

## 黒鉛とアルカンからなる導体の室温超電導性の証拠—室温における臨界磁場の測定

## Evidence for room temperature superconductivity of a conductor obtained by bringing n-alkanes into contact with a graphite surface—Measurement of the critical magnetic field at room temperature.

○川島 康 (東海大工)

○Yasushi Kawashima (Tokai Univ.)

E-mail: kawasima@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

**[まえがき]**超電導体は電気抵抗が零である完全導体であることに加え、完全反磁性、すなわちマイスナー効果を示す。著者は、テフロンチューブに黒鉛粒子を詰め込み、そこにアルカンを浸透させ、テフロンリングを形成し、このリングの中を電流が室温で持続的に流れることを示した。この実験は黒鉛にアルカンを接触させることによって完全伝導体を得られることを示唆している[1]。さらに、超伝導体であることを示すためには、黒鉛とアルカン混合体において完全伝導性に加えてマイスナー効果が観察される必要がある。マイスナー効果は超伝導体にある一定以上の磁場(臨界磁場)を加えるとその超伝導性を失うことを意味する。その理由は、超電導相のギブスの自由エネルギーは完全反磁性により磁場に対して2次式的に増大するが、常伝導相のギブスの自由エネルギーは磁場の変化に対してほぼ一定あるので、外部磁場を増加させていくと、超電導相は必ず常伝導相に相転移する。そこで、黒鉛にアルカンを接触させることによって超伝導体を得られることを示すために、外部磁場を増大させながら黒鉛とアルカンを詰め込んだテフロンチューブの電気抵抗を測定し、磁場による相転移の存在を確認すると同時に臨界磁場の測定を行った。

**[実験および結果]**黒鉛とアルカンからなる伝導体は複合材料である。4端子法を用いた場合、複合材料では導入する抵抗測定用電流とは逆に流れる電流パスが生じることがあり、見かけ上電圧測定端子間の電位差が零になることがある[2]。そのため、接触抵抗を避けるために用いられる4端子法を採用することができない。そこで、本実験では接触抵抗を避けられないが2端子法を採用した。試料の構成を図1に示す。内径 0.96mm、外径 1.56mm、長さ 15 から 25mm のテフロンチューブの両端に M1.2 のねじを切った。このテフロンチューブに黒鉛ファイバー(日本グラファイトファイバー、XN-100-25Z, サイジング剤なし)を詰め込み、n-ヘプタンを注射器により注入した。その後、快削銅(テルル銅、Cu-0.40~0.60wt%Te、 $1.86 \mu \Omega \text{cm}$ )の M1.2、ピッチ 0.25mm、長さ 6mm のネジを用いて締め付けた。テルル銅製ねじに銅線を繋げて抵抗測定を行った。銅線、テルル銅ネジ、およびテフロンチューブに詰め込まれた黒鉛の抵抗は非常に小さいので、測定される抵抗値はほぼ接触抵抗によるものである。さらに締め付け力によって、接触抵抗は大きく変化する。相転移は、黒鉛と n-ヘプタンの混合体が抵抗零状態から常伝導状態になるときの接触抵抗に比べて非常に小さな抵抗の増大を測定することによって検出することになる。黒鉛とアルカンからなる導体において抵抗零で流れるキャリアは電子対ではなくプロトンであると考えられる[3]。プロトンは金属中を流れることができない。そこで、交流抵抗を測定した。測定装置として LCR メータ(E4980A、Keysight Technologies)を用いた。測定電流は 10 mA である。磁場発生装置として、PPMS(Quantum Design)の液体ヘリウム磁場発生装置および市販の縦型常伝導電磁石を用いた。テフロンチューブは PPMS 磁場発生装置では磁場方向に平行に設置し、常伝導電磁石では磁場の方向に対して垂直に設置した。図 2(a)に、PPMS によって磁場を 0.0114 T/s の速さで増大させながら測定された抵抗の階段的变化を示す。抵抗の変化は 0.6 T で始まっている。図 2(b)は 0.01 T/s の速さで磁場を増加させながら測定した結果であり、0.51 T から相転移が始まっていることを示している。図 2(c)は 0.0739 T/s の速さで磁場を減少させながら測定した結果であり、相転移は 0.68 T から始まり約 0.53 T で終わることを示している。図 2(a)および(b)は相転移を示す抵抗変化前は黒鉛と n-ヘプタンからなる圧縮体が抵抗零状態にあり、磁場による相転移後常伝導状態になったことを示している。さらに、磁場による相転移の観察は、抵抗変化前はテフロンチューブに詰め込んだ黒鉛と n-ヘプタンからなる圧縮体が超電導状態にあったことを示している。図 2(c)は、外部磁場を臨界磁場以下に減少させることによって、黒鉛と n-ヘプタンからなる混合体に入り込んだ磁界が除外され超電導状態になったことを示している。これらの結果は観察された相転移は可逆的であり、黒鉛と n-ヘプタンからなる混合体においてマイスナー効果が起きたことを示唆しており、黒鉛と n-ヘプタンからなる混合体は超電導体であることを示している。なお、図 2 において観察される磁場による抵抗の増大は黒鉛の磁気抵抗によると解釈される。

