

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03532

研究課題名(和文) 分子自由度と電子相関の協奏による特異な金属絶縁体転移

研究課題名(英文) anomalous metal-insulator transition induced by correlated molecule

研究代表者

平郡 諭 (heguri, satoshi)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：70611648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：フラーレン化合物において電気抵抗率測定を用いて系統的に調べられた例はなく、これまで磁化測定を用いて主に議論がなされてきた。本研究課題では独自に開発した測定系を用いて格子が拡張した面心立方格子C603-状態の圧力下電気輸送特性の測定を行った。モット絶縁体状態から金属を経て超伝導に転移する電子状態の変化を詳細に測定し、C60の分子自由度が密接に絡んだ特異な状態であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

モット転移の研究が始まって半世紀以上が経つ現在でも、モット転移やその臨界現象が実験的に調べ議論され始めたのは近年のことである。本研究では比較的低压で電子状態を制御可能なバンド幅制御型モット絶縁体である面心立方格子の分子を用いて、銅酸化物でも見られる異常な金属状態の起源と、分子自由度と電子相関が密接に絡み合った系における金属絶縁体転移の性質を実験的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：There have been no reports about the electrical transport measurements of fullerenes and the discussion has been made on a basis of magnetic measurements. Temperature dependence of electrical resistivity of expanded fcc C603- states carried out under high pressure. The profile of Mott insulating state to superconducting state via normal metallic state was observed. In addition, we revealed that anomalous features strongly coupled with the degree of freedom of C60 molecule.

研究分野：固体物理

キーワード：金属絶縁体転移 分子性固体 強相関電子系 超伝導 電気輸送特性 極端条件下物性 フラーレン化合物

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

フラーレン超伝導体では格子定数の増加に伴い超伝導転移温度 T_C が上昇することが報告されており、常圧下で $T_C = 33$ K を示したことで大きな注目を集めた。近年、面心立方格子(fcc)の C_{60}^3 状態において格子歪みを伴わず理想的に格子を拡張していくと T_C はピークを持ったドーム型の相図を示すだけでなく、最も格子定数が拡張された常圧下では超伝導が消失しモット絶縁体となることが報告された。フラーレン超伝導体が従来の BCS 超伝導体であるという認識を再考させる結果である。

2. 研究の目的

よく知られたフラーレン超伝導体であるが、驚くべきことにバルクな試料を用いた系統的な電気輸送特性の報告例はない。超伝導に関しては K_3C_{60} 、及び Rb_3C_{60} 薄膜での結果のみが報告されている。近年開発された Cs_3C_{60} においても試料が強い嫌気性を示すことから磁化測定を用いた実験手法が主であり、電気輸送特性は未だ測定されていない。

電気抵抗は物性の最も基礎的な要素であり、その解明には必要不可欠である。本研究課題ではモット転移近傍に出現するフラーレン超伝導の特性と電子相関効果を電気抵抗測定から明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

フラーレン化合物の電気抵抗測定における実験的障壁は、1)化合物が極めて嫌気性であること、2)化合物単結晶が得られないこと、の2点が挙げられる。これまで電気抵抗率測定を試みた研究者は多くいると考えられ、いずれも期待する成果を得られなかった理由として考えられることは、測定中試料が分解する、あるいは電極形成時に用いられるペースト中の有機溶媒と試料が反応しオーミック接合が維持できない、ことなどが考えられる。そこで測定中試料の分解を妨げ、低温まで試料のオーミック接合を確保できる、独自構造の電気抵抗測定用圧力セルを開発し実験に用いた。

4. 研究成果

格子歪みを伴わず fcc 格子を維持しながら格子を拡張できる相として $Rb_xCs_{3-x}C_{60}$ を合成し、電気抵抗率の温度依存性の測定を行った。 $Rb_{0.35}Cs_{2.65}C_{60}$ の常圧下の電気抵抗率は、室温から温度が下がると絶縁体に典型的な熱活性型の振る舞いを示し、 $T \sim 80$ K において、緩やかなピークが観測され、さらに降温すると電気抵抗率が著しく減少した。物理的圧力を印加しながら格子体積を連続的に変化させたときの電気抵抗率の温度依存性では、電気抵抗率のピークが格子定数の圧縮と共に系統的に高温側へシフトした。電気抵抗率の温度依存性から見た金属と絶縁体の境界と強磁場下における磁化率の温度依存性から見える金属と絶縁体の境界は大きく異なった。電子状態が交差するクロスオーバー領域において電気抵抗率と磁化率の振る舞いが一致しない結果は同じ分子性物質である有機導体においても報告例がなく C_{60}^3 状態に特有の結果であることが分かった。粉末 X 線回折の Rietveld 解析の結果から物性測定に十分な純良相であることを確認できていることから、試料の不均質に起因するものではない。 C_{60} フラーレン特有の分子自由度に起因するのであればモット臨界点以下の温度における金属絶縁体転移の振る舞いに興味を持たれる。電子相関を伴った C_{60}^3 状態において観測される微視的スケールで電子状態が不均質に見える様子は C_{60} フラーレン特有の分子自由度と強い電子相関が密接に絡み合った軌道ガラ

ス状態であることを見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 satoshi heguri, katsumi tanigaki	4. 巻 47
2. 論文標題 Carrier-doped aromatic hydrocarbons: a new platform in condensed matter chemistry and physics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 dalton transactions	6. 最初と最後の頁 2881-2895
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/c7dt03745g	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平郡 諭	4. 巻 284
2. 論文標題 電子ドーピングされた芳香族分子の基底状態	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 炭素	6. 最初と最後の頁 151-163
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 平郡 諭
2. 発表標題 黒鉛層間化合物における超伝導と磁性
3. 学会等名 日本学術振興会炭素材料第117委員会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平郡 諭
2. 発表標題 Exotic states of carbon based materials
3. 学会等名 炭素材料学会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuyuki Kawahara, Satsohi Heguri
2. 発表標題 Design of the sodium ionic conductor for all-solid-state battery
3. 学会等名 APS March Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平郡 諭
2. 発表標題 芳香族モット絶縁体における物理的圧力効果
3. 学会等名 炭素材料学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------