

文章编号: 1000-7032(2011)07-0729-07

多层栅介质层有机薄膜晶体管的存储与光响应特性

王 伟¹, 马东阁², 高 强¹, 石家纬¹, 曹军胜³

(1 集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区 吉林大学电子科学与工程学院, 吉林 长春 130012

2 中国科学院长春应用化学研究所 高分子物理与化学国家重点实验室, 吉林 长春 130022

3 中国科学院 激发态物理重点实验室 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 在真空室内一次性制备了具有多层栅介质层结构的有机薄膜晶体管 (OTFTs)。结果表明, 制备的 OTFT 具有电控开关、存储和光敏多重功能特性。分析认为, 存储特性归功于器件的结构, 采用了分离的 CaF_2 纳米粒子岛作为电荷俘获中心。在光照环境下, 观察到了两种不同类型的光响应特性。快速的光响应来自于有源层吸收了能量大于带隙的光子所产生的可移动的电荷, 慢的光响应应归因于电场作用下光感应的电子在栅介质陷阱的俘获与释放。

关键词: 有机薄膜晶体管; 存储效应; 光响应

中图分类号: TN386

PACS 85.30.Tv

PACC: 7280L

文献标识码: A

DOI 10.3788/fjgb20113207.0729

1 引 言

有机薄膜晶体管 (OTFTs) 具有质轻、柔性、可大面积和低成本制备等诸多优点, 在近十年来备受关注。OTFTs 的器件性能也因对栅介质层的表面处理^[1-2]、有源层或栅介质的材料发展^[3-5]、制备工艺的优化^[6-7] 等因素得以显著提升。基于小分子并五苯 (Pentacene) 有源层的 OTFTs 的场效应迁移率和开关电流比等性能参数已达到甚至超过了氢化的无定形硅薄膜晶体管^[8-10], 作为电控开关, OTFTs 在有源寻址的柔性显示^[11-12] 和大面积柔性数字 ICs^[13] 等领域展现出了很好的应用前景。近年来, 具有附加功能的 OTFTs, 即双功能 OTFTs 相继被报道, 例如发光 OTFTs^[14]、OTFTs 存储器^[15-16] 和 OTFTs 传感器^[17-18] 等, 进一步拓展了 OTFTs 器件的应用前景。已报道的 OTFTs 存储器按其存储机理可分为两类: 一类是基于栅介质层在电场作用下的极化作用^[15], 一类是基于栅介质层中的电荷存储^[16]。有机半导体材料来源广, 取代特定的基团可调节其吸收和发光波长, 这使得 OTFTs 在光敏传感器和光探测器等领域拥有很好的应用前景。

本文设计并在真空室内一次性制备了多层栅介质层结构的 OTFTs 器件表现出多重功能特性, 包含了常规的电控开关特性及附加的存储、光电 (敏) 晶体管功能。暗室环境中, 器件表现出明显的存储循环特性, 在 $V_G = 10/-15 \text{ V}$ 的擦/写电压下, 存储窗口 6.0 V ; 在 $V_G = -1 \text{ V}$ 处, 得到了最大的存储电流比为 4.2 。光照环境下, OTFTs 的沟道电流明显增大, 且随光照强度的变化表现出明显的动态响应特性, 因此可采用光信号代替栅电压作为输入端口调制器件的沟道电流, 这表明当前的 OTFTs 可作为光电晶体管和光敏传感器应用。

2 实 验

本文的 OTFTs 设计为具有多层栅介质层的顶栅结构。选用覆盖有氧化铟锡 (ITO) 薄膜的玻璃作衬底, 经清洗后, 采用常规光刻技术图形化 ITO 薄膜, 形成源漏电极, 沟道长度 $L = 50 \text{ }\mu\text{m}$, 宽度 $W = 1000 \text{ }\mu\text{m}$ 。这种方式可制备非常精细的电极, 有利于减小栅源 (漏) 之间的寄生电容; 甚至能制备亚微米量级的沟道, 有利于提高 OTFTs 在集成电路、阵列传感及有源显示等方面应用的集

