

## 二氧化硅栅绝缘层的制备与表面修饰

白 钰<sup>1</sup> 刘 向<sup>1</sup> 陈 玲<sup>1</sup> 朱文清<sup>1,2</sup> 蒋雪茵<sup>\*,1,2</sup> 张志林<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>上海大学材料学院,上海 201800)

(<sup>2</sup>上海大学新型显示教育部重点实验室,上海 200072)

**摘要:**研究了有机薄膜晶体管的二氧化硅栅绝缘层的性质。二氧化硅绝缘层的制备采用热生长法,氧化气氛是  $O_2(g)+H_2O(g)$ ,工艺为干氧-湿氧-干氧的氧化过程。制得的绝缘层漏电流在  $10^{-9}$  A 左右。以该二氧化硅作为有机薄膜晶体管的栅绝缘层,并五苯作为有源层制作了有机薄膜晶体管器件。实验表明采用十八烷基三氯硅烷(OTS)进行表面修饰的器件具有 OTS/SiO<sub>2</sub> 双绝缘层结构,可以有效地降低 SiO<sub>2</sub> 栅绝缘层的表面能并改善表面的平整度。修饰后器件的场效应迁移率提高了 1.5 倍、漏电流从  $10^{-9}$  A 降到  $10^{-10}$  A、阈值电压降低了 5 V、开关电流比从  $10^4$  增加到  $10^5$ 。结果显示具有 OTS/SiO<sub>2</sub> 双绝缘层的器件结构能有效改进有机薄膜晶体管的性能。

**关键词:** 二氧化硅;绝缘层;OTS;修饰

中图分类号: O613.72; TN386.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4861(2007)12-2028-07

## Preparation and Surface modification of SiO<sub>2</sub> Gate Insulator for Organic Thin Film Transistors

BAI Yu<sup>1</sup> LIU Xiang<sup>1</sup> CHEN Ling<sup>1</sup> ZHU Wen-Qing<sup>1,2</sup> JIANG Xue-Yin<sup>\*,1,2</sup> ZHANG Zhi-Lin<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Department of Materials Science, Shanghai University, Shanghai 201800)

(<sup>2</sup>Key Laboratory of Advanced Display and System Application, Ministry of Education, P.R. China, Shanghai University, Shanghai 200072)

**Abstract:** An organic thin-film transistor (OTFTs) with SiO<sub>2</sub> gate insulator configuration between gate insulator and source/drain electrodes was investigated. SiO<sub>2</sub> insulator layer was prepared by thermal growth method with dry-oxygen, wet oxygen, dry-oxygen procedures and  $O_2(g)+H_2O(g)$  as oxidant. The SiO<sub>2</sub> insulator reduced the leakage current to  $10^{-9}$  A. The OTFTs devices was prepared with the SiO<sub>2</sub> insulator and the pentacene was used as an active layer of devices. The results show that the surface energy of the SiO<sub>2</sub> gate dielectric is reduced and device flat level is significantly improved by using octadecyltrichlorosilane (OTS). This OTS/SiO<sub>2</sub> bilayer gate insulator configuration increases the field-effect mobility by 1.5 times, reduces the leakage current from  $10^{-9}$  to  $10^{-10}$  A and the threshold voltage by 5 V, and improves the on/off ratio from  $10^4$  to  $10^5$  indicating that using OTS/SiO<sub>2</sub> double-layer of insulator is an effective way to improve OTFT performance.

**Key words:** SiO<sub>2</sub>; insulator; OTS; modification

近年来,基于半导体材料的有机场效应晶体管因为其在柔性屏和光电应用上的优势<sup>[1-3]</sup>而受到越来越多的关注,作为栅绝缘层的一些无机材料如二氧化硅、氮化硅和五氧化二钽<sup>[4,5]</sup>等由于优良的电学

特性和稳定的性质而表现突出,其中采用二氧化硅作为栅绝缘层尤其普遍。二氧化硅是一种良好的绝缘体,热氧化生长的二氧化硅膜电阻率约为  $10^{15} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ 。二氧化硅有较高的介电强度,击穿电压

收稿日期:2007-07-20。收修改稿日期:2007-10-18。

国家自然科学基金资助项目(No.90202034,60477014,60577041);国家 973 计划(No.2002CB613400)资助项目。

\*通讯联系人。E-mail:xyjiang@mail.shu.edu.cn

第一作者:白钰,男,35岁,博士研究生;研究方向:有机 TFT 器件的制作和性能研究。

高,适用于高压的集成电路。其制备方法也有许多种,常用的有热生长法<sup>[6,7]</sup>、磁控溅射法<sup>[8,9]</sup>和 PECVD 法<sup>[10,11]</sup>等,而热生长法由于设备廉价、工艺简单而被经常采用。

