

## 両極性非磁性伝導体におけるスピン流モードの自律発生と ホール抵抗の共鳴増大

### Resonant Hall effect by generation of sustaining mode of spin current in bipolar conductors

○酒井 政道 (埼玉大院理工)

○Masamichi Sakai (Saitama Univ.)

E-mail: sakai@fms.saitama-u.ac.jp

**【はじめに】** 正孔と電子とが同等なキャリア特性を有する非磁性両極性伝導体（以下、擬ゼロホール伝導体）をスピントロニクス観点から研究してきた。本発表では、擬ゼロホール伝導体をチャンネル領域に用いる4端子ホール素子を想定し、適当な外部磁場およびスピン軌道相互作用の下でスピン流モードが自律的に発生することを理論的に示した後に、特に、スピン偏極電流注入下で発生するホール効果では、横方向のスピン流モードの影響を受けて、ホール抵抗が共鳴的に増強する計算結果を示し、擬ゼロホール伝導体  $\text{YH}_2$  および  $\text{ScH}_2$  を用いた実験結果[1]と比較する。

**【モデル】** 正孔と電子に対して、移動度の大きさ  $\mu$  を同一にする。スピン軌道相互作用を面直な有効磁場  $S$  で表現し、符号のみならず大きさも正孔と電子に対して同一にする。キャリア濃度の違いは、キャリア偏極度  $\Phi = (N_h - N_e)/(N_h + N_e)$  で表すが、 $\Phi \ll 1$  である。

**【自律型スピン流】** 面直な外部磁場  $B$  とスピン軌道相互作用（有効磁場  $S$ ）の影響を同時にスピン流  $\vec{J}_s = (J_{s,x}, J_{s,y})$  に対して適用することによって、ゼロ電流下 ( $\vec{J}_c = 0$ ) で、スピン流が自律的に発生する条件が永年方程式として得られる。特に  $\Phi = 0$  ( $N_h = N_e$ ) では、その永年方程式から

$$\left\{ f(B, S, \mu, P_s) - g(B, S, \mu, P_s) \frac{\Delta E_x}{E_x} \right\} \left\{ f(B, S, \mu, P_s) - g(B, S, \mu, P_s) \frac{\Delta E_y}{E_y} \right\} = 0$$

が得られる。ここで、 $E_x$  及び  $E_y$  はそれぞれ、バイアス方向の電場及びホール電場であり、 $\Delta E_x$  及び  $\Delta E_y$  はそれぞれ、バイアス方向及び横方向の有効電場のスピン分裂である。 $P_s$  はパウリ常磁性によるキャリアスピン偏極度である。電場と有効電場との比 ( $\Delta E_x/E_x, \Delta E_y/E_y$ ) がこの方程式を満たすときには、自律的にスピン流が発生すると考えられる。

**【ホール抵抗の共鳴増大】** 有限の縦電流 ( $J_{c,x} \neq 0$ ) およびゼロ横電流 ( $J_{c,y} = 0$ ) 下で発生するホール抵抗表式を求めると、その分母に、因子：

$$\left\{ f(B, S, \mu, P_s, \Phi) - g(B, S, \mu, P_s, \Phi) \frac{\Delta E_x}{E_x} \right\} \left\{ f(B, S, \mu, P_s, \Phi) - g(B, S, \mu, P_s, \Phi) \frac{\Delta E_y}{E_y} \right\} + \Phi^2 h(B, S, \mu, P_s, \Phi) = 0$$

が含まれることが分かる。このことから、適当な条件下でこの因子がゼロに近くなる場合に、ホール抵抗が共鳴的に大きくなると考えられる。垂直磁化特性をもつ磁性電極  $\text{TbFeCo}$  から、非磁性の擬ゼロホール伝導体  $\text{RH}_2$  ( $R=\text{Y, Sc}$ ) にスピン偏極電流を注入すると、ホール抵抗が約 50~100 倍増大する現象[1]を本モデルによって解釈する。

[1] 西間木ら：第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P1-35 (2016).