收稿日期: 2011-01-15 修订日期: 2011-03-14

基金项目: 国家自然科学基金 (60707015); 吉林省科技发展计划 (20080173) 资助项目

作者简介: 王伟 (1979-), 男, 吉林长春人, 主要从事有机薄膜晶体管与有机存储器的研究。

E-mail: ww@99@jlu.edu.cn, Tel: (0431) 85168240-8105

成度。再次清洗后, 带有 ITO 电极的衬底被置于真空室内。采用热蒸镀工艺依次生长 Pentacene 有源层 (60 nm, 0.1 nm/s), Nylon 6 (25 nm, 0.1 nm/s) /CaF₂ (15 nm, 0.05 nm/s) /Nylon 6 (225 nm, 0.1 nm/s) /Teflon (150 nm, 0.1 nm/s) 多层栅介质层, Al 栅电极 (100 nm, 0.2 nm/s), 采用掩模板对各层图形化。上述过程在真空室内一次性完成, 避免了因环境变化可能引起的玷污。各层薄膜的厚度和生长速率由膜厚仪精确监控, 并由台阶仪校准。测试在室温大气环境进行, 采用两台 Keithley 2400 测试仪分别在暗室和光照条件下表征了 OTFTs 的电学特性。光照环境测试采用了两种光源, 一种是白光的荧光灯; 一种是有机发光二极管 (OLED), 器件结构为 ITO/MoO₃ (8 nm) /NPB (150 nm) /NPB Alq₃ C545T (1% 1% 1%, 37.5 nm) /Alq₃ (37.5 nm) /LiF (1 nm) /Al (200 nm), 发光面积 3 mm × 3 mm, 距离 OTFTs 器件 1 cm。

3 结果与讨论

图 1 插图给出了 OTFTs 器件结构的截面示意图。测试了 OTFTs 在不同栅电压下的场效应输出特性, 图 1 给出了一组代表性数据, 可以观察到器件以典型的 p 沟道增强模式工作。分别在暗室和光照条件下测量了器件工作在饱和区 ($V_{DS} = -15$ V) 的场效应转移特性, 其代表性数据如图 2 所示, 这里栅电压 (V_G) 采用了从 +10 ~ -15 V (负向扫描) 再返回 +10 V (正向扫描) 的往返扫描方式。在饱和区, 场效应晶体管的输出电流表达式为:

$$I_{DS\ sat} = \frac{WC_i}{2L} (V_G - V_T)^2, \quad (1)$$

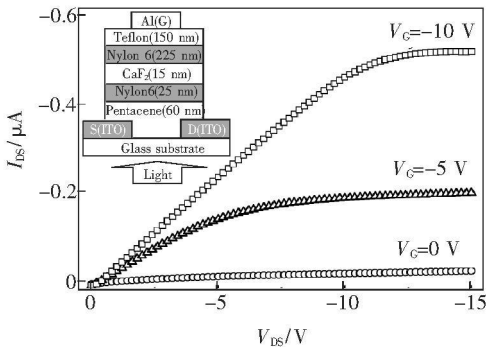


图 1 OTFTs 器件的输出特性, 插图 OTFTs 器件的结构示意图。

Fig 1 Output characteristics of the present OTFTs Inset The cross section schematic diagram of present OTFTs

式中, C_i 为栅绝缘层单位面积的电容; μ 为场效应迁移率; V_T 为阈值电压。暗室条件下随着 V_G 的往返扫描可以观察到明显的迟滞现象, 且此迟滞曲线有良好的重复性。从器件的转移特性可以推导出当前的 OTFTs 在 V_G 负向扫描下 $V_T = 2.9$ V, 在 V_G 正向扫描下 $V_T = 8.9$ V。由方程式 (1) 推算得, V_G 负向扫描期间的场效应迁移率 $\mu = 5.5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$, 在 V_G 正向扫描期间则减小为 $\mu = 3.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 。显著的 $I_{DS} - V_G$ 迟滞特性表明当前器件有望应用于存储器, 相应的存储窗口 (即阈值电压改变量) $V_T = 6.0$ V。在 $V_G = -1$ V 处, 得到了最大的存储电流比 $I_{DS\ Dark}^{正向} / I_{DS\ Dark}^{负向} = 4.2$ 。选择器件的擦 (E) / 读 (R) / 写 (W) 电压分别为 $V_G = +10 / -1 / -15$ V, 测试其存储循环特性如图 2 插图所示。器件的 CaF₂ 薄层是以三明治结构夹在 Nylon 6 薄膜中, 实验发现其位置对 OTFTs 的迟滞存储性能有明显影响, 本文所示是经过结构优化的器件。

