

有機電荷移動錯体を用いた光サイリスタ

(北大電子研¹、北大院理²、北大創成³)○飯森俊文¹、内藤俊雄^{2,3}、太田信廣¹

1. はじめに

分子性導体が示す多彩な物理現象の理解が進む一方で、これらの有機デバイスへの応用を視野に入れた研究に関心が高まっている。特に、光により誘起される物性のスイッチング現象に関しては、光誘起相転移との関連性が指摘される例もみられ、分子科学における新しい研究フィールドとして興味もたれている。さらに、光スイッチング素子や光メモリー素子のための光機能材料の開発といった観点からも重要な研究対象である。いくつかの電荷移動錯体においては、暗黒下における電流値の電圧依存性(電流－電圧特性)について以前から研究例がある。しかし、光誘起スイッチング効果における電流－電圧特性や、光強度依存性・温度依存性などの基本的な性質を調べた研究例は、これまで皆無に等しい。

我々は、電荷秩序状態にある α -(BEDT-TTF)₂I₃について、光誘起電気伝導度スイッチング効果とそれに付随する「パルス電場制御メモリー効果」を報告してきた。¹⁻⁴⁾ 本研究では、 α -(BEDT-TTF)₂I₃の電流－電圧特性の光強度依存性および温度依存性のキャラクタリゼーションを行った。

2. 実験

α -(BEDT-TTF)₂I₃の単結晶は電気分解法により合成し、ヘリウムガスを冷媒として用いたクライオスタットを使用して温度制御を行った。電極端子は、金ペーストを使用し結晶の ab 面に平行に作成した。パルスNd:YAGレーザー(パルス時間幅 10 ns)の第2高調波(532 nm)を光源として用い、偏光方向と結晶の軸方向は規定せずに結晶の ab 面に垂直に入射させた。パルス電圧を加えたときの電流値を、図1に示す回路を用いて計測した。結晶と負荷抵抗器(R_L)と矩形パルス電圧(幅 5 ms)発生器を直列に接続し、回路全体に対して一定の電圧を印加し、それと同期させてレーザー照射を行った。 R_L は、スイッチングが起きた際に試料に流れる電流値を抑制して試料が焼けるのを防ぐ目的で使用した。流れる電流の時間変化はデジタルオシロスコープの入力インピーダンス(50 Ω)に対する電圧降下として計測した。

3. 結果と考察

試料温度 $T = 120$ K において測定した電流－電圧特性を図2に示す。ここでは、電圧値を増加させながら測定を行った結果を示した。この温度で試料は絶縁体状態にあり、光照射を行わない場合(Dark)には、印加電圧の増加とともに単調な電流値の増加がみられるのみである。しかし、光照射(3×10^{-5} J/pulse)を行いながら測定した場合には、約 5 V において電流値が不連続な増加を示し、電気伝導度のスイッチングが見られた。挿入図は、8 V において観測された高伝導状態の電流プロファイルである。

電流－電圧特性の温度に対する依存性を観測するため、

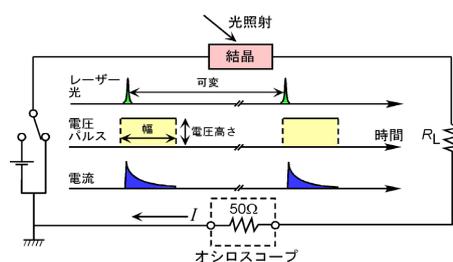
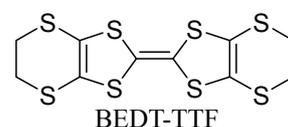


図1 計測回路図とパルススキーム。

光強度を一定に保ち試料温度を変えて測定を行った結果を図3に示す。ここで、横軸の電圧値は、計測回路全体に加わる電圧(V)から R_L における電圧降下を差し引いた、試料自身にかかる電圧値(V_S)である。各温度のプロットにみられる比較的長い直線部分は、回路の負荷直線(load line)に対応しており、これに沿って高伝導状態へと移る。このような電流変化が観測されるのは、試料の電流-電圧特性曲線において微分の値が負となる負性抵抗領域が存在するためである。また、図3の結果は、光誘起スイッチングのしきい電圧値を、温度により変化させることができることを示している。光強度一定のもとで各温度において得られるしきい電圧から電場強度を求め、温度に対してプロットを行うと、96 K (6×10^2 V/cm)から125 K (1×10^2 V/cm)まで滑らかに変化することがわかった。⁴⁾