热氧化法是指硅片与氧气、水汽或其它含氧物质,在高温条件下发生氧化反应而生长二氧化硅薄膜的方法。本工作采用干氧-湿氧-干氧的氧化步骤,制作了有机薄膜晶体管的栅二氧化硅绝缘层,具有良好的绝缘性能和电学性能,适合用于薄膜晶体管器件的组装。

制备得到的二氧化硅,如果暴露在空气当中,则由于表面易吸附空气中的水汽及一些杂质离子,使表面状态发生改变,这将使器件的特性变得不稳定,从而造成器件反向漏电流加大或击穿电压降低,因此必须对其进行表面处理,使它的表面变为疏水状态;另外为了提高器件的迁移率,需要改善无机绝缘层和有机半导体之间的界面使之降低势垒,便于空穴的传输。而实验室热生长的二氧化硅,作为有机薄膜晶体管的栅绝缘层来说,由于表面缺陷和针孔的存在,影响了器件的性能。因此我们采用一种硅烷耦合剂-十八烷基三氯硅烷<sup>[12,13]</sup>来修饰 SiO<sub>2</sub> 的表面,从而改善了二氧化硅绝缘层的性质。从而使制作出的并五苯薄膜晶体管器件的性能比较理想。

## 1 实验部分

### 1.1 二氧化硅的热生长

自行搭建的热生长设备见图 1,干氧过程采用高纯氧气( $\geq 99.99\%$ )做气源,湿氧过程是以干氧通过水温为 95 °C 的水瓶得到混合氧气-水汽气源。热生长前先进行硅片的处理,将重掺杂的 p-Si(100)单面抛光片(电阻率为  $0.01 \Omega \cdot \text{cm}^{-1}$ ,掺杂物为  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的硼元素)依次用丙酮、稀盐酸、无水乙醇(均为分析纯)和去离子水清洗,然后在超声中处理 20 min 左右。热生长时采用干氧-湿氧-干氧氧化法,控制温

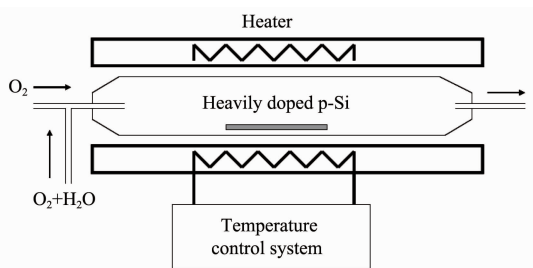


图 1 热生长系统示意图

Fig.1 Schematic setup for the thermal growth system

度在  $1100 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,实验结束时再通入高纯氮气( $\geq 99.99\%$ )保温 1 h,以减少二氧化硅表面的硅羟基含量。最后得到 230 nm 厚的二氧化硅薄膜作为无机绝缘层,二氧化硅的膜厚由韩国产的 ST2000-DLXn 膜厚测试仪器测定。

### 1.2 OTS 对二氧化硅表面的处理

对基片进行十八烷基三氯硅烷(OTS)的处理,采用溶液法来形成 OTS 单分子层。首先配制氯仿和环己烷( $\text{CH}_2\text{Cl}_2:\text{C}_6\text{H}_{12}=1:3, \text{V/V}$ )的混合溶液,加入适量的 OTS 使之形成 0.5% 的浓度,将上述的基片取出来在红外灯下烘烤 1 h 以上,最后用 UV 处理 10 min 左右。然后放入该溶液中在室温下保持 12 h,取出基片后,用二甲苯溶液淋洗 3 遍,然后用 N<sub>2</sub> 吹干,备用。其表面修饰的化学反应过程见图 2(a),图 2(b)是修饰后形成的类似 LB 膜结构的截面效果示意图。

