyo, Kazuhisa Sueoka, Akihiro Murayama |
| 2. 発表標題 Circularly polarized electroluminescence properties of quantum dot spin-polarized light-emitting diodes using GaNAs spin filter |
| 3. 学会等名 第83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 Hirotto Kise, Soyoung Park, Satoshi Hiura, Junichi Takayama, Kazuhisa Sueoka, Akihiro Murayama |
| 2. 発表標題 Bias dependence of electron spin polarization in GaNAs quantum well-InAs quantum dot tunnel-coupled structures |
| 3. 学会等名 第83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 S. Park, S. Hiura, H. Chen, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Electric-field control of electron-spin polarization degree at room temperature in opto-spintronic device using InGaAs quantum dots |
| 3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Sato, Y. Nakamura, S. Park, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Optical spin properties of InAs quantum dots tunnel-coupled with dilute nitride GaNAs |
| 3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, S. Park, A. Subagyo, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Temperature effects on performances of a spin-polarized light emitting diode using p-doped InGaAs quantum dots |
| 3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 S. Park, S. Hiura, H. Chen, J. Takayama, K. Sueoka, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Temperature dependence of electron spin polarization in InGaAs quantum dot optospintronic device applied with electric field |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 江藤亘平, 樋浦諭志, パク ソヨン, 高山純一, スバギョ アグス, 末岡和久, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 量子ドットスピン偏極発光ダイオードの円偏光発光特性の温度依存性 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 佐藤紫乃, 中村裕人, 朴 昭暎, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 希薄窒化GaAsとInAs量子ドットのトンネル結合構造におけるスピンドイナミクス |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 阪元和弥, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 InGaAs量子ドットの光スピン特性の向上にむけたpドーブ方法の検討 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 畠山沙衣子, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 超格子の電子スピン輸送特性に対する井戸厚さの影響 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和泉蒼翼, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 GaAsキャップ層成長速度の異なるInAs量子ドットの時間分解発光特性 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Park, H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Electron-spin dynamics in tunnel-coupled structures of InGaAs well and dot with different p-doping concentrations applied with electric field |
| 3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 S. Hatakeyama, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Spin relaxation property after spin transfer from a semiconductor superlattice barrier to quantum dots |
| 3 . 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Sato, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Highly efficient electron-photon spin conversion using InGaAs quantum dots with p-doped capping barrier |
| 3 . 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 Fabrication of p-doped quantum dot spin-polarized light-emitting diodes |
| 3 . 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Park, H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2 . 発表標題 P doping concentration dependence of electron spin dynamics in InGaAs quantum well dot coupled structures applied with electric field |
| 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 江藤亘平, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 電流注入型pドーブ量子ドットスピン発光ダイオードの作製 |
| 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 高山純一, 大竹章久, 樋浦諭志, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 可変ストライプ長法による InGaAs量子ドットのモード利得測定の間膜厚依存性 |
| 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 S. Sato, S. Hiura, J. Takayama, A. Murayama |
| 2. 発表標題 Suppression of thermal spin relaxation of InGaAs quantum dots by p doping |
| 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 阪元和弥, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 InGaAs量子ドットの光スピン特性のpドーピング濃度依存性 |
| 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 畠山沙衣子, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 半導体超格子バリアから量子ドットへのスピン輸送と注入後のスピン緩和 |
| 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 朴 昭暎, 陳 杭, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 pドープInGaAs量子ドットへの電子スピン注入の電界制御 |
| 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 瀧下水月, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 InGaAs/GaAs Dot-in-well構造における電子スピンドイナミクスの温度依存性 |
| 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 陳 亜鳳, 木場隆之, 飯島奈都美, 高山純一, 肥後昭男, 樋浦諭志, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 GaAsナノピラーに埋め込まれたIn _{0.5} Ga _{0.5} As量子ドットにおけるスピンドイナミクス |
| 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 佐藤紫乃, 中村裕人, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 pドープInGaAs量子ドットの励起準位における電子スピンドイナミクス |
| 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 大竹章久, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 可変ストライプ長法によるInGaAs量子ドットの時間分解発光分光 |
| 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 中村裕人, 佐藤紫乃, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏 |
| 2. 発表標題 GaAsキャップ層を低温成長したInGaAs量子ドットにおける電子スピンドイナミクスの温度依存性 |
| 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 |

〔図書〕 計0件

〔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 |
|---------|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|