

スピン軌道相互作用を用いた半導体中のスピン機能開拓

Exploration of spin functionalities based on spin-orbit interaction in semiconductors

東北大工 新田 淳作

Tohoku University, Junsaku Nitta

E-mail: nitta@material.tohoku.ac.jp

スピン軌道相互作用は、電界中を高速運動する電子スピンの磁界を感じる相対論的な効果である。これまで磁気モーメントを持つ電子スピンは磁界と相互作用するため主に磁界により制御されてきた。一方スピン軌道相互作用の起源は電界であり、電界により変調された有効磁界を用いて電子スピンを操作することが可能となる。本講演では、スピントロニクスにおいて重要な機能となるスピン生成・制御・検出がスピン軌道相互作用を用いることにより可能であることを示す。

III-V 族半導体では構造反転対称性の破れに起因する Rashba スピン軌道相互作用とバルク反転対称性の破れに起因する Dresselhaus スピン軌道相互作用が存在する。特に Rashba スピン軌道相互作用は半導体ヘテロ界面に生じる電界によりその強さを制御することが可能であるため、これを用いた様々なスピントロニクスデバイスが提案されてきた。スピン流生成方法としてスピンホール効果を用いることが可能である[1]。しかしながら、このスピンホール効果によるスピン流の大きさは極めて小さい。そこでスピン軌道相互作用による有効磁界の空間勾配を作ることにより Stern-Gerlach 効果を用いたスピン流の生成が期待できる。量子ポイントコンタクト近傍のスピン軌道相互作用の空間勾配により 70%以上のスピン偏極キャリアの生成が確認された [2]。スピン軌道相互作用の作る有効磁界は電子スピンの歳差運動を誘起しスピン制御が可能である[3]。最近、表面弾性波の運ぶ電子スピンの経路を蛇行させることにより、静磁界と振動磁界を同時に作り外部磁界を一切用いない移動スピン共鳴の実験が行われた[4]。スピン流の検出方法として、逆スピンホール効果を用いることにより電気的な検出が可能であることが実験的に確認されている[5]。

以上述べてきたようにスピン軌道相互作用は電界を用いたスピン機能化に重要な役割を果たすが一方でスピン緩和の原因となる。この問題を解決する方法として、Rashba スピン軌道相互作用の強さを Dresselhaus スピン軌道相互作用と等しくすることによりスピン緩和を著しく抑制することが可能となる。III-V 族半導体(001)基板ではスピン軌道相互作用の有効磁界が一軸性となり永久スピン旋回状態が実現する[6]。また、(111)基板を用いるとスピン軌道相互作用の作る有効磁界の完全な相殺によりスピン緩和時間の増大が観測されている[7]。これらのスピン軌道相互作用の評価方法についても議論する。

[1] Y. Kato, *et al.*, *Science* **306**, 1910 (2004). [2] M. Kohda, *et al.*, *Nature Comm.* **3**, 2080 (2012).

[3] F. Nagasawa, *et al.*, *Nature Comm.* **4**, 3526 (2013). [4] H. Sanada, *et al.*, *Nature Phys.* **9**, 280 (2013).

[5] J. Wunderlich, *et al.*, *Science* **330**, 1801 (2010). [6] J. D. Koralek, *et al.* *Nature* **458**, 610 (2009).

[7] A. Hernandez-Minguez, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **109**, 266602 (2012).