

# MoO<sub>3</sub>源漏电极缓冲层对有机薄膜晶体管性能的影响

徐洁, 李青, 林慧, 王洪

(电子科技大学光电信息学院; 电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室 成都 610054)

**【摘要】**以并五苯(pentacene)作为有机薄膜晶体管(OTFTs)的载流子传输层, 采用比常用金电极(Au)廉价的Ag作为源漏电极, 在pentacene与Ag之间添加MoO<sub>3</sub>超薄层作为缓冲层, 制备了具有较高场效应迁移率( $\mu$ )的晶体管器件。结果表明, 器件在栅极电压 $V_G$ 为40 V时, 传输电流 $I_{DS}$ 超过了50  $\mu$ A, 空穴迁移率达到0.26 cm<sup>2</sup>/Vs。同时, 从器件的输出特性与物理机制分析了MoO<sub>3</sub>缓冲层在器件中的作用。

**关键词** 空穴迁移率; MoO<sub>3</sub>缓冲层; 有机薄膜晶体管; 阈值电压

**中图分类号** TN383+.1

**文献标识码** A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.06.024

## Effect of MoO<sub>3</sub> Buffer Layer on the Performance of Organic Thin Film Transistor

XU Jie, LI Qing, LIN Hui, and WANG Hong

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China; State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** High field effect mobility ( $\mu$ ) organic thin film transistor (OTFT) was fabricated by using MoO<sub>3</sub> buffer layer between organic semiconductor (pentacene) and source/drain electrodes (Ag). The hole mobility of OTFT reached 0.26 cm<sup>2</sup>/Vs and output current  $I_{DS}$  achieved more than 50  $\mu$ A when the gate voltage was 40 V. The detailed effect of MoO<sub>3</sub> buffer layer was analyzed via output characteristics and physical mechanism.

**Key words** hole mobility; MoO<sub>3</sub> buffer layer; organic thin film transistor (OTFT); threshold voltage

近年来, 有机光电子的研究取得了突飞猛进的发展, 其中, 有机薄膜晶体管(OTFT)以制备工艺简单、生产面积大、可制备柔性器件等优势, 在有机光电子器件领域中占有举足轻重的地位<sup>[1-2]</sup>。根据OTFT的自身特点, 又可以应用于显示器件的驱动、射频识别标签、传感器等方面<sup>[3-4]</sup>。目前, 世界著名公司与科研团队集中精力研究制备高性能的OTFT, 以推进其产业进程。但是, OTFT仍存在如载流子迁移率过低、稳定性差、材料本征性能不够高等问题。以空穴传输的p型OTFT为例, 人们通常采用以下两种方法提高器件的性能: 一种是采用高功函数的金属作为OTFT的源漏电极<sup>[5]</sup>, 其中最为常用的是金(Au); 另一种是在有机层与源漏电极之间加上一层过渡层用以匹配有机半导体层中电子运行最高轨道(HOMO)与金属的功函数<sup>[6]</sup>。

以Au作为源漏电极在提升器件性能的同时也

带来了制备成本偏高的问题<sup>[7]</sup>, 所以, 选择廉价且稳定性好的银(Ag)代替Au作为源漏电极, 是解决该问题的有效途径之一。但是, Ag的功函数较Au低很多, 这个差值就会在p型半导体与源漏电极间形成较大的注入势垒<sup>[8]</sup>, 势垒的形成将极大地降低器件的性能, 甚至在低电压下器件无场效应特性。具有较高HOMO的MoO<sub>3</sub>作为源漏电极的缓冲层已经被应用于Au电极的OTFT修饰中(经本文的制备验证, 迁移率从0.21 cm<sup>2</sup>/Vs提高到了0.35 cm<sup>2</sup>/Vs)。鉴于此, 本文采用MoO<sub>3</sub>作为源漏电极的缓冲层在增加能级匹配的同时, 又减小了热蒸发的Ag对有机薄膜的损害。根据上述思路, 本文制备了以MoO<sub>3</sub>作为修饰源漏电极的OTFT, 测试了其相关的电学参数, 并从输出特性及物理机制两方面分析了MoO<sub>3</sub>缓冲层的作用。

## 1 实验

本文制备的器件结构侧视和俯视图如图1所示。

收稿日期: 2011-01-17; 修回日期: 2011-04-29

基金项目: 教育部留学归国基金(GGRYJJ08-05); 中央高校基本科研业务费专项资金(ZYGX2009J054)

