## 半導体量子ドットでの核スピン分極の第3安定状態と3重安定性 Third Stable State and Tristability of Nuclear Spin Polarization in Single Quantum Dots 北大院工<sup>1</sup>,山本壮太<sup>1</sup>,鍜治怜奈<sup>1</sup>,笹倉弘理<sup>1</sup>,○足立智<sup>1</sup> Grad. Sch. Eng., Hokkaido Univ.<sup>1</sup>, S. Yamamoto<sup>1</sup>, R. Kaji<sup>1</sup>, H. Sasakura<sup>1</sup>, <sup>O</sup>S. Adachi<sup>1</sup> E-mail: adachi-s@eng.hokudai.ac.jp

QD に代表されるナノ構造では,超微細相互作用 (HFI) を介して1個の電子スピンと10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup> 個の核スピン集団が強く結合し,Overhauser Field (核磁場)と Knight Field として電子スピンと核ス ピン分極にそれぞれ影響し,2つのスピン系は相互に発展していく.従って,QDの様なスピン結 合系では互いのデコヒーレンスが伝搬し合うというネガティブな側面と相互に分極を制御できる というポジティブな側面が共存する.電子スピン制御を介しての微細操作が核スピン系にも可能 なはずであるが,この複雑な物理の為にその量子状態制御は未だ研究途上である[1-3].量子状態 制御や量子メモリ等の実現の為には、ナノ構造での電子・核スピン結合系固有の複雑な物理を解 明していく必要がある.

本発表では、これまで2つの 安定状態しかないと実験的・理 論的に検証されてきた NSP に第 3の安定状態が核磁場揺らぎが 誘起する電子スピン緩和を介し て出現することを実験およびモ デル計算によって示す [4]. 図1 上段は、縦磁場下で自己集合単 - In<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>As/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As QD を $\sigma^+$ 励起した際の発光スペクト ルから求めた Overhauser シフト ( $\Delta_{OS}$ )の実験結果である.多くの QD では (b) に示す様に、双安定 性(従って2つの安定状態)を示 すが, (a) の様に2つの励起強度



図 1: (a), (b) 異なる QD での  $\sigma^+$  励起での Overhauser シフト ( $\Delta_{OS}$ ) の励 起強度依存性. (c)-(e):新規モデルでの  $\tau_c$  のみを変えた計算例.  $f_e$  は QD に不対電子が在る確率. (a) は (c) に, (b) は (e) に対応.

領域で双安定現象を示す QD も観測された. この事実は,NSP( $I_z$ )の安定状態が3つあることを明確に示しており,従来研究での( $I_z$ )の安定状態は2つであるという結果を覆すものである. そこで 我々は従来モデル [5] では考慮されていない (i) 核磁場揺らぎ ( $B_f \sim 40 \text{ mT}$ )と (ii) HFI による ( $I_z$ )形成の反作用としての2つの電子スピン緩和の効果を取り入れた新規モデルを構築した [図1下段]. 実験結果 (a) は計算結果 (c) に,同様に (b) は (e) に対応すると考えている. モデル計算からは,核 磁場揺らぎの効果により第3安定状態 [(a) の Mid. 状態] が出現し,(ii) の電子スピン緩和を考慮す ることでより定量的な議論が可能であることが分かった. また QD パラメータによっては,(d) の 様に NSP は3 重安定性を示すことが示唆される. 詳細は講演に譲る.

[1] M. Munsch, G. Wüst, A. V. Kuhlmann, F. Xue, A. Ludwig et al. Nat. Nanotech. 9, 671-675 (2014).

[2] D. A. Gangloff, G. É-Majcher, C. Lang, E. V. Denning, J. H. Bodey et al., Science 364, 62-66 (2019).

[3] E. A. Chekhovich, S. F. Covre da Silva, and A. Rastelli, Nat. Nanotech. 15, 999-1004 (2020).

[4] S. Yamamoto, R. Kaji, H. Sasakura, and S. Adachi, Phys. Rev. B 101, 245424/1-8 (2020).

[5] B. Urbaszek, X. Marie, T. Amand, O. Krebs, P. Voisin et al., Rev. Mod. Phys. 85, 79-133 (2013).