

アンビポーラ伝導体における非平衡スピン・電荷輸送の固有モード Nonequilibrium spin and charge transports in ambipolar conductors under simultaneous consideration of spin and dielectric relaxations

○鯉沼 将大¹, 酒井 政道¹, 長谷川 繁彦²,
 埼玉大院理工¹, 阪大産研²
 ○Y. Koinuma¹, M. Sakai¹, S. Hasegawa²
 Saitama Univ.¹, Osaka Univ.²
 E-mail: sakai@fms.saitama-u.ac.jp

緒言 強磁性金属(F)と非磁性金属(N)との接合部を定常電流が横切るとき、F/N 界面からスピン拡散長 (l_{spin}) 程度の拡がりですピン蓄積領域が形成されると同時に、F/N 界面には Thomas - Fermi 長 (l_{charge}) 程度の拡がりですピン蓄積領域が形成される[1]。前者をスピンモード、後者を電荷モードと呼び、スピン緩和と誘電緩和を同時に考慮することによって、アップおよびダウンスピン密度の非平衡的变化分に関する連立方程式の固有解として得られる[2]。その固有値が、 $(1/l_{\text{spin}})^2$ と $(1/l_{\text{charge}})^2$ である。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のようなアンビポーラな伝導体では、単一バンドの金属に比べて、電荷の自由度が2倍になるので、スピンの自由度も含めると、4種類の固有解が期待される。本研究は、それらの解の特徴を、スピン緩和と誘電緩和を同時に考慮しながら調べた。

計算方法 定常状態における4種類の粒子流密度の発散密度 (div) が、スピン緩和近似によって与えられ (条件1)、それら粒子流密度が拡散項とドリフト項から構成されること (条件2)、ドリフト項中に現れる電場はガウスの法則をつうじて、非平衡的な電荷密度の変化分から決定されること (条件3)、以上3つの条件から、4種類の粒子密度の非平衡的变化分 $n_{\uparrow}^{(e)}$, $n_{\downarrow}^{(e)}$, $n_{\uparrow}^{(h)}$, $n_{\downarrow}^{(h)}$ に関する連立方程式が得られる。なお、スピン緩和は、全てスピン軌道相互作用によるものとして、電子-正孔間でのスピン交換は考慮しない。

結果と考察 固有値は解析的に求めることが出来て、 $2/(D_e\tau_e)$, $2/(D_h\tau_h)$, $e^2N_e/\epsilon_0 + e^2N_h/\epsilon_0$, および0の4種類である。ここで、 $D_{e/h}$, $\tau_{e/h}$, および $N_{e/h}$ はそれぞれ電子/正孔の拡散定数、スピン緩和時間、およびフェルミレベルでの状態密度である。対応する特性長は、 $\sqrt{D_e\tau_e/2}$, $\sqrt{D_h\tau_h/2}$, $\sqrt{\epsilon_0/[e^2(N_e + N_h)]}$, および無限大であり、それぞれに対応する固有モードは、(i) $n_{\uparrow}^{(e)} + n_{\downarrow}^{(e)} = 0$, (ii) $n_{\uparrow}^{(h)} + n_{\downarrow}^{(h)} = 0$, (iii) $n_{\uparrow}^{(e)}/N_e = n_{\downarrow}^{(e)}/N_e = -n_{\uparrow}^{(h)}/N_h = -n_{\downarrow}^{(h)}/N_h$, (iv) $n_{\uparrow}^{(e)} = n_{\downarrow}^{(e)} = n_{\uparrow}^{(h)} = n_{\downarrow}^{(h)}$ である。前半の2つは、電子のスピンモード、正孔のスピンモードであり、3つ目は、電荷モードである。これらの特性長は単一バンド伝導体の l_{spin} や l_{charge} に対応するが、特性長が無限大になる4番目の解は、単一バンド伝導体では対応する量がなく、アンビポーラ伝導体に特有なモードであり、4種類の非平衡的变化分 $n_{\uparrow}^{(e)}$, $n_{\downarrow}^{(e)}$, $n_{\uparrow}^{(h)}$, $n_{\downarrow}^{(h)}$ が互いに等しい量的関係を示す。このように電子密度の非平衡的变化分と正孔密度のそれが等しいと云う特徴は光によって生成される絶縁体中の励起子に似ている。金属中では、クーロンポテンシャルが自由キャリアによって遮蔽されるので、励起子は容易に解離する。講演では、スピン注入と云う非平衡状態での補償金属や半金属では、励起子的な固有モードが輸送現象として観測対象になり得るのかについて議論する。

[1] M. R. Sears and W. M. Saslow, Phys. Rev. B **85** (2012) 014404.

[2] S. Hershfield and H. L. Zhao, Phys. Rev. B **56** (1997) 3296.