

文章编号:1007-2780(2015)04-0602-06

未退火 InGaZnO 作为缓冲层的 InGaZnO 薄膜晶体管性能研究

苟昌华,武明珠,郭永林,杨永强,关晓亮,段羽,王红波*

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

摘要: 铟镓锌氧化物薄膜晶体管(IGZO TFT)因具有场效应迁移率高,大面积均匀性好,无定型态等特点,被认为是显示器朝着大尺寸、柔性化方向发展的新型背板技术。源漏电极与有源层之间的接触氧化会增大器件的接触电阻,从而导致器件的性能降低。利用未退火 IGZO 具有氧含量低、氧空位多、电导率高的特点,提出采用未退火 IGZO 作为源漏电极缓冲层,以减少源漏电极与有源层之间的接触氧化。研究发现插入 4 nm 未退火 IGZO 缓冲层时,相对于未采用缓冲层的器件,其饱和区场效应迁移率提高了 11.6%,阈值电压降低了 3.8 V,器件性能有所提高。此外,该方法还可以在原位退火之后继续使用与有源层相同的材料溅射生长缓冲层,能够使得在采用矩形靶溅射方式的工业生产中,制备缓冲层工艺更加简单。

关键词: 薄膜晶体管;InGaZnO;接触电阻;缓冲层

中图分类号: TN321+.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20153004.0602

Effects of using InGaZnO without annealing as buffer layer on the performance of InGaZnO thin film transistors

GOU Chang-hua, WU Ming-zhu, GUO Yong-lin, YANG Yong-qiang,
GUAN Xiao-liang, DUAN Yu, WANG Hong-bo*

(*State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Jilin University Region,
College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China*)

Abstract: Due to the characters of high field effect mobility, good uniformity on large area and amorphous, indium-gallium-zinc-oxide thin film transistors is considered to be a new drive technology for the displays with large size and flexible character. However, the metal contact oxidation between source/drain electrode and active layer will increase the contact resistance and cause performance degradation. IGZO film without annealing has the characters of low oxygen content, more oxygen vacancies and high electrical conductivity. This article proposed using IGZO film without annealing as drain/source electrode buffer layer to reduce the contact oxidation and reduce the contact resistance. Experimental results indicated that the best performance of device can be obtained, when inserting 4 nm IGZO buffer layer, the mobility improved by 11.6% and the threshold voltage reduced 3.8 V compared with the device without buffer layer. In conclusion, the buffer layer can effectively improve the per-

收稿日期: 2014-12-30; **修订日期:** 2015-01-07.

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61275033)

* 通信联系人, E-mail: wang_hongbo@jlu.edu.cn

formance of device. In addition, using the same material with active layer as buffer layer can simplify the process compared with other material as buffer layer in industrial production with single rectangular target.

Key words: thin film transistor; InGaZnO; contact resistance; buffer layer

1 引言

近年来,随着显示器的像素尺寸不断变小,图像刷新频率不断提高,传统的非晶硅薄膜晶体管因迁移率低而难以满足这种发展需求;尽管多晶硅薄膜晶体管的迁移率很高,但是其制作工艺复杂、成本较高、大面积均匀性差,也很难得到进一步应用^[1-2]。自从2004年,K. Nomura 等人^[3]报道以铟镓锌氧化物半导体作为有源层的铟镓锌氧化物薄膜晶体管(InGaZnO Thin Film Transistor, IGZO TFT)以来,它就以场效应迁移率高($\geq 10 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$)、工艺简单、大面积沉积均匀性好、响应速度快、可见光范围内透过率高等特点^[4-6],引起了学术界和工业界的广泛关注。目前,IGZO TFT被认为是显示器朝着大尺寸、柔性化方向发展的最有潜力的背板技术^[7-9]。

在IGZO TFT中,氧空位是载流子的主要来源,然而过多的氧空位会导致有源层内部缺陷态多,进而影响器件性能^[10-12]。因此,IGZO TFT必须在大气或者氧气环境中,通过退火来消除过多的氧空位^[13-15],同时有源层内部的缺陷减少。退火后的IGZO薄膜内部和表面的氧含量将增大^[16],进而其电阻率增大了2~3个数量级。随着源漏电极的制备完成,源漏电极的金属原子很容易与有源层中的氧形成接触氧化^[17]。A. Kiani等人解释了接触氧化对器件性能的影响,以常见的电极材料Al作为源漏电极为例,Al原子向有源层扩散,与有源层内部或表面的氧在界面处结合,形成类似氧化铝的基团^[18],这将大大增加源漏电极与有源层之间的接触电阻,使得器件的性能降低^[19]。

本文从降低接触电阻入手,研究源漏电极缓冲层对IGZO TFT性能的影响。我们利用未退火IGZO薄膜的内部及表面氧含量少、导电性好的特点,提出采用未退火IGZO作为缓冲层,避免源漏电极与富氧的有源层直接接触,可以有效减少接触氧化,从而提高器件的性能。

2 实验

2.1 材料及仪器

本实验所用到的主要材料有:钢锡氧化物玻璃(ITO glass)、三甲基铝(Trinethylaluminium, TMA)、IGZO靶材(In:Ga:Zn:O=1:1:1:4)。

绝缘层材料利用原子层沉积(ALD)工艺生长,有源层IGZO薄膜利用磁控溅射工艺制备,器件的电学性能在室温条件下采用Keithley 2400半导体参数测试系统进行测试,样品的表面形貌采用原子力显微镜(AFM)进行分析。

