

κ -(BEDT-TTF)₂[N(CN)₂]Br を用いた光ゲート型超伝導トランジスタ

(分子研¹, 理研²) ○須田理行^{1,2}, 加藤礼三², 山本浩史^{1,2}

Fabrication of a Photo-gated Superconducting Transistor utilizing κ -(BEDT-TTF)₂[N(CN)₂]Br

(IMS¹, RIKEN²) ○Masayuki Suda^{1,2}, Reizo Kato², Hiroshi M. Yamamoto^{1,2}

【序】

分子性導体 κ -(BEDT-TTF)₂[N(CN)₂]Br (κ -Br)は強相関系に属し、低温で超伝導相とモット絶縁相に隣接した超伝導相を示す。このような強相関物質の電子相関はバンドフイルリングに大きく依存するため、電解効果トランジスタ(FET)構造による静電キャリア注入が物性制御の有効な手法である。これまでに、我々はFET構造を用いた κ -Brへのキャリア注入により有機物質では初めての電界誘起超伝導を見出した[1]。

本研究では、新たなエネルギー源として“光”を用いて超伝導を誘起する光ゲート型超伝導トランジスタの開発を目的とし、フォトクロミック分子であるスピロピラン誘導体の単分子膜上に κ -Brの薄片単結晶を貼り付けた新奇デバイスを開発した。スピロピラン単分子膜がフォトクロミズムに伴って作り出す双性イオンを利用したキャリアドーピングにより、実際に可逆的な光誘起絶縁体/超伝導転移を観測したので報告する。

【実験】

基板には、絶縁性酸化膜をALD(Atomic Layer Deposition)でコーティングしたNbドープSrTiO₃を用いた。この酸化膜を利用して3-aminopropyltrimethoxysilaneによる表面修飾を行った後、アミド結合を介してカルボキシル末端を持つスピロピラン誘導体(Figure 1)の単分子膜を作製した。また、 κ -Br薄片状単結晶(厚さ:~500 nm)は電気分解により成長させた。この結晶を2-propanol中にて基板上に配置した後、溶液から引き上げ乾燥させることで基板上に貼りつけた。得られたデバイスの評価は4端子抵抗測定、SQUIDによる磁化測定などにより行い、紫外光および可視光の照射はクライオスタット中に光ファイバーを導入することで極低温下にて行った。

【結果・考察】

通常、バルクの κ -Brは低温で超伝導体であるが、本デバイス上の κ -Brは極低温まで抵抗値が増加する絶縁体的振る舞いを示した。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(負圧)が与えられたためであると考えられる。

このデバイスに対し、2 Kにおいて紫外光を照射したところ、抵抗値は次第に減少し、最終的に転移温度12 Kの超伝導体へと転移した。続く可視光の照射によりデバイスはほぼ初期状態(絶縁体)へと回復した(Fig. 1)。また、これらの抵抗値変化は光照射を止めた後も持続され、紫外光/可視光の照射による絶縁体/超伝導体間の可逆的

スイッチが可能であることが示された。また、SQUID による磁化測定より、シーリングフラクションは紫外光の照射により増大し、可視光の照射により再び初期状態へと回復する可逆的な変化が観測された(Fig. 2)。光照射により増減した超伝導フラクションの体積はバルクとの比較から約 5 %程度と見積もられ、スピロピラン単分子膜のフォトクロミズムに伴い、超伝導フラクションが部分的に発現・消失していることが裏付けられた。

スピロピランは通常、中性の閉環体として存在するが、紫外光によるインドリン環 π - π^* 励起により双性イオンを持つ開環体へと異性化し、可視光による開環体 π - π^* 励起により再び閉環体へと異性化する。実際に本デバイス中のスピロピラン単分子膜においても可逆的光異性化を吸収スペクトルより確認している。本デバイスでは、規則的に配列された単分子膜上の開環体双性イオンが κ -Br 表面における電気二重層として働くことで、電界効果と類似のキャリア注入効果が得られたものと推察される。この時、光照射に伴う内部電界変化は $\sim 8.0 \text{ MVcm}^{-1}$ 程度と見積られ、注入キャリア数は 10^{13} cm^{-2} オーダーに達する。これらの値は、FET 構造を用いた静電キャリア注入と比較しても、遥かに大きな値であり、新奇相転移デバイスとしての有効性が示されたものと考えられる。

当日の講演では、光誘起超伝導現象の詳細に加えて、電界効果と光照射効果を併用したデュアルゲート動作などについても報告する予定である。

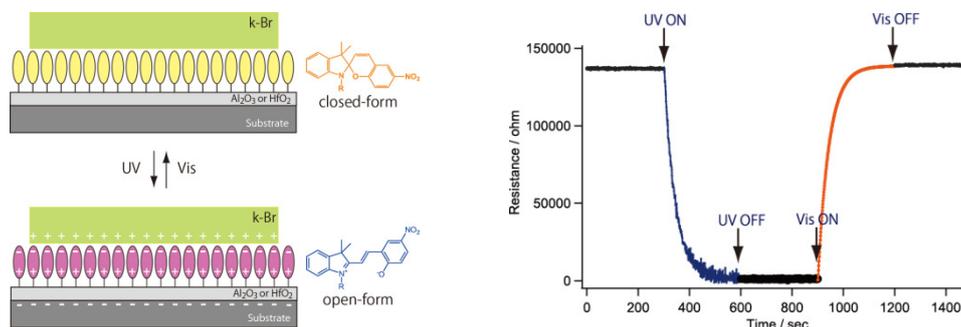


Fig. 1 Schematic illustration for the device structure (left) and photo-induced effects on the device resistance (right).

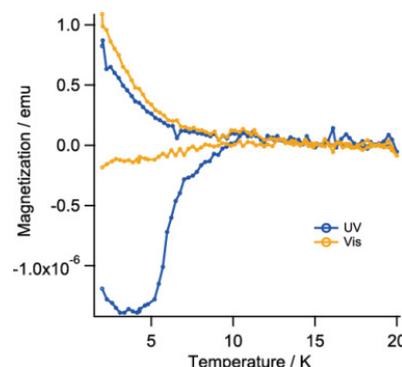


Fig. 2 Temperature dependence of the magnetization after UV and visible irradiation.