

溶胶凝胶法制备以  $\text{HfO}_2$  为绝缘层和 ZITO 为有源层的高迁移率薄膜晶体管

朱乐永 高娅娜 张建华 李喜峰

High mobility thin-film transistor with solution-processed hafnium-oxide dielectric and zinc-indium-tin-oxide semiconductor

Zhu Le-Yong Gao Ya-Na Zhang Jian-Hua Li Xi-Feng

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 168501 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.168501

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.168501>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I16>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

部分耗尽结构绝缘体上硅器件的低频噪声特性

Low frequency noise behaviors in the partially depleted silicon-on-insulator device

物理学报.2015, 64(10): 108501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.108501>

电离辐射对部分耗尽绝缘体上硅器件低频噪声特性的影响

Radiation effects on the low frequency noise in partially depleted silicon on insulator transistors

物理学报.2015, 64(7): 078501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.078501>

电荷失配对 SiC 半超结垂直双扩散金属氧化物半导体场效应管击穿电压的影响

Influence of charge imbalance on breakdown voltage of 4H-SiC semi-superjunction VDMOSFET

物理学报.2014, 63(20): 208501 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208501>

溶胶凝胶法制备高性能锆铝氧化物作为绝缘层的薄膜晶体管

Solution-processed high performance HIZO thin film transistor with AZO gate dielectric

物理学报.2014, 63(11): 118502 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.118502>

非晶铟锌氧化物薄膜晶体管的低频噪声特性与分析

Analysis of low-frequency noise in the amorphous indium zinc oxide thin film transistors

物理学报.2014, 63(9): 098503 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.098503>

# 溶胶凝胶法制备以HfO<sub>2</sub>为绝缘层和ZITO为有源层的高迁移率薄膜晶体管\*

朱乐永<sup>1)2)</sup> 高娅娜<sup>2)</sup> 张建华<sup>2)</sup> 李喜峰<sup>2)†</sup>

1) (上海大学材料科学与工程学院, 上海 200072)

2) (上海大学, 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海 200072)

(2015年1月6日收到; 2015年4月25日收到修改稿)

采用溶胶凝胶法制备了  $h$ - $k$  氧化铪 HfO<sub>2</sub> 薄膜, 经 500 °C 退火后, 获得了高透过率、表面光滑、低漏电流和相对高介电常数的 HfO<sub>2</sub> 薄膜. 并采用氧化铪作为绝缘层和锌铟锡氧化物作为有源层成功地制备了底栅顶接触结构薄膜晶体管器件. 获得的薄膜晶体管器件的饱和迁移率大于  $100 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 阈值电压为  $-0.5 \text{ V}$ , 开关比为  $5 \times 10^6$ , 亚阈值摆幅为  $105 \text{ mV/decade}$ . 表明采用溶胶凝胶制备的薄膜晶体管具备高的迁移率, 其迁移率接近低温多晶硅薄膜晶体管的迁移率.

**关键词:** 薄膜晶体管, 氧化铪, 锌铟锡氧化物, 场效应迁移率

**PACS:** 85.30.Tv, 81.05.Gc, 77.22.Ch

**DOI:** 10.7498/aps.64.168501

## 1 引言

以高介电常数 ( $k$ ) 材料为绝缘层的氧化物薄膜晶体管具有阈值电压低、亚阈值摆幅小和迁移率高等特点. 这是因为高  $k$  材料不但能够通过增加绝缘层厚度的方式防止电子隧穿, 并且同时能提供高的单位电容值<sup>[1]</sup>. 因此, 很多高  $k$  氧化物材料, 比如 HfO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等被应用在薄膜晶体管中来减少漏电流<sup>[2-6]</sup>. 其中 HfO<sub>2</sub> 同时具有高的相对介电常数 (20—25)、较宽的禁带 (5.8 eV), 低的界面态密度和良好的电学稳定性等优点<sup>[7,8]</sup>, 因而引起了广泛关注. Khairnar 和 Mahajan<sup>[9]</sup> 用磁控溅射法制备并研究了 HfO<sub>2</sub> 薄膜的结构和电学性能; Son 等<sup>[10]</sup> 使用磁控溅射法制备 HfO<sub>2</sub> 薄膜并和 InGaZnO 一起制备薄膜晶体管 (TFT) 器件, 获得了良好的器件性能. 同时, 锌铟锡氧化物 (ZITO) 由于具有很高的载流子迁移率, 利用它做成的 TFT 器件的迁移率可以超过  $100 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 甚至可

