

ヘリウム液面電子が示す巨大な光起電力効果

ヘリウム液面電子は、きわめて清浄な2次元電子系である。液面に平行な(x,y)方向の波動関数は、平面波となり、エネルギーは、 $E=(p_x^2+p_y^2)/2m$ で与えられる。ここで、 p_x, p_y は x,y 方向の運動量、 m は電子質量で自由電子の質量にきわめて近い。一方、液面と垂直(z)方向には、ヘリウムの分極による鏡像引力ポテンシャルと、液面の近傍にある 1eV のポテンシャル障壁があり、電子はポテンシャル井戸に束縛され、離散的なエネルギー準位をもつ表面電子状態を形成する。その束縛エネルギーは 1meV 程度で、z 方向の波動関数の広がり は 10nm ほどである。

このように、ヘリウム液面電子は、z 方向の運動に対して離散化したエネルギー準位をもち、それぞれの準位に対して、面内に連続スペクトルをもつ、サブバンド構造を持つ2次元電子系である。これにマイクロ波を照射してサブバンド間の励起($E_0 \rightarrow E_1$)を起こさせると、図1に示すように、励起された電子は、準弾性的に(破線のように)基底サブバンドに散乱され、その後、強い電子間相互作用によって、効率的に他の電子にエネルギーを渡して、もとの状態に戻る。ここで、電子の散乱体は蒸気中にあるヘリウム原子と量子化された表面張力波、リップロンである。これらの散乱体は電子質量よりもはるかに重く、散乱によるエネルギー移行の効率が悪いために、散乱が準弾性的になる。その結果、容易にホットエレクトロン状態が実現される[1]。

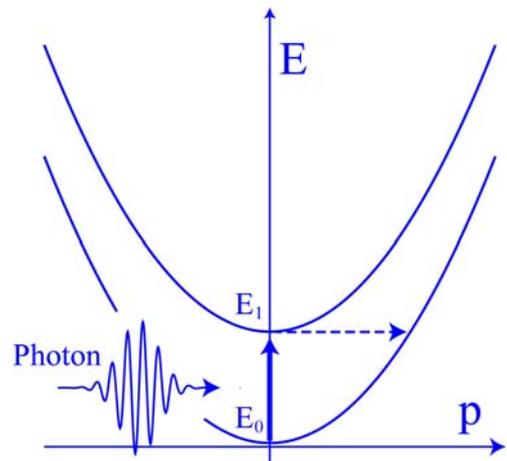


図1 サブバンド構造と電子遷移。

磁場が液面に垂直にかかっている場合には面内運動がランダウ量子化されて、さらにエネルギー準位が離散化する(図2a)。励起サブバンドからの緩和が、準弾性散乱によるとすると、マイクロ波吸収過程への大きな磁場効果が期待される。実際にマイクロ波照射下の磁気抵抗に大きな磁気振動が観測されている[2]。 σ_{xx} の増大はランダウ量子化に伴う状態密度から定性的に理解できるが、減少はホットエレクトロン効果に関与しているものと推察される。驚くべきことに、ある条件のもとでは、図2(b)に示すように、 σ_{xx} が消失するという、非常に顕著な磁気抵抗効果を発現させる[3]。

理研のグループは、この σ_{xx} が消失する条件のもとで、50%程度の電子が電子系の縁に移動し、電子系内に大きな電位差が生じることを発見した。まさに、巨大な光起電力効果である。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2012年9月号に掲載された。

この電子の移動は、条件によって中央に集まる場合も観測されている。また、電子の静的な移動だけではなく、自発的な振動電流を伴う、動的な現象であることがわかっている。一種の散逸構造のようにも見える。発現機構の解明にとどまらず、新しい光電変換の原理となりうるか、あるいは100GHz超帯の検出器や光源などに応用できるかなど、今後の研究の多角的な発展が期待される。

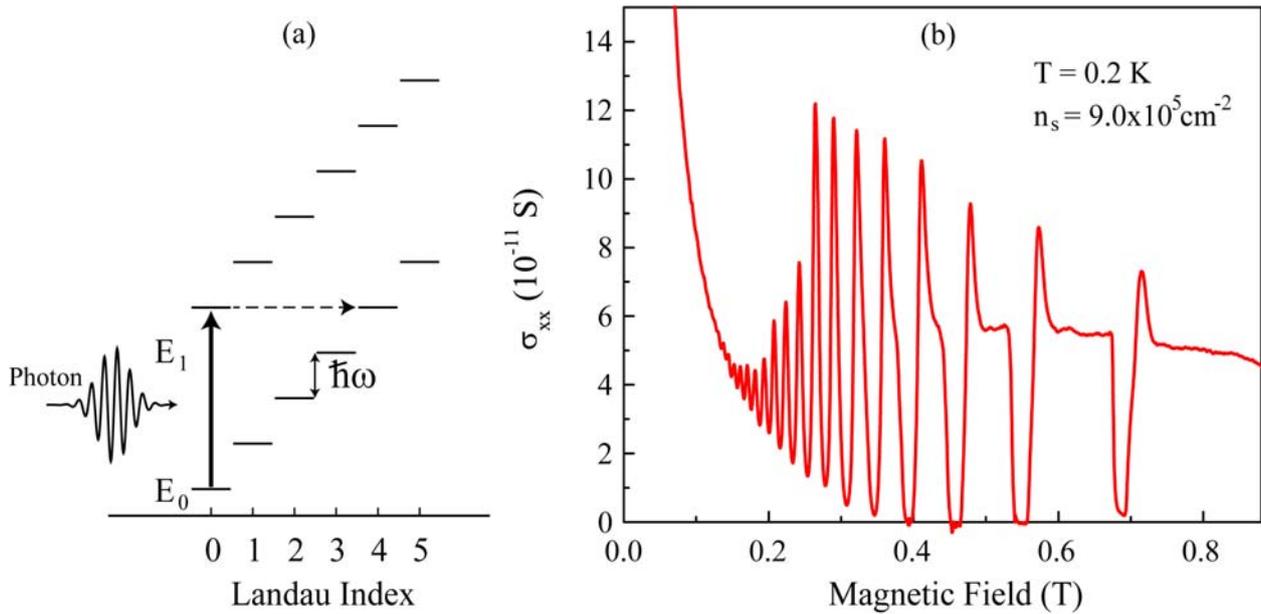


図2 (a) 面直磁場によって各サブバンドの平面方向の運動のエネルギーが $\hbar\omega$ 間隔で離散可したエネルギー準位と、(b) 顕著な磁気伝導度の振動現象。

参考文献

- [1] D. Konstantinov *et al.*: Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 235302.
- [2] D. Konstantinov and K. Kono: Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 266808.
- [3] D. Konstantinov and K. Kono: Phys. Rev. Lett. **105** (2010) 226801.

原論文

[Resonant Photovoltaic Effect in Surface State Electrons on Liquid Helium](#)

[Denis Konstantinov, Alexei Chepelianskii, and Kimitoshi Kono: J. Phys. Soc. Jpn. 81 \(2012\) 093601](#)

情報提供

D. Konstantinov (現：沖縄科学技術大学院大学)

河野公俊 (理化学研究所)