

# 単一 InAlAs 量子ドットでの電子・核スピン相関時間の磁場依存性

## Magnetic field dependence of electron-nuclear spin correlation time in a single InAlAs quantum dot

北大院工<sup>1</sup> ○李 梓榕<sup>1</sup>, 山本 壮太<sup>1</sup>, 鍛冶 怜奈<sup>1</sup>, 足立 智<sup>1</sup>  
 Grad. Sch. Eng., Hokkaido Univ.<sup>1</sup> ○Z.R. Li<sup>1</sup>, S. Yamamoto<sup>1</sup>, R. Kaji<sup>1</sup>, S. Adachi<sup>1</sup>  
 E-mail: [zirong.li.i5@elms.hokudai.ac.jp](mailto:zirong.li.i5@elms.hokudai.ac.jp)

接触型の超微細相互作用(HFI)が増強される量子ドット(QD)の電子-核スピン結合系では、スピン選択的に光注入される不對電子が HFI により動的核スピン分極(NSP,  $\langle I_z \rangle$ )を引き起こす。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ポジティブな側面が共存する。電子スピン制御を介した微細操作が核スピン系にも可能と考えられるが、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]。

電子と核スピンの結合系ダイナミクスを理解するために、NSP の計算では必須のパラメータである HFI の相関時間 $\tau_c$ を議論することはとても意義深い。 $\tau_c$ の導入により、理論上ではエネルギー保存則を破ることなく NSP を形成できる一方、 $\tau_c$ は形成可能な NSP に上限を課す。

最近、2つのみと考えられてきた NSP の安定状態に3つ目の安定状態(Mid.-branch)が存在することが実験から示された[2]。図1(a)は、単一 In<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>As / Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 自己集合 QD における Overhauser シフト $\Delta_{OS}$  ( $\propto$  NSP)の励起強度 $P_{exc}$ 依存性の測定結果である。6 K の下、試料に縦磁場 $B_z$  ( $\leq 5$  T)を印加した。 $B_z$ を3.5 T から4.5 T へ増加させると、ヒステリシスループ (HL)の数がシングル (SHL, I), からダブル (DHL, I, II)に増える様子が観られた。しかしながら、 $\tau_c$ を定数として扱った従来の計算では、Mid.-branch は大きな HL (ループI)の内部に取り込まれるため(図1(b)),  $B_z$ の増加に伴う DHL の出現が再現できない。そこで、 $\tau_c$ が磁場(もしくは核磁場までを含めた"有効磁場")依存性を持つと仮定し、その関数として NSP に対するガウス分布を従来モデルに導入した。その結果、図1(c)の青網掛け領域のように DHL を再現できた。また、従来モデルだけではなく、本研究で導入した $\tau_c$ の磁場依存性を取り入れたモデル計算においても、NSP の三重安定現象の実現可能性を示すことができた。仮定した $\tau_c$ の磁場依存性は、特定の材料や閉じ込め構造に依存したメカニズムは含まないため、HFI を介した電子-核スピン結合系に本来備わっている性質であると考えられる。

[1] D. A. Gangloff *et al.*, *Science* **364**, 62 (2019), *Nat. Phys.* **17**, 1247 (2021).

[2] S. Yamamoto *et al.*, *PRB* **101**, 245424/1-8 (2020), *JJAP* **60**, SBBH07/1-4 (2021).

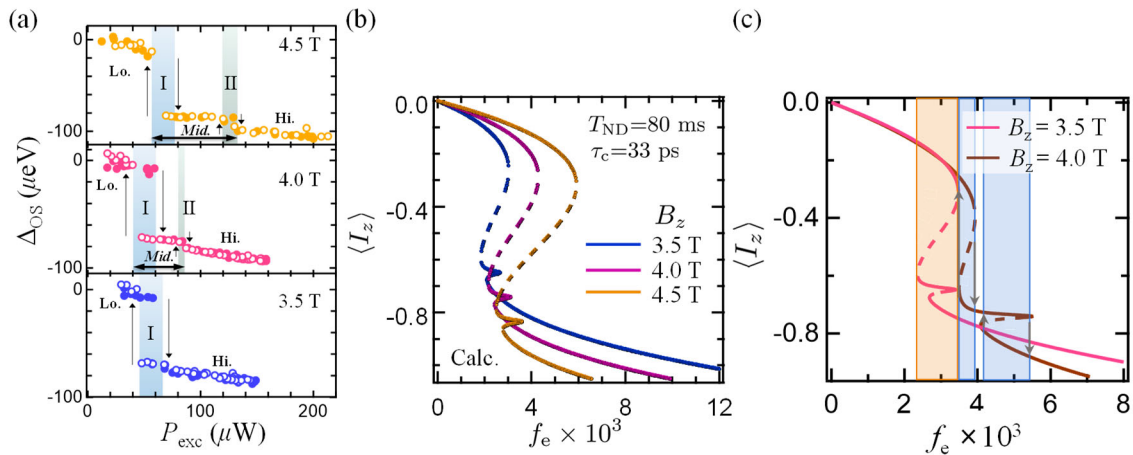


図1 (a)  $B_z = 3.5$  T, 4.0 T, 4.5 T における Overhauser シフト $\Delta_{OS}$ の励起強度 $P_{exc}$ 依存性. (b)  $\tau_c$ を定数として扱ったモデルでの計算結果. QD 内に不對電子が滞在する確率 $f_e$  ( $\propto P_{exc}$ )を変えている. 点線は不安定解に対応している. (c)  $\tau_c$ の磁場依存性を取り入れたモデルで計算した $\langle I_z \rangle$ の $f_e$ 依存性. 外部磁場強度に依存した SHL から DHL への変化が再現できている. (b)と(c)では $\tau_c$ 以外のパラメータは同じである.