

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01356

研究課題名（和文）電子スピン増幅機能を搭載した室温動作光スピン変換素子の開発

研究課題名（英文）Room temperature operation of photoelectric spin conversion device with electron spin amplification function

研究代表者

樋浦 諭志（Hiura, Satoshi）

北海道大学・情報科学研究所・准教授

研究者番号：30799680

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：希薄窒化物半導体GaNsに特有の電子スピン偏極の増幅機能を搭載した量子ドット光学活性層と超格子スピン輸送層を開発し、円偏光発光特性や電子スピン輸送特性に対するGaNs膜厚の影響をダイナミクスの観点から詳細に明らかにした。また、GaNs量子井戸とInGaAs量子ドットのトンネル結合構造を光学活性層に用いることによって、光デバイスの高速動作に必要な高電圧の印加時に不可避免的に失われる電子スピン偏極を増幅し復元するスピン増幅型発光ダイオードの原理実証を行った。さらに、InAs量子ドットまたはGaNsをスピンフィルタリング層に活用した独自のスピン受光ダイオードも開発し、円偏光受光特性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

室温で伝導電子のスピン偏極を発光中および輸送中に高めることのできる光学活性層と電子スピン輸送層の開発は、スピン緩和が避けられない非磁性半導体において電子のスピン偏極を室温で高効率に増幅できる革新的なスピン技術を創出し、半導体光スピントロニクスのパラダイムシフトにつながることで期待できる。また、室温で高効率に動作する半導体光スピン変換素子の開発は、電子スピンを情報キャリアに用いるスピントロニクスにおいて、不揮発性スピンメモリMRAMの直接光配線を実現するための技術基盤の構築につながるとともに、超低消費電力のスピン情報光インターコネクションの実現に向けた実用的な技術開発を加速することが期待される。

研究成果の概要（英文）：I have developed quantum dot optically active layers and superlattice spin transport layers equipped with an amplification function of electron spin polarization unique to dilute nitride semiconductor GaNs. The effects of GaNs thickness on circularly polarized light emission and electron spin transport properties were clarified in terms of spin dynamics. In addition, by using the tunnel-coupled structure of GaNs quantum wells and InGaAs quantum dots as the active layer, I have demonstrated the principle of spin-amplified light-emitting diodes that can amplify and recover the electron spin polarization that is unavoidably lost when high voltages are applied, which is necessary for high-speed operation of optical devices. I have also developed spin photodiodes utilizing InAs quantum dots or GaNs as spin-filtering layers and evaluated their circularly polarized light detection characteristics.

研究分野：半導体光デバイス

キーワード：スピン光デバイス 半導体量子ドット スピン増幅 希薄窒化物半導体 光スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

人工知能やビッグデータ、IoT を実装する高度情報社会を進展させるためには、電力消費なしに情報を保持できる電子スピンと、エネルギー熱損失なしに情報を高速伝送できる光を直接接続する必要がある。すなわち、不揮発性スピントロニクスと電子回路の光配線が有望であり、電子と光の間で直接的なスピン情報変換を可能とする光スピン配線に向けた研究が重要である。しかし、光配線に用いる半導体光デバイスの性能は電子回路や自身の発熱の影響を受ける上に、半導体では室温で電子スピン情報が急速に消失してしまう（スピンの緩和現象）。これらの課題に対して、三次元方向の強い量子閉じ込め効果により、光学性能が環境温度変化の影響を受けにくい半導体量子ドットを用いた光学活性層が必須となる。量子ドットでは、電子の軌道運動の制限によりスピン緩和が強く抑制され、電子スピンから光のスピン状態である円偏光への光電変換時にスピン情報が散逸しないという利点を持つ。以上の特徴から、金属強磁性体スピン電極から量子ドット光学活性層への電子スピン注入が研究されてきたが、実用に不可欠な室温以上での高性能動作が未だ達成されていない。光デバイスに必須の三次元半導体誘電バリア層では、室温で伝導電子スピンの極めて不安定になりスピン偏極が緩和し、スピン発光ダイオード(スピンLED)とスピン受光ダイオード(スピンPD)の光スピン変換効率を大きく低下させてしまう[1]。