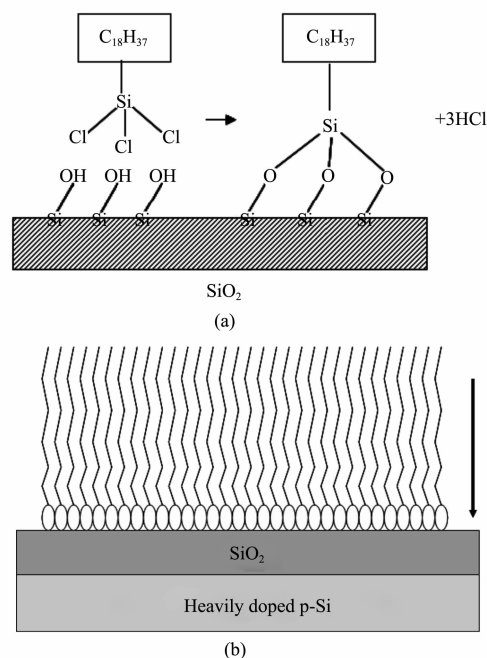


图 2 (a) OTS 和 SiO<sub>2</sub> 表面的化学反应过程 (b) OTS 在 SiO<sub>2</sub> 表面形成的 LB 膜结构示意图

Fig.2 (a) Chemical process between OTS and surface of SiO<sub>2</sub> (b) LB membrane Schematic structure of OTS on surface of SiO<sub>2</sub>

### 1.3 有机薄膜晶体管的制备

将上述处理好的基片来蒸镀有源层和电极以制备器件,实验采用的并五苯(化学结构见图 3b)材料购于上海百灵威化学试剂公司,纯度为 98%,使用前在  $1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$  的真空环境下经过二次分区提纯,用真空蒸发法沉积在绝缘层上,厚度控制在 40 nm 左右,沉积速率为  $2 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,真空度为  $6 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 。

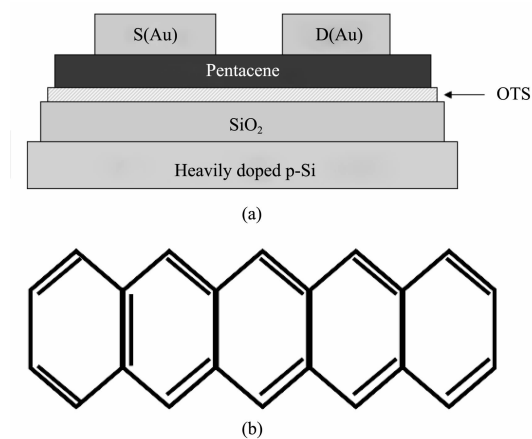


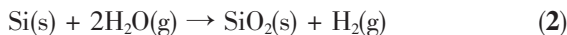
图 3 (a)有机薄膜晶体管的结构示意图  
(b)并五苯的化学结构

Fig.3 (a) Schematic structure for OTFTs (b) Chemical structure of pentacene

源漏电极材料采用纯度在 99.99% 以上的金, 蒸镀时用掩模板(shadow mask)得到源漏电极。最后得到的器件沟道长度为  $35 \mu\text{m}$ , 沟道宽度为  $600 \mu\text{m}$ 。并五苯的厚度通过石英晶振频率计得到, 器件的电流电压测试系统由我们自行搭建, 其中的电学特性测量线路见图 4(b)所示。所有的测试条件均在背光、室温和开放的大气环境下进行。有机薄膜晶体管(OTFT)的器件结构如图 3a 所示。

## 2 结果与讨论

硅在氧气或水汽中的热氧化过程由下列化学反应式描述:



在氧化过程中, 硅-二氧化硅界面向硅片内部移动, 当硅表面生长一层二氧化硅膜后, 二氧化硅膜就阻止水汽与硅片直接接触, 于是水分子就通过二氧化硅层的间隙, 到达硅的表面, 并与硅反应生成新的二氧化硅层, 使生长的二氧化硅层厚度不断增加。氧化层的厚度与氧化温度、时间有关, 氧化温度越高, 时间越长, 生长的二氧化硅膜也越厚。由于水分子在二氧化硅中的扩散系数比氧原子的扩散系数大千倍以上, 所以湿氧化的生长速度较干氧的生长速率快。干氧化虽然氧化时间较长, 但是生长的二氧化硅层结构比较致密。湿氧化的生长速率较快, 但氧化膜质量不高, 膜较疏松, 稳定性也不好。本实验中, 把湿氧和干氧配合使用, 按照干氧-湿氧-干氧的顺序进行, 可以互相取长补短, 既照顾到氧化速率, 又

能得到干燥致密的氧化膜。

硅片的常用掺杂元素硼、磷等, 在浓度高时也能增加氧化速率, 杂质会在生长的  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  界面重新分布, 根据分凝系数的不同, 杂质会分凝到硅或二氧化硅中。若掺杂元素是硼, 则它会分凝到二氧化硅中。所以我们的实验中采用了高硼掺杂的低阻 p 型硅片来进行热生长, 分凝到二氧化硅中的硼使二氧化硅的键合减弱, 使氧化剂易于在氧化层中扩散, 因而使氧化速率增加, 从而减少了氧化时间。

