

InGaAs 量子井戸から量子ドットへの トンネル効果によるスピン注入ダイナミクス； トンネル障壁厚さ依存性

Spin-injection dynamics via tunneling from InGaAs quantum wells
into quantum dots; dependence of tunneling-barrier thickness

北大院情報科学 ○山村 隆文, 楊 暎傑, 木場 隆之, 高山 純一

Agus Subagyo, 末岡 和久村山 明宏,

○Takafumi Yamamura, Xiaojie Yang, Takayuki Kiba, Junichi Takayama

Agus Subagyo, Kazuhisa Sueoka, Akihiro Murayama

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

近年、電子のスピン特性を活用する光デバイスの研究が行われている。この研究には、強い量子閉じ込め効果により電子の運動量が凍結され、その結果、電子のスピン緩和が抑制される III-V 族化合物半導体自己組織化量子ドットが有用である。この場合、電極層や量子井戸などの 2 次元電子系から、電子の波動関数が完全に局在する量子ドットに対してスピン偏極した電子を注入する必要がある、両者間で波動関数を接続できるトンネル効果の利用が考えられる。^[1] 本研究では、GaAs トンネル障壁を介して $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 量子井戸から $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 自己組織化量子ドットに対して電子スピン注入を行い、時間分解円偏光 PL 測定によりそのスピン注入ダイナミクスの障壁厚さ依存性などを調べた。

本研究で作製した $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 量子井戸と $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 量子ドットからなるトンネル結合試料のバンド構造を図 1 に示す。量子井戸を円偏光で選択的に共鳴励起してスピン偏極キャリアを生成し、GaAs トンネル障壁を介して量子ドットへとスピン注入する。この試料の量子ドットからの時間分解円偏光 PL の障壁厚さ依存性を図 2 に示す。ここで円偏光 PL 強度 ($I_{\sigma^+}, I_{\sigma^-}$) を用いて、円偏光度 $\text{CPD} = (I_{\sigma^+} - I_{\sigma^-}) / (I_{\sigma^+} + I_{\sigma^-})$ を定義した。障壁厚さ 8 nm の場合、障壁厚さ 4 nm に比べて、スピン注入初期に見られる円偏光度が小さいことがわかる。これは、トンネル障壁が厚い場合量子ドットへの電子のトンネル速度が遅く、量子井戸からドットへの majority スピンの注入が制限されるパウリブロッキング効果が働くためである。これに対して、minority スピンは制限を受けずに注入されるため、結果としてドットに注入されたスピンの分極率すなわち円偏光度は低下する。

[1] X.J. Yang, et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 012406 (2014).

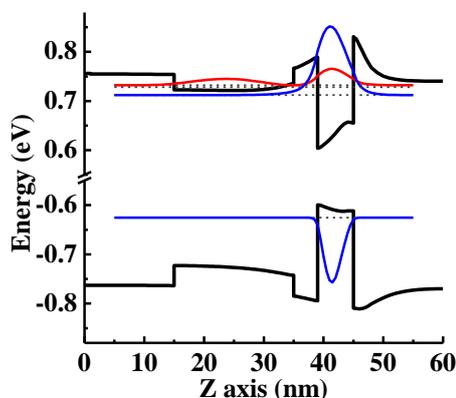


図 1: $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 量子井戸と $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 量子ドット結合試料のバンド構造とキャリアの存在確率計算結果 (青実線; 基底状態, 赤実線; 電子の第 1 励起状態状態, 点線は固有値) を示す。

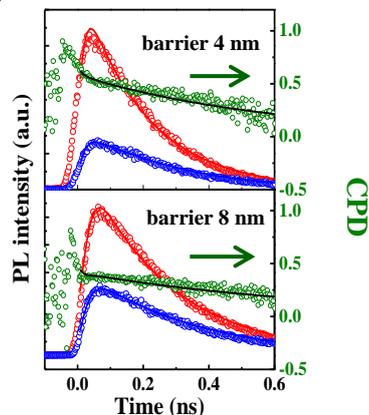


図 2: GaAs トンネル障壁厚 4 nm, 8 nm の試料における量子ドットからの時間分解円偏光 PL スペクトル (実線はレート方程式によるフィッティング結果)