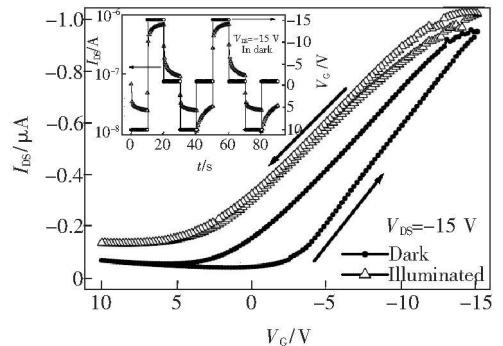


图 2 OTFTs 器件在暗室和光照下的转移特性, 插图 OTFTs 器件的存储循环特性。

Fig 2 Transfer characteristics of the present OTFTs under dark and in illumination Inset Dynamic storage cycles of the present OTFTs

我们先前的工作证实, 利用 Nylon 6/Teflon 双层栅介质层结构可以改善 OTFTs 的电特性, 其暗室环境测试的转移特性曲线没有发现明显的迟滞现象^[19]。因此推测当前 OTFTs 的迟滞存储特性与器件结构中插入的 CaF₂ 薄层有关。图 3 给出了第一层 Nylon 6 薄膜 (25 nm) 与 CaF₂ 薄层 (15 nm) 的原子力显微镜 (AFM) 图像, 二者选择与 OTFT 器件在同一环境内同步制备, 以最大程度地反映器件中 CaF₂ 薄层形貌的真实性。数据表明, Nylon 6 和 CaF₂ 的表面粗糙度分别为 1.209 nm 和 11.06 nm。Nylon 6 呈现出连续的薄膜形式, 而

CaF₂ 则呈现出清晰的纳米粒子岛形式, 分散在 Nylon 6 薄膜上, 粒子岛的最大高度约为 35 nm。分析认为分离的 CaF₂ 纳米粒子岛作为电荷俘获中心, 随着 V_G 极性和大小的变化, 电荷在沟道与 CaF₂ 纳米粒子之间的俘获与释放是导致 OTFTs 器件具有存储功能的主因。我们采用 Ag 和 N 纳米粒子代替 CaF₂ 纳米粒子作为电荷俘获中心, 也得到了具有相同存储特性的 OTFTs 器件, 证实了这一推测^[20]。从器件暗室环境的转移特性曲线可以发现, 迟滞特性主要位于负 V_G 扫描区域, 随着 V_G 的持续正向偏移, 迟滞特性逐渐消失; 再考虑到绝大多数报道的 Pentacene-OTFTs 均以 p 沟道增强模式工作, 认为参与器件存储的是单极性电荷-空穴。为验证这一观点, 将器件置于光照环境, 预期 Pentacene 吸收光子产生可移动的电子和空穴, 研究了自由电子对 OTFTs 器件电性能和存储性能的影响。

光功率计测得照射在器件上的光功率密度为 0.64 W/cm²。从图 2 给出的转移特性曲线可以发现, 与暗室环境的数据相比, 光照环境下, 器件的沟道电流 I_{DS} 明显增大, 阈值电压 V_T 明显正向偏移, I_{DS}-V_G 迟滞特性显著减小。计算光照环境下器件的阈值电压为 V_T = 13.5 V, 迁移率为 $\mu = 3.2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ 。