为了检测热生长的效果, 我们特意搭建了漏电流测试系统(见图 4(a))。即在热生长以后的硅片上真空蒸镀一些具有固定面积的 Al 金属点, 并和重掺杂硅片的硅基一起作为电极, 加上一定的直流电压, 测定其回路中的电流, 从而判定其介电性能。

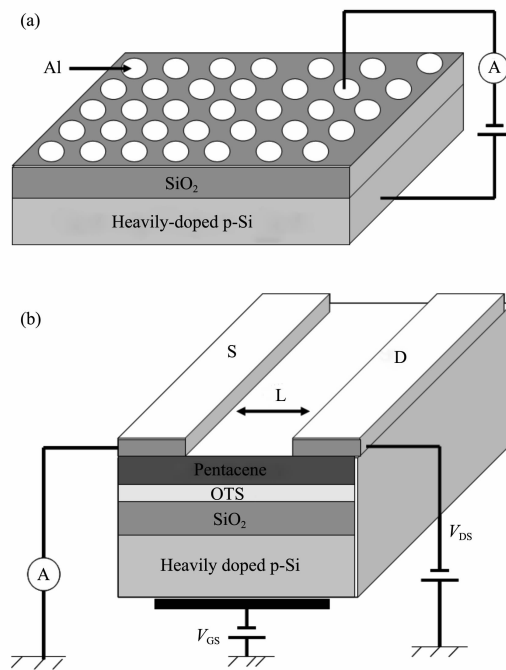


图 4 (a) 漏电流测试系统 (b) 有机薄膜晶体管的电学特性测量系统

Fig.4 (a) Testing system for leakage current (b) Metrical system for the electric characteristics of OTFTs

实验发现, 当热生长过程完全采用湿氧的方法时, 即在  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  左右通入湿氧 3 h, 制得的膜厚达到  $598 \text{ nm}$ , 二氧化硅的膜虽然相当厚但是漏电流也相当大, 达到了  $10^{-6} \text{ A}$ , 这样级别的漏电流已经超过了晶体管本身所能感应出的电流密度, 所以根本不能用作栅绝缘层; 采用干氧-湿氧-干氧的顺序进行实验, 干氧-湿氧-干氧的通入时间分别为 0.5 h、2.0 h、1.0 h 时, 制得的膜厚达到  $333 \text{ nm}$ , 漏电流虽

然在  $10^{-10}$  A 左右,但是由于膜层偏厚,使用此膜制作的晶体管器件的迁移率不高;采用干氧-湿氧-干氧的通入时间分别为 0.5 h、1.0 h、1.0 h 时,制得的膜厚为 230 nm,漏电流为  $3 \times 10^{-9}$  A,而且制作的器件性能良好,所以我们就将此条件下生长的绝缘层裁成小片制作晶体管使用。

用 Tapping-mode 原子力显微镜(AFM)来观察热生长二氧化硅表面的形貌,图 5(a)和(b)是分别用湿氧法和干氧-湿氧-干氧法制得的二氧化硅绝缘层的表面 AFM 三维图像,图 5(c)是 OTS 处理图 5(b)的表面 AFM 三维图像。其中 X 轴和 Y 轴的长度分别为  $5 \mu\text{m}$  和  $5 \mu\text{m}$ ,Z 轴的高度分别为 33.86 nm 和

5.924 nm,可以看出,湿氧法制得的绝缘膜虽然较厚,但是膜的质量不好,比较疏松,所以膜的表面起伏较大,Z 轴的高度也比较高;而干氧-湿氧-干氧法制得的绝缘膜虽然较薄,但是膜的质量较好,比较致密,所以膜的表面起伏较小,Z 轴的高度也比较低;有些热氧化的实验中,常在氧化气体中加氯如氯化氢等以改善氧化层质量及  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  界面的性质。而且加氯氧化还可以增加介质击穿强度,减少界面陷阱密度。但是同时加氯氧化对设备的密封等情况要求比较高,考虑到氯化氢对设备的腐蚀问题,我们没有采用加氯氧化,而且我们热生长的二氧化硅绝缘层已经能够满足制作器件的要求。