以和低温多晶硅相比拟<sup>[11]</sup>, 因此相对其他氧化物半导体是非常有潜在价值的半导体材料. 尽管近年来人们对 HfO<sub>2</sub> 和 ZITO 做了相关研究. 但是, 大多采用真空工艺制备, 和真空法相比, 溶液法具有成本低、方法简单和适合大规模生产的优点<sup>[12,13]</sup>. 据我们所知, 目前为止还没有关于同时使用溶胶凝胶法制备 HfO<sub>2</sub> 和 ZITO 薄膜作为 TFT 器件绝缘层和有源层的研究. 基于此, 本文采用溶液法制备 HfO<sub>2</sub> 薄膜, 然后在此基础上采用底栅顶接触结构成功制备了 ZITO-TFT 器件, 并研究了其电学性能.

## 2 实验

### 2.1 溶液配制

本文采用溶胶凝胶法制备 HfO<sub>2</sub> 薄膜和 ZITO 薄膜分别作为 TFT 器件的绝缘层和有源层. 将八水合氧氯化铪溶于乙二醇甲醚中得到 HfO<sub>2</sub> 前驱体溶液. 将醋酸锌、氯化铟和氯化锡按 1 : 4 : 4 的比

\* 上海科学技术委员会项目 (批准号: 13520500200, 14XD1401800) 和国家高技术研究发展计划 (批准号: 2015AA033406) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: [lixifeng@shu.edu.cn](mailto:lixifeng@shu.edu.cn)

例溶解在乙二醇甲醚中,待溶液澄清后,再加入适量的乙醇胺作稳定剂配制成ZITO前驱体溶液.所配制的HfO<sub>2</sub>和ZITO前驱体溶液先在70 °C的水温中水浴搅拌3 h,然后再放置2 d进行老化.HfO<sub>2</sub>和ZITO溶液的浓度均为0.3 mol/L.

### 2.2 薄膜旋涂和TFT器件制备

HfO<sub>2</sub>或ZITO溶液旋涂时,将老化好的溶液先经过0.22 μm的聚四氟乙烯过滤器过滤,然后均匀滴在200 mm × 200 mm的洁净Corning EXG玻璃上进行旋涂,转速为3000 r/min,时间为30 s.在旋涂结束后,薄膜经过30 min的270 °C退火处理使成膜坚固,多次重复此工艺达到理想厚度.

在测试HfO<sub>2</sub>薄膜电学性能时制备电容的步骤为:先在玻璃上溅射一层厚约40 nm的ITO薄膜,然后旋涂5层HfO<sub>2</sub>膜,接着采用蒸发的方法蒸发一层圆形Al电极,其直径为1 mm.

TFT器件采用底栅顶接触结构,如图1所示.其制备过程为:先在玻璃基板上直流溅射厚度约为40 nm的ITO并光刻出栅电极,然后旋涂5层HfO<sub>2</sub>薄膜做绝缘层并使用1%HF刻蚀,接着旋涂2层ZITO有源层并使用草酸刻蚀,最后溅射一层厚度约为40 nm的ITO并光刻出源漏电极.沟道的宽度和长度分别为4和20 μm.

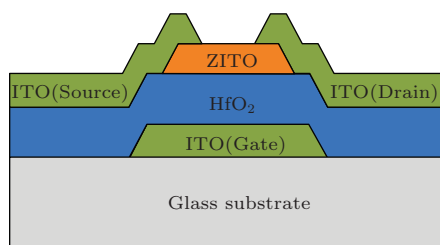


图1 (网刊彩色) 底栅顶接触结构TFT器件截面示意图

Fig. 1. (color online) Schematic for TFTs with bottom gate top contact structure.

### 2.3 HfO<sub>2</sub>薄膜光电学和TFT器件电学性能测试

采用原子力显微镜(AFM, Nanonavi SPI-400)分析薄膜表面形貌.使用U-3900 H紫外-可见分光光度计测量HfO<sub>2</sub>薄膜在300—800 nm波长范围内的透光率.采用D/MAX-2550掠射角X射线衍射仪(GIXRD)表征HfO<sub>2</sub>薄膜的晶体结构.采用椭偏仪测量薄膜厚度.使用Agilent E4980A阻抗分析仪和AgilentHP4155C半导体参数分析仪测试HfO<sub>2</sub>薄膜和TFT器件的电学性能.

