

モット転移近傍の分子性導体に対する静電キャリアドーピング

(理研*, 東工大**, JST さきがけ***, 阪大基礎工****)

○須田理行*, 山本浩史****, 川相義高****, 加藤礼三*

【序】

分子性導体 κ -(BEDT-TTF)₂[N(CN)₂]Cl (κ -Cl)はバンド幅とオンサイトクーロン反発が拮抗するため強相関系に属する。通常、強相関分子性導体の電子状態はその柔軟性を生かした圧力印加によるバンド幅制御によってコントロールされ、 κ -Clは低温でバンド幅制御型のモット転移を起こす。一方で、同じ強相関系に属する銅酸化物は、ケミカルドーピングによりバンドフィリング制御型のモット転移を起こし、超伝導へと転移することが知られるが、分子性導体においてはランダムポテンシャルによる影響などからケミカルドーピングは困難である。こうした観点から、分子性導体に対するフィリング制御の手段として電界効果トランジスタ(FET)構造を利用した静電キャリアドーピングが近年注目されている。これまで、我々は電解成長させた有機モット絶縁体である薄片状単結晶を直接基板に張り付ける方法を考案し、得られたデバイスにおける電界効果測定から、電界によるモット転移が誘起されることを見出した。¹

本研究では、 κ -Clの薄片状単結晶デバイスに対し、モット転移近傍の電子状態を選択しての電界効果測定を目的とした。これを実現するため、フレキシブルな基板の湾曲による歪み効果とFET構造による電界効果を併用することで、分子性導体のバンド幅とバンドフィリングを同時かつ連続的に制御可能なシステムを構築し、実際に、モット転移近傍の κ -Clに対する静電キャリアドーピングに成功したので報告する。

【実験】

κ -Cl薄片状単結晶は電気分解により成長させた。この結晶を2-propanol中にて、ゲート電極(Au: 50 nm)及び絶縁膜(Parylene: 400 nm)を被覆したポリエチレンナフタレート基板上に載せ、溶液から基板を引き上げた後に乾燥させることで、基板上に貼り付けた。伝導度はカーボンペーストを用いた4端子法により測定し、 κ -Cl結晶への歪みは、基板の裏面からナノポジショナーによって圧力を与え、基板を湾曲させることにより印加した(Fig. 1)。なお、歪みの値は positioner movement P (μm)によって定義した。

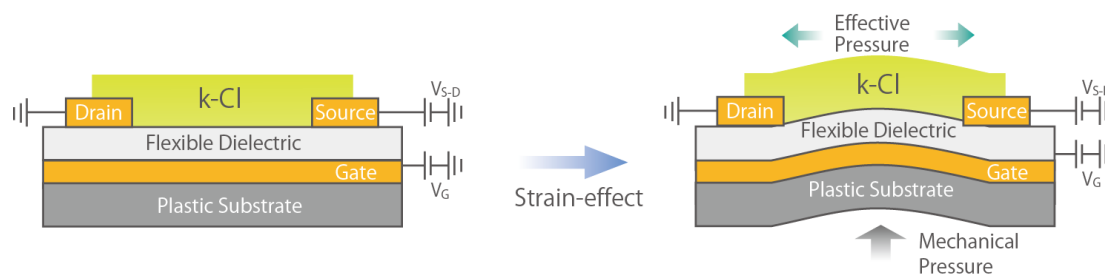


Fig. 1 Schematic Illustration for Strain-effect in κ -Cl-FET device.