作者简介: 徐洁(1979-), 女, 主要从事电子薄膜与集成器件、有机电子材料方面的研究。

ITO玻璃基片购买于深圳南玻公司, ITO基片分别经过洗涤剂、去离子、丙酮、乙醇水超声清洗10 min, 然后用氮气吹干。聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)购买于日本的三菱公司, 配比浓度为50 mg/ml的1,2-二氯乙烷溶液后以2 000 rpm的转速及60 s的时间旋涂于ITO基片上, 随后将旋涂有PMMA的基板放在热板上以110 °C烘烤2 h, 固化后的PMMA介电层的厚度为500 nm。

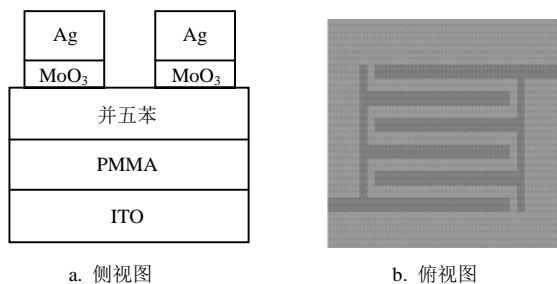


图1 OTFT器件的结构侧视图与俯视图

衬底制备好后, 采用真空蒸镀方法, 70 nm的pentacene(购买于西格玛公司, 纯度为99%)薄膜以0.05 nm/s的速率沉积在ITO/PMMA基板上。随后, 基板通过掩模板(沟道宽度 $W=1$  cm, 沟道长度 $L=100$   $\mu\text{m}$ )的遮挡, 采用热蒸发的方式将5 nm的 $\text{MoO}_3$ 与100 nm的Ag蒸镀到基板上。器件制备完毕, 其输出性能是在大气环境下通过Keithley 4200测试完成的。

## 2 结果与讨论

采用上述结构制备的OTFT器件的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 输出曲线及转移特性曲线如图2所示。从图2的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 输出曲线可以看出, 器件具有明显的场效应迁移特性, 随着 $V_{\text{GS}}$ 与 $V_{\text{DS}}$ 的增加, 输出电流 $I_{\text{DS}}$ 从6  $\mu\text{A}$ 增加到50  $\mu\text{A}$ 。同时, 也可以看出, 在 $V_{\text{GS}}$ 低于30 V的瞬间跳变中,  $I_{\text{DS}}$ 的增幅比较缓慢, 由此可以推断器件的阈值电压有些偏高。

OTFT器件的迁移率可以通过图2中的转移特性曲线并采用下述公式计算得出:

$$I_{\text{DS}} = \mu C_i (V_{\text{G}} - V_{\text{T}}) W / 2L \quad (1)$$

式中,  $C_i$ 为OTFT器件绝缘层的单位电容, 所用的PMMA的相对介电常数为2.8, 通过计算得出 $C_i$ 为4.96 nF/cm<sup>2</sup>;  $V_{\text{T}}$ 为器件的阈值电压, 通过图2中 $I_{\text{DS}}^{1/2}-V_{\text{GS}}$ 曲线在 $V_{\text{GS}}=40$  V处切斜率, 截得横轴的截距即为 $V_{\text{T}}$ , 其值为-22 V。通过计算, 所制备的OTFT器件的空穴迁移率为0.26 cm<sup>2</sup>/Vs。

为了验证 $\text{MoO}_3$ 缓冲层的作用, 制备了结构为ITO/PMMA/pentacene/Ag的器件。测试结果表明,

仅以Ag作为源漏电极的OTFT器件, 有着可以忽略不计的场效应特性, 最高输出电流较之前讨论的器件低1个数量级。由此可以分析, 在Ag与pentacene界面处存在较高的注入势垒。

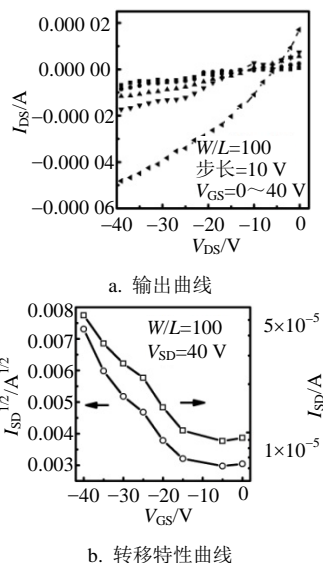


图2 OTFT器件的 $I_{\text{DS}}-V_{\text{DS}}$ 输出曲线及转移特性曲线

图3是两种器件结构: ITO/PMMA/pentacene/Ag和ITO/PMMA/pentacene/ $\text{MoO}_3$ /Ag的能级结构图。从能级图可以看出, 没有加入 $\text{MoO}_3$ 作为缓冲层的器件, 在功函数为4.3 eV的Ag到HOMO为4.9 eV的pentacene之间存在一个高达0.6 eV的注入势垒。在如此高的注入势垒下, 从源漏电极到pentacene的注入电流受到了很大阻碍。因此, 即使在 $V_{\text{DS}}$ 与 $V_{\text{GS}}$ 都处于比较大的状态下, 其输出电流 $I_{\text{DS}}$ 仍然很小。

