

論文審査の結果の要旨

氏名 大槻 太毅

高温超伝導体をはじめとする多くのエキゾチック超伝導体は、多様な秩序状態が超伝導相と隣接する物質固有の特異な電子相図を描く。超伝導の物性研究において、それらの秩序状態が与える超伝導への寄与が盛んに研究されている。層状遷移金属ダイカルコゲナイド化合物は、電荷変調と超伝導が競合共存する系であり、配位子も含めた多バンド構造によって多彩な物性がもたらされる。本論文で着目している IrTe_2 は、 Ir-Ir 二量体の形成に伴うストライプ型電荷秩序を $\sim 280\text{K}$ 以下で発現する。低温相では全温度領域で金属的電気伝導を示すため、電荷秩序と伝導電子が共存する特異な系だといえる。また、 Ir サイトの元素置換では、電荷秩序が抑制されると $T_c \sim 3.1\text{K}$ の超伝導が発現することから、電荷秩序と超伝導は密接に関係するものと考えられる。本論文では、内殻 X 線光電子分光、及び角度分解光電子分光を駆使して、 IrTe_2 を母体とした $\text{Ir}_{1-x}\text{Pt}_x\text{Te}_2$ の電子状態を詳細に研究している。

第 1 章では、本研究の背景として、層状遷移金属ダイカルコゲナイドの結晶構造、電子物性、及び電子構造の一般的性質がそれぞれ紹介されている。

第 2 章では、本研究で特に着目した層状遷移金属ダイカルコゲナイド化合物 IrTe_2 に関する物性を、文献をもとに概略している。

第 3 章では、本研究の主な実験手法である光電子分光の原理が解説されている。また、実際に実験を行った放射光施設や研究所の実験状況が丁寧に記載されている。

第 4 章では、X 線光電子分光を用いて観察した IrTe_2 の内殻電子準位が議論されている。 Ir と Te が強く混成していることを示すデータを提示し、フェルミ準位近傍の状態密度に $\text{Ir } 5d$ 軌道だけでなく $\text{Te } 5p$ 軌道が寄与することを提案している。また、低温相では $\text{Ir}^{3+}/\text{Ir}^{4+}$ の電荷分離にともなう電荷秩序が形成されることを見出した。

第 5 章では、角度分解光電子分光を用いて、 $\text{Ir}_{1-x}\text{Pt}_x\text{Te}_2$ における価電子帯の電子構造が研究されている。この物質は層状物質であるにも関わらず、面内方向だけでなく面垂直方向へもエネルギー分散を持つ三次元的フェルミ面が高温相で観測されている。実験結果をバンド計算との比較を行い、 $\text{Te } 5p - \text{Te } 5p$ 軌道間、及び $\text{Ir } 5d (t_{2g}) - \text{Te } 5p$ 軌道間の強い混成が三次元性をもたらすことが議論されている。低温相では、バルク由来の電子構造だけでなく、一次元的分散を示す表面電子成分を観察した。表面成分には、ボソンとの強い結合をしめすバンドの折れ曲がりや、量子閉じ込め効果を示唆するバンド分散のエネルギー方向への繰り返し構造といった新規な電子状態の存在を見出した。一方、バルク成分の観測からは、バンド計算との比較を通して、 Ir-Ir 二量体を伴うストライプ型電荷秩序が 5 倍周期であることを同定した。

第6章では、角度分解位置顕微光電子分光を用いて、 IrTe_2 が持つ電子状態の空間変化を調べている。高温相から低温相へと転移するに伴い、特徴的なストライプ型ドメイン構造がマイクロスケールで発現することを見出している。また、光電子強度の明暗として区別されるそれぞれのドメインを選択的に角度分解光電子分光測定することで、高温相と低温相との共存によってストライプ型構造が発生することも見出されている。

第7章では、 $\text{Ir}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Te}_2$ ($T_c=3.1\text{K}$)の超伝導ギャップ測定の結果がまとめられている。レーザーを光源とすることで、 $\sim 470\text{ }\mu\text{eV}$ という超高分解能を達成した角度分解光電子分光装置を用いた超精密測定が可能となった。測定の結果 $\text{Ir}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Te}_2$ が示す超伝導は、ギャップの大きさからは従来型 BCS 超伝導として説明できるが、その方位依存性は非等方的な s 波対称性を有することを見出している。また、二枚のフェルミ面のうち、外側のフェルミ面においてその非等方性がより顕著であることを明らかにした。異方的ギャップの起源としては、フェルミ面ネスティングが強い方位依存性をもつことから、電子対の結合力にフェルミ面周りで変調が生じることが提案されている。

第8章では以上の結果がまとめられ、本論文で得られた新しい知見のまとめと今後の展望が述べられている。

本研究は $\text{Ir}_{1-x}\text{Pt}_x\text{Te}_2$ が持つ電子状態に関して包括的な知見を得たものである。内殻準位や価電子バンドといった電子構造の全体像観察だけでなく、顕微分光による実空間ドメイン観察、表面特有の量子閉じ込め効果の発見、超伝導ギャップの超精密測定を、様々な光電子分光技術を使い分け駆使することで成し遂げた点で高く評価できる。本研究結果は、電荷変調と超伝導が競合・共存する物質群の電子物性を解明する上での比較対象される結果として物性科学に大きく寄与すると期待される。

なお、本論文は溝川貴司、野原実、工藤一貴、小林正和、藤森淳、吉田鉄平、堀尾眞史、杉本拓也、卞舜生、Naurang L. Saini、野田智博、太田幸則、小西健久、島山達矢、谷口雅樹、生田目博文、有田将司、安斎太陽、小林正起、堀場弘司、小野寛太、組頭広志の各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計画し、実験と解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。