2.2 实验过程

本文制备的四个器件结构如图1所示。器件的具体结构为:ITO glass/ Al_2O_3 (150 nm)/IGZO (40 nm)/IGZO buffer layer (X nm, without annealing)/Al;其中:X是未退火IGZO缓冲层的厚度。在器件A、B、C和D中,X的值分别为0、2、4和6。

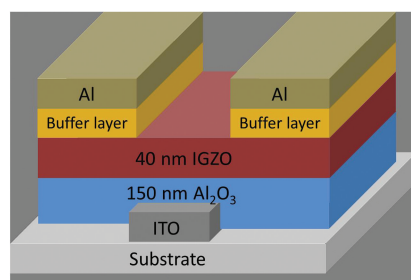


图1 器件结构示意图

Fig. 1 Structure of the devices

所有器件制备之前,先将带有ITO导电薄膜的玻璃衬底,用清洗液超声清洗两次,每次5 min;然后用去离子水超声6次,每次5 min;最后烘干、紫外处理分别10 min。

首先,以三甲基铝为源,利用ALD在ITO玻璃衬底下,生长150 nm Al_2O_3 作为绝缘层,ITO作为器件的栅电极。然后,利用磁控溅射仪生长IGZO薄膜作为有源层,时间40 min,生长过程中维持

溅射功率 50 W,工作气压 0.5 Pa,氩气流量 30 mL/min 不变,IGZO 经椭偏仪测定为 40 nm。再将样品放入烘箱中,在大气环境下,200 ℃退火处理一小时。生长源漏电极之前,在器件 B、C、D 中,采用掩膜的方法,分别溅射 2 nm、4 nm、6 nm 未退火的 IGZO 薄膜作为源漏电极缓冲层,器件 A 是无缓冲层的对比器件。最后蒸镀 Al 作为源漏电极。四个器件的沟道宽长比均为:1 000 μm/100 μm。

3 结果和讨论

3.1 器件的电学性能

器件工作在饱和区($V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th}$)时,源漏电流(I_{DS})的表达式为:

$$I_{DS} = \frac{1}{2} \mu_{FE} C_i \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2. \quad (1)$$

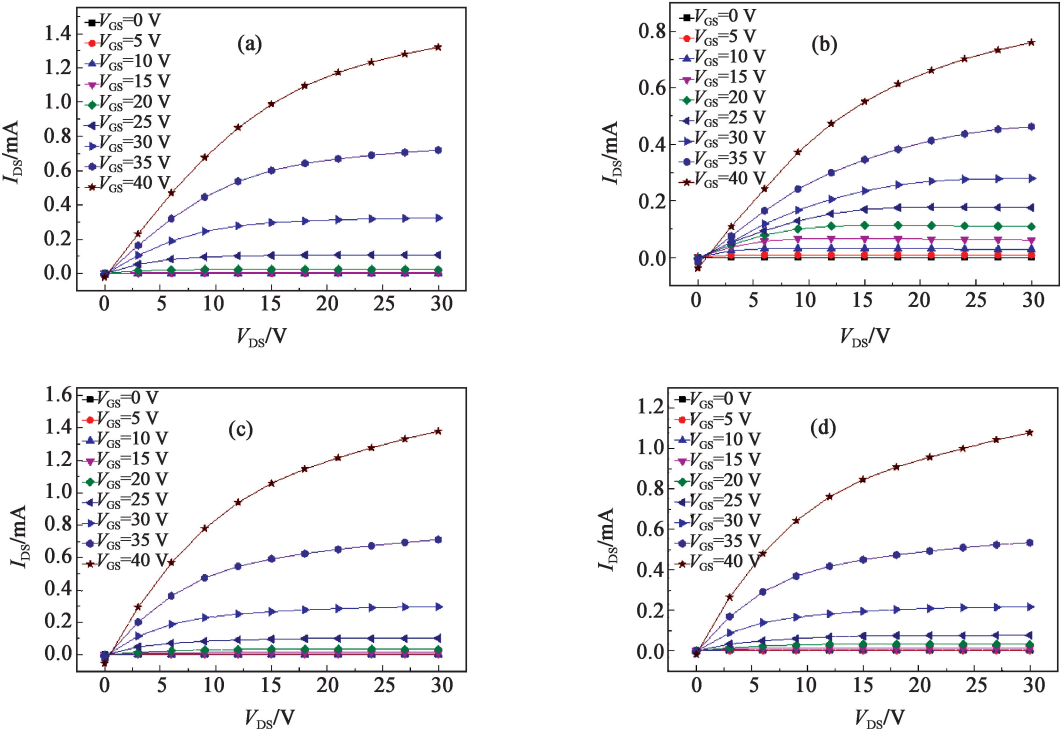


图 2 (a)、(b)、(c)和(d)分别是器件 A、B、C、D 的输出特性曲线

Fig. 2 (a), (b), (c) and (d) are output characteristic curves of Device A, B, C and D, respectively

由(1)式可以推导出,器件工作在饱和区时的场效应迁移率:

$$\mu_{FE} = \frac{2LK^2}{WC_i} \quad \text{其中: } C_i = \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{d_{insulator}}, \quad (2)$$

其中: K 为 $I_{DS1/2}-V_{GS}$ 曲线中拟合出的斜率、 W/L 为导电沟道的宽长比、 V_{th} 为阈值电压、 