

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	坂木 麻里子
学位授与の要件	学位規則第4条第1・②項該当		
論 文 題 目			
<p style="text-align: center;">Electric-field-induced Insulator-metal Transition in Ca_2RuO_4 (Ca_2RuO_4における電場誘起絶縁体金属転移)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	鈴木 孝 至	印
審査委員	教 授	世 良 正 文	印
審査委員	教 授	高 畠 敏 郎	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>反強磁性モット絶縁体 Ca_2RuO_4 は、圧力の印加や温度の上昇により絶縁体から金属に転移する。絶縁体状態での結晶構造は、S-Pbca と呼ばれる斜方晶空間群で表され RuO_6 八面体が c 軸方向に縮んでいる特徴を持つ。金属相に転移すると、構造も変化し L-Pbca と呼ばれる空間群に移り、RuO_6 八面体は c 軸方向に伸びるが ab 面内の Ru-O 間距離は縮まる。この構造変化により面内酸素の p 電子と Ru の d 電子との混成が強まる。圧力下での金属相を低温にすると遍歴強磁性が現れるが、この状態に対して更に加圧していくと、キュリー温度が低下し量子臨界となった付近で超伝導が出現する。この超伝導については、10GPa という高压下での実験手法が限られるためクーパー対の対称性は決定されていないが、Ca_2RuO_4 が p 波超伝導体 Sr_2RuO_4 の類縁物質であるため異方的超伝導の可能性が高いと示唆されている。このように、Ca_2RuO_4 は外場によってモット絶縁体からエキゾチック超伝導までに及ぶ強相関電子系の様々な物質相を示す希有な物質であるので、多大な注目を集めると同時に盛んに研究されている。</p> <p>本論文の著者らは、Ca_2RuO_4 の伝導性測定のため、強電場が発生するスパッタ法を用いて電極形成をしている最中、試料がたびたび破壊されてしまうことを見出した。この現象をヒントに、Ca_2RuO_4 が電場印加によって物性と構造が大きく変化するのではないかとの着想を得た。そこで慎重に電圧電流特性を測定したところ、乾電池一個にも満たない電圧で電場誘起による絶縁体から金属への転移を世界で初めて発見した。この転移が起きる閾電場は $E_{\text{th}} \sim 40 \text{ V/cm}$ とこれまで報告された電場誘起絶縁体金属転移する物質よりも2桁以上小さい。</p> <p>そこで、本論文の著者はこの極めて低い閾電場を持つ電場誘起絶縁体金属転移の物理的特徴と転移機構を解明するため、次のような研究を行い顕著な成果を上げた。</p> <p>まず、圧力や温度変化による絶縁体金属転移と同様に構造変化が伴うかを調べるため、電場印加 X 線構造解析と電気抵抗が同時測定できる X 線回折実験用試料ホルダーを開発</p>			

し、X線回折と電気抵抗を同時に測定した。この実験において、構造相転移が起こった場合を想定し、試料の自発歪みを妨げない工夫を施した。その結果、絶縁体では S-Pbca 構造を有するが、電場誘起による金属転移後は L-Pbca 構造に変化することを初めて明らかにした。更に、わざと自発歪みの発生を阻害するように試料を基板に接着固定して実験を行ったところ、転移には高い閾電場が必要になることを見出した。以上の結果から、電場誘起絶縁体金属転移に結晶構造の変化が不可欠であることを実証した。

次に、L-Pbca 構造では金属相で伝導を担う RuO₂ 面での酸素の p 電子と Ru の d 電子との混成が強まり、これが転移機構と関連すると予想した。この実証を目指し、電子混成の変化に関するミクロな情報を得る目的で、これまで実施例のない電場印加状態での軟 X 線吸収分光(XAS)と X 線発光分光(XES)の測定法だけでなく、電場印加 XAS, XES と電気抵抗の同時測定法を開発した。実験は、高エネルギー加速器機構・フotonファクトリーBL2ビームラインを使用して行った。その結果、Ru の 4d 電子基底状態を担う t_{2g} 3 重項 (d_{xy}, d_{yz}, d_{zx} の三つの軌道で構成される) の電子状態に関して、酸素の p_x, p_y 軌道と Ru の d_{xy} 軌道との混成により出現する XAS ピークが金属相になると増大することを初めて観測した。これは、d_{xy} 軌道のホール数増大を示している。すなわち、電場印加による構造変化に伴い d_{xy} 軌道のホール数が増大することによって二次元伝導性がもたらされて金属転移するという機構が初めて明らかになった。

以上のように、本論文の著者は、Ca₂RuO₄ における電場誘起絶縁体金属転移を発見するにとどまらず、電場印加条件下での放射光実験手法等を次々と開発し、相転移機構に直接関わる電子状態の変化を初めて明らかにした。これらの成果は、物性物理の研究分野において高く評価できる。よって、本論文の著者は、博士（理学）の学位を受けるに必要な資格を有するものと認める。