最後に、抵抗測定による臨界磁場の測定を進めていただいた Leipzig 大学の Pablo Esquinazi 教授、2端子法の採用をご助言いただいた Stanford 大学の Theodore H Geballe 教授に感謝します。さらに、PPMS での測定について東京大学物性研究所の池田暁彦氏、松田康弘氏の協力に感謝します。計測プログラムについて東京

工業大大学院理工学研究科電子物理工学専攻の岩本光正教授、田口大先生の協力に感謝します。

[1] Y. Kawashima, AIP Advances **3**, 052132(2013).

[2] S. Wang and D. D. L. Chung, Composites: Part B **30**, 579 (1999).

[3] 川島康、第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集、10-028.

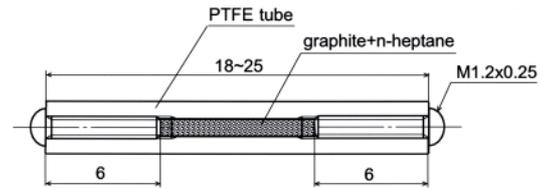


Fig. 1 Schematic diagram of the sample.

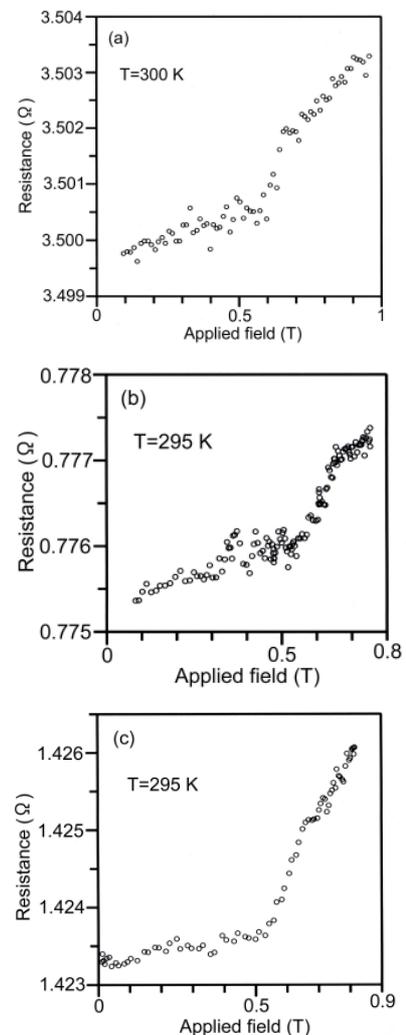


Fig. 2 Resistance vs. applied field. In (a), the field was parallel to the direction of current flow. In (b) and (c), the field was perpendicular to the direction of current flow. In (a) and (b), the field strengths were increased at rates of 0.0114 and 0.01 T/s, respectively. In (c), the field strength was decreased at a rate of 0.0739 T/s.