

希薄窒化 GaAs と InAs 量子ドットのトンネル結合構造におけるスピンドYNAMICS

Spin dynamics in tunnel-coupled structure of dilute nitride GaAs and InAs quantum dots

北大院情報科学 ○佐藤紫乃, 中村裕人, 朴昭暎, 樋浦諭志, 高山純一, 村山明宏

Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido Univ.

°S. Sato, Y. Nakamura, S. Park, S. Hiura, J. Takayama, and A. Murayama

E-mail: sshino@eis.hokudai.ac.jp

III-V族半導体量子ドット(QD)は、発光デバイスとして優れた光学特性[1]を有すると同時に、三次元量子閉じ込め効果によりキャリアのスピンの緩和を大きく抑制できることが知られており[2]、電子のスピンの偏極を光の円偏光に変換するスピン機能光デバイスの光学活性層への応用が期待されている。しかし、室温では QD に閉じ込められたキャリアが周囲のバリアに熱励起され、D'yakonov-Perel'機構によりスピンの偏極が緩和したキャリアが QD へと再注入することで、QD における電子のスピンの偏極度が低下するという課題がある[3, 4]。そこで、室温での QD のスピンの偏極度を向上させるため、希薄窒化ガリウムヒ素(GaNAs)のスピンフィルタリング効果に着目した。GaNAs では、Ga 原子空孔に起因した深い局在準位がバンドギャップ内に形成され、伝導帯の少数個スピンを効率的に捕獲し、室温で伝導電子のスピンの偏極が増幅される[5]。本研究では、室温でスピンフィルタリング層として機能する GaNAs を QD 発光層とトンネル結合させ、QD に注入する電子のスピンの偏極度を高めることで QD の室温での発光円偏光度(CPD)の向上を図った。

InAs QD と GaNAs が GaAs バリアを介してトンネル結合した試料を、高周波窒素プラズマ支援分子線エピタキシーにより作製した。トンネルバリア厚 d は 3 nm と 10 nm とした。試料表面に成長した QD の構造評価により、QD 面内密度は $2.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ と推定された。光スピン特性は、円偏光時間分解 Photoluminescence(PL)を用いて評価した。発光の CPD は、励起レーザーと同じ円偏光を持つ PL 強度 I_{σ^+} と反対の円偏光を持つ PL 強度 I_{σ^-} を用いて、 $\text{CPD} = (I_{\sigma^+} - I_{\sigma^-}) / (I_{\sigma^+} + I_{\sigma^-})$ と定義される。図 2 に $d = 3, 10 \text{ nm}$ の各試料において室温で取得した円偏光 PL スペクトルと発光の CPD を示す。1.25 eV のピークは GaNAs の発光、低エネルギー側のピークは InAs QD の発光である。 $d = 3 \text{ nm}$ の試料において、最大 30% の CPD を観測し、 $d = 10 \text{ nm}$ の試料より高くなった。これは、GaNAs と QD が強く結合することで、GaNAs でスピンの偏極が高められた電子が QD に高効率にトンネル注入するだけでなく、InAs QD から GaNAs へ少数個スピンの選択的に移動・除去されたためであることを明らかにした[6]。

References:

- [1] Y. Yang et al., Nat. Photonics **9**, 259 (2015). [2] M. Paillard et al., Phys. Rev. Lett. **86**, 1634 (2001). [3] S. Hiura et al., Phys. Rev. Appl. **14**, 044011 (2020). [4] S. Sato et al., J. Appl. Phys. **127**, 043904 (2020). [5] X. J. Wang et al., Nat. Mater. **8**, 198 (2009). [6] Y. Huang et al., Nat. Photonics **15**, 475 (2021).

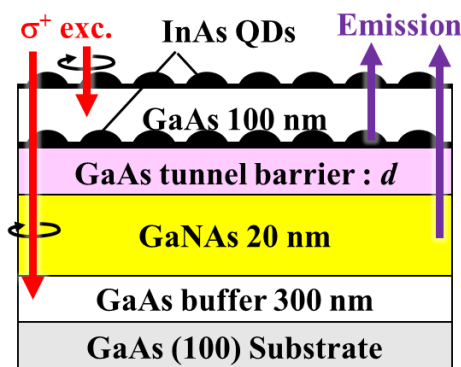


Fig. 1 Schematic of InAs QD-GaNAs tunnel-coupled structure. The red and purple arrows indicate excitation and emission light, respectively.

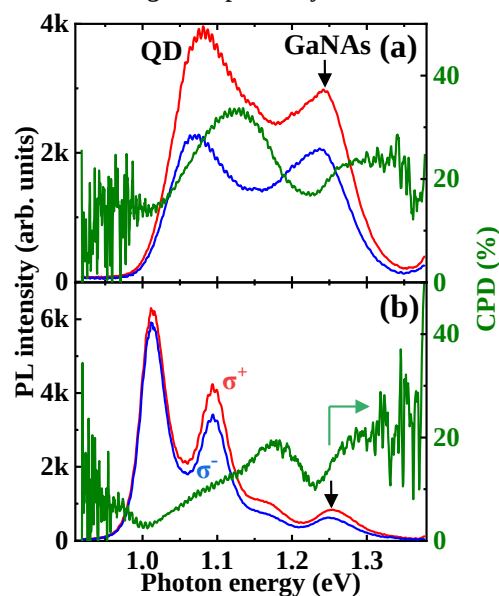


Fig. 2 Circularly polarized PL spectra of InAs QD-GaNAs tunnel-coupled samples with GaAs tunnel barrier thicknesses of (a) 3 nm and (b) 10 nm at room temperature.