

永久スピンらせん状態における光励起スピンドYNAMIKSの モンテカルロシミュレーション

Monte Carlo simulation of dynamics of optically-generated spins
in persistent spin helix state

NTT 物性基礎研¹, 東北大工² ◯国橋 要司¹, 眞田 治樹¹, 後藤 秀樹¹, 小野満 恒二¹,
好田 誠², 新田 淳作², 寒川 哲臣¹

NTT BRL¹, Tohoku Univ.², ◯Yoji Kunihashi¹, Haruki Sanada¹, Hideki Gotoh¹, Koji Onomitsu¹,
Makoto Kohda², Junsaku Nitta², Tetsuomi Sogawa¹

E-mail: kunihashi.y@lab.ntt.co.jp

スピントロニクス分野における重要な基盤技術のひとつは、外部磁場を用いない電子スピンの操作である。スピン軌道相互作用に起因した有効磁場はゲート電圧によって制御できるため、半導体中における電子スピンを電氣的に操作するための有力な手段になる。一方、有効磁場は電子の運動量に依存するため、電子の散乱によってスピン緩和を引き起こすことが問題であった。最近、半導体中で Rashba および Dresselhaus のスピン軌道相互作用係数 (α , β とする) が等しいとき、有効磁場が一軸配向状態になりスピン緩和が強く抑制されることがわかってきた[1]。この特殊な有効磁場状態は永久スピンらせん(Persistent Spin Helix: PSH)状態と呼ばれている。我々はこれで、PSH 状態の電氣的制御の実現を目指して GaAs 量子井戸中に光励起したスピン偏極の空間分布のゲート電圧依存性を観測した[2]。拡散する電子の空間分布は半導体内部のスピン軌道相互作用を敏感に反映しており、それを解析することでスピン軌道相互作用の定量評価が可能になることが期待される。本研究では、光励起したスピン偏極電子をモデル化し、その時のスピンの空間分布をモンテカルロ法によって計算した。実験結果との比較から、実験で用いた GaAs 量子井戸において PSH 状態に極めて近い状態が実現できたことがわかった。

本研究では電子スピンの時間発展を計算するために古典的なベクトルの発展方程式であるブロッホ方程式 $d\mathbf{S}/dt = \mathbf{\Omega} \times \mathbf{S}$ を用いた。S は電子スピンのベクトルを、 $\mathbf{\Omega}$ は電子スピンの歳差運動の周波数ベクトルを表す。GaAs 量子井戸を用いた 8 K での実験結果と比較するために、電子の運動を二次元に限定し、弾性散乱のみを考えたモデルを構築してモンテカルロシミュレーションを行った。Fig. 1 に $\alpha = \beta = 1.8 \text{ meV\AA}$ における電子スピンの z 成分の空間分布を示す。電子スピンの z 成分が拡散しながら有効磁場を感じ、アップスピンとダウンスピンの縞構造をつくっていることがわかる。Fig. 1 から、[-110]方向に伝搬するスピンは強い有効磁場を感じて歳差運動をするのに対し、[110]方向に伝搬するスピンはほとんど歳差運動することなく減衰していく様子がわかる。会議では α/β とスピン寿命の関係についても定量的に議論する。

本研究の一部は科研費 (24686004, 23310097) の補助を受けた。

- [1] J. D. Koralek *et al.*, Nature **458**, 610 (2009).
[2] 国橋 要司, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会 28p-A8-10.

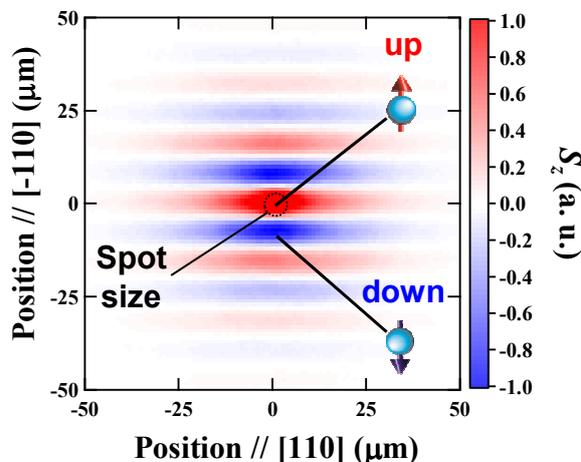


Fig. 1 Spatial distribution of z -component of electron spins simulated by Monte Carlo method. Electron spins were generated at the origin with spot size of $6 \mu\text{m}\phi$.