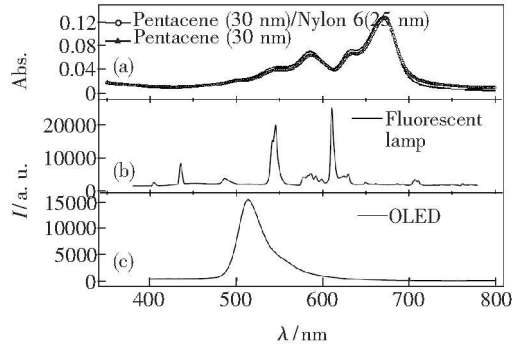


图 4 (a) Pentacene 薄膜 (30 nm) 与 Nylon 6 (25 nm) / Pentacene (30 nm) 双层薄膜的吸收光谱; 荧光灯 (b) 与 OLED (c) 的发光光谱。

Fig 4 (a) The absorption spectra of the Pentacene film (30 nm) and the Nylon 6 (25 nm) / Pentacene (30 nm) double layer film. The luminescence spectra of the fluorescent lamp (b) and the OLED (c).

测试了 Pentacene (30 nm) 薄膜与 Pentacene (30 nm) / Nylon 6 (25 nm) 双层薄膜的吸收光谱, 如图 4 (a) 所示。Pentacene 的光谱吸收范围主要集中在 550~700 nm, 三个主峰分别位于 585、635、670 nm。两条曲线有很好的重复性, 表明 Nylon 6 在可见光范围透明度高, 光照环境器件的电特性变化主要归因于 Pentacene 薄膜对光子的吸收。分析认为能量大于 Pentacene 带隙的光子, 被吸收并在 Pentacene 体内产生激子, 激子在电场作用下能分离成自由的空穴和电子。在负 V_G 作用下, 光产生的空穴向沟道漂移, 直接增大了沟道内可移动的电荷密度; 在正 V_G 作用下, 光产生的空穴远离沟道漂移, 但在 V_{DS} 的作用下直接参与了 Pentacene 薄膜的体导电, 这是光照环境器件的截止态电流 I_{DS OFF} 明显增大原因之一。光生电子与空穴的漂移趋势相反, 正 V_G 作用下, 漂移至沟道的电子可以隧穿 Nylon 6 薄膜, 注入并被 CaF₂ 纳米粒子俘获。考虑到栅、源、漏的相对电势, 沟道内的电场呈线性递变分布, 越靠近漏极区域, 电场越强, 注入 CaF₂ 薄层的电子越多, 且能被俘获。

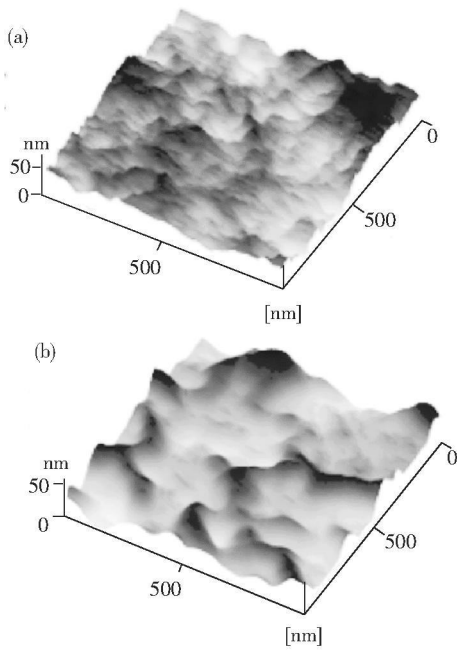


图 3 Pentacene 薄膜上的 25 nm 厚 Nylon 6 薄膜 (a) 与 Nylon 6 薄膜上 15 nm 厚 CaF₂ 薄层 (b) 的 AFM 图谱

Fig 3 The atomic force microscopy (AFM) images of the 25 nm Nylon 6 film on the surface of pentacene film (a) and the 15 nm CaF₂ thin layer on the surface of Nylon 6 film