## 3 结果与讨论

图2为HfO<sub>2</sub>经不同温度退火后的GIXRD衍射图,从GIXRD结果中可以看出,退火后的HfO<sub>2</sub>为多晶态,并且当退火温度为400 °C时,HfO<sub>2</sub>薄膜已经开始结晶.随着退火温度的增加,HfO<sub>2</sub>薄膜的XRD峰强度也增加,同时,HfO<sub>2</sub>沿着(111)和(111)面有很强的衍射峰,HfO<sub>2</sub>薄膜在退火后的XRD峰和HfO<sub>2</sub>的多晶衍射峰一致(PDF#651142).

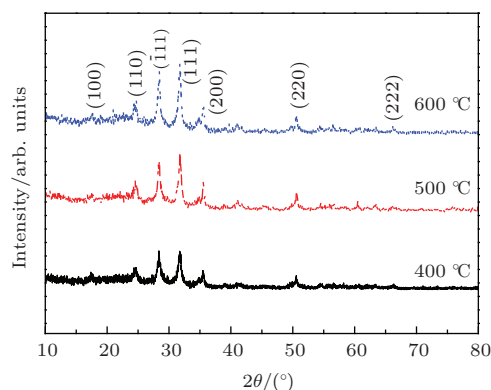


图2 (网刊彩色) HfO<sub>2</sub>薄膜经不同温度退火处理后的GIXRD衍射图

Fig. 2. (color online) GIXRD patterns of the HfO<sub>2</sub> film annealed at various temperatures.

图3所示为采用紫外-可见分光光度计测量不同温度退火后的HfO<sub>2</sub>薄膜的透过率.从图3可知,所制备的HfO<sub>2</sub>薄膜具有良好的透射率,100 nm厚的HfO<sub>2</sub>薄膜的平均可见光(400—800 nm)透过率大于80%.

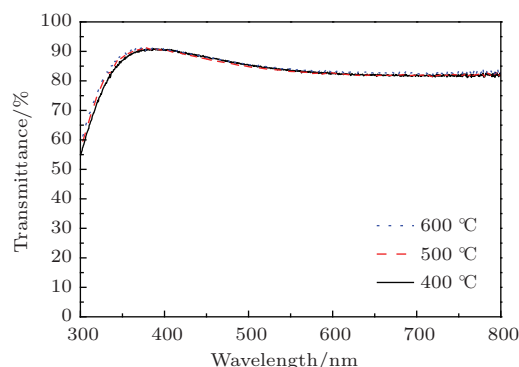


图3 (网刊彩色) HfO<sub>2</sub>薄膜经不同温度退火处理后的紫外-可见光透射光谱

Fig. 3. (color online) UV-visible light transmittance spectra of the HfO<sub>2</sub> film annealed at various temperatures.

图4为HfO<sub>2</sub>薄膜经不同温度退火处理后的AFM图像,其测量面积为2 μm × 2 μm.从图4中可以看出,随着退火温度的增加,HfO<sub>2</sub>薄膜的均方根粗糙度(RMS)从0.79增加到0.91 nm.这是因为随着退火温度的增加,HfO<sub>2</sub>薄膜中晶粒增加所致[14,15].从图中可知,随着退火温度的增加,HfO<sub>2</sub>薄膜中的晶粒明显增多,但它们的值均小于1 nm,说明薄膜的表面均比较光滑.光滑的绝缘层表面有利于在绝缘层和有源层之间形成良好的界面,有利于增加TFT器件的稳定性和减小其亚阈值摆幅,从而提高器件的电学性能[16,17].