光照射をトリガーとしてスイッチング特性を示す半導体素子として、光サイリスタが知られている。サイリスタと総称される半導体素子は、p-n-p-n接合構造を持ち、整流作用を有する。光サイリスタは、光スイッチなどの光機能デバイスを構築するうえでの基本素子として重要である。そして、光強度を増大させるとともに、しきい電圧値が低くなることが特徴である。図4は、光強度を変えて測定した α -(BEDT-TTF)₂I₃の電流-電圧特性である。図4(a)は、光強度を固定し、 V の値を増加させスイッチングを起こさせた後、 V の値を減少させたときの結果であり、ある電圧範囲において電流値が双安定性を示していることがわかる。いくつかの光強度を用いて電流- V_S 特性を求めた結果を図4(b)に示す。光強度の増加とともに、スイッチングのしきい電圧が低下しており、電荷秩序状態にある α -(BEDT-TTF)₂I₃は光サイリスタと同等の特性を有することがわかった。また、光照射を用いることで、今回測定を行った96-125 Kの温度範囲において $\sim 10^2$ V/cmオーダーの電場強度で負性抵抗効果を得ることができる。このため、図2-図4に示したように、通常の電子回路において使用される10 V以下のパルス電圧を用いてスイッチングが可能である。なおかつ、単一バルク材料を用いて双方向光スイッチング素子を構築できる。これらの点は、応用上の重要な利点であると考えられる。

参考文献 (1) 飯森ら、分子構造総合討論会2006 **4D03**. (2) T. Iimori, T. Naito, N. Ohta, *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 3486. (3) T. Iimori, T. Naito, N. Ohta, *Chem. Lett.* **2007**, *36*, 536. (4) T. Iimori, T. Naito, N. Ohta, *Appl. Phys. Lett.* **2007**, *90*, 262103.

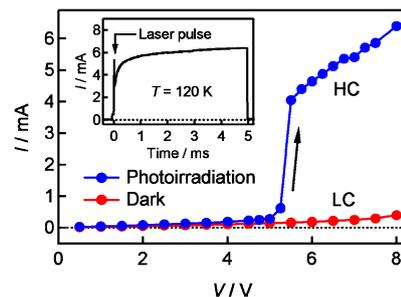


図2 電流値の電圧依存性と電流の時間プロフィール.

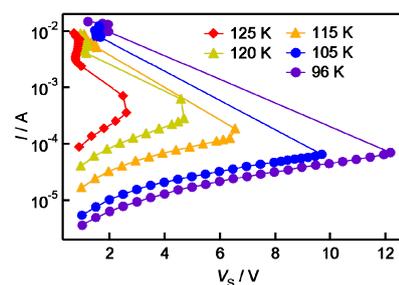


図3 電流-電圧特性の温度依存性.

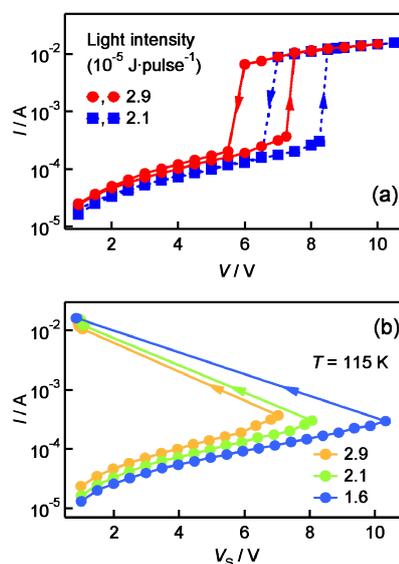


図4 電流-電圧特性の光強度依存性.