

有機モットFETのホール効果測定

(理研^{*}, 埼玉大理^{**}, 物材機構^{***}) ○山本浩史^{*}, 川楯義高^{*,**}, 田嶋尚也^{*}, 福永武男^{*}, 塚越一仁^{***}, 加藤礼三^{*,**}

【序】

我々はこれまでの研究において、有機モット絶縁体を用いた電界効果トランジスタ(FET)を作製し、最高で $94 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高いデバイス移動度と 10^7 という高いON/OFF比を達成した。モット絶縁体は、本来非常に多くのキャリア(BEDT-TTF 2分子あたり1キャリア)を有しているにもかかわらず、電子間クーロン反発により電子が動けなくなった状態である。このモット絶縁体では伝導バンドの充填率をごくわずか変化させるだけで金属状態や超伝導状態が出現する(図1)ことが知られており、例えば酸化物高温超伝導体も同様のメカニズムで超伝導を発現している。今回は、このようなモット絶縁体特有の性質が、FETとしてデバイス化されたときにどのように作用しているのか、ということ調べるために、デバイス中でのキャリア密度変化をホール効果測定によって調べたので報告する。

【実験】

まず分子性導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ ($\kappa\text{-Br}$)の薄膜単結晶を SiO_2/Si 基板上に貼り付け、これをレーザー加工して電極を取り付けることにより有機モットFETを作製する(図2)。 $\kappa\text{-Br}$ はバルクにおいて超伝導転移することが知られているが、熱収縮率の非常に小さいシリコン基板に固定されることにより、低温でモット絶縁体となる。この状態でゲート電圧を印可し、n型のFET動作を確認した。デバイスに対して低温で磁場とゲート電圧を掃引し、4端子伝導度とホール抵抗を同時に測定した。

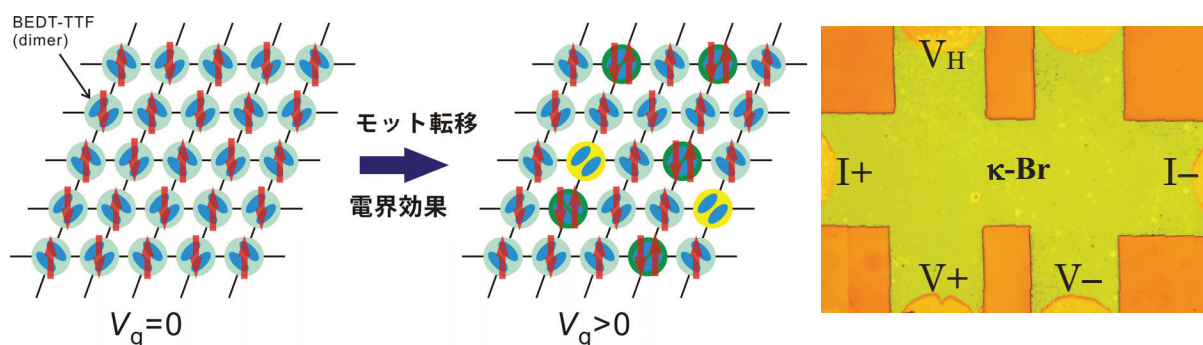


図1 (左) : モット転移で起きる変化の模式図。モット絶縁体(左)ではBEDT-TTF二量体にキャリアが局在しているが、ゲートで余剰キャリアを誘起すると電子が融解する。

図2 (右) : シリコン基板上に作製した $\kappa\text{-Br}$ の6端子デバイス(厚み370 nm)。電極材料は金。

【結果と考察】

デバイスの極性は基本的にn型であったが、本来モット絶縁体には電子注入とホール注入の両方が可能であるはずである。そこで幾つかのサンプルで負のゲート電圧を100V以上かけたところ、n型動作の閾電圧が高いサンプルについてはp型領域も観測することが出来た。さらに各ゲート電圧で温度変化を測定したところ、図3のような振る舞いが見られた。高温部分では固有キャリアの振る舞いが見られるが、低温部分では誘起キャリアが支配的になっている。この曲線を高温極限に外挿すると、切片抵抗値がほぼ一定となり、この系は移動度端にキャリアが集積していくクリーンな系であることが示される。したがって、エネルギーの極端に低いトラップや相分離による不均一は考えず、均一な系としてホール効果を解釈してよい。

磁場を掃引しながらホール電圧を測ったところ、非常に良い線形性がどの温度領域・どのゲート電圧でも確認された。室温において求めたホール係数からキャリア数を求めたところ、ちょうど2分子あたり1個のホール（第一ブリルアンゾーンの100%）が観測された。サンプルを低温に冷却していくと、絶縁化の進行とともにこのキャリアが動かなくなり、キャリア数も室温から比べると0.1%程度まで減少していった。ところが、この状態で正のゲート電圧を印可したところ、キャリア数の急激な立ち上がりが起こり、BEDT-TTF 2分子あたり1個のホールが復活する様子が観測された（図4：ただし活性チャンネルはちょうどBEDT-TTF一層分だと仮定する）。これはキャパシタンスモデルで予想されるキャリアとは符号も絶対値も全くことなり、明らかにモットFET特有の現象と考えられる。この結果の最も率直な解釈は、電界効果によりモット転移が起きて、チャンネルの金属化が起きているというものである。ただし、欠陥による局在の効果によりまだ完全に金属的な振る舞いは見られていない。

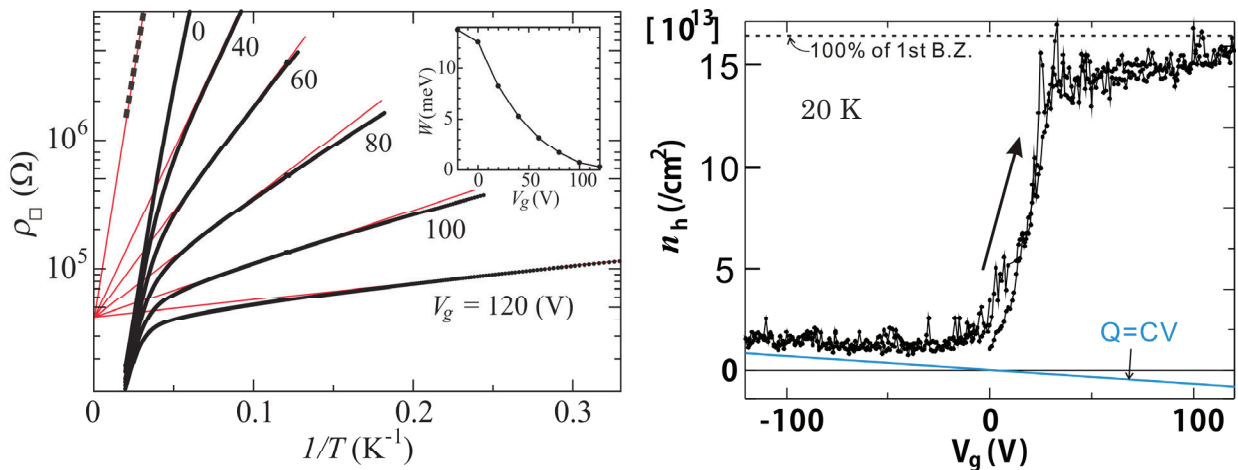


図3（左）：各ゲート電圧における面抵抗率の温度変化（アレニウスプロット）。低温部を赤線により外掃すると、高温極限で一点に交わる。

図4（右）：キャリア数のゲート電圧による変化。観測されたキャリア数はキャパシタンスモデルで予想されるもの（ $Q = CV$ ）より一桁大きく、また符号も逆である。