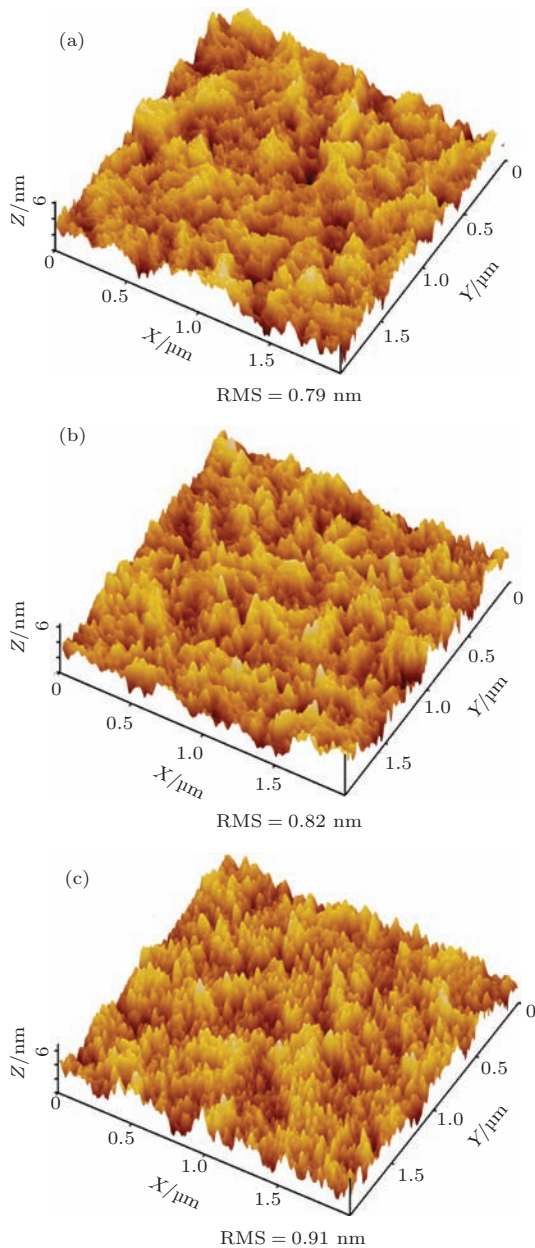


图4 (网刊彩色) HfO<sub>2</sub>薄膜经(a) 400 °C, (b) 500 °C和(c) 600 °C退火处理后的AFM图像

Fig. 4. (color online) AFM images of the HfO<sub>2</sub> film annealed at (a) 400 °C, (b) 500 °C and (c) 600 °C.

为了对HfO<sub>2</sub>薄膜的绝缘层性能进行表征,制备了MIM结构器件.图5(a)所示为HfO<sub>2</sub>薄膜的场强和电流源密度之间的关系,可以看出,经过500 °C退火后的HfO<sub>2</sub>薄膜表现出最好的绝缘性能.薄膜的漏电特性受到它的微结构、结晶性以及表面粗糙度影响[18,19].高温退火(400—600 °C)可以减少薄膜内在缺陷,增加薄膜结晶性以及减少晶界.然而经过600 °C退火处理的HfO<sub>2</sub>薄膜在1 MV/cm时的漏电达到 $2.53 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>,高于经过400和500 °C退火处理的HfO<sub>2</sub>薄膜.原因可能是在600 °C退火处理时,HfO<sub>2</sub>和ITO之间出现了扩散,导致绝缘层的物理厚度减小,进而增加漏电.另外,600 °C的退火温度接近玻璃基板的玻璃转变温度,这可能在玻璃内部产生应力.经过500 °C退火处理的HfO<sub>2</sub>薄膜的漏电最小,在1 MV/cm时的漏电为 $1.25 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>.从表1中可以看出,采

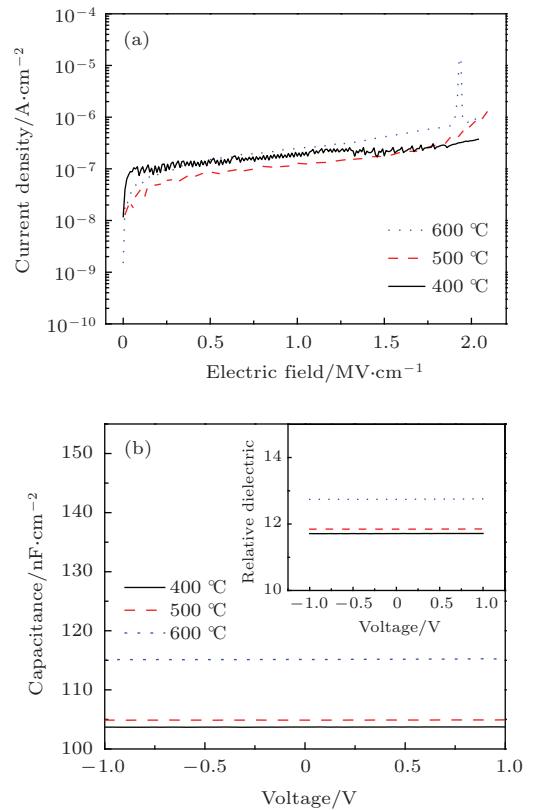


图5 (网刊彩色) MIM结构中HfO<sub>2</sub>薄膜经不同温度退火处理后的(a) I-V特性和(b) C-V特性,(b)中插图图为HfO<sub>2</sub>薄膜介电常数和电压的关系

Fig. 5. (color online) (a) Plots of gate leakage current density of HfO<sub>2</sub> dielectric annealed at different temperatures as a function of the applied electric field, (b) plots of capacitance per area and the relative dielectric constant (inset in Fig.5(b)) of HfO<sub>2</sub> films annealed at different temperatures versus the applied voltage.



