

## 【基盤研究(S)】

理工系 (工学)



### 研究課題名 量子ドットによる光電スピン情報変換基盤の構築

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

むらやま あきひろ  
村山 明宏

研究課題番号：16H06359 研究者番号：00333906

研究分野：電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料(半導体、磁性体)、薄膜・量子構造、作成・評価技術

#### 【研究の背景・目的】

温度に依存しないレーザ発振特性など優れた光学特性を示し超低消費電力光デバイスへの応用が期待される III-V 族化合物半導体量子ドットに対して、室温で動作可能な金属強磁性体電子スピン電極から、電子スピンを電流輸送し注入する。量子ドットでは電子のスピン緩和時定数が発光減衰時定数より十分長いという利点があるため、量子ドットに注入された電子のスピン偏極状態は、光電変換過程において発光の円偏光特性に直接、情報メディア変換される。

本研究では、量子ドットの結合励起状態を活用した超高速電子スピン注入と半導体誘電バリア層中のスピン輸送などを研究し、電子スピン情報を円偏光に変換するスピン偏極発光ダイオード (図 1) を作製していく。また、電子スピンと円偏光の結合共振器ナノ構造や、円偏光増幅レーザと円偏光受光スピン偏極ダイオードに関する基礎特性も研究する。

これらにより、将来的に電子スピン情報の光インターコネクションを目指す、量子ドットによる光電スピン情報変換システムの基盤を構築していく。

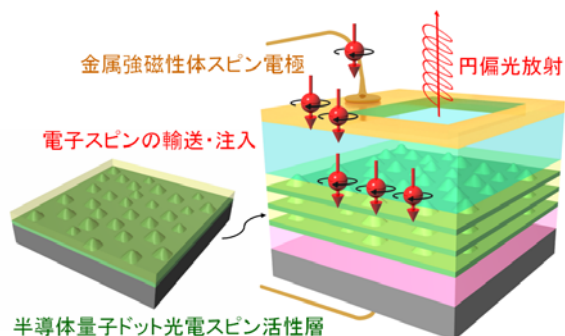


図 1 量子ドットを用いる光電スピン変換素子の模式図

#### 【研究の方法】

実用光デバイス材料である III-V 族化合物半導体量子ドットに対して、室温動作が可能な金属強磁性体スピン電極から、スピン偏極電子を輸送注入する。特に、量子ドットを用いた光電スピン変換活性層において、これまで研究を行ってきた二次元電子系との結合構造 (図 2) を活用することにより、電子スピンの高効率捕獲とピコ秒領域の超高速スピン注入を実現する。また、半導体バリア層における電流スピン輸送の研究を行い、電子スピン状態の円偏光への変換効率を高めつつ室温動作を目指すスピン偏極発

光ダイオードの研究を推進する。このため、量子ドットに対する注入操作と注入後の電子スピン状態の熱的安定性に関する研究を行い、その結果を基にした結合量子ドット構造を設計作製していく。また、電子スピンと円偏光電場の結合を高めるための光共振器ナノ構造を作製するとともに、円偏光を増幅可能なレーザ素子や円偏光を電子スピン情報に変換するための円偏光受光スピン偏極ダイオードの基礎特性に関する研究も行っていく。

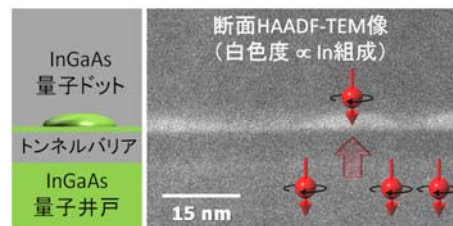


図 2 二次元電子系と結合したトンネルスピン注入型 InGaAs 量子ドットの模式図と断面 TEM 写真

#### 【期待される成果と意義】

電子スピン電極と接続する二次元電子系からゼロ次元量子点へのスピン波動関数の時空間連続性や熱浴との相互作用によるエネルギー緩和は、量子ドットへの電子スピンの輸送注入において本質的であり、物質科学の重要な知見となる。また、本研究の成果として期待される室温で動作可能な光電スピン情報変換機能により、これまで基礎的な研究に留まっていた半導体光スピントロニクスへの応用が可能になる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ X.-j. Yang et al., "Ultrafast spin tunneling and injection in coupled nanostructures of InGaAs quantum dots and quantum well", Applied Physics Letters **104**, 01240:1-4, 2014.
- ・ T. Yamamura et al., "Growth-temperature dependence of optical spin-injection dynamics in self-assembled InGaAs quantum dots", Journal of Applied Physics **116**, 094309:1-7, 2014.

#### 【研究期間と研究経費】

平成 28 年度 - 32 年度 142,500 千円

#### 【ホームページ等】

<http://www.ist.hokudai.ac.jp/labo/processing/murayama@ist.hokudai.ac.jp>