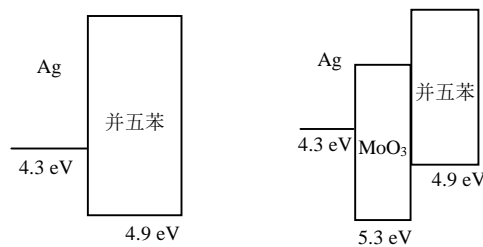


图3 两种结构OTFT器件的能级图

为了使并五苯与Ag之间的能级匹配, 在两层薄膜中间引入一层厚度为5 nm的 $\text{MoO}_3$ 超薄缓冲层(如图3所示), 可以有效提高从Ag到pentacene的注入势垒。 $\text{MoO}_3$ 缓冲层除了起到降低注入势垒的作用外, 还起到了保护pentacene薄膜的作用<sup>[9]</sup>。这是由于Ag薄膜是采用物理热蒸发的方式制备的, 因此, 热的Ag原子具有很高的能量, 与pentacene薄膜接触时会穿透薄膜表面并对薄膜造成一定的损伤, 这种损伤

很大程度上影响了源漏电极与有机层之间的平滑接触, 从而进一步影响了电流的注入。基于该原因, 可以推测, 引入其他种类的金属氧化物, 将会对OTFT器件性能的提高非常有帮助, 目前该工作正在进行中。

### 3 结 论

通过在OTFT器件的有机层pentacene与源漏电极Ag之间加入一层超薄的MoO<sub>3</sub>缓冲层, OTFT的输出电流 $I_{DS}$ 与空穴迁移率 $\mu$ 均得到了显著提高。结果表明, 采用MoO<sub>3</sub>缓冲层结合比Au廉价的Ag作为OTFT的源漏电极, 同样可以制备高性能的OTFT。这种新型器件结构的制备方法对采用更廉价的金属(如铝、锌等)作为OTFT的源漏电极制备器件, 降低成本有着重要的指导意义。

#### 参 考 文 献

- [1] TANG C W, VANSLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. Appl Phys Lett, 1987, 51(12): 913-915.
- [2] CRONE B K, DODABALAPUR A, LIN Y Y, et al. Large-scale complementary integrated circuits based on organic transistors[J]. Nature, 2000, 403: 521-524.
- [3] SEKITANI T, ZSCHIESCHANG U, KLAUK H, et al. Flexible organic transistors and circuits with extreme bending stability[J]. Nature Mater, 2010(12): 1015-1022.
- [4] HSU B BY, NAMDAS E B, YUEN J D, et al. Split-gate organic field effect transistors: Control over charge injection and transport[J]. Adv Mater, 2010(22): 4649-4653.
- [5] LIU Z H, KOBAYASHI M, PAUL B C, et al. Contact engineering for organic semiconductor devices via Fermi level depinning at the metal-organic interface[J]. Phys Rev B, 2010, 82: 035311: 1-6.
- [6] CHEN F C, KUNG L J, CHEN H T H, et al. Copper phthalocyanine buffer layer to enhance the charge injection in organic thin-film transistors[J]. Appl Phys Lett, 2007(90): 073504: 1-3.
- [7] 周建林, 陶春兰. 一种廉价电极的并五苯场效应晶体管[J]. 光电子·激光, 2009, 20(12): 1594-1598.  
ZHOU Jian-lin, TAO Chun-nan. Pentacene field effect transistors with cheap electrode[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2009, 20(12): 1594-1598.
- [8] ZHOU Jian-lin, ZHANG Fu-jia, LAN Lin-feng, et al. Influence of polymer dielectrics on C60-field effect transistors[J]. Applied Physics Letters, 2007(91): 253507: 1-3.
- [9] CHU C W, LI S H, CHEN C W, et al. High-performance organic thin-film transistors with metal oxide /metal bilayer electrode[J]. Appl Phys Lett, 2005(87): 193508: 1-3.

编辑 漆 蓉