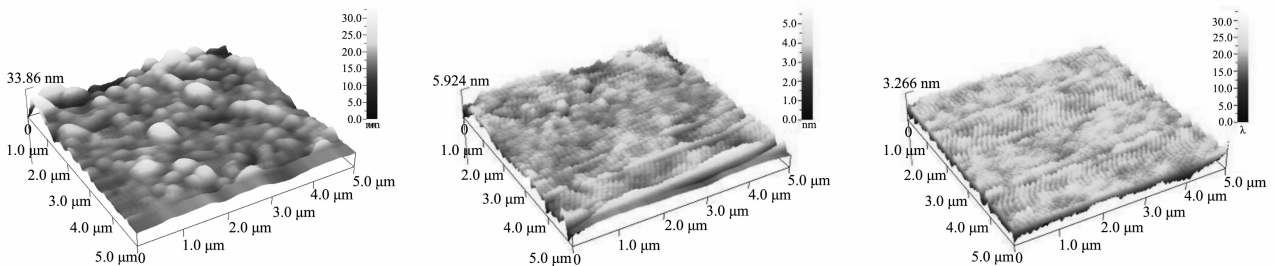


图 5 (a) 湿氧法热生长  $\text{SiO}_2$  的表面  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  AFM 三维图像 (b) 干氧-湿氧-干氧法热生长  $\text{SiO}_2$  的表面  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  AFM 三维图像 (c) OTS 处理的干氧-湿氧-干氧法热生长  $\text{SiO}_2$  的表面  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  AFM 三维图像

Fig.5 (a)  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  atomic force microscopy three dimensional image for wet oxygen preparing method (b)  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  atomic force microscopy three dimensional image of bare  $\text{SiO}_2$  surface for dry-oxygen, wet oxygen, dry-oxygen preparing method (c)  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  atomic force microscopy three dimensional image of OTS-treated  $\text{SiO}_2$  surface for dry-oxygen, wet oxygen, dry-oxygen preparing method

磁控溅射法制备二氧化硅绝缘层的结果表明,溅射法淀积的二氧化硅并不能代替热生长的二氧化硅。因为热生长二氧化硅的膜具有最佳的电学性质,而且膜层的表面平整度相对较高,而磁控溅射法制备的二氧化硅绝缘层虽然漏电流满足要求,但是表面相当粗糙,即界面陷阱密度非常大,影响了载流子的通过,不适合作为有机晶体管的栅绝缘层,所以最终我们还是以热生长的二氧化硅作为栅绝缘层制作了符合要求的有机场效应器件。

作为有机薄膜晶体管的重要组成部分,栅绝缘层材料表面情况的好坏对器件性能的影响也非常大。因此 OTS 处理是关键的一个步骤。其中 OTS 溶液的浓度也很重要,浓度大了在二氧化硅表面易产生 OTS 叠层现象,太稀了又会造成 OTS 单层的不连续和覆盖不完全。图 2(a)显示的是溶液法 OTS 处理栅绝缘层二氧化硅的过程,从图中可以看出,OTS 与二氧化硅表面的硅羟基反应后形成具有 LB 膜结构的排列有序的单分子层,一端是亲水的 Si-O-Si 键,

一端是疏水的烷基长链(见图 2b)。由于长链的存在,一方面使得绝缘层的表面由亲水的状态变为疏水的状态,另一方面使得绝缘层的电阻值增大从而减小了漏电流。因此可以将该 OTS 单分子层看作第二层绝缘膜,从而形成无机有机双绝缘层。

对于 OTS 与绝缘层之间的修饰效果,我们测量了  $\text{SiO}_2$  层和 OTS/ $\text{SiO}_2$  复合层的电阻。通过图 4(a)中漏电流测试系统,测试回路中的电流。结构分别为:  $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Al}$ , 和  $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{OTS}/\text{Al}$ 。图 6 是两个器件的电流电压曲线。与双绝缘层相比,单层  $\text{SiO}_2$  薄膜的电阻低了许多。实验结果表明单层  $\text{SiO}_2$  器件内还是有一部分载流子从  $\text{SiO}_2$  绝缘层通过,当增加一层 OTS 层后,降低了载流子从绝缘层通过的比率,增大了绝缘层的电阻。经过测定,在同一电压下,漏电流最大降低了一个数量级以上(见表 1)。这也进一步说明了在 OTFT 中采用双绝缘层的结构,可以增强栅绝缘层的绝缘性能,从而降低器件的漏电流。

