

InGaAs 量子ドット/井戸結合構造におけるドット間の波動関数結合状態 Interdot wavefunction coupling in InGaAs based quantum dot-well coupled structure

○高山 純一¹、樋浦 諭志¹、木場 隆之²、村山 明宏¹ (1. 北大院情報科学、2. 北見工大)

○Junichi Takayama¹, Satoshi Hiura¹, Takayuki Kiba² and Akihiro Murayama¹

(1. IST, Hokkaido Univ., 2. Kitami Inst. of Technol.)

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

III-V 族化合物半導体の量子ドット (QD) では、電子や励起子のスピン状態の緩和が抑制される。しかし、QD のスピン機能性を生かした光デバイスへの応用のためには、QD での高効率のスピン捕獲を図るとともにスピン注入時の緩和も抑制する必要がある。我々は、QD への高速なスピン注入が可能な量子ドット/量子井戸結合構造に注目し、量子井戸 (QW) から QD へのトンネル効果によるスピン注入を研究してきた [1, 2]。今回、QD/QW 結合構造における QD 間の電子の波動関数結合状態に着目し、特に QW 膜厚依存性について研究した。

半導体ナノデバイスシミュレーター nextnano³[3] を用いて、3次元空間にてポアソン方程式および有効質量近似法によるシュレーディンガー方程式を解き、バンド構造やエネルギー固有値、波動関数を求めた。使用したモデルは、GaAs 中の2つの In_{0.5}Ga_{0.5}As QD と 8 nm のトンネルバリアを介して QD と結合する In_{0.1}Ga_{0.9}As QW (厚さ 0, 6, 10, 20 nm) からなる。我々の表面および断面方向の QD 構造解析の結果から、QD 底部の直径を 20 nm、高さ 4.3 nm、QD 中心間距離を 60 nm とし、底部に 1 nm 厚のぬれ層を配置した。

結合ナノ構造 (QW 厚 20 nm) の伝導帯バンド構造とエネルギー固有値、波動関数の存在確率の計算結果を Fig. 1 に示す。Fig. 1(a) は積層方向の結果であり、基底状態では電子の波動関数が QD に局在しているが、励起状態では QW と QD の波動関数が結合している。Fig. 1(b) は面内方向の結果であり、基底状態では片方の QD に局在しているが、励起状態では2つの QD の中心間距離が 60 nm と離れているにもかかわらず、QD 間で強く結合していることがわかった。同様の結合構造を実際に作製し、時間分解発光分光を行い、波動関数の結合に起因する電子のドット間移動を観測した。以上の結果を元に、QW 膜厚が面内方向の QD 間の電子の波動関数の結合状態に与える影響について議論する。

References:

- [1] X. J. Yang et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 012406 (2014).
- [2] S. L. Chen et al., J. Appl. Phys. **119**, 115701 (2016).
- [3] S. Birner et al., IEEE Trans. Electron Dev. **54**, 2137 (2007).

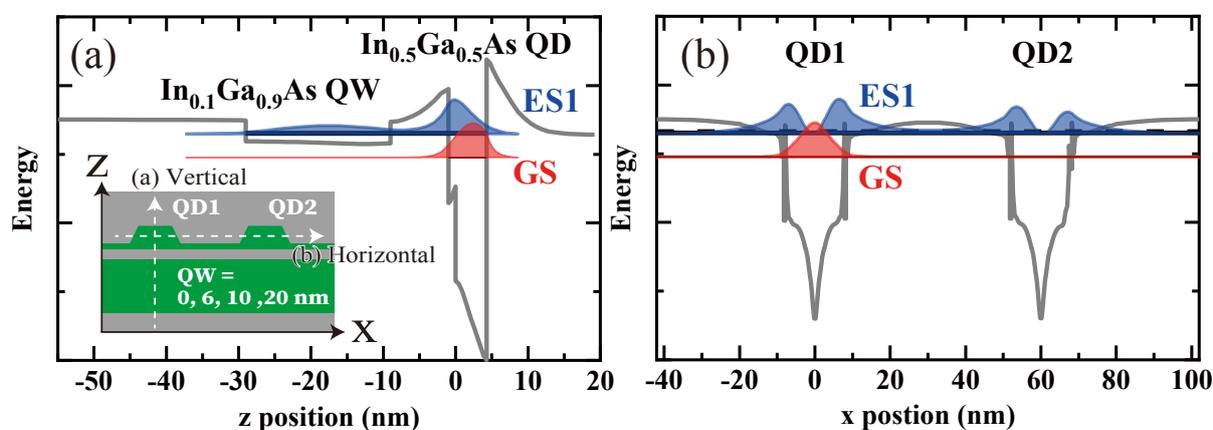


Fig 1: Conduction band profiles with the existence probabilities of electron wavefunction at ground state (GS) and first excited state (ES1) along (a) vertical and (b) horizontal direction for the InGaAs QD/QW coupled layered structure