

## 強磁性金属／電子正孔補償金属接合におけるスピン蓄積 II

### Interface spin accumulation under combination of ferromagnetic metal and ambipolar conductor II

酒井 政道<sup>1</sup>, 鯉沼 将大<sup>1</sup>, 長谷川 繁彦<sup>2</sup>,  
 埼大院理工<sup>1</sup>, 阪大産研<sup>2</sup>  
 °M. Sakai<sup>1</sup>, Y. Koinuma<sup>1</sup>, S. Hasegawa<sup>2</sup>  
 Saitama Univ.<sup>1</sup>, Osaka Univ.<sup>2</sup>  
 E-mail: sakai@fms.saitama-u.ac.jp

**緒言** 縮退した電子密度と正孔密度が等しい補償金属や半金属が強磁性体と接合した際のスピン輸送を理論的に調べている[1]。電子-正孔間クーロン相互作用による Baber 散乱がスピン交換を伴う場合には、同じ向きのスピンに関して、スピン注入下の電子密度変化の仕方が正孔密度変化のそれと同位相になる場合と逆位相となる2種類のモードが固有解である[2]。このような特徴を持つアンビポーラな非磁性金属(N)に強磁性金属(F)からスピン偏極電流を注入する際に、F/N 界面で発生するスピン蓄積界面電位差 (spin-coupled interface voltage :  $V_{SC}$ ) を理論的に調査した。

**計算方法** F およびN領域の長さは、それぞれのスピン拡散長に比べて十分大きいとし、F/N 界面によるキャリア散乱やスピン緩和を無視する。計算では、F/N 界面における電流密度、スピン流密度、スピン毎の電気化学ポテンシャルの連続性を用いた。電流密度  $J_c$  の連続性によって、電子がF領域からF/N 界面に向かう場合には、N領域では正孔がF/N 界面に向かって走行し、スピン角運動量の流れが連続性によって、F/N 界面に向かって移動する電子のスピンがアップならば、F/N 界面に向かう正孔のスピンは、ダウンである。したがって、電気化学ポテンシャルの連続性は、F領域のアップスピンとN領域のダウンスピン間、およびF領域のダウンスピンとN領域のアップスピン間で成立することに留意した。

**結果と考察** F領域が単一バンド伝導体では、上記の境界条件を満足することが出来ず、F領域が2バンド伝導体である場合に限って、N領域にスピン注入出来ることが分かった。N領域に固有な2種類のスピンモードに対して、それぞれ、スピン蓄積界面電位差の表式を求めることが出来て、同位相モードに対しては、

$$V_{SC}(\text{in}) = \frac{J_c p (p_1 N_h + p_2 N_e) \ell_F^{(1)} \ell_F^{(2)} \ell_{\text{in}}}{N_h \ell_F^{(2)} \left[ (1 - p_1^2) \sigma_F^{(1)} \ell_{\text{in}} + 2 \sigma_e \ell_F^{(1)} \right] + N_e \ell_F^{(1)} \left[ (1 - p_2^2) \sigma_F^{(2)} \ell_{\text{in}} + 2 \sigma_h \ell_F^{(2)} \right]}$$

逆位相モードに対しては、

$$V_{SC}(\text{out}) = \frac{J_c p (p_1 \sigma_h - p_2 \sigma_e) \ell_F^{(1)} \ell_F^{(2)}}{(1 - p_1^2) \sigma_F^{(1)} \sigma_h \ell_F^{(2)} - (1 - p_1^2) \sigma_F^{(2)} \sigma_e \ell_F^{(1)}}$$

である。ここで、 $J_c$ はF/N界面を横切る電流密度で、 $\sigma_F^{(i)}$ ,  $\ell_F^{(i)}$ ,  $p_i$  ( $i = 1, 2$ )は、それぞれ、F領域のバンド電子1とバンド電子2に関する伝導度、スピン拡散長、およびスピン偏極度である。 $\ell_{\text{in}}$ は、N領域の同位相モードのスピン拡散長、 $\sigma_e$ と $\sigma_h$ は、それぞれ、N領域電子および正孔の伝導度で、 $N_e$ と $N_h$ は、それぞれ、N領域電子および正孔のフェルミレベルにおける状態密度である。

$V_{SC}(\text{in})$ の符号が常に正、すなわち、電流が流れる方向に沿って電位が減少するのに対して、 $V_{SC}(\text{out})$ は、キャリアパラメータの組合せによっては、負値になり得ると共に、分母がゼロに接近するとき、その値が発散的に増大すると云う特徴を持つ。F/N界面を電流が横断する際に、電位が大きく増加する動作は、キャパシタとダイオード等で構成するチャージポンプ回路に類似する。

[1] 酒井ら、第83回応用物理学会秋季学術講演会 (2022) 21a-P02-39, 仙台。

[2] M. Sakai et al., J. Phys., Condens. Matter **34** (2022) 055801.