そこで、本研究では室温で伝導電子のスピン偏極を増幅できる希薄窒化物半導体 GaNAs に着目した[2]。バンドギャップ中の深い欠陥準位のスピントラップ効果により、少数個スピンを伝導帯から効率的に除去できる。最大の特徴は、欠陥準位がエネルギー的に十分に深いため伝導帯への熱励起が生じず、スピントラップ効果が室温で高効率に動作することである。この GaNAs のスピントラップ増幅を活用することによって、半導体光スピントロニクスのボトルネックである光スピン変換素子の高効率な室温動作を実現できることが期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は希薄窒化物半導体 GaNAs の室温スピントラップ増幅機能を搭載した電子スピン輸送層と量子ドット光学活性層を開発するとともに、それを応用した光スピン変換素子の室温動作を実現することである。これにより、室温で電子と光のスピン情報を自在に相互変換する技術基盤が確立し、スピンを利用した省エネルギー光電融合情報基盤の構築につながる。

3. 研究の方法

本研究では窒素プラズマ支援分子線エピタキシー法により、GaNAs 量子井戸と InAs 量子ドットのトンネル結合構造を GaAs(100)基板上に作製し、円偏光発光特性の GaNAs 膜厚依存性を評価した。また、GaNAs を量子井戸層に用いた超格子バリアを InAs 量子ドット発光層に隣接させた試料を作製し、時間分解円偏光フォトルミネッセンス(PL)測定により量子ドットへの電子スピン注入直後の円偏光発光特性から超格子バリアにおける電子スピン輸送特性を評価した。

光スピン変換素子の開発においては、GaNAs 量子井戸と InGaAs 量子ドットのトンネル結合構造を光学活性層に用いたスピン増幅型 LED を世界に先駆けて開発し、室温での円偏光 EL 発光特性から GaNAs のスピントラップ増幅の有用性を検証した。また、InAs 量子ドットあるいは GaNAs を半導体層に用いた独自のスピン PD も開発し、円偏光受光特性を評価した。

4. 研究成果

(1) GaNAs 量子井戸と InAs 量子ドットのトンネル結合構造の円偏光発光特性

GaNAs 量子井戸の膜厚を 20 nm から 5 nm に減少させると、室温での InAs 量子ドットの発光強度が 1 桁以上増加した。この結果は、GaNAs 中の欠陥総数が少ないほど、少ないキャリア注入量で強い発光が得られることを意味している。次に、量子ドットの発光円偏光度の励起光強度依存性を評価したところ、GaNAs を持たない試料では励起光強度の増加に伴い量子ドットに特有の状態充填効果に起因する円偏光度の減少が観測されたが、GaNAs を持つ試料では励起光強度の増加に伴い円偏光度が大きく増加した。試料間で最大円偏光度に大きな違いは見られなかったが、最大円偏光度が得られる励起光強度は GaNAs 量子井戸厚の減少に伴い減少した。この結果は、GaNAs 量子井戸厚が薄いほど少ないキャリア注入量で量子ドットの高い電子スピン偏極状態を実現できることを意味している。

図1に時間分解円偏光 PL 測定により得られた室温での量子ドットの発光円偏光度の時間変化を示す。井戸厚 5 nm の試料では円偏光度の緩やかな増加と減衰が見られるが、20 nm の試料では円偏光度の急速な増加と減衰が見られた。GaNAs の欠陥準位のスピン捕獲時間を考慮したレート方程式解析により、GaNAs の実効的な欠陥密度と波動関数結合状態が井戸厚で異なることで、円偏光度の時間変化に違いが出ることを見出した[3]。

