

InGaAs 量子ドット結合励起状態における集団的なスピンの緩和現象

Relaxation phenomenon of spin ensemble at coupled excited states of InGaAs quantum dots

北大院情報科学¹, 北見工大²

○樋浦諭志¹, 高山純一¹, 木場隆之², 村山明宏¹

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

○S. Hiura¹, J. Takayama¹, T. Kiba², and A. Murayama¹

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

近年、電子の電荷とスピンの両方の性質を利用する光スピントロニクスに関する研究が注目を集めている。そこで、三次元量子閉じ込め効果により電子スピン状態を長時間保持できる半導体量子ドットに関心が集まり、特に発光強度と光学利得の観点から高密度量子ドットのスピンドायナミクスに関する研究が盛んに行われている[1]。量子ドットの高密度化に伴い、ドット間の波動関数が結合し、ドット間でのキャリアトンネルにより量子ドット集合状態の光学特性が大きく変化する[2]。そのため、高密度量子ドットを用いたスピン光デバイスの実現には、ドット間のスピントンネル現象とそれが誘起する光スピン特性への影響を明らかにする必要がある。本研究では、自己組織化成長法により作製した InGaAs 結合量子ドットのスピン緩和ダイナミクスに対するドット間スピントンネル効果を時間分解円偏光 Photoluminescence (PL)測定により研究した。

図 1(a), (b)にスペーサー層厚 d_{sp} の異なる 3 層の量子ドット試料における GaAs バリア層を σ^+ 円偏光励起した場合の、これらの量子ドット励起状態における円偏光 PL の時間変化を示す。ここで、円偏光 PL 強度($I_{\sigma^{\pm}}$)を用いて、円偏光度 CPD = $(I_{\sigma^+} - I_{\sigma^-}) / (I_{\sigma^+} + I_{\sigma^-})$ を定義した。スペーサー層厚すなわち垂直方向におけるドット間の波動関数結合の強さの違いにより、円偏光度の減衰に違いが見られる。これらの円偏光時間分解 PL について、ドット間のスピントンネル効果を考慮したレート方程式解析をおこなった。 $d_{sp} = 20$ nm の試料ではドット間の結合が弱く、スピン緩和は個々のドット内で生じていることがわかった (緩和時定数: $\tau_s = 0.37$ ns)。一方、 $d_{sp} = 8$ nm の試料では多数個スピン状態が十分充填されている場合、少数個スピンは励起状態間の結合によりエネルギーの低い状態に選択的に緩和する。その結果、励起状態での多数個スピン分極率の選択的増幅が生じ、集団的なスピンの緩和が抑制されることがわかった (緩和時定数: $\tau_s = 0.92$ ns)。

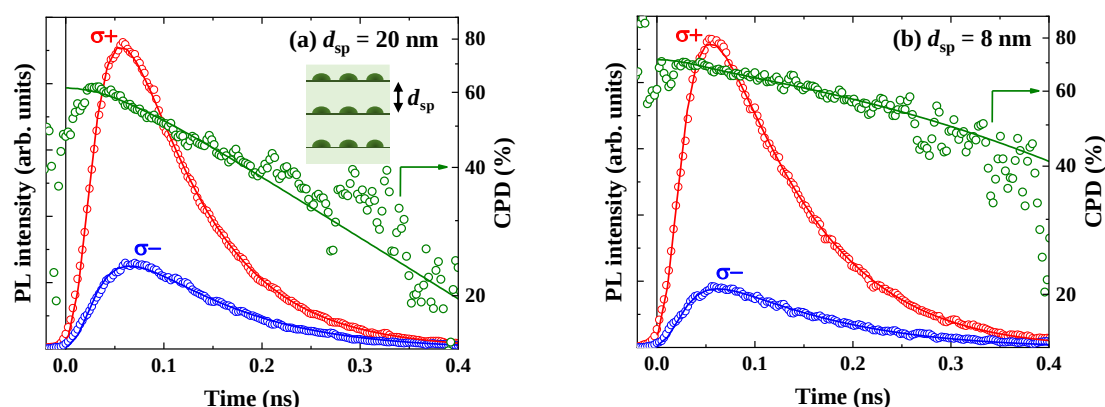


Fig. 1. (a) Circularly polarized transient PL and corresponding CPD obtained at 6 K for excited states of three layers of QDs with a GaAs spacer thickness $d_{sp} =$ (a) 20 nm and (b) 8 nm. The solid lines indicate the best fitted calculations of rate equations that take into account an effective interdot spin transfer time.

References:

- [1] T. Yamamura et al., J. Appl. Phys. **116**, 094309 (2014).
- [2] A. Tackeuchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **34**, L1439 (1995).