

空間スキャン法による InGaAs 量子井戸スピン軌道相互作用係数の導出

Extraction of spin-orbit parameters of InGaAs quantum wells by scanning method

千葉大工¹, 東北大², 徳島大³ ○(B4)志田 博貴¹, 川口 晃平¹, 高澤 一朗太¹,

齋藤 康人¹, 北田 貴弘³, 石谷 善博¹, 好田 誠², 森田 健¹

Chiba Univ.¹, Tokushima Univ.², Tohoku Univ.³ ○H. Shida¹, K. Kawaguchi¹, I. Takazawa¹,

Y. Saito¹, T. Kitada³, Y. Ishitani¹, M. Kohda³, K. Morita¹

E-mail: morita@chiba-u.jp

半導体中の電子スピンには、スピンの波数ベクトル \mathbf{k} に依存したスピン軌道相互作用 (SOI) 由来の内部有効磁場が作用し、スピンは磁場の周りを歳差運動する。内部有効磁場は、SOI パラメータによって決定されるため、物質中の SOI パラメータの導出方法の確立は応用への観点からも重要となる。光励起による SOI パラメータの導出法の基本は、スピン励起後の拡散ダイナミクスの時空間測定・解析であるが、やり方は試料や測定条件によって異なる。 σ_0 , λ_{so} , D_s , t をそれぞれ、励起レーザーのスポット径、スピン歳差運動長、拡散定数、スピン励起後の時間または測定時間とすると、① $\sigma_0 < \lambda_{so}$ かつ $\sigma_0 < \sqrt{2D_s t}$ であれば、外部磁場下でのスピン歳差運動ダイナミクスの場所依存測定から SOI パラメータを容易に決定できる[1]。一方、② $\sigma_0 > \sqrt{2D_s t}$ であれば、外部磁場下のスピンの歳差運動周波数の位置依存性の傾きから SOI パラメータを容易に決定できる[2]。しかし、③ 中間領域 $\sigma_0 \sim \sqrt{2D_s t}$ では、観測した SOI 由来の歳差運動周波数 $\Delta\Omega(r, t)$ が場所 r だけでなく測定時間 t にも依存するため、測定結果と $\Delta\Omega(r, t)$ の解析式のみでの比較で SOI パラメータを決定することは難しい。

本研究では井戸幅 10 nm の InGaAs/InAlAs 量子井戸の時空間分解測定し、 $\sigma_0 \sim \sqrt{2D_s t}$ の領域で、様々な試料配置、スキャン方向に関する $\Delta\Omega(r)$ を測定した。さらに Monte-Carlo (MC) シミュレーションの結果と比較することで Rashba と Dresselhaus SOI パラメータ (α と β) の導出を試みた。実験で求めた Rashba と Dresselhaus 内部磁場が加算 (A 配置) または減算 (B 配置) する試料配置での $\Delta\Omega(r)$ を図 1 に示す。測定結果 (プロット点) と MC シミュレーションの結果 (実線) を比較し、SOI パラメータは $\alpha = 3.3 \pm 0.2 \text{ meV\AA}$, $\beta = 1.1 \pm 0.2 \text{ meV\AA}$ と求めた。興味深いことにスピン励起した原点 (0) から離れると $\Delta\Omega$ の場所依存性は線形から反れて傾きが緩くなり、MC シミュレーションでもその傾向を再現できる。理由が明らかにするために、広い範囲で t も考慮した $\Delta\Omega(r, t)$ の計算結果と実験結果を比較した (図 2)。 $t = 510 \text{ ps}$ で $r = \pm 5 \mu\text{m}$, $t = 670 \text{ ps}$ でそれ以上離れたの場所での実験結果を再現できることが分かった。中心から広がるスピンは観測点 (スキャン位置) の場所によって到達時間が変化する。観測点が中心付近であればスピンの到達時間が短く、 $\Delta\Omega(r, t)$ はほぼ r のみに依存し比例する。しかし、ある一定の以上遠くなると到達時間が長くなり、それによって $\Delta\Omega(r, t)$ は t にも依存し始めて、傾きが緩やかになることが分かった。

[1] M. P. Walsler *et al.*, Nat. Phys. **8**, 757 (2012). [2] M. Kohda *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107**, 172402 (2015).

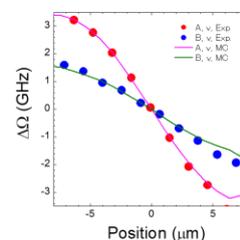


図 1. $\Delta\Omega$ の実験と計算の比較

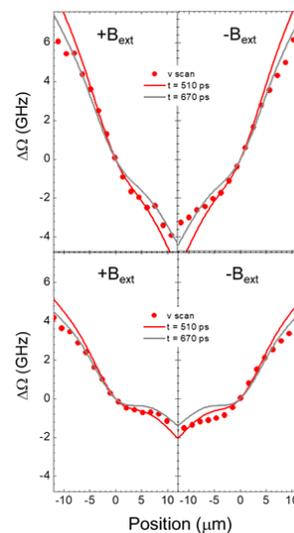


図 2. (a) A 配置のスキャン依存性. (b) B 配置のスキャン依存性