

分子性導体における電界効果測定

(理研^{*}, 埼玉大理^{**}, 産総研^{***}) ○山本浩史^{*}, 川相義高^{*,**}, 細田睦^{*}, 田嶋尚也^{*}, 福永武男^{*}, 塚越一仁^{***}, 加藤礼三^{*,**}

【序】電界効果測定はキャリア濃度を直接変化させて物性値測定をすることが出来るため、伝導性物質の物性を制御・解明する上で非常に重要な測定である。近年、様々な薄膜FET (= Field Effect Transistor) 作製技術の進歩により、酸化物超伝導体や単層グラファイト等において電界効果を使った実験が可能になり、物性科学における重要な知見が次々と得られてきている。強相関電子系やゼロギャップ伝導体は分子性導体においても実現されており、超伝導などの諸物性はそのキャリア濃度に強く依存すると考えられている。そのためその電界効果測定に興味を持たれていたが、これまで薄膜の単結晶試料を作製する一般的な方法が知られていなかったために電界効果測定がほとんど行われてこなかった。今回我々は多くの分子性導体に適用可能と思われる薄膜FET構造の作製法を開発し、その動作測定に成功したので報告する。

【実験】我々が開発した手法は非常に簡便で、分子性導体の薄膜単結晶を電解法で作製し、これをエタノール中に分散させた後、基板に載せて乾燥させるというものである(図1)。分子性導体の単結晶は機械的にもろいため、全ての操作を溶液中で行う点が重要である。基板としては、酸化膜付きシリコンと、ポリスチレンにPDMS(= poly(dimethylsiloxane))をコートしたものの2種類を用いた。これは基板の収縮率の違いにより、サンプルに擬似的な圧力効果が発生するので、これを検証するためである。サンプルは超伝導体として知られている κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]₂Br (κ -Br)を用いた。これは、この物質が電場誘起超伝導やモット臨界点近傍の諸物性を調べるのに適した物質であるためである。測定は、まず通常の4端子抵抗測定により各デバイスの基底状態を確認した後、シリコン基板上的のサンプルを用いて電界効果測定を行った。

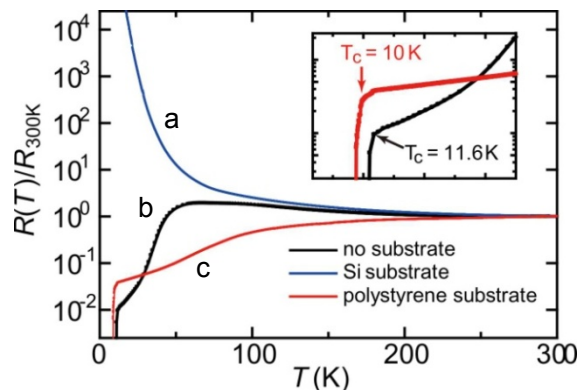
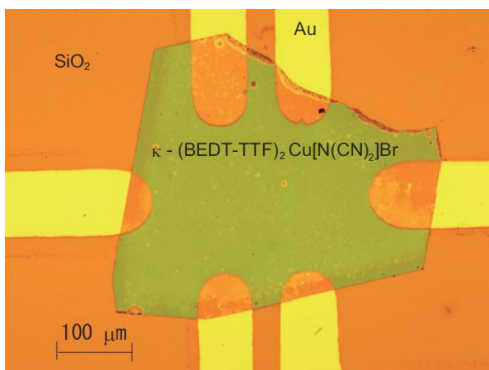


図1 (左) : シリコン基板上に作製した κ -Br の6端子デバイス(厚み 370 nm)。電極材料は金。

図2 (右) : 各基板上における κ -Br の抵抗温度依存性。シリコン基板上的のサンプル(a)は低温まで絶縁体だが、ポリスチレン上サンプル(c)は 10 K で超伝導となる。