有机薄膜晶体管类似于一个电容器,在其中一

表 1 两种薄膜晶体管器件的性能对比  
Table 1 Performance of different OTFTs devices

Device	Mobility / (cm <sup>2</sup> ·V <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Threshold voltage / V	I <sub>on</sub> / I <sub>off</sub>	Leakage current / A	Capacitance / (nF·cm <sup>-2</sup> )
Without OTS	4.1×10 <sup>-2</sup>	5	10 <sup>4</sup>	3×10 <sup>-9</sup>	9.1
With OTS	6.3×10 <sup>-2</sup>	0	10 <sup>5</sup>	1×10 <sup>-10</sup>	8.9

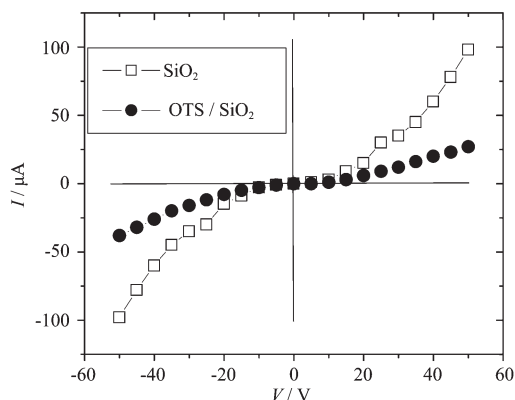


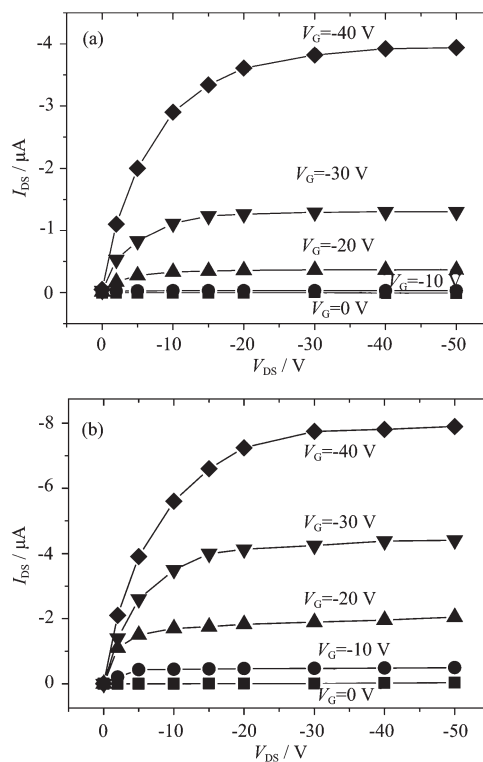
图 6 SiO<sub>2</sub> 单层和 OTS/SiO<sub>2</sub> 复合层的电流-电压曲线  
Fig.6 Current-voltage properties of SiO<sub>2</sub> film without and with OTS modification

个极板上构筑两个电极,即源极和漏极,而另一个极板为栅极。其结构示意图如图 3(a)所示。栅极加上一定的电压后,就会在绝缘层附近的半导体层中感应出电荷,在源极和漏极之间的半导体层中形成导电通道,在一定的漏-源电压下,源电极和漏电极之间就有电流通过。通过调节栅极电压就可以调节电容器两极板之间的电场强度。而随着电场强度的变化,半导体层中的感应电荷的密度也随之变化,因而,源漏极之间的导电通道的宽窄也就不同,进而源漏极之间的电流也就不同。因此,通过调节绝缘层中的电场强度就可以达到调节源漏极之间电流的目的。

在不同的栅电压  $V_G$  下,源漏极之间的电流  $I_{DS}$  随漏电压  $V_{DS}$  变化的曲线称为场效应管的输出特性曲线,即  $I-V$  曲线;而在一定的  $V_{DS}$  下, $I_{DS}$  随  $V_G$  的变化曲线称为场效应管的转移特性曲线。图 4(b)是有机薄膜晶体管的电学特性测量系统,该系统可以测量出  $I-V$  曲线。

图 7(a)和(b)是两种有机薄膜晶体管器件的  $I-V$  曲线图。从图中可以看出,在同样的栅极和漏极电压下,OTS 处理过二氧化硅表面的器件的输出电流  $I_{DS}$  明显大于没有处理过的器件,在器件的其它条件都保持不变的情况下,处理过的器件的载流子迁移率大于没有处理过的器件。

有机薄膜晶体管的电压电流特性曲线存在两个工作区:线性区和饱和区。饱和区电流符合下列公式:



(a) Without OTS layer; (b) With OTS layer.

