

動作中の有機トランジスタにおける 過渡的キャリア分布のナノスケール可視化

Nanoscale Visualization of Transient Carrier Distribution in Operating Organic Transistors

京大院工¹, 京大白眉セ², 慶應大理工³ ○山岸裕史¹, 木村知玄¹, 小林圭^{1,2}, 野田啓³, 山田啓文¹

Kyoto Univ.¹, Hakubi Center², Keio Univ.³ ○Yuji Yamagishi¹, Tomoharu Kinura¹, Kei Kobayashi^{1,2}, Kei Noda³, Hirofumi Yamada¹

はじめに 有機電界効果トランジスタ (OFET) はスイッチング素子をはじめとするローコストデバイスへの応用が期待されている。OFETのドレイン電流 (I_D) は、ゲート電圧 (V_G) の変化に対して瞬時に追従することが望まれるが、実際には I_D は瞬時に追従せず漸次的に変化する。これは V_G の変化に対してキャリアが平衡状態に達するまでに一定時間を要するためであり、その時間スケールはチャネル内での微細なキャリア挙動と深く関係している[1]。このキャリア挙動を明らかにするため、ケルビンプローブ原子間力顕微鏡 (KFM) を用いて動作中 OFET のチャネル内の過渡的なキャリア分布を可視化する手法を開発したので報告する。

実験と結果 ジナフトチエノチオフェン (DNNT) を活性層とするボトムコンタクト型 OFET において、KFM を用いてチャネル上のある点での表面電位 (V_{SP}) の V_G 依存性を測定した結果を図 1(a) に示す。チャネルが ON 状態であれば、 V_G の変化はチャネル内のキャリアによって遮蔽されるため V_{SP} は V_G によらず一定となるが、OFF 状態では V_{SP} は V_G に対しておよそ傾き 1 で追従する[2]。 V_G を -7V (ON 状態) から +3V (OFF 状態) と掃引した場合は、+3V から -7V と掃引した場合と比較して V_{SP} が約 2 V シフトした。これは ON 状態でチャネルに注入されたキャリア (正孔) のうち、 V_G の掃引 (約 27 V/s) よりも遅い時間スケールで緩和している正孔に由来する電位が V_{SP} に現れるためである。つまりチャネル上の各点で V_{SP} - V_G 特性を測定し、電位シフト (ΔV_{SP}) をマッピングすれば、その掃引条件下において緩和していく過程のキャリアの分布を可視化できる。図 1(b) 及び (c) は DNNT-OFET の表面形状及び ΔV_{SP} マップである。 ΔV_{SP} マップにはグレイン形状を反映した複雑な電位コントラストが見られ、グレイン境界が電極へと拡散するキャリアの移動を妨げることが示唆される。また電極と直接接続されているグレインでは ΔV_{SP} が小さいのに対し、電極から離れるに従って ΔV_{SP} は増加していくことが分かる。これはデバイスのターンオフ過程において、最初に電極近傍のグレインに蓄積されたキャリアが電極へ移動してその領域が空乏化・高抵抗化するため、電極から離れたグレイン内のキャリアの緩和時間が長くなり、その結果電極への拡散過程でチャネル上に長時間トラップされているキャリアが可視化されたためと考えられる。

[1] C. Melzer et. al., *Adv. Mater.* **25** (2013) 4315-4319 [2] M. Ando et. al., *Appl. Phys. Lett.* **105** (2014) 193303

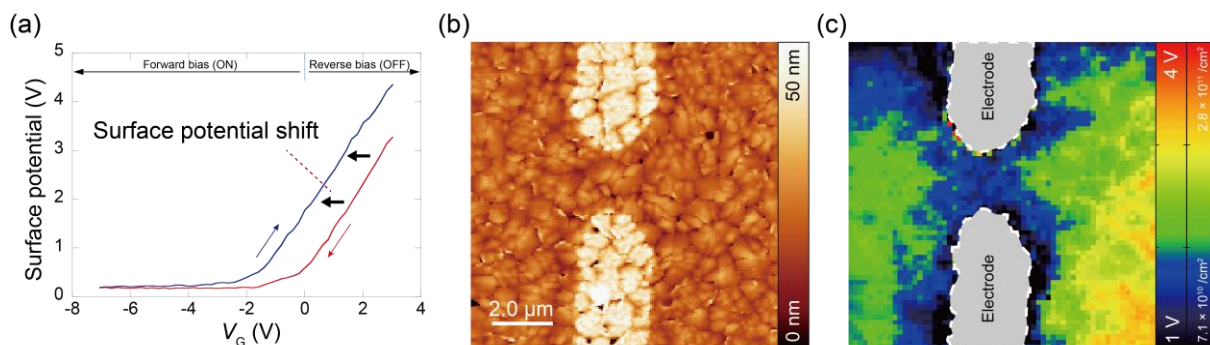


図 1 (a) DNNT-OFET チャネル上のある点において測定した V_{SP} - V_G 特性 (b) 表面形状像. (c) ΔV_{SP} マップ. ゲート絶縁膜の静電容量を用いて ΔV_{SP} からキャリア密度に換算したスケールバーも併記した。