表1 磁控溅射与溶液法制备 HfO<sub>2</sub> 薄膜介电性能对比

Table 1. Dielectric performance comparison of HfO<sub>2</sub> thin film prepared by magnetron sputtering and solution method.

成膜方式	退火温度/ °C	场强/ MV·cm <sup>-1</sup>	漏电流/ A·cm <sup>-2</sup>	相对介电常数	文献
磁控溅射	500	1.0	5.00 × 10 <sup>-8</sup>	14.7	[2]
磁控溅射	300	0.4	7.19 × 10 <sup>-8</sup>	20.1	[20]
磁控溅射	—	1.0	1.00 × 10 <sup>-8</sup>	18.2	[21]
溶液法	500	1.0	1.25 × 10 <sup>-7</sup>	11.8	本实验

用溶液法制备的 HfO<sub>2</sub> 薄膜性能可以和采用真空法制备的膜的绝缘性能相媲美. 由于溶液法具有成本低、方法简单等优点, 因此溶液法制备 HfO<sub>2</sub> 薄膜具备在 TFT 产业化应用的潜力.

图 5 (b) 为经 400, 500 和 600 °C 退火处理后的 HfO<sub>2</sub> 薄膜的单位面积电容和电压的关系曲线. 电压范围为 -1—1 V, 频率为 1 MHz. 随着退火温度的增加, 单位面积电容从 ~104 增加至 ~115 nF/cm<sup>2</sup>, HfO<sub>2</sub> 薄膜的介电常数可以通过 (1) 式得出:

$$k = \frac{dC_i}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

式中  $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12}$  C/V·m, 为真空介电常数;  $C_i$  为电容密度;  $d$  为 HfO<sub>2</sub> 薄膜厚度, 这里  $d = 100$  nm. 得到的介电常数如图 5 (b) 中插图所示. 经过 400, 500 和 600 °C 退火处理后的 HfO<sub>2</sub> 的相对介电常数为 11.7, 11.8 和 12.7. HfO<sub>2</sub> 薄膜的相对介电常数随着退火温度的增加而增加, 这是因为薄膜介电常数和晶粒大小及结晶程度有关<sup>[18]</sup>. 但它们均小于 HfO<sub>2</sub> 的体介电常数, 这与溶液法制备的 HfO<sub>2</sub> 薄膜的密度较低及晶粒较小有关<sup>[22]</sup>.

结合 HfO<sub>2</sub> 绝缘层和 ZITO 有源层制备 ZITO TFT 器件并进行 500 °C 退火处理, 所得底栅顶接触结构 TFT 器件如图 1 所示. 图 6 为 ZITO-TFT 器件的输出特性曲线, 源漏电压从 0 扫描到 3 V, 栅极电压从 0 增加到 1 V, 间隔 0.2 V. 源漏电流  $I_{DS}$  随着正栅偏压  $V_G$  增加而显著增大, 说明该 TFT 为  $n$  型器件且工作于增强模式. 此外, 在  $V_{DS}$  较低时,  $I_{DS}$  随  $V_{DS}$  增加呈线性关系, 无电流阻塞现象发生, 说明源漏电极 ITO 与有源层 ZITO 具有良好的欧姆接触特性. 随着漏极电压的增大, 晶体管从线性区过渡到饱和区, 并且表现出较好的饱和特性. 当栅极电压  $V_G = 1$  V 时, 源漏饱和电流达到 80  $\mu$ A 左右.

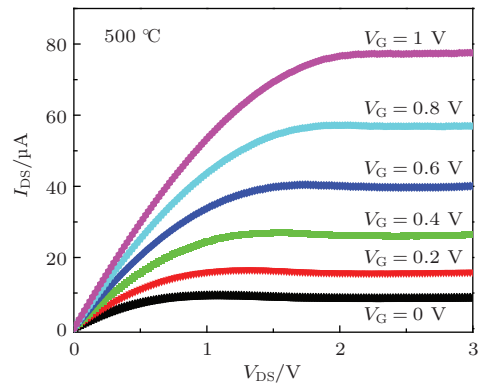


图 6 (网刊彩色) ZITO TFT 的输出特性曲线  
Fig. 6. (color online) Output characteristics of ZITO TFT.

