

氏 名(本 籍)	Fouad Abdel-Wahab Abdel-Ghani (エジプト)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	甲 第 88 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 3 月 25 日
専 攻	電 子 情 報 シ ス テ ム 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Electronic transport properties in non-metallic high-Tc materials (高温超電導材料の非金属相における電子輸送)
学 位 論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 嶋 川 晃 一 (副査) 教 授 佐 々 木 堂 教 授 岡 崎 靖 雄 助 教 授 近 藤 明 弘

論文内容の要旨

論文は高温超電導材料のひとつである $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (いわゆる YBCO) 薄膜を中心に 5 章構成でまとめられている。主題は絶縁相での電子輸送 (直流、交流) の機構を探ることである。この材料では酸素量の制御によって、絶縁体から金属まで幅広く電子状態を変えることが可能である。したがって、超伝導状態にいたる電子状態の変化を知ること重点がおかれている。

このような研究は単に高温超電導材料の分野に限らず、絶縁体—金属転移として知られる固体物理の重要な課題と密接に関係すると思われる。序論では高温超電導材料の発展史が述べられ、ついで試料の作製法が述べてある。本論文では高温側で優勢なバンド伝導、低温で優勢なホッピング伝導を 2 章に渡って詳述している。

70 年の間の未解決問題である、Meyer-Neldel 則で知られる電気伝導の経験則 [$\sigma_{dc} = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT)$ 、ただし一定であるべき前指数項が $\sigma_0 = \sigma_{00} \exp(\Delta E/E_{MN})$ のように活性化エネルギー ΔE を含む] が高温超電導材料で初めて観察したことが明快に記されている。これはフェルミ準位の温度による変化を考慮した“半導体的計算”を取り入れることによって説明できることを示している。この計算のためには Charge Transfer gap 内に局在した状態を仮定しなければならないが、仮定した局在状態は分光的手法で得られているものと良く一致すること

が示されている。また、バンド端は酸素の存在と密接に関連し、ポテンシャルゆらぎによって大きく変調を受けていることを初めて提案している。

低温での電子（正孔）のホッピングの様子はパーコレーションの理論を用いて詳しく解析し、不規則系半導体でしばしば見られる Mott の“広範囲ホッピング”と酷似していることをつきとめている。したがって高温超電導材料の絶縁相の電子状態は不規則系半導体と良く似ていることが明らかとなった。

一方、交流伝導度を調べることによってキャリアの動力学（ホッピング時間など）を知る事が出来る。交流伝導度の手法を新しく本材料系の電子状態を探るため、とり入れている。いくつかの交流伝導モデルを検討した結果、ポテンシャルゆらぎが原因の巨視的非等質性が原因であることをつきとめている。この事は Meyer-Neldel 則で取り入れたポテンシャルゆらぎと全く符合するものであり、本材料におけるポテンシャルゆらぎの存在は二つの輸送実験から証明されたと言えるだろう。ポテンシャルゆらぎのもとでの“金属—非金属転移”という興味ある話題を提供したことになる。ポテンシャルゆらぎの原因はランダムに分布する“酸素欠損”であろうと結論している。

以上の結果は2件の国際シンポジウムと3件の国際論文誌（1編は印刷中）に掲載され、Meyer-Neldel 則については1998年の凝縮材料物性の国際スクールでの招待講演が予定されている。以上の審査を通し、本論文は工学博士論文として認められることを確認した。

発表論文

1. Nonlinear transport in insulating $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, K. Shimakawa, T. Nishimura, E. Abdel-Wahab, K. Kawamoto, Y. Mizushima and I. Hirabayashi, *Advances in Superconductivity VII*, ed. By K. Yamafuji and T. Morishita (Springer, Tokyo, 1995) p. 93~96.
2. A percolation approach to variable-range hopping in high- T_c superconducting cuprates, F. Abdel-Wahab and K. Shimakawa, *Phil. Mag. Lett.* 71, 351~356 (1995).
3. Electronic transport in insulating $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$, F. Abdel-Wahab, K. Shimakawa, Y. Mizushima, Y. Yamada and I. Hirabayashi, *Advances in Superconductivity VIII*, ed. By H. Hayakawa and Y. Enomoto (Springer, Tokyo, 1996) p.101~104.

4. The Meyer-Neldel rule in chalcogenide glasses, K. Shimakawa and F. Abdel-Wahab, Appl. Phys. Lett. 70, 652~654 (1997).
5. The Meyer-Neldel rule in non-metallic $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films, F. Abdel-Wahab, K. Shimakawa and I. Hirabayashi, Phil. Mag. Lett. (印刷中)

論文審査結果の要旨

論文は高温超電導材料のひとつである $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (いわゆる YBCO) 薄膜を中心に 5 章構成でまとめられている。主題は絶縁相での電子輸送 (直流、交流) の機構を探ることである。この材料では酸素量の制御によって、絶縁体から金属まで幅広く電子状態を変えることが可能である。したがって、超伝導状態にいたる電子状態の変化を知ること重点がおかれている。

このような研究は単に高温超電導材料の分野に限らず、絶縁体—金属転移として知られる固体物理の重要な課題と密接に関係すると思われる。序論では高温超電導材料の発展史が述べられ、ついで試料の作製法が述べてある。本論文では高温側で優勢なバンド伝導、低温で優勢なホッピング伝導を 2 章に渡って詳述している。

70 年間の未解決問題である、Meyer-Neldel 則で知られる電気伝導の経験則 [$\sigma_{ac} = \sigma_0 \exp(-\Delta E/kT)$ 、ただし一定であるべき前指数項が $\sigma_0 = \sigma_{00} \exp(\Delta E/E_{MN})$ のように活性化エネルギー ΔE を含む] が高温超電導材料で初めて観察したことが明快に記されている。これはフェルミ準位の温度による変化を考慮した“半導体的計算”を取り入れることによって説明できることを示している。この計算のためには Charge Transfer gap 内に局在した状態を仮定しなければならないが、仮定した局在状態は分光的手法で得られているものと良く一致することが示されている。また、バンド端は酸素の存在と密接に関連し、ポテンシャルゆらぎによって大きく変調を受けていることを初めて提案している。

低温での電子 (正孔) のホッピングの様子はパーコレーションの理論を用いて詳しく解析し、不規則系半導体でしばしば見られる Mott の“広範囲ホッピング”と酷似していることをつきとめている。したがって高温超電導材料の絶縁相の電子状態は不規則系半導体と良く似ていることが明らかとなった。

一方、交流伝導度を調べることによってキャリアの動力学（ホッピング時間など）を知る事が出来る。交流伝導度の手法を新しく本材料系の電子状態を探るため、とり入れている。いくつかの交流伝導モデルを検討した結果、ポテンシャルゆらぎが原因の巨視的非等質性が原因であることをつきとめている。この事は Meyer-Neldel 則で取り入れたポテンシャルゆらぎと全く符合するものであり、本材料におけるポテンシャルゆらぎの存在は二つの輸送実験から証明されたと言えるだろう。ポテンシャルゆらぎのもとでの“金属—非金属転移”という興味ある話題を提供したことになる。ポテンシャルゆらぎの原因はランダムに分布する“酸素欠損”であろうと結論している。

以上の結果は2件の国際シンポジウムと3件の国際論文誌（1編は印刷中）に掲載され、Meyer-Neldel 則については1998年の凝縮材料物性の国際スクールでの招待講演が予定されている。以上の審査を通し、本論文は工学博士論文として認められることを確認した。