图 7 器件的电流电压输出特性

Fig.7 Current-voltage characteristics OTFT devices

$$I_{DS} = (W/2L)\mu C_i (V_G - V_T)^2$$

在公式中, $I_{DS}$  是源漏之间的最大饱和电流, $\mu$  是场效应的载流子迁移率, $L$  和  $W$  是沟道的长度和宽度, $C_i$  是绝缘层单位面积的电容, $V_G$  是栅极电压, $V_T$  是器件的阈值电压。本实验中, $W$  和  $L$  固定为  $35 \mu\text{m}$  和  $2 \text{mm}$ , $C_i$  的值经测定得知为  $9.1 \text{ nF}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,因而迁移率和阈值电压可由公式  $I_{DS}^{1/2} = [(W/2L)\mu C_i]^{1/2} (V_G - V_T)$  的斜率和截距得出。

开关电流比通常是指在某一饱和区源漏电压下,器件处于开启状态(开态)和关闭状态(关态)时的源漏电流之比  $I_{on}/I_{off}$ 。关态电流  $I_{off}$  实际上是器件的漏电流,越小越好,它影响器件的功耗大小;而从上面的公式可知,饱和区的最大电流  $I_{DS}$  与器件的场效应迁移率  $\mu$  成正比,开态电流  $I_{on}$  越大,迁移率  $\mu$  也越高,所以开关电流比越大越好。图 8(a)和(b)是根据图 7(a)和(b)的数据推导做出的,从图 8(a)可以得到未处

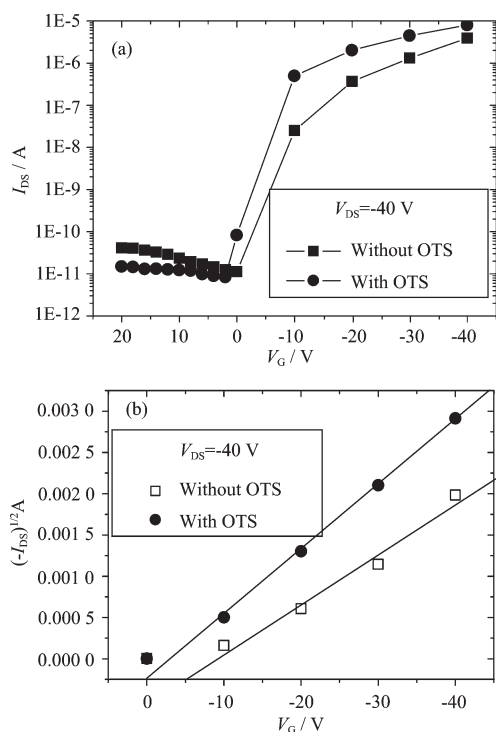


图 8 (a) 固定 -40V 的漏极电压下  $-I_{DS}$  对  $V_G$  曲线 (b) 固定 -40V 的漏极电压下  $(-I_{DS})^{1/2}$  对  $V_G$  曲线

Fig.8 (a)  $-I_{DS}$  vs  $V_G$  at a fixed  $V_{DS}$  of  $-40$  V for OTFT device (b)  $(-I_{DS})^{1/2}$  vs  $V_G$  at a fixed  $V_{DS}$  of  $-40$  V for OTFT device

理器件的开关电流比为  $10^4$ , 而 OTS 处理的器件的开关电流比  $10^5$ 。从图 8(b) 的斜率和截距可以得到 OTS 处理的器件场效应迁移率为  $6.3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 阈值电压为  $0 \text{ V}$ , 而未处理的器件为  $4.1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 阈值电压为  $5 \text{ V}$ 。而且 OTS 处理的器件的漏电流也比单层  $\text{SiO}_2$  绝缘层器件要小大约一个数量级(见表 1)。为了做比较, 我们还在相同的条件下制备了底接触型的器件, 测试结果表明, 同样条件下, 顶接触型的器件其载流子迁移率要比底接触型的高一个数量级以上。对于同一种有源层, 顶接触型器件的特性往往比底接触型器件的更优越, 这是因为顶接触型的注入面积比底接触型的注入面积大, 引起电极与半导体层之间的接触电阻减小所致。

一般认为, 有机薄膜晶体管器件中绝缘层的表面粗糙程度是衡量器件性能, 即载流子迁移率大小的一个重要指标。绝缘层的表面光滑, 平整度好, 则绝缘膜中的表面缺陷如针孔和陷阱就少, 便于载流子的通过; 反之, 载流子会被绝缘膜中的表面缺陷所捕获, 从而降低器件的迁移率。图 5 (b) 和 (c) 是  $\text{SiO}_2$  绝缘层表面和 OTS 处理的  $\text{SiO}_2$  绝缘层表面三维形