光源采用白光荧光灯, 其发光光谱如图 4 (b) 所示, 波长范围 430~640 nm, 三个峰值分别在 435、545、611 nm。光源距离器件 25 cm, 采用硅

在更深的能级位置。驻留在 CaF_2 薄层中的电子会产生一个内建电场,吸引部分空穴聚集在沟道内参与电荷传输,同时会对外加的正 V_G 产生了一定的屏蔽作用,这使得 V_T 明显正向偏移,也是 $I_{DS\text{ OFF}}$ 增大的另一个原因。在负 V_G 扫描期间,沟道的电场从源极区域的负向渐变为漏极区域的正向(或 0);在正向(或 0)电场区域,电子仍驻留在 CaF_2 薄层;在负向电场区域,俘获的电子有被释放并返回沟道的趋势。分析认为电子比空穴更具有竞争性地占据 CaF_2 电荷俘获中心,且不易被释放,应是 OTFTs 在光照环境 $I_{DS}-V_G$ 迟滞特性显著减小的主因,也与暗室环境器件的存储功能是由空穴独自担当的推测相一致。

由上分析,光照环境下,OTFTs 源漏电流可表述为:

$$I_{DS} = I_{DS\text{ Dark}} + I_{DS\text{ Ph}} = I_{DS\text{ Dak}} + I_{DS\text{ Ph direct}} + I_{DS\text{ Ph } V_T}, \quad (2)$$

式中, $I_{DS\text{ Dak}}$ 是暗室环境 OTFTs 的源漏电流; $I_{DS\text{ Ph}}$ 指光电流,由两部分组成: $I_{DS\text{ Ph direct}}$ 是光生空穴直接贡献的电流,即所谓的光导效应; $I_{DS\text{ Ph } V_T}$ 是光生电子被俘获致使 V_T 偏移所产生的额外光电流,即所谓的光伏效应。部分光生电子与沟道内传输的空穴相复合使得器件在光照环境的迁移率略有下降。OTFTs 的光响应特性表明其有可能应用于光电晶体管或光敏传感器。光敏感度与光响应度 (R) 是此类器件重要的两个性能参数。前者定义为光电流与暗电流的比 $I_{DS\text{ Ph}}/I_{DS\text{ dark}}$ 在 $V_G = -0.6\text{ V}$ 时,获得最大值 66 (取 V_G 负向扫描阶段);后者定义为单位面积上入射的光功率引起的光电流密度, $R = I_{DS\text{ Ph}}/P_{\text{illumination}}$, 这里 $P_{\text{illumination}}$ 指照射在器件上的光功率。在取 V_G 正向扫描阶段的 $V_G = -5\text{ V}$ 时,获得最大的 R 值为 576 A/W , 在 V_G 负向扫描阶段的 $V_G = -3.8\text{ V}$ 时,获得最大的 R 值大于 1200 A/W , 这一数值远大于已报道的同类器件 ($0.15\sim 50\text{ A/W}$)^[18 21-22], 也大于基于无机单晶硅有源层的薄膜晶体管的光响应度 (300 A/W)^[23]。

OTFTs 可作为光电晶体管或光敏传感器应用,下面研究了其对光信号的动态响应特性。采用绿光 OLED 作光源,其发光光谱如图 4(c) 所示,波长范围 $470\sim 600\text{ nm}$,主峰在 512 nm 。测试过程中,保持器件的栅电极悬空,固定 $V_{DS} = -15\text{ V}$,以光信号取代 V_G 作为 OTFTs 的调制端口,用 $5\sim$