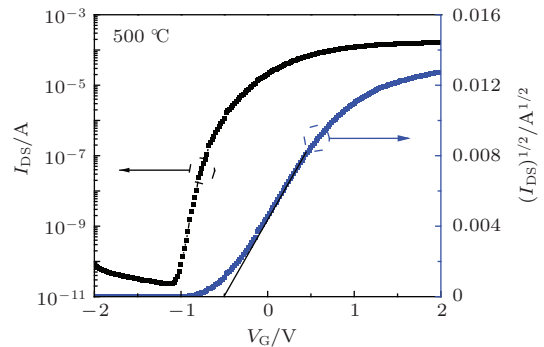


图 7 (网刊彩色) ZITO TFT 的转移特性曲线  
Fig. 7. (color online) Transfer characteristics of ZITO TFT.

图 7 给出了 ZITO TFT 的转移特性曲线. 当  $V_{DS} = 1$  V 时, 器件具有低的漏电流 ( $3 \times 10^{-11}$  A), 开关比约为  $5 \times 10^6$ , 亚阈值摆幅 (SS) 约为 109 mV/dec. 其迁移率与低温多晶硅薄膜晶体管的迁移率可比拟. 结合饱和区电流方程 (2) 与转移特性曲线  $\sqrt{V_{DS}}$  中与  $V_G$ ,  $I_{DS}$  与  $V_G$  的关系可以获得器件的阈值电压、饱和迁移率<sup>[23,24]</sup>:

$$I_{DS} = \left( \frac{\mu_{sat} C_i W}{2L} \right) (V_G - V_{th})^2, \quad (2)$$

$$\mu_{\text{sat}} = \frac{2L}{C_i W} \left( \frac{\partial \sqrt{I_{\text{DS}}}}{\partial V_G} \right)^2, \quad (3)$$

其中  $I_{\text{DS}}$  为漏电流,  $W$  为器件沟道宽度,  $L$  为沟道长度,  $\mu_{\text{sat}}$  为器件的饱和场效应迁移率,  $C_i$  为绝缘层单位面积电容,  $V_G$  为栅极电压,  $V_{\text{th}}$  为阈值电压. 通过 (2) 和 (3) 式可以得到阈值电压  $V_{\text{th}} = -0.5 \text{ V}$  以及饱和区晶体管的场效应迁移率  $\mu_{\text{sat}} = 109 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . 这里的  $\text{HfO}_2$  绝缘层  $C_i = 105 \text{ nF/cm}^2$ ,  $W/L = 5$ . 从表 2 中可以看出, 采用溶液法制备的 TFT 器件具有高的开关比、低的亚阈值摆幅和低的阈值电压等, 可达到与溅射法  $\text{HfO}_2$  为绝缘层的 TFT 器件相当的性能. 综合考虑溶液法制备 TFT 器件的优点, 溶液法制备的以  $\text{HfO}_2$  为绝缘层的 TFT 器件具备在平板显示产业中应用的潜力.

对所制备的器件施加  $V_{\text{DS}} = 1 \text{ V}$  的偏压进行应力测试, 时间为 1000 s, 结果如图 8 所示. 可以看出阈值电压和亚阈值摆幅不变. 偏压结果表明 TFT 器件在正偏压的作用下非常稳定, 这种良好的稳定性可能是因为  $\text{HfO}_2$  绝缘层和 ZITO 有源层之间有着良好的界面所致. 可以通过亚阈值摆幅估计出 TFT 最大体缺陷密度 ( $N_{\text{SS}}$ ) 和  $\text{HfO}_2$  和 ZITO 之间的最大界面缺陷密度 ( $D_{\text{it}}$ ), 公式如下:

$$\text{SS} = \frac{q k_B T (N_{\text{SS}} t_{\text{ch}} + D_{\text{it}})}{C_i \log(e)}, \quad (4)$$

$q$  为电子电荷,  $k_B$  为玻尔兹曼常数,  $T$  为绝对温度,  $t_{\text{ch}}$  为沟道层厚度. 这里分别假设  $N_{\text{SS}}$  或  $D_{\text{it}}$  为 0 来求另一个值的最大量. 通过计算得到  $D_{\text{it}}$  和  $N_{\text{SS}}$  的最大值分别为  $D_{\text{it}} = 1.16 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$  和  $2.89 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{eV}^{-1}$ , 很低的  $D_{\text{it}}$  和  $N_{\text{SS}}$  最大值可以解释为什么没有观察到由电荷俘获导致的  $V_{\text{th}}$  偏移.