【結果・考察】

基板上的 κ -Cl はバルク(モット絶縁体)と異なり、約 12 K で超伝導へと転移した。これは基板と結晶との熱収縮率の差により、冷却過程で基板から結晶に実効的な圧力が与えられたためであると考えられる。この κ -Cl に 50 K にて歪みを印加した際の抵抗値の温度依存性変化を Fig.2 に示す。歪みの印加に伴い抵抗値は次第に上昇し、初期状態の超伝導からリエントラント転移を経て絶縁体へと歪み誘起相転移を示した。この結果は、 κ -Cl の圧力誘起モット転移とも良い一致を示しており、本システムにおける歪み誘起相転移が、歪みの印加に伴う結晶への実効的な負圧によるバンド幅制御型モット転移であることを示唆している。

続いて、歪み印加下においてゲート電圧を印加し、抵抗値の変化を測定した。いずれの歪み、温度の条件下においてもデバイスは n 型の FET 動作を示した。絶縁相である $P = 400$, 12 K において約 1 桁の ON/OFF 比、 $0.24 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ のデバイス移動度を得た(Fig 3 左図)。また、興味深いことに本デバイスでは超伝導相(パーコレート)においても電界効果が観測され(Fig.3 右図)、 $P = 350$, 12 K において、ON/OFF 比は 10 % 程度ながら、 $286 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の非常に高いデバイス移動度を得た。この超伝導相における電界効果及び高い移動度は、モット転移過程において生じた超伝導相中の部分的絶縁相に対するキャリア注入により、超伝導(もしくは金属)相のフラクションが増加したことによるものと推察されるが、詳細は当日の講演にて報告する予定である。また、以上の結果は、電界誘起超伝導への糸口という意味からも興味深いものであると考えられる。

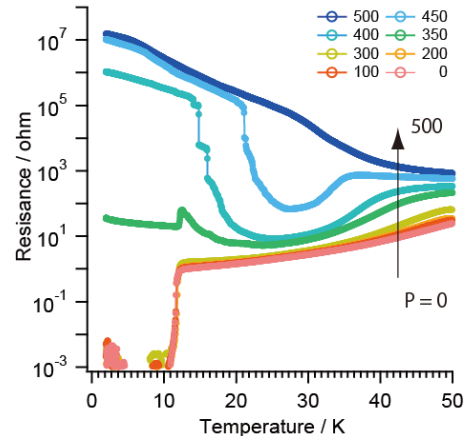


Fig. 2 T -dependence of resistance for κ -Cl-device with various strains.

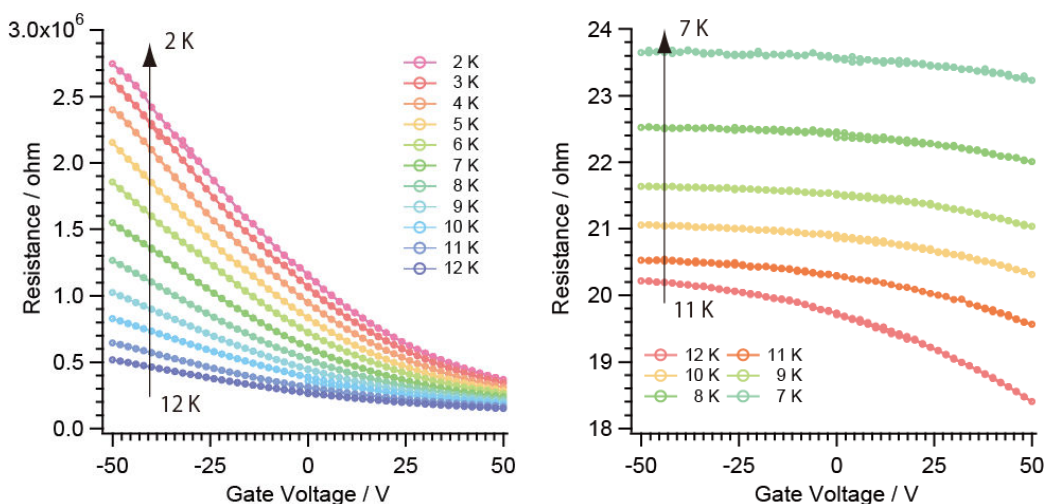


Fig. 3 FET characteristics for κ -Cl-device with $P = 400$ (left) and 350 (right).