

【基盤研究(S)】

総合・新領域系（複合新領域）



研究課題名 量子ドットスピンレーザー

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

研究分野：複合新領域

キーワード：ナノ構造作製、量子ドット、ナノ光デバイス、スピンデバイス

【研究の背景・目的】

スピンレーザーとは、固体電子回路中の電子スピン情報を光の円偏光特性に変換し、その偏光情報を保ったコヒーレント光を放出する光デバイス（レーザー素子）です。すなわち、このスピンレーザーは、量子情報エレクトロニクスにおいて将来重要になる固体の電子スピン状態を、光の偏光特性に変換するコヒーレント光源です。一方、半導体量子ドットにおいては、電子スピン状態の緩和が顕著に抑制され、数 ns 以上にわたって電子スピン状態が維持されることが知られています。したがって、レーザー活性媒体として半導体量子ドットを用いることにより、レーザー発振中におけるスピン情報の散逸・消失を防ぐことが可能になります。

そこで、このような背景を踏まえて、固体電子回路における電子スピン情報を光伝送するための新しい光デバイスであるスピンレーザーの実現を目指した、レーザー活性媒体に半導体量子ドットを用いる「量子ドットスピンレーザー」の研究を行います（図 1 参照）。

本研究の目的としては、まず、室温動作可能な金属強磁性体ナノ構造を用いた電子スピン注入電極を作製します。さらに、このスピン電極から、レーザー活性領域にある半導体量子ドット層に対して、スピン偏極電子を高効率に注入するための研究を行います。特に、欠陥や不純物による電子散乱により電子のスピン状態は容易に緩和することが知られているため、注入時のスピン緩和を十分抑制することが可能な高品質の原子層制御エピタキシャル界面の形成を目指します。以上により、量子ドットスピンレーザーを実現するための物理的機構を明らかにします。

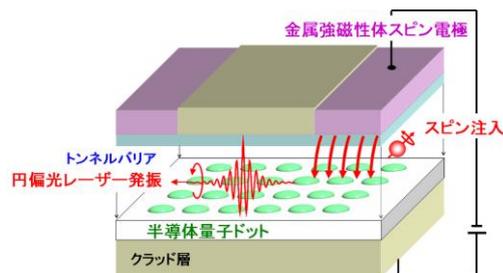


図 1 金属強磁性体電極と半導体量子ドット活性層を持つ量子ドットスピンレーザーの構造を示す模式図

【研究の方法】

まず、Fe や Co などの金属強磁性体の微細加工を行い、量子ドットと位置整合するナノ構造電子スピン注入電極を作製します。次に、この磁性体ナノスピン電極から III-V 族化合物半導体量子ドット層に対してスピン偏極電子を高効率に注入するため、注入時のスピン緩和を十分抑制することができる半導体と金属磁性体の原子層制御無欠陥エピタキシャル接合界面の形成に関する研究を行います。さらに、量子ドットに対するスピン偏極電子のトンネル現象に関する研究を行い、スピン緩和時間に対して十分高速となる電子スピン注入プロセスを実現していきます。

【期待される成果と意義】

スピン機能性光デバイス群の創出に向けて、電子のスピン状態を反映したコヒーレント光を発振する量子ドットスピンレーザーを実現するための物理的機構を明らかにする点が、本研究で期待される主要な成果です。半導体表面における磁性体金属の無欠陥エピタキシャル成長プロセス、二次元電子系と量子ドットの結合構造におけるスピン依存波動関数の接続、状態密度が離散化された量子ドットに対するスピントンネル現象については現時点では未だ十分に解明されておらず、学術面における本研究の重要な意義と言えます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ A. Murayama, T. Asahina, K. Nishibayashi, I. Souma, and Y. Oka, “Efficient spin injection into self-assembled quantum dots via LO-phonon-assisted resonant electron tunneling”, *Appl. Phys. Lett.* **88**, 023114 (2006).
- ・ A. Murayama, T. Furuta, K. Hyomi, I. Souma, Y. Oka, D. Dagnelund, I. A. Buyanova, and W. M. Chen, “Dynamics of exciton-spin injection, transfer, and relaxation in self-assembled quantum dots of CdSe coupled with a diluted magnetic semiconductor layer of $\text{Zn}_{0.80}\text{Mn}_{0.20}\text{Se}$ ”, *Phys. Rev. B* **75**, 195308 (2007).

【研究期間と研究経費】

平成 22 年度 - 26 年度
150,800 千円

【ホームページ等】

<http://mars-ei.eng.hokudai.ac.jp/>