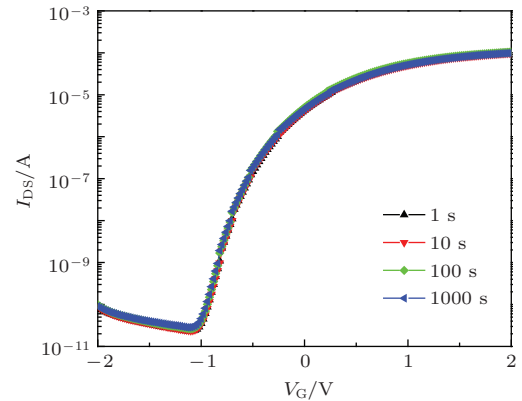


图 8 (网刊彩色) 恒定正偏压下的 ZITO TFT 的转移特性曲线

Fig. 8. (color online) Positive bias stress characteristics of ZITO TFTs (1000 s).

表 2 磁控溅射和溶液法制备的  $\text{HfO}_2$  为绝缘层的 TFT 器件性能对比

Table 2. TFT devices performance comparison of  $\text{HfO}_2$  thin film prepared by magnetron sputtering and solution method.

成膜方式	有源层	阈值电压/ V	迁移率/ $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	SS/ $\text{mV} \cdot \text{dec}^{-1}$	开关比	文献
磁控溅射	IZO	3.54	13.09	420	$4.0 \times 10^5$	[2]
磁控溅射	HIZO	1.28	3.53	95	$1.4 \times 10^7$	[20]
磁控溅射	IGZO	0.67	25.8	90	$1.1 \times 10^7$	[10]
溶液法	ZITO	-0.5	109	105	$5.0 \times 10^6$	本实验

## 4 结 论

本文采用溶胶凝胶法制备了  $\text{HfO}_2$  薄膜, 在不同的温度下进行退火处理并研究其性能. 结果发现经  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  退火后的  $\text{HfO}_2$  薄膜适合做 TFT 器件的绝缘层; 使用  $\text{HfO}_2$  绝缘层和 ZITO 有源层制备的底栅顶接触 TFT 器件具有开关比高 ( $5 \times 10^6$ )、阈值电压低小 ( $-0.5 \text{ V}$ )、亚阈值摆幅小 ( $105 \text{ mV/dec}$ ) 和饱和迁移率高 ( $109 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 的特点. 偏压稳

定性测试表明  $\text{HfO}_2$  和 ZITO 的同时使用使得 TFT 器件具有很好的稳定性.

## 参考文献

- [1] Tsay C Y, Cheng C H, Wang Y W 2012 *Ceram. Int.* **38** 1677
- [2] Lin W K, Liu K C, Chang S T, Li C S 2012 *Thin Solid Films* **520** 3079
- [3] Bobade S M, Shin J H, Cho Y J, You J S, Choi D K 2009 *Appl. Surf. Sci.* **255** 7831
- [4] Panda D, Tseng T Y 2013 *Thin Solid Films* **531** 1

