

学位論文要旨

Accurate Angle-Resolved Photoemission Study of FeSe and

Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ Across Phase Boundaries

(FeSe と Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ の相境界を横断する高精度角度分解光電子分光研究)

田北 仁志

2008 年に発見された鉄系物質の多彩な量子現象において、軌道自由度の役割が注目されてきている。具体的には、軌道ゆらぎの超伝導発現機構への関与が示唆されており、軌道が秩序化した反強磁性金属相では無質量ディラック電子が観測された。つまり、鉄系物質には、応用が期待される最先端物理のうち、(1)電気抵抗が消失する超伝導現象、(2)止まることのできない無質量ディラック電子、(3)オービトロニクスと称される軌道量子工学、の三つの要素が集結している。しかし、軌道自由度の高さを反映して、多数のバンド分散が波数空間で近接しており、相転移における変化を追跡するのが難しい。そこで、電子構造を直接決定することのできる、角度分解光電子分光実験において、より一層高い精度が求められている。本研究では、角度分解光電子分光実験において、更なる精度の向上を追求し、鉄系物質における電子構造を、相境界を横断して精密に調べた。

角度分解光電子分光実験における精度の向上

まず初めに、角度分解光電子分光における「サンプル回転に伴う位置のずれ」の問題の解決に取り組んだ。角度分解光電子分光では、測定する波数に応じて、サンプルの角度を回転・走査する必要がある。ところが、図 1 に示すように、測定位置は一般に回転中心に位置していないため、サンプルの回転により入射光の当たる位置がずれてしまう。そこで蛍光塗料にレー

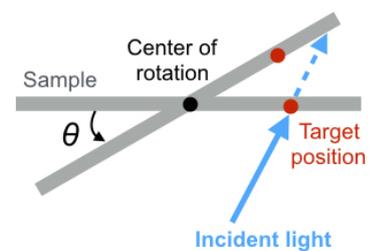


図 1. サンプル回転に伴う位置のずれ

ザー光を入射し、回転に伴う位置の変化を光学顕微鏡によって観測することにより、試料回転機構における回転中心を実験的に決定した。実際の試料において、実験的に求めた回転中心を用いて位置補正を行いつつ角度走査を試験したところ、位置補正なしの結果には異なるドメインの寄与が見られるのに対し、位置補正ありの結果にはその影響が見られないことが示された。これにより、試料回転における位置保持の方法を実現し、角度走査の精度を向上することに成功した。

FeSe における軌道秩序電子状態の精密決定

軌道秩序相の秩序変数は、原理的に、波数空間の対称点におけるバンド分散のエネルギー分裂およびシフトを観測することで決定可能である。しかし、多軌道のバンドの特定、およびそれらが示す小さなエネルギー変化を観測することが困難である。そこで鉄セレンの軌道秩序電子状態の解明を目的として、 μm スポット・サイズのレーザー光を用いた角度分解光電子分光を行った。まず、試料表面に沿って走査測定を行い、 μm オーダーで表面不均一性を分解することに成功した。そして、入射光の偏光を調整することで予想される全てのバンドを明瞭に観測することに成功した。この最適化された実験条件の下で多軌道バンドの温度依存性を測定し、バンドのエネルギー変化を決定した(図 2)。構造相転移温度 T_s

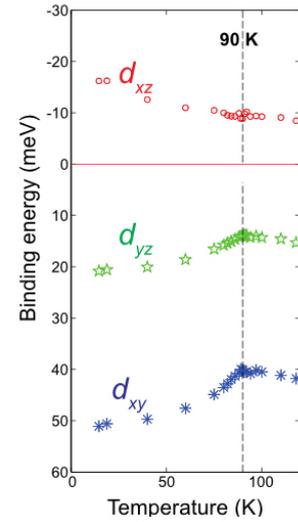


図 2. (c)バンドのエネルギーの温度依存性

= 90 K を境に、 d_{xz} , d_{yz} バンドの分裂幅が 23.5 meV から 37.5 meV まで増大することに加え、 d_{xy} バンドが高結合エネルギー側に 10 meV シフトすることを見出した。 d_{xz}/d_{yz} バンドの分裂幅の増大は、軌道秩序相の秩序変数の形に制約条件を与え、鉄系物質の多秩序相の解明における重要な手掛かりになると期待される。

Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ におけるディラック電子

鉄系物質におけるディラック円錐の定量的な評価は、反強磁性母物質 BaFe₂As₂ に限られており、ディラック電子の成因理由がわかっていない。そこで、反強磁性から超伝導相におよぶ Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ ($x = 0.02, 0.04, 0.05, 0.06$) 試料の偏光依存角度分解光電子分光実験を行った。すると、反強磁性相境界の $x = 0.04$ においてディラック円錐が存続し、超伝導相に入ると消失することが分かった。 $x=0.04$ においてディラック速度の方向依存性を決定した結果を図 3 に示す。 $v(\theta=0^\circ)/v(\theta=90^\circ)=1.9$ から、ディラック電子の異方性が約 2 倍に達することを明らかにした。また、相境界近傍にも関わらず、 $v(\theta=90^\circ)$ の減少は観測されなかった。これは、ディラック速度が反強磁性秩序の減少に依存していないことを示している。これにより、ディラック円錐の発現において、軌道の自由度が主要な役割を果たしていることを明らかにした。

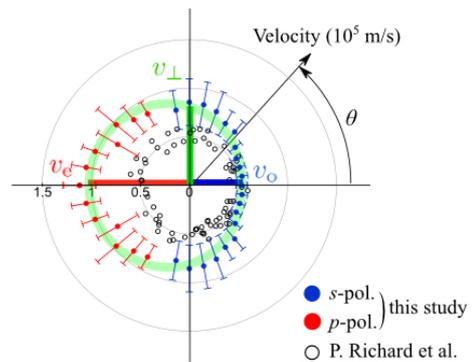


図 3. ディラック速度の方向依存性