## (001) 面 InGaAs/InAlAs 量子井戸におけるスピン緩和率の導出

Spin relaxation rates in (001) InGaAs/InAlAs quantum wells

千葉大院工<sup>1</sup>, 東北大通研<sup>2</sup>, 東北大院工<sup>3</sup> <sup>O</sup>(M2) 有川 歩暉<sup>1</sup>, 齋藤 康人<sup>1</sup>,

中西 晃一¹, 佐藤 翔太¹, 菅谷 恭兵¹, 横田 信英², 好田 誠³, 森田 健¹

Chiba Univ.<sup>1</sup>, Tohoku Univ. RIEC<sup>2</sup>, Tohoku Univ.<sup>3</sup> °Ayuki Arikawa<sup>1</sup>, Yasuhito Saito<sup>1</sup>, Koichi Nakanishi<sup>1</sup>, Shota Sato<sup>1</sup>, Kyohei Sugaya<sup>1</sup>, Nobuhide Yokota<sup>2</sup>, Makoto Kohda<sup>3</sup>, Ken Morita<sup>1</sup>

## E-mail: morita@chiba-u.jp

III-V族半導体量子井戸 (QW)中のスピン軌道相互作用 (SOI) は運動量を持つ電子に対して有効磁場として作用し、将来のスピンデバイスやスピンベースの量子情報技術におけるスピン制御技術への活用が期待できる。一方で、有効磁場は D'yakonov-Perel (DP)機構[1]と呼ばれるスピン緩和を引き起こす。これまでに、我々は (001)面上の InGaAs/InAlAs QW を用いた有効磁場の直接観測に成功し、スピン緩和機構の中でも DP 緩和機構が支配的であることを明らかにした[2].しかし横田氏らは、(110)、(001)面上 InGaAs/InAlAs QW の緩和時間の比較から、DP 緩和機構ではなく Elliott-Yafet (EY)機構[3,4]が支配的であるとする結果を得ていて[5]、どちらのスピン緩和機構 (DP または EY)が支配的であるかについては良く分かっていない。本研究では DP とEY が共存する InGaAs/InAlAs QW においてスポット径  $\sigma$ の異なる 2 つの測定光学系 (顕微系・マクロ系)を用いて DP および EY スピン緩和率を導出し、スピン緩和機構の調査を行うことを目的とした。

試料はSiドープされた30周期のInGaAs/InAlAsQW(試料A)とアンドープで50周期のInGaAs/InAlAsQW(試料B)を用いた. 顕微系 ( $\sigma \approx 2 \mu m$ ) での測定では局所励起され拡散する電子スピンの歳差運動 周波数の位置依存性を観測し, Rashba ( $\alpha$ ), Dresselhaus ( $\beta$ )による有効磁場の大きさを決める係数を導出 した. 測定結果を図1に示す. 試料Bでは試料Aに比べて周波数の位置依存性が小さく,  $\alpha$ ,  $\beta$ が小さ

いことが分かった.マクロ系 ( $\sigma > 100 \mu m$ ) での測定ではスピン緩 和時間の印加磁場方向依存性(異方性)を測定した.磁場の印加方 向は  $x \parallel [110] \ge 0$  度としている.測定結果を図 2 に示す. 試料 A ではスピン緩和時間の異方性を観測した(図 2(a)). DP 緩和率の理論 式(赤線)とは絶対値と楕円率の観点から大きく異なり, EY 緩和機構 の存在を明らかにした.また,スピン緩和率を $\Gamma_{tot}(\theta) = \Gamma_{DP}(\theta) +$  $\Gamma_{EY}$ とすることで, $\Gamma_{DP(ave)} = 1.86$  GHz,  $\Gamma_{EY} = 3.80$  GHz が求められ た(図 2(b)).同様にして試料 B からは $\Gamma_{EY} = 3.0$  GHz が得られ(図 2(c)),試料 A から得られた値とおおよそ等しくなることが分かった. 室温における InGaAs/InAlAs QW では EY 緩和機構が強く効き, DP 緩和機構は,構造によって大きく変化することを明らかにした.

[1] M. I. D'yakonov and V. I. Perel, Sov. Phys. Solid State 13, 3023 (1972).

[2] K. Kawaguchi et al., Appl. Phys. Lett. 115, 172406 (2019).

[5] N. Yokota et al., J. Appl. Phys. 116, 023507 (2014).

[3] R. J. Elliott, Phys. Rev. 96, 266 (1954).
[4] Y. Yafet, Solid State Phys. 14, 1 (1963).



Fig.1 The spatiotemporal maps for (a) sample-A and (b) sample-B.



Fig.1 Spin relaxation time anisotropy of sample-1 and sample-2. (a) Calculated  $\tau_{DP}^{macro}(\theta)$  (red line) and measured  $\tau_{exp}^{macro}(\theta)$  (filled triangles) for sample-1. (b) Calculated  $\tau_{tot}^{macro}(\theta)$  (solid lines) assuming the different magnitudes of  $\Gamma_{EY}$  and measured  $\tau_{exp}^{macro}(\theta)$  (filled triangles). MC simulated  $\tau_{tot}^{macro}(\theta)$  assuming the different magnitudes of  $\Gamma_{EY}$  are also plotted by open circles. (c) Calculated  $\tau_{tot}^{macro}(\theta)$  (blue line) assuming  $\Gamma_{EY}$  and measured  $\tau_{exp}^{macro}(\theta)$  (filled triangles) in sample-2. MC simulated  $\tau_{MC}^{macro}(\theta)$  assuming the different magnitudes of  $\Gamma_{EY}$  are also plotted by open circles.

Reference