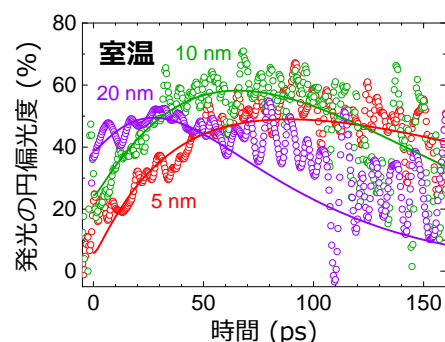


図1. 室温でのInAs量子ドットの発光円偏光度の時間変化；GaNAs量子井戸厚依存性。

(2) GaNAs を用いた超格子バリアにおける電子スピン輸送特性

GaNAs 量子井戸 (膜厚 5 or 15 nm) と GaAs バリア (5 nm) を繰り返し積層した超格子バリアを InAs 量子ドットに隣接させた 2 種類の試料を作製した。井戸厚 5 nm の試料では 12 周期、井戸厚 15 nm の試料では 6 周期の超格子を積層し、超格子の総膜厚は試料間で同一とした。超格子のミニバンドを選択励起して各試料の量子ドットの PL 強度を比較し、超格子バリアから量子ドットへの電子輸送効率を評価した。その結果、井戸厚 5 nm の試料では 15 nm の試料に対して室温での PL 強度が約 30 倍高かった。井戸内に電子が局在しやすい 15 nm の試料では、輸送中に電子が GaNAs の欠陥準位に多く捕獲されたことで、量子ドットへの電子の輸送効率が低下したと考えられる。次に、室温で量子ドットの時間初期の PL 円偏光度を評価した。両試料で時間初期の PL 円偏光度が励起光強度の増加とともに大きく増加した。従来の GaAs/AlGaAs 超格子バリアを用いた試料では、このような円偏光度の増加は観測されなかった。この結果は超格子バリアから量子ドットへの電子の輸送中にスピン偏極が増幅するスピン選択輸送を示唆している。

(3) 室温スピン増幅機能を搭載したスピン LED の開発

$\text{In}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$ 量子ドットと 5 nm の GaNAs 量子井戸から成るトンネル結合構造を光学活性層に用い、スピン輸送バリアに $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ 、スピン注入源に Fe/MgO を用いたスピン LED を作製した[図 2(a)]。3.0 V の高電圧下において、通常の量子ドットスピン LED では高電界によるスピン緩和がスピン輸送バリアで強く働くことで EL 円偏光度が 2%と低いのにに対して、本研究のスピン LED では 7%の高い EL 円偏光度が得られた[図 2(b)]。次に、高電圧下で高い EL 円偏光度が得られるメカニズムを調べた。図 2(c)に 3.0 V にて室温で得られた PL 円偏光度の励起光強度依存性を示す。量子ドットへ注入される電子スピンが少ない弱励起条件では、PL 円偏光度は高電界によるスピン緩和が強く反映されて 5%程度の低い値しか得られないが、励起光強度を増加すると GaNAs のスピントラッキング増幅が活性化され、PL 円偏光度が最大 23%まで増加した。その結果、スピン LED の高電圧 (高電流) 動作において量子ドット光学活性層への注入前に電子のスピン偏極が大きく低下するものの、注入後に GaNAs のスピントラッキング増幅が働きスピン偏極が復元・増幅することで、高い EL 円偏光度が得られることがわかった[4]。

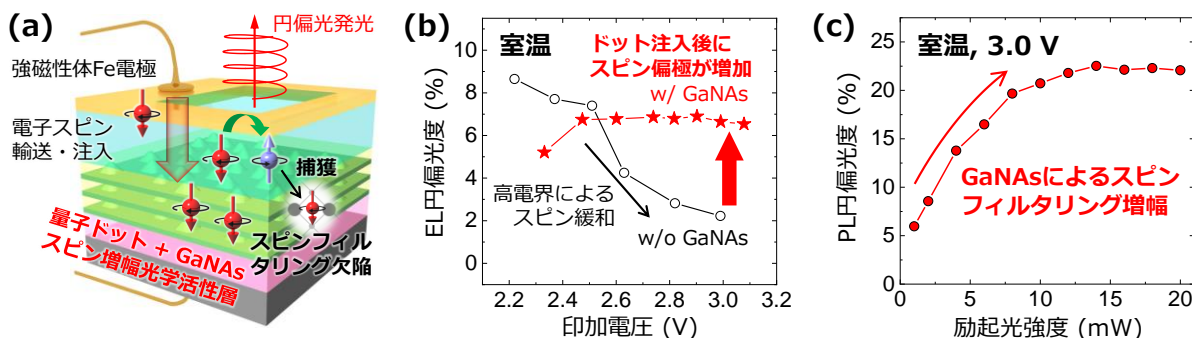


図 2 (a) 本研究で開発した量子ドットスピン LED の模式図。(b) InGaAs 量子ドットと GaNAs 量子井戸のトンネル結合構造を光学活性層に用いたスピン LED と、通常のスピン LED の EL 円偏光度の電圧依存性。(c) 3.0 V の高電圧下にて室温で得られた PL 円偏光度の励起光強度依存性。