10 V 的直流电压动态循环调控光源 OLED 的光照亮度 (Lum inance)。图 5 为测试的器件 I_{DS} 随光照亮度循环调控的动态响应曲线, I_{DS} 随光照亮度的动态循环呈现出螺旋上升趋势。在光照亮度上升阶段,起初 I_{DS} 随之线性增大,当光照亮度过高时, I_{DS} 的增加幅度略有减小,这归因于光照亮度的提高提供了更多的光子,相应按线性比例地产生了更多的自由电子和自由空穴参与导电,但随着电子与空穴密度的增加,其相互复合几率也随之增大,进而抑制了 I_{DS} 的线性增加。在光照亮度下降的初始阶段, I_{DS} 没有立刻随之明显下降,而是在过一段时间后,呈渐缓式下降,表现出明显的滞后现象。这表明除了光强直接影响 I_{DS} 外,还有其他因素对 I_{DS} 产生影响。分析认为,光照亮度的上升阶段,部分光生电子被栅介质的电荷俘获中心俘获,并能驻留较长的时间不被释放。当光源亮度下降时,驻留在栅介质中的电子产生的内建电场能吸引部分空穴聚集在沟道内参与电荷传输,滞后了 I_{DS} 随光源亮度的响应变化。光照亮度再次处于上升阶段时,驻留在栅介质中的电子吸引的空穴与光生电子和空穴相互叠加共同参与导电,致使 I_{DS} 随光照亮度的动态循环表现出螺旋上升趋势。图 5 所示的器件 I_{DS} 随光照亮度循环调控的动态响应特性及其机理解释与前述的电子比空穴更具有竞争性地占据 CaF_2 电荷俘获中心,且不易被释放的观点相一致。

器件的 I_{DS} 随光源亮度变化呈现的即时响应表现为快速光响应,其随光源亮度动态循环呈现

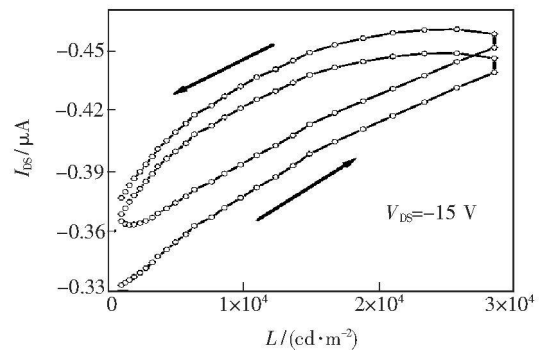


图 5 OTFTs 的 I_{DS} 随 OLED 光源亮度循环调控的动态响应特性

Fig 5 The dynamic photoresponse characteristics of the OTFTs plotted the I_{DS} as the function of the lum inance of the OLED, with $V_{DS} = -15\text{ V}$ and the gate was floated

的螺旋上升趋势则表现为慢速光响应。为进一步研究其快速与慢速光响应,我们将 OTFTs 的光电响应作为时间函数测试了其动态变化特性,如图 6 所示。测试期间,OTFTs 保持栅电极悬空,固定 $V_{DS} = -10$ V,用脉冲电压控制光源 OLED 的开启与关闭,脉冲电压幅值 10 V,对应 OLED 的亮度为 $28\ 000\ \text{cd}/\text{m}^2$,脉冲周期 100 μs 占空比 50%,每间隔 0.1 s 读取一次 I_{DS} 数据。OLED 开启后,器件的 I_{DS} 先是快速增大,而后随时间延长持续缓慢增大至 $(4.5 \sim 4.75) \times 10^{-7}$ A; OLED 关闭后, I_{DS} 先是快速减小,而后随时间延长持续缓慢减小至 $(2.5 \sim 2.75) \times 10^{-7}$ A。这一现象表明 OTFTs 也可作为光电开关应用。在 OLED 的每一次开启/关闭周期, I_{DS} 初始的快速响应阶段,其幅值变化 50% 约需要 2 s 时间,对应着光生载流子的直接产生与消失。之后 I_{DS} 的慢速响应阶段,其幅值变

化速率随着时间的延迟快速减小,这一阶段应归因于光生电子的持续被俘获与释放,进而对参与导电的空穴浓度产生影响。在每一次循环周期中, I_{DS} 的幅值都比前一周期略有增加,表明俘获的电子能维持较长的时间,不易被完全释放,这和前面的实验现象与分析相一致。

