

半導体量子ドットにおけるスピンドイナミクスと光デバイスへの応用

Spin Dynamics in Semiconductor Quantum Dots and Application to Optical Devices

北大院情報科学 村山 明宏

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido Univ., Akihiro Murayama

E-mail: murayama@ist.hokudai.ac.jp

InAs 系など III-V 族化合物半導体の自己組織化量子ドットは結晶性と光学特性に優れ、超低消費エネルギーのレーザ素子など、将来の光デバイス材料として注目され実用化も始まっている[1]。一方、半導体中の電子スピン状態に関しては多くの研究が行われてきたが、特に室温領域でのスピンの緩和現象が顕著であるため、デバイスへの応用は進んでいない。これに対して、半導体量子ドットでは電子が強く閉じ込められ、そのスピン状態は比較的安定に保たれる[2]。そのため、量子ドットにおける電子のスピン緩和機構に興味を持たれるとともに、スピン状態を利用する半導体デバイスへの応用を目指した研究も進められている。スピンは時間に依存する電子の状態であり、そのダイナミクスに関する研究は本質的である。

本講演では、まず III-V 族化合物半導体量子ドットにおける電子や励起子のスピン緩和に関する研究について紹介する。特に、InGaAs 自己組織化量子ドットの構造（形状やサイズ、密度や作製方法など）に対するスピン緩和現象とその緩和機構などの議論を行う[3-6]。そして、このような III-V 族化合物半導体量子ドットの優れた光学特性と、室温領域まで比較的安定な電子スピン状態を生かした光デバイスへの応用について議論したい。

光デバイスへの応用に関しては、電子のスピン状態を直接反映する発光の円偏光特性を得ることができるスピン発光ダイオードやスピンレーザが研究されている[7]。光電融合電子回路は今後の超低消費電力情報システムとして大きな期待が持たれており、光学特性の熱的安定性に優れた量子ドットに電子スピンの機能性を賦与することは魅力的である。この場合の研究課題として、(i) 強磁性体スピン電極から量子ドットへのスピン状態を保持した電子の輸送注入、(ii) 室温におけるスピン機能性光電変換、(iii) スピンの選択増幅が可能なレーザ素子の開発などが挙げられる。(i)に関しては、層状構造を持つ発光ダイオードなどの量子ドット光学活性層におけるスピンの高効率捕獲とそれに続くスピンを保持した注入を意図して、量子井戸などの二次元電子系とトンネル結合した量子ドットの研究を進めている[8-10]。半導体バリア層中での電子のスピン状態はピコ秒の時間領域で刻一刻と緩和するため、通常用いられる電子障壁層の利用ではドットへの注入前にスピンの緩和が顕著に起きてしまう。井戸からドットへは次元性の異なる量子構造間のトンネル現象により、90 %以上のスピン状態を保持したまま時定数 10 ps 程度以下の超高速スピントンネルが可能である。また、このスピントンネルダイナミクスは温度の影響を受けないことがわかった。

参考文献

- [1] M. Sugawara and M. Usami, Nat. Photon. **3**, 30 (2009).
- [2] S. Cortez et al., Phys. Rev. Lett. **89**, 207401 (2002).
- [3] T. Kiba et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 082405 (2013).
- [4] T. Yamamura et al., J. Appl. Phys. **116**, 094309 (2014).
- [5] Y. Puttisong et al., Appl. Phys. Lett. **105**, 132106 (2014).
- [6] Y. Q. Huang et al., Appl. Phys. Lett. **106**, 093109 (2015).
- [7] M. Holub et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 146603 (2007).
- [8] X.J. Yang et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 012406 (2014).
- [9] S.L. Chen et al., J. Appl. Phys. **119**, 115701 (2016).
- [10] S.L. Chen et al., Appl. Phys. Lett. **108**, 152103 (2016).