

強電場下電気伝導に現れるサイクロトロン共鳴

マイクロ波技術を用いたサイクロトロン共鳴の実験は、大戦後の半導体物理学の発展に重要な役割を果たした。半導体結晶中の伝導電子は磁場中でローレンツ力を受け周期的なサイクロトロン軌道運動を行う。これに周波数の等しいマイクロ波を加えると共鳴的な吸収が起こる。これがサイクロトロン共鳴の原理で、共鳴周波数から有効質量などの電子構造に関する情報を得ることができる。一方、半導体より伝導度が高い金属結晶では、表皮効果のためマイクロ波が試料内部に侵入できず、表面近傍での軌道運動を反映した Azbel-Kaner 共鳴が起こる。

マイクロ波の振動電磁場の代わりに、他の方法で振動的な電子運動を励起しても、サイクロトロン軌道運動との共鳴が起こるはずである。強電場下の結晶内電子は真空中のように無限には加速されず、結晶から Bragg 反射を受け往復運動 (Bloch 振動) を行う。この Bloch 振動をサイクロトロン軌道運動と結合させれば、強電場下の磁場中電気伝導に共鳴現象が現れるはずである。これは表皮効果による制約がないため、金属でも観測可能な効果となる。

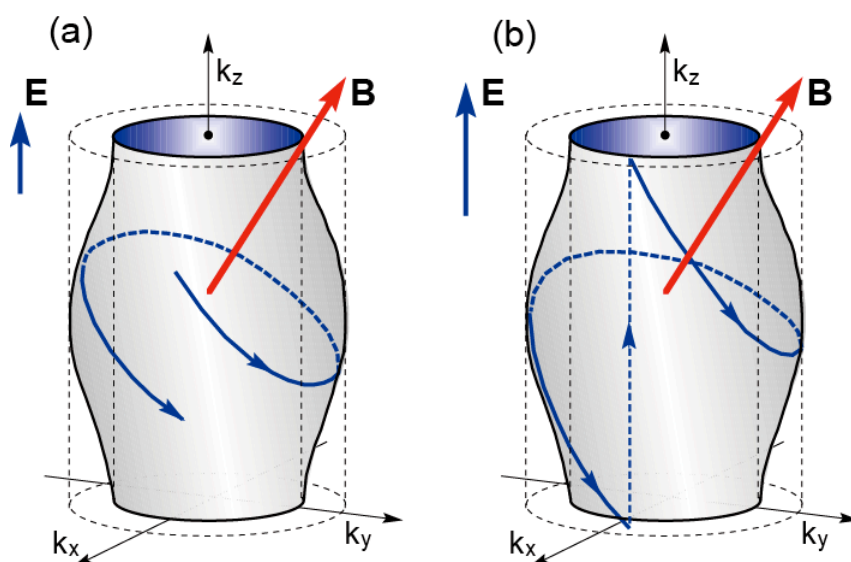


図 1. 層状物質の柱状 Fermi 面と強電場・傾斜磁場下の非共鳴時(a)と共鳴時(b)の電子軌道運動

最近、東京大学物性研究所の研究グループは、強電場と傾斜磁場下の電気抵抗測定により層状金属の電子構造を調べる新しい研究手法を提案した。これは電子の磁場中サイクロトロン軌道運動と電場中 Bloch 振動を傾斜磁場を用いて結合させた共鳴現象で、「角度依存 Stark サイクロトロン共鳴」と呼ばれる。同グループは層状有機伝導体 α -(BEDT-TTF)₂NH₄Hg(SCN)₄ において磁場方位を変えながらパルス強電場下で電気伝導測定を行い、本現象を実証した。マイクロ波を用いた従来のサイクロトロン共鳴に対し、本手法は簡便で表皮効果の制約を受けないという特長を持ち、酸化物伝導体・有機伝導体・人工超格子・層間化合物など多くの層状金属物質の電子構造解明に役立つことが期待される。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 2 月号に掲載された。

Stark サイクロトロン共鳴という用語自体は、元来、強電場・垂直磁場下で半導体超格子の層間電気伝導に現れる共鳴現象に対して用いられたもので、電子散乱のため層方向の電子軌道運動が定義できない半導体超格子において隣接した2層の Wannier-Stark-Landau 準位（電場磁場中量子準位）間で起こるフォノン補助共鳴トンネル効果として解釈される。これに対し今回の現象は層間方向の電子軌道運動が良く定義できるクリーンなバルク結晶における半古典的共鳴現象であるという点が異なる。

角度依存 Stark サイクロトロン共鳴は、柱状 Fermi 面を持った層状金属の層間磁気抵抗の磁場依存性に現れる「角度依存磁気抵抗振動」（AMRO、Kartsovnik-梶田-山地振動）を有限電場に拡張したものである。角度依存磁気抵抗振動は層状物質の柱状 Fermi 面形状（バンドパラメータの相対値）の情報を与える実験手法であるが、磁場は軌道運動する電子に対して仕事をしないため、バンド幅、Fermi 速度、有効質量といったエネルギー軸方向の情報（バンドパラメータの絶対値）を得ることはできない。電場を加えて電子軌道運動のエネルギーを変えることにより、エネルギー絶対値に関する情報が得られるようになったのである。

本研究成果は、角度依存 Stark サイクロトロン共鳴という磁気輸送における普遍的な新現象を発見したのみならず、近年重要な研究対象となっている層状酸化物や層状有機導体などのフェルミオロジー研究に新しい研究手法を提供するもので、今後これを用いた種々の研究の展開が期待される。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) No. 2, p. 023708

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/023708> (1月26日公開済)

<情報提供：長田 俊人（東京大学物性研究所）、鴻池 貴子（東京大学物性研究所）>