

Monte Carlo 法に基づく InGaAs 系量子井戸中スピン偏極の空間マッピング

Spatial mapping of spin polarization in InGaAs quantum wells

using Monte Carlo simulation

千葉大院工 ○黒澤 亮太, 森田 健, 石谷 善博

Chiba Univ. ○Ryota Kurosawa, Ken Morita, Yoshihiro Ishitani

E-mail: r.kurosawa@chiba-u.jp

半導体中の電子はスピン軌道相互作用による内部有効磁場を感じ、その状態を変化する。電子スピンを電界効果トランジスタといったデバイスに応用する際、この内部有効磁場の制御が重要となる。スピン軌道相互作用には構造反転非対称性に由来する Rashba スピン軌道相互作用(係数 α)と結晶反転非対称性に由来する Dresselhaus スピン軌道相互作用(係数 β)が存在する。近年、SIA と BIA の大きさを等しくすることでスピン緩和長が理論上無限大となる Persistent Spin Helix (PSH) 状態が提言され^[1,2]、外部電圧により制御可能な α の大きさを変動させることで実現可能と考えられている。そこで本研究では、外部電圧印加時の InGaAs 系量子井戸における α のゲート電圧依存性から PSH 状態を形成する条件を見積もり、モンテカルロシミュレーションを用いて二次元電子気体における電子スピンの空間分布の時間変化を求めた。

試料として井戸幅と障壁層幅をそれぞれ 10 nm とする $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As} / \text{In}_{0.53}\text{Al}_{0.47}\text{As}$ 量子井戸 (3 周期) を想定した。 α 、 β 以外のパラメータとしてフェルミ波数 $k_F = 1.0 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 、運動量散乱時間 $\tau_p = 0.02 \text{ ps}$ を使い、D'yakonov-Perel 機構に従うスピン緩和の様子をシミュレートした。スピン偏極を全て揃えた時刻から 100 ps 後の、スピン偏極の空間分布のゲート電圧 V_G による変化を図 1 に示す。ゲート電圧 V_G を +0.40 V とした時 $\alpha = \beta \approx 9.9 \times 10^{-11} \text{ eVcm}$ となり、PSH 状態の特徴であるスピン偏極の縞模様が 2000 ps 経過後も図 3 のように明瞭に見られることを確認した。この結果は、入射光のスポット径を 2 μm 程度に設定すれば光学的に PSH 状態の縞模様を観測できることを示す。

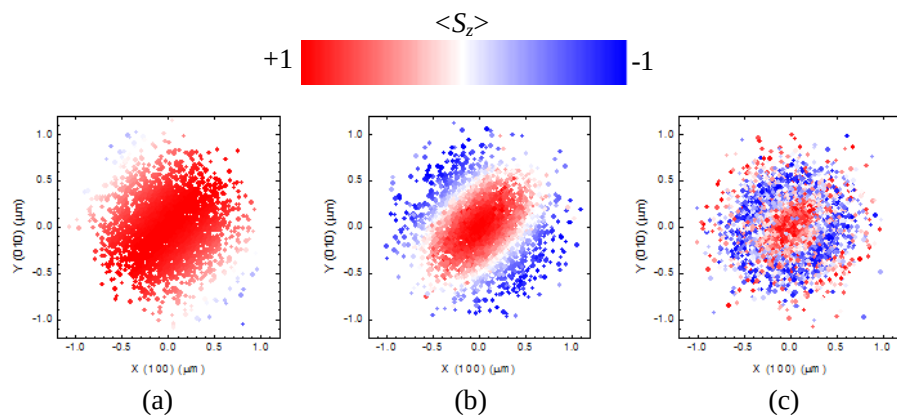


図 1. (a) $V_G = 0.5 \text{ V}$, (b) $V_G = -0.5 \text{ V}$, (c) $V_G = -2.0 \text{ V}$, 印加時の $\Delta t = 100 \text{ ps}$ におけるスピン偏極の空間マッピング

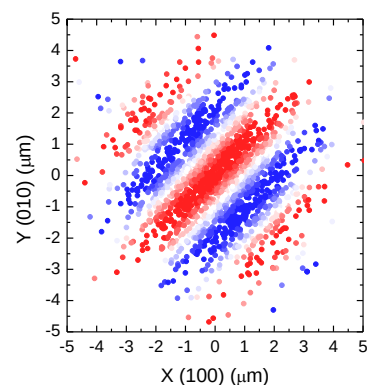


図 2. PSH 状態の $\Delta t = 2000 \text{ ps}$ におけるスピン偏極の空間マッピング

- [1] J. Schliemann and D. Loss, Phys. Rev. B **68**, 165311 (2003)
 [2] B. Andrei Bernevig *et al.*, Phys. Rev. Lett. **97**, 236601 (2006)