貌图。从图中可以看出, Z 轴的高度分别为  $5.924 \text{ nm}$  和  $3.266 \text{ nm}$ 。OTS 处理的  $\text{SiO}_2$  绝缘层表面比单层的  $\text{SiO}_2$  绝缘层表面的平滑度更好, 这与载流子迁移率的测定结果相一致。

一方面 OTS 处理后改变了绝缘层表面蒸镀并五苯层的膜的生长性质, 由于可以使二氧化硅的表面变成更加疏水的状态, 降低了表面自由能, 从而更有利于并五苯膜在基片上的吸附<sup>[14]</sup>; 另一方面通过在源漏电极金和二氧化硅之间引入有机、低介电的 OTS 薄膜起到了在真空蒸镀金薄膜的过程中阻挡了金原子向二氧化硅层的扩散, 从而改善了绝缘性, 降低了并五苯薄膜晶体管的漏电流; 其次是 OTS 处理后为绝缘层提供了更为平滑的表面, 降低了位于介面处的缺陷浓度, 从而优化了薄膜的生长行为, 使介面处并五苯分子排列更为有序, 进而提高了场效应迁移率<sup>[15,16]</sup>, 这使 OTS 处理的有机薄膜晶体管器件性能得以提高。

### 3 结 论

采用干氧-湿氧-干氧的氧化法, 制作了有机薄膜晶体管的栅二氧化硅绝缘层, 漏电流在  $10^{-9} \text{ A}$  左右, 并且以其为基础制作了具有无机有机双绝缘层的并五苯薄膜晶体管器件。通过实验结果可以得出, 经过 OTS 修饰的二氧化硅绝缘层, 表面光滑, 平整度好, 降低了表面自由能, 优化了薄膜的生长行为, 用修饰过的双绝缘层制作的 OTFT 器件比未修饰的器件载流子迁移率提高了 1.5 倍, 漏电流降低了一个数量级, 阈值电压降低了  $5 \text{ V}$ 。电流开关比从  $10^4$  增大到  $10^5$ 。本实验室采用并五苯作为场效应晶体管的有源层, 制作的薄膜晶体管器件, 取得了不错的效果。

致谢: 原子力显微镜 (AFM) 的测试工作主要是在台湾成功大学电机资讯学院完成的, 在此表示感谢。

### 参考文献:

- [1] Garnier A, Yassar R, Hajlaoui G, et al. *Amer. Chem. Soc.*, **1993**, *115*:8716-8722
- [2] Sullivan P, Heutz S, Schultes S M, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **2004**, *84*(7):1210-1212
- [3] Kim Yonghoon, Moon Daegy, Han Jeonin. *IEEE Electron. Device Lett.*, **2004**, *25*(10):702-704
- [4] Bao Z, Dodabalapur A, Lovinger A. *J. Appl. Phys. Lett.*,

- 1996,69**:4108~4110
- [5] Dimitrakopoulos C D, Malenfant P R L. *Adv. Mater.*, **2001**, **14**:99~117
- [6] Mehrdad M, Moslehi, Steven C, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **1985**, **47**(12):1353~1355
- [7] Chiou Y L, Sow C H, Li G, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **1990**, **57**(9):881~883
- [8] Wu W F, Chiou B S. *Appl. Surf. Sci.*, **1996**, **99**(3):237~243
- [9] Serikawa T, Shirai S. *Appl. Surf. Sci.*, **1998**, **51**(4):781~783
- [10] Takaomi M, Tatsuya A, Liu C, et al. *Surface & Coatings Technology*, **2004**,(177~178):365~368
- [11] Goujona M, Belmontea T, Henrion G. *Surface & Coatings Technology*, **2004**,(177-178):5~11
- [12] Wang Rongwei, Stephanie L W. *J. Phys.Chem.B*, **2001**, **105**:173~181
- [13] Pyo K S, Song C K. *Thin Solid Films*, **2005**, **485**:230~234
- [14] Xiao K, Liu Y, Guo Y, et al. *Appl. Phys. A*, **2003**, DOI:10.1007/s00339-003-2398-8
- [15] Zhang J D, Wang J, Wang H B, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **2004**, **84**(1):142~144
- [16] Yuan J F, Zhang J D, Wang J, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **2003**, **82**(2):3967~3969