4 结 论

以全蒸镀的方式在真空室内一次性制备了具有多层栅介质层的 OTFTs。器件在暗室环境表现出明显的迟滞特性,在 -15 V / $+10$ V 的栅电压重复操作下展现出稳定的 W / R / E / R 循环存储特性。分析认为 OTFTs 的存储功能归功于器件的结构,采用了 CaF_2 纳米粒子岛作电荷俘获中心。空穴在栅电场作用下,隧穿 Nylon 6 薄膜,注入并被俘获于 CaF_2 薄层,或被释放返回有源层,调制沟道导电的存储状态。光照下, Pentacene 能吸收能量大于其带隙的光子,并在体内产生可移动的电子和空穴,两者在电场作用下以相反方向漂移,产生了两类不同的光电响应结果。一类是由光生的空穴对器件导电的直接贡献,即光导效应,表现为 I_{DS} 随光照强度的增强而快速近似线性的增大,以及随光照的开启和关闭而分别快速的增大和减小。另一类是光生电子被俘获于栅介质的电荷俘获中心,对器件导电产生的间接贡献,即光伏效应,表现为光照致使 V_T 正向偏移, I_{DS} 随光照强弱的循环调制而螺旋上升,以及在光照闭合后随时间的延长而持续缓慢的减小。器件的光电特性表明其可应用于存储器、光电晶体管、光敏传感器以及光电开关等领域。

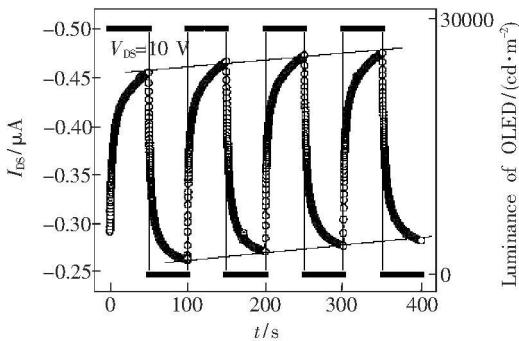


图 6 OTFTs 的光电响应对时间的动态变化特性

Fig 6 The dynamic photoresponse characteristics of the OTFTs plotted the I_{DS} as the function of the time at the light on and off respectively with $V_{DS} = -10$ V and the gate was floated

参 考 文 献:

- [1] Shtein M, M apel J, Benziger J B, et al. Effects of film morphology and gate dielectric surface preparation on the electrical characteristics of organic-vapor-phase-deposited pentacene thin-film transistors [J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(2): 268-270.
- [2] Salleo A, Chabynyc M L, Yang M S, et al. Polymer thin-film transistors with chemically modified dielectric interfaces [J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(23): 4383-4385.
- [3] Zhang X H, Domercq B, Kippelen B. High-performance and electrically stable C_{60} organic field-effect transistors [J]. *Appl Phys Lett*, 2007, **91**(9): 092114-1-3.
- [4] Dimitrakopoulos C D, Purushothaman S, Kymissis J, et al. Low-voltage organic transistors on plastic comprising high-dielectric constant gate insulators [J]. *Science*, 1999, **283**(5403): 822-824.
- [5] Klauk H, H alk M, Zschieschang U, et al. High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors [J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, **92**(9): 5259-5263.

