

■用語の説明

(注1) スピン軌道相互作用

電子が電場中を高速に運動する際、磁場を感じる相対論的な効果。Diracによって導かれた。真空中では、Diracギャップと呼ばれる電子と陽電子のエネルギーギャップ(約1 MeV)がエネルギー分母に関与するためその効果は小さい。一方、固体中では、電子と正孔のエネルギーギャップ(約1 eV)に置き換わるためスピン軌道相互作用の効果は大きくなり固体物理の様々な分野で重要な役割を果たす。

(注2) Rashba スピン軌道相互作用

バンドギャップの異なった半導体材料を組み合わせることにより電子を量子井戸に閉じ込め二次元電子ガスを形成することができるが、異なった半導体材料界面にできる電場が原因となって生じるスピン軌道相互作用。この電場の強さはゲート電圧で変調できるため Rashba スピン軌道相互作用の強さを外部から制御できることが1997年実証された。

(注3) Dresselhaus スピン軌道相互作用

III-V族半導体ではIII族原子とV族原子間に電場が生じる。このようなマイクロな電場が原因となって生じるスピン軌道相互作用。材料固有の強さとなるが半導体量子井戸の厚さによって変化するため半導体ヘテロ構造の設計によって制御できる。

(注4) スピン緩和

スピン軌道相互作用の無視できない系では、電子の電荷と異なりスピンは保存されない。軌道運動による角運動量とスピン角運動量が結合しているため、電子の運動状態によってスピンの状態が変化する。散乱により電子運動量が変わると有効磁場の方向も変化するそれに伴いスピンの状態が変化する。このように揃っていたスピンの状態が乱雑になりスピン情報が失われること。

(注5) 永久スピン旋回状態

Rashba スピン軌道相互作用 α と Dresselhaus スピン軌道相互作用 β が等しくなるように制御すると、有効磁場の向きが揃い散乱により電子が運動方向を変えてもスピン緩和が抑制された状態が実現する。具体的には、[110]方向にはスピンのコヒーレントな回転が持続し、垂直な[-110]方向にはスピンの向きが回転せず伝搬するスピン緩和が抑制された状態となる。

(注6) 量子干渉効果

量子力学によると電子は粒子でありかつ波の性質をもつ。このため伝導体中で散乱を受けながら自己干渉し伝導に寄与しなくなる定在波状態(局在状態)を形成する。この電子の局在状態は磁場により電子の位相が変化すると量子干渉が破れ電気伝導度が増加する。この磁気伝導度はスピン軌道相互作用により強く依存する。

(注7) スピン相補インバータ

論理反転回路はデジタル論理の基本回路となるが電子と正孔チャンネルを持つ2つのCMOS(相補型電界効果トランジスタ)を組み合わせる構成される。スピン相補インバータはスピンを用いた論理反転回路。電子と正孔の2つのキャリアの代わりに上向き下向きスピンを用いるのが特徴であり、永久スピン旋回状態($\alpha = \beta$)と逆スピン旋回状態($-\alpha = \beta$)を電界制御することにより動作する。