(4) 室温で動作するスピン PD の開発

スピン PD を室温で高効率に動作させるためには、半導体中の伝導電子のスピン偏極率を高める必要がある。そこで、発光再結合チャネルとして働き電子のスピン偏極を向上できることが期待される量子ドットを用いたスピン PD を開発し、室温で円偏光受光特性を評価した。バンド構造を反映した光電流の入射光エネルギー依存性が得られたとともに、GaAs バリア受光の条件において左右円偏光受光に依存する光電流を室温で観測した。光電流と量子ドットの PL 強度の電圧依存性を詳細に評価したところ、光電流が大きく減少する電圧条件で量子ドットの PL 強度が強くなることがわかった。すなわち、量子ドットが発光再結合チャネルとして働き、スピン PD の室温性能の向上に寄与することを見出した。また、室温で伝導電子のスピン偏極を増幅できる希薄窒化物半導体 GaNAs を用いた独自のスピン PD も開発した。動作特性の温度依存性を調べたところ、温度上昇とともに光電流が減少する一方で円偏光依存光電流は増加した。この結果は、GaNAs のスピントラッキング増幅が温度上昇とともに活性化されていることを示している。

参考文献

- [1] K. Etou et al., Phys. Rev. Appl. **16**, 014034 (2021).
- [2] X. J. Wang et al., Nat. Mater. **8**, 198 (2009).
- [3] S. Sato et al., Appl. Phys. Lett. **123**, 232405 (2023).
- [4] K. Etou et al., Phys. Rev. Appl. **19**, 024055 (2023).

