課題番号	:	F-21-HK-0019
利用形態	:	共同研究
利用課題名（日本語）	:	半導体量子ドットを用いた光スピン機能性素子の作製
Program Title (English)	:	Fabrication of optical spin-functional devices using semiconductor quantum dots
利用者名（日本語）	:	村山明宏, 高山純一, 樋浦諭志, 朴昭暎, 江藤亘平
Username (English)	:	Akihiro Murayama, Junichi Takayama, Satoshi Hiura, Soyoung Park, Kohei Etou
所属名（日本語）	:	北海道大学 大学院情報科学研究院
Affiliation (English)	:	Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University
キーワード／Keyword	:	リソグラフィ・露光・描画装置、スピン LED、量子ドット、開口電極

1. 概要（Summary）

次世代光デバイスへの応用が可能な実用光学性能に加えて、省エネルギー特性や電子スピンの保持にも優れた III-V 族化合物半導体量子ドットを光学活性層とする半導体量子構造を作製する。そして、電子スピン注入電極となる Fe 系強磁性薄膜の積層と微細ナノ加工を行い、電流による電子スピン注入が可能な発光ダイオード素子や、電界により量子井戸からドットへとスピンを輸送することが可能な電界効果型スピン注入素子を作製し、これらの素子におけるスピンに依存した光学特性を研究した。

2. 実験（Experimental）

【利用した主な装置】

EB 加熱・抵抗加熱蒸着装置（EBX-8C）; 電極層成膜、両面マスクアライナ（ズースマイクロテック社製：MA-6）;電極構造や光学特性測定用微細形状開口部の作製

【実験方法】

分子線エピタキシーにより作製した(In,Ga)As 量子ドット光学活性層に対して、MgO 酸化膜トンネルバリアを介した金属強磁性体 Fe 電極層を用いて電流注入型量子ドットスピン発光ダイオードを作製した。また、(In,Ga)As 量子ドットと量子井戸のトンネル結合構造からなるスピン注入型電界効果素子を作製した。特に後者においては、量子ドット内の電子のスピン偏極を高めるために、室温で伝導電子のスピン偏極を増幅できることが知られている希薄窒化 GaAs を量子井戸層に用いた。そして、これらの素子のスピン注入特性について、量子ドットにおける電流注入発光あるいは光励起発光の円偏光特性により研究した。

3. 結果と考察（Results and Discussion）

量子ドットと量子井戸のトンネル結合構造からなるスピン注入型電界効果素子において、円偏光照射により量子井戸あるいは三次元バリアに生成した励起子スピンを、電界印加によるポテンシャル変調により量子ドットへと注入輸送する、量子ドットを用いたスピン注入型電界効果素子を作製した。そして、微細構造素子における量子ドット光学活性層へのスピン注入特性を反映する、発光の円偏光特性を顕微発光分光により測定した。

その結果、測定温度や電界、励起スピン密度に依存した量子ドットの円偏光発光スペクトルを得ると共に、詳細なスペクトル解析を行った。さらに、スピン時間同時分解発光分光により、スピンダイナミクスを反映した円偏光成分の時間変化の観測を行った。そして、電界に依存した量子井戸とドットの結合ポテンシャルの変化と、その結果生じる電子スピン偏極特性について詳細な議論を行った。

4. その他・特記事項（Others）

本研究は日本学術振興会による科学研究費助成事業の支援を受けて実施された。

共同研究者：末岡和久（北海道大学）

5. 論文・学会発表（Publication/Presentation）

(1) K. Etou, S. Hiura, S. Park, K. Sakamoto, J. Takayama, A. Subagyo, K. Sueoka, and A. Murayama, “Room-Temperature Spin-Transport Properties in an In0.5Ga0.5As Quantum Dot Spin-Polarized Light-Emitting Diode”, Physical Review Applied 16, 014034:1–10 (2021).

(2) S. Park, H. Chen, S. Hiura, J. Takayama, K. Sueoka, and 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, 8561–8569 (2021).

6. 関連特許（Patent）

なし。