- [6] Bao Z, Dodabalapur A, Lovinger A J. Soluble and processable regioregular poly(3-hexylthiophene) for thin film field-effect transistor applications with high mobility [J]. *Appl Phys Lett*, 1996, **69**(26): 4108-4110.
- [7] Wang G, Swensen J, Moses D, *et al*. Increased mobility from regioregular poly(3-hexylthiophene) for thin film field-effect transistors [J]. *J. Appl Phys*, 2003, **93**(10): 6137-6141.
- [8] Lin Y Y, Gundlach D J, Nelson S F, *et al*. Stacked pentacene layer organic thin film transistors with improved characteristics [J]. *IEEE Elec Dev Lett*, 1997, **18**(12): 606-608.
- [9] Kelley T, Boardman L D, Dunbar T D, *et al*. High-performance OTFTs using surface-modified alumina dielectrics [J]. *J. Phys Chem. B*, 2003, **107**(24): 5877-5881.
- [10] Jurcescu O D, Baas J, Palstra T M. Effect of impurities on the mobility of single crystal pentacene [J]. *Appl Phys Lett*, 2004, **84**(16): 3061-3063.
- [11] Sirringhaus H, Tessler N, Friend R H. Integrated optoelectronic devices based on conjugated polymers [J]. *Science*, 1998, **280**(5370): 1741-1744.
- [12] Zhou L, Song W, Wang A, Wu S, Cheng C, *et al*. All-organic active matrix flexible display [J]. *Appl Phys Lett*, 2006, **88**(8): 083502-1-3.
- [13] Durr C J, Mutsaers C M J, Hart C M, *et al*. Low-cost all-polymer integrated circuits [J]. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(1): 108-110.
- [14] Hepp A, Heil H, Weiser W, *et al*. Light-emitting field-effect transistor based on a tetracene thin film [J]. *Phys Rev Lett*, 2003, **91**(15): 157406-1-4.
- [15] Schroeder R, Majewski L A, Grell M. All-organic permanent memory transistor using an amorphous spin-cast ferroelectric-like gate insulator [J]. *Adv. Mater*, 2004, **16**(7): 633-636.
- [16] Baeg K J, Noh Y Y, Ghim J, *et al*. Organic non-volatile memory based on pentacene field-effect transistors using a polymeric gate electret [J]. *Adv. Mater*, 2006, **18**(23): 3179-3183.
- [17] Zhu Z T, Mason J T, Diekmann R, *et al*. Humidity sensors based on pentacene thin-film transistors [J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(24): 4643-4645.
- [18] Noh Y Y, Kim D Y. Organic phototransistor based on pentacene as an efficient red light sensor [J]. *Solid-State Electronics*, 2007, **51**(7): 1052-1055.
- [19] Wang W, Shi J, Guo S, *et al*. Improved performance by a double-insulator layer in organic thin-film transistors [J]. *Chin Phys Lett*, 2006, **23**(11): 3108-3110.
- [20] Wang W, Shi J, Ma D, Dong G. Organic thin-film transistor memory with nanoparticle floating gate [J]. *IEEE Trans Elec Dev*, 2009, **56**(5): 1036-1039.
- [21] Noh Y Y, Kim D Y, Yase K. Highly sensitive thin-film organic phototransistors. Effect of wavelength of light source on device performance [J]. *J. Appl Phys*, 2005, **98**(7): 074505-1-7.
- [22] Debucquoy M, Verlaak S, Smedel S, *et al*. Pentacene organic field-effect phototransistor with memory-effect [J]. *SPIE*, 2006, **6192**: 61921F-1-10.
- [23] Johnson N M, Chiang A. Highly photosensitive transistors in single-crystal silicon thin films on fused silica [J]. *Appl Phys Lett*, 1984, **45**(10): 1102-1104.

Memory and Photo-responses Characteristics of Organic Thin Film Transistors Based on Multi-layer Gate Dielectric

WANG Wei¹, MA Dong-ge², GAO Qiang¹, SHI Jia-wei¹, CAO Jun-sheng³

(1 State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China;

2 State Key Laboratory of Polymer Physics and Chemistry, Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

3 Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract The organic thin film transistors (OTFTs) based on multi-layer gate dielectric were presented without vacuum breaks. As a result, the OTFTs show multi-functional properties, such as electric-switching memory and photosensitive. The memory effect was attributed to the structure of OTFTs, i.e. the utilization of the separated CaF₂ nanoparticle islands acting as the charge trapping centers. The photo-responses included two different types of fast response and slow response, and are respectively originated from the generation of mobile carriers by the absorption of photo energy higher than the band gap energy of semiconductor and the trapped and released of photo-induced electrons by the traps in the dielectric at the electrical field modulation.

Key words organic thin film transistor; memory effect; photo-responses

CLC number TN 386

PACS 85.30.Tv

PACC 7280L

Document code A

DOI 10.3788/fgxb20113207.0729