

核スピン分極の三重安定性

Tristability of Nuclear Spin Polarization

北大院工¹, 北大工², ○山本壮太¹, 大宮寛太², 笹倉弘理¹, 鍛冶怜奈¹, 足立智¹Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ.¹,Faculty of Engineering, Hokkaido Univ.²,○S. Yamamoto¹, K. Ohmiya², H. Sasakura¹, R. Kaji¹, S. Adachi¹

E-mail: yama-st@eis.hokudai.ac.jp

【はじめに】電子波動関数の強い局在化を実現する半導体量子ドット (QD) 中では、電子-核スピン間の超微細相互作用 (HFI) が増強される。HFI を介した電子-核スピンの同時反転は、電子スピン系から核スピン系にスピン角運動量を転写するため、偏極した電子スピンを注入することで大きな核スピン分極 (NSP) を得ることができる。スピン反転前後のエネルギー保存の要請から、スピン転写速度は電子スピンの Zeeman 分裂幅で律速される。これは、電子スピンの分裂幅が核スピンに対して 10^3 倍程度大きいためであるが、NSP が有効磁場 (核磁場) として電子スピンの Zeeman 分裂を打ち消すと、スピン転写レートの爆発的な増加が起こる。この過程を考慮した現象論的モデルを用いると、NSP の双安定性を説明することができる [1]。

【実験】本研究では自己集合 $\text{In}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ QD を円偏光で定常励起し、結晶成長方向に磁場 B_z を印加、発光の円偏光度 (DCP) 及びエネルギー分裂を測定した。QD 中に生成される NSP は、エネルギー分裂の変化 (Overhauser shift: OHS) から評価した。Fig. 1(a) に $B_z = +4.0$ T における、DCP 及び OHS の励起強度依存性を示す。 σ^- 励起下 (青) では DCP は不変であり OHS も単調に変化するが、 σ^+ 励起下 (赤) では DCP と OHS の両方にヒステリシスを伴った急激な変化が見られる。これまで NSP の安定状態は 2 つとされてきたが、2 つのヒステリシスループが観測されたことから、報告されていない 3 つ目の安定状態が示唆される。

【モデル】電子スピンの Zeeman 分裂が NSP の形成に伴って動的に変化することを考慮すると、励起強度 $100 \mu\text{W}$ 近傍の双安定性を説明できる。しかしながら、本研究で観測された 3 つの安定状態を説明するためには、他の機構の考慮が必要である。そこで本研究では、核磁場揺らぎにより実効的な電子スピン偏極が減少する効果を取り入れ、3 つの安定状態の説明を試みた。核磁場揺らぎ (振幅 ~ 100 mT) は、外部磁場と比較すると小さいが、NSP により電子が感じる有効磁場が小さくなると、電子スピン緩和に顕著な影響を与える [2]。モデル計算の一例を Fig. 1(b) に示す。下段に示したように、NSP が取り得る安定状態 (緑部分) の数は、核磁場揺らぎの効果を考慮しない場合は 2 つしか無いが (破線)、核磁場揺らぎを考慮することで 3 つになる (実線)。また同時に、電子スピン偏極の大きな変化も再現される (上段)。

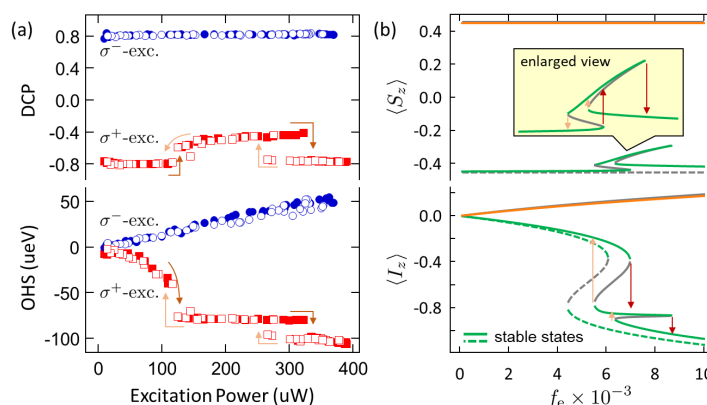
[1] B. Urbaszek *et al.*, Rev. Mod. Phys. **85**, 79 (2013).[2] I. A. Merkulov *et al.*, Phys. Rev. B **65**, 205309 (2002).

Fig. 1 (a) Excitation power dependence of DCP (upper) and OHS (lower). Red square (blue circle) shows the observation under σ^+ (σ^-) polarized excitation. Filled (open) marker is for increasing (decreasing) power. (b) A model calculation of electron spin polarization (upper) and NSP (lower) where $f_e \propto$ the excitation power. Conventional model (dashed curve) explains only two stable states (green part) while nuclear spin fluctuation realizes three stable states (solid line).