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 5件）

1. 著者名 A. Morita, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama	4. 巻 134
2. 論文標題 High-temperature efficient luminescence of dilute-nitride InGaAsN quantum dots with deep electron potential	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 224303:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0173207	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. Sato, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama	4. 巻 123
2. 論文標題 Effect of dilute nitride GaNAs quantum well thickness on spin amplification dynamics of tunnel-coupled InAs quantum dots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232405:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0179394	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. Park, S. Hiura, H. Kise, J. Takayama, K. Sueoka, and 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 H. Kise, S. Hiura, S. Park, J. Takayama, K. Sueoka, and A. Murayama	4. 巻 122
2. 論文標題 Electric-field driven source of photocarriers for tunable electron spin polarization in InGaAs quantum dots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232405:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0151467	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 K. Etou, S. Hiura, S. Park, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, and 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, and 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, K. Sakamoto, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka and A. 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 S. Hiura
2. 発表標題 Recent advances in opto-spintronic semiconductors based on 0D-2D hybrid nanostructures
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 S. Hiura
2. 発表標題 Room temperature operation of opto-spintronic devices based on III-V semiconductor nanostructures
3. 学会等名 The 7th QST International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 A. Morita, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama
2. 発表標題 Effective suppression of spin relaxation at room temperature in dilute nitride InGaAsN quantum dots
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week (CSW2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 森田 彩乃, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 希薄窒化InGaAsN量子ドットの円偏光発光特性; 成長温度依存性
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 A. Murayama and S. Hiura
2. 発表標題 Room temperature operation of spin-functional optical devices based on 0D-2D hybrid semiconductor nanostructures
3. 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 A. Morita, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama
2 . 発表標題 Temperature dependence of photoluminescence properties of dilute nitride InGaAsN quantum dots
3 . 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 M. Hosoe, S. Sato, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama
2 . 発表標題 Room-temperature electron spin transport to InAs quantum dots using a dilute nitride GaNAs/GaAs superlattice barrier
3 . 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 T. Hioki, K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, and A. Murayama
2 . 発表標題 Circularly polarized light detection characteristics of spin photodiode based on a dilute nitride GaNAs spin filter
3 . 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 H. Kise, S. Hiura, S. Park, J. Takayama, K. Sueoka, and A. Murayama
2 . 発表標題 Electric-field driven source of photoexcited spin carriers for tunable electron spin polarization in InGaAs quantum dots
3 . 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤 直, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 GaAsスパーサー層の成長中断を設けた多層InGaAs量子ドットの円偏光発光特性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野村 駿介, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 AlGaAsバリアに埋め込まれたInGaAs量子ドットの時間分解円偏光発光特性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田 彩乃, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 希薄窒化物半導体量子ドットの作製と光学特性の評価
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢野 龍弥, 日置 拓実, 江藤 亘平, 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 半導体量子ドットと超格子バリアを用いたスピン受光ダイオードの円偏光受光特性
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沈 承赫, 江藤 亘平, 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 半導体超格子バリアを有する量子ドットスピン偏極発光ダイオードの作製
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 紫乃, 細江 正義, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 厚さの異なる希薄窒化GaNaNs量子井戸とトンネル結合したInAs量子ドットの光スピンダイナミクス
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023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 希薄窒化GaNaNs/GaAs超格子バリアを用いたInAs量子ドットへの電子スピン輸送
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日置 拓実, 江藤 亘平, 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 希薄窒化GaNaNsスピンフィルターを用いたスピン受光ダイオードの作製
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Kise, S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, and 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 (EM-NANO 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木瀬 寛都, 朴 昭暎, 樋浦 諭志, 高山 純一, 末岡 和久, 村山 明宏
2. 発表標題 超格子バリアを用いた電界効果型量子ドット光スピンデバイスの作製
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野村 駿介, 樋浦 諭志, 高山 純一, 村山 明宏
2. 発表標題 AlGaAsバリアに埋め込まれたInGaAs量子ドットの円偏光発光特性の温度依存性
3. 学会等名 第58回応用物理学会北海道支部/第19回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Park, H. Kise, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, and 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 K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, and 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 H. Kise, S. Park, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, and A. 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 K. Etou, S. Hiura, S. Park, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, and A. 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 日置 拓実, 江藤 亘平, 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 朴 昭暎, 樋浦 諭志, 高山 純一, 末岡 和久, 村山 明宏
2. 発表標題 InAs量子ドットを用いた電界効果型光スピンデバイス特性の温度依存性
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 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GaNAAs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 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GaNAAs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 ; GaNAAs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 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 S. Izumi, S. Hiura, J. Takayama, and 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 The 22nd International Vacuum Congress (IVC-22) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 S. Sato, M. Hosoe, S. Hiura, J. Takayama, and 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 The 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 and A. Murayama
2 . 発表標題 Quantum dot spin-polarized light-emitting diodes operating at room temperature
3 . 学会等名 The 24th Hokkaido University - Seoul National University Joint Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Hiura
2 . 発表標題 Room-temperature spin-photon conversion using semiconductor quantum dot
3 . 学会等名 The 24th Hokkaido University - Seoul National University Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 樋浦 諭志
2. 発表標題 室温以上で機能する光スピントロニクス半導体の開拓
3. 学会等名 第7回北大・部局横断シンポジウム（招待講演）
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 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 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 S. Park, S. Hiura, H. Chen, J. Takayama, K. Sueoka and A. Murayama
2. 発表標題 Temperature dependence of electron-spin polarization in InGaAs quantum dot opto-spintronic 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 K. Etou, S. Hiura, J. Takayama, S. Park, A. Subagyo, K. Sueoka and 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. Sato, Y. Nakamura, S. Park, S. Hiura, J. Takayama and 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 S. Park, S. Hiura, H. Chen, J. Takayama, K. Sueoka and 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. Hiura, J. Takayama and A. Murayama
2. 発表標題 Photoelectric spin information conversion using semiconductor quantum dot
3. 学会等名 Joint Symposium of Engineering & Information Science & WPI-ICReDD in Hokkaido University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>北海道大学 大学院情報科学研究院 電子材料学研究室 https://www.ist.hokudai.ac.jp/labo/epm/ 実用に必須の室温で高電圧動作が可能なスピンLEDを実現 https://www.hokudai.ac.jp/news/2023/02/led-3.html 量子ドットを用いた光電変換で室温動作の壁を突破 光スピントロニクスのパラダイムシフトを起こす https://www.ist.hokudai.ac.jp/netjournal/net_73_1.html 室温動作スピンLEDを開発し、動作特性の支配要因を解明 https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/07/led.html</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			
スウェーデン	リンショーピン大学			
中国	中国科学院			