

ゼロギャップ半導体における非常に強い電子間相互作用の観測

量子物質研究グループ 大槻 匠、中辻 知
ナノスケール物性研究部門 リップマー ミック

はじめに

物性物理学の分野では、新奇な物理的性質を示す物質の探索が精力的に行われている。その中でも、高い移動度や量子ホール効果などのトポロジカルな機能のために、近年世界的に注目されている物質群が、ゼロギャップ半導体である。例えば、グラフェン [1] のように価電子帯と伝導帯が接する点近傍で線形のバンド構造を持つ物質においては、電子はあたかも質量がゼロであるかのように振る舞い、新しい現象が次々に発見され、2010 年のノーベル物理学賞の対象となった。ゼロギャップ構造に潜んでいる物理は非常に興味深いが、これまで理解が進んできたのは一般的には電子間の相互作用が弱い場合においてである [2]。

他のゼロギャップ構造の例として、図 1 に示すように、2 つのバンドが接する点近傍でバンド構造が放物線的である **quadratic band touching** を持つラッティンジャー半金属と呼ばれる状態がある。ラッティンジャー半金属では、線形のエネルギー分散が交差する場合は異なり、状態密度が急激に増加するために電子間の相互作用が強く、通常の電子の概念が破綻するような新しい金属状態が現れる、ということが 40 年以上前に予測されていた [3,4]。この **quadratic band touching** という状態にある物質の具体例として、古くから α -スズ(α -Sn) [5] やテルル化水銀 (HgTe) [6] が知られているが、これらの物質内では電子の有効質量が小さいために、電子間の相互作用も弱く、その効果を実験的に明らかにすることは困難であった。

実験内容と成果

そこで本研究では、強い電子間相互作用の効果を明らかにするために、プラセオジウム (Pr) とイリジウム (Ir) からなるパイロクロア型酸化物 $\text{Pr}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$ [7] を研究対象とした。角度分解光電子分光の実験によると [8]、この物質は、(1) **quadratic band touching** を持つラッティンジャー半金属であり、イリジウムの $5d$ バンドからなるそれぞれ 2 重縮退した価電子帯と伝導帯が Γ 点においてフェルミ準位上で接し、(2) 電子の有効質量は真空中の自由電子に比べて約 6 倍重たい (α -Sn に比べて約 300 倍大きい [5]) ことが分かっている。

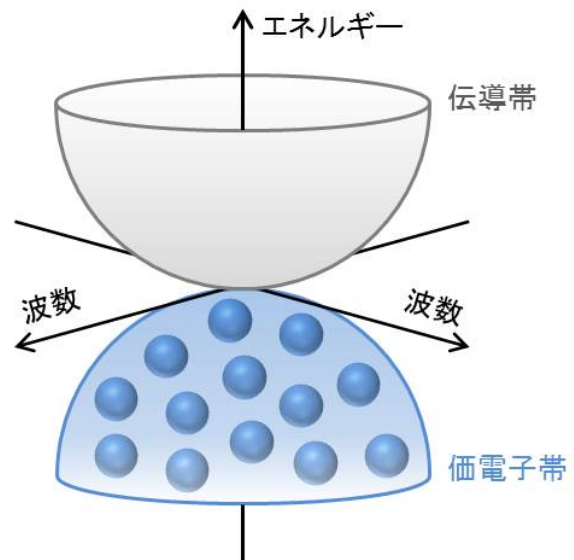


図 1. ゼロギャップ半導体のひとつで、2 次分散バンドが一点で接した「ラッティンジャー半金属状態」のバンド構造。電子(青い球)で満たされた価電子帯と空の伝導帯は、3次元の放物線型をしており、両者はフェルミ準位上の一点で接している。

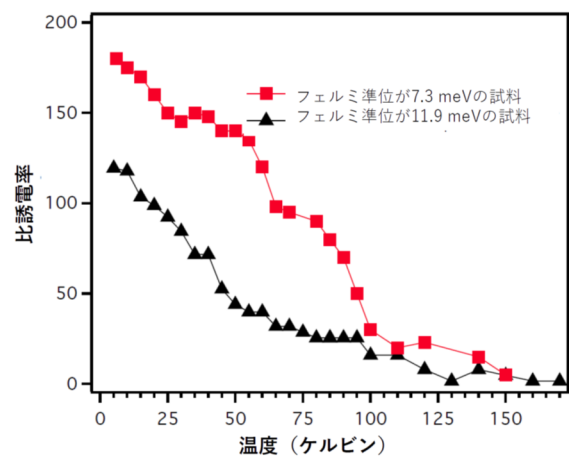


図 2. 比誘電率の温度依存性。低温でこれまで知られているゼロギャップ半導体(たとえば α -Sn や HgTe)の値の数十倍以上大きな値を示す。価電子帯と伝導帯が接するエネルギーから測ったフェルミ準位が小さいほど、低温で大きな誘電率を示す。