- [5] Li X F, Xin E L, Zhang J H 2013 *IEEE Trans. Electron Devices* **60** 3413
- [6] Wu C H, Chang K M, Huang S H, Deng I C, Wu C J, Chiang W H, Chang C C 2012 *IEEE Electron Device Lett.* **33** 552
- [7] Gong Y P, Li A D, Qian X, Zhao C, Wu D 2009 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42** 015405
- [8] Son H, Kim J, Yang J, Cho D, Yi M 2011 *Curr. Appl. Phys.* **11** S135
- [9] Khairnar A G, Mahajan A M 2013 *Solid State Sci.* **15** 24
- [10] Son D H, Kim D H, Sung S J, Jung E A, Kang J K 2010 *Curr. Appl. Phys.* **10** e157
- [11] Kim M G, Kim H S, Ha Y G, He J, Kanatzidis M G, Facchetti A, Marks T J 2010 *J. Am. Chem. Soc.* **132** 10352
- [12] Pu H, Li H, Yang Z, Zhou Q, Dong C, Zhang Q 2013 *ECS Solid State Lett.* **2** N35
- [13] Zhu L Y, Gao Y N, Li X F, Sun X W, Zhang J H 2014 *J. Mater. Res.* **29** 1620
- [14] Ma C Y, Wang W J, Wang J, Miao C Y, Li S L, Zhang Q Y 2013 *Thin Solid Films* **545** 279
- [15] Chen F H, Hung M N, Yang J F, Kuo S Y, Her J L, Matsuda Y H, Pan T M 2013 *J. Phys. Chem. Sol.* **74** 570
- [16] Lee C G, Dodabalapur A 2012 *J. Electron. Mater.* **41** 895
- [17] Gao Y N, Li X F, Zhang J H 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 118502 (in Chinese) [高娅娜, 李喜峰, 张建华 2014 物理学报 **63** 118502]
- [18] Hsu C H, Yan S F 2011 *J. Am. Ceram. Soc.* **94** 822
- [19] Zhao Y P, Wang G C, Lu T M, Palasantzas G, De Hosson J Th M 1999 *Phys. Rev. B* **60** 9157
- [20] Son D H, Kim D H, Kim J H, Sung S J, Jung E A, Kang J K 2010 *Electrochem. Solid-State Lett.* **13** H274
- [21] Li F M, Bayer B C, Hofmann S, Speakman S P, Ducati C, Milne W I, Flewitt A J 2013 *Phys. Status Solidi B* **250** 957
- [22] Park J H, Lee S J, Lee T I, Kim J H, Kim C H, Chae G S, Ham M H, Baik H K, Myoung J M 2013 *J. Mater. Chem. C* **1** 1840
- [23] Kamiya T, Nomura K, Hosono H 2010 *Adv. Mater.* **11** 044305
- [24] Xin E L, Li X F, Chen L L, Shi J F, Li C Y, Zhang J H 2012 *Chin. J. Lumin.* **33** 1149 (in Chinese) [信恩龙, 李喜峰, 陈龙龙, 石继锋, 李春亚, 张建华 2012 发光学报 **33** 1149]

# High mobility thin-film transistor with solution-processed hafnium-oxide dielectric and zinc-indium-tin-oxide semiconductor\*

Zhu Le-Yong<sup>1)2)</sup> Gao Ya-Na<sup>2)</sup> Zhang Jian-Hua<sup>2)</sup> Li Xi-Feng<sup>2)†</sup>

1) (School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

2) (Key Laboratory of Advanced Display and System Applications of Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

( Received 6 January 2015; revised manuscript received 25 April 2015 )

## Abstract

In this paper, bottom-gate-top-contact structured thin-film transistors (TFTs) are fabricated by solution-processing of hafnium oxide ( $\text{HfO}_2$ ) dielectrics and zinc-indium-tin-oxide (ZITO) semiconductors. Solution-processed  $\text{HfO}_2$  films are annealed at different temperatures, and the 500 °C annealed  $\text{HfO}_2$  dielectrics can exhibit optimizing film properties such as smooth surfaces (the RMS value of  $\text{HfO}_2$  films is less than 1 nm), low leakage current density ( $1.25 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup> at 1 MV/cm), high transmittance (above 80% at the wavelength ranging from 400 to 800 nm) and high relative dielectric constant (about 12). The smooth surface of  $\text{HfO}_2$  dielectrics is attributed to the decreased charge trapping states at the interface between the  $\text{HfO}_2$  dielectrics and ZITO semiconductors, and thus improves the device electrical performance and stability. Hence, TFT devices of  $\text{HfO}_2$  dielectrics annealed at 500 °C show a high saturated field effect mobility of more than 100 cm<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>, a low threshold voltage of -0.5 V, an on-to-off current ratio of  $5 \times 10^6$  and a small subthreshold swing of 105 mV/dec. An almost negligible threshold voltage shift is observed under a positive bias stress for 1000 s, indicating the excellent stability of  $\text{HfO}_2$  TFT devices.

**Keywords:** thin film transistor, hafnium oxide, zinc indium tin oxide, high mobility

**PACS:** 85.30.Tv, 81.05.Gc, 77.22.Ch

**DOI:** 10.7498/aps.64.168501

\* Project supported by Shanghai Science and Technology Commission, China (Grant Nos. 13520500200, 14XD1401800) and the High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2015AA033406).

† Corresponding author. E-mail: [lixifeng@shu.edu.cn](mailto:lixifeng@shu.edu.cn)