【結果と考察】 κ -Br のバルク単結晶は、絶縁体から金属へのクロスオーバーを 50 K 付近で示した後 11.6 K において超伝導体となることが知られている (図 2 b) が、薄膜単結晶を基板上に固定して電気抵抗測定をしたところ、シリコン基板上では低温まで絶縁体的な振る舞い (図 2 a) を示した。一方、ポリスチレン基板上では、室温から金属的な振る舞いを示した後 10 K において超伝導体となり (図 2 c) 、基板の材質に依存した非常に対照的な挙動が見られた。これらの挙動は基板からの圧力効果であると考えたと説明がつく。すなわち、シリコン・ κ -Br およびポリスチレンの熱膨張係数は室温でそれぞれ 2, 60 および 80 ppm/K であるため、サンプルより小さい熱膨張係数を持つシリコンに固定して温度を下げると延伸による負の圧力効果が、サンプルより大きい熱膨張係数を持つポリスチレンに固定して冷やすと収縮による正の圧力効果が生じると考えられる。 κ -Br は負の圧力でモット絶縁体になり、正の圧力で超伝導の転移温度が下がることが知られているので、シリコン基板上では絶縁体・ポリスチレン基板上では超伝導(10 K)、という結果は全て圧力効果で説明できることになる。

負圧によってモット絶縁体となったシリコン基板上の κ -Br に対してゲート電圧をかけて伝導性の変化を測定した。まず 4 K において 2 端子 IV 測定を行ったところほぼ線型の挙動が見られ、図 3 に示すように正のゲート電圧に対して電流が増加した。これは、 κ -Br が n 型 FET として動作していることを示している。ON/OFF 比は 10^7 、デバイス移動度は $3.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ であった。また、4 端子測定において抵抗値の温度依存性を測定したところ、負のゲート電圧によって活性化エネルギーが増加し、正のゲート電圧によって活性化エネルギーが減少することが明らかとなった。観測された活性化エネルギーは、ゲート電圧が -80 V の時 25 meV 、ゲート電圧が $+80\text{ V}$ の時 1 meV である。4 端子法におけるトランスファー曲線を測定すると、 $94\text{cm}^2/\text{Vs}$ という非常に高いデバイス移動度が確認された。この高い移動度は、モット絶縁体中の電子が感じているクーロン反発が、静電キャリア注入により弱められた結果生じたものではないかと現在のところ考えている。今回の測定結果は低温で得られたものではあるが、有機 FET の持っている可能性を探る上でも、またナノサイズ化に向いているとされるモット FET の可能性を探る意味でも非常に興味深い。

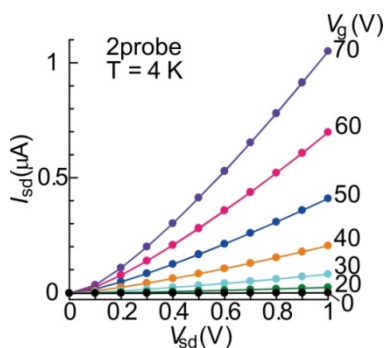


図 3 (左) : 2 端子測定における IV 曲線。測定温度は 4 K。

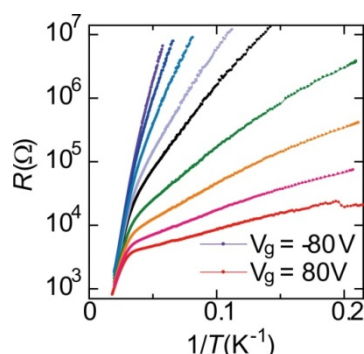


図 4 (中) : 4 端子抵抗測定のアレニウスプロット。ゲートは 20 V 刻みで変化させている。

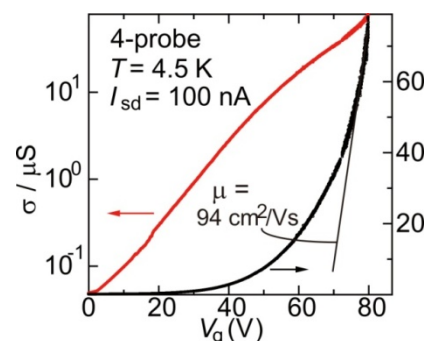


図 5 (右) : 4 端子トランスファー曲線。縦軸は左が対数表示で右が線型表示。