

課題番号 : F-15-HK-0088  
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 devices using semiconductor quantum dots  
利用者名(日本語) : 野村 譲, 明井祐人  
Username (English) : Yuzuru Nomura, Yuto Akei  
所属名(日本語) : 北海道大学 大学院情報科学研究科  
Affiliation (English) : Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

## 1. 概要(Summary)

様々な光デバイスへの応用が可能な実用光学特性に加えて、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を作製するとともにスピンの依存した光学特性を研究した。さらに、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も作製した。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

蒸着装置(ULVAC EBX-8C); 電極層成膜  
電子線描画装置(エリオニクス ERA8000FE)および  
電子線描画装置(エリオニクス ELS-3700); 電極構造  
や光学特性測定用微細形状開口部の作製  
ワイヤーボンダー(アビオニクス); 微細構造電極への  
電流注入端子の取り付け

### 【実験方法】

分子線エピタキシーで作製した InGaAs 自己組織化量子ドットからなる光学活性層に対して、MgO 酸化膜トンネルバリアを介した CoFe 金属強磁性体電子スピン電極層を用いて電子スピン注入型量子ドット発光ダイオードを作製した。また、InGaAs 量子ドットと量子井戸のエピタキシャル結合構造からなるスピン注入型電界効果素子も作製した。作製したこれらの素子のスピン注入特性を、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)

電子スピン注入型量子ドット発光ダイオードの構造や作製条件について最適化を行い、電流リークのない良好な電流電圧特性と室温条件下における高輝度電流注入発光を得ている。そして、CoFe 中の電子スピン分極を反

映したスピン偏極電流を量子ドット活性層に注入することにより、室温直下である 260 K までの温度範囲において、その電流注入発光にスピン注入を直接示す円偏光特性を得ることができた(量子ドットへの電子スピン電流注入; 電子スピン-光の情報変換機能)。得られた円偏光特性の解析より、260 K において、CoFe で生成された電子スピン分極の 16%程度が量子ドットへと輸送注入され円偏光発光に寄与していることがわかった。

また、円偏光照射により量子井戸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新しいタイプのスピン注入型電界効果素子の作製を行った。そして、量子ドットからの発光における円偏光特性に、特異な電界依存性が生じることを観測した。

## 4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:

村山明宏 北海道大学 大学院情報科学研究科

高山純一 北海道大学 大学院情報科学研究科

・本研究は学術振興会による二国間交流事業共同研究の支援を受けています。

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) Y. Nomura et al., "Temperature dependences of spin-injection dynamics and spin-polarized electro-luminescence in InGaAs quantum dots", 47th International Conference on Solid State Devices and Materials, PS-12-19, September 29 (2015), Sapporo, Japan.

(2) 明井祐人 他, "InGaAs 量子ドットへの電流スピン注入による円偏光発光の温度依存性", 第 76 回応用物理学会秋季講演会, 14a-2B-2, 9 月 14 日 2015 年, 名古屋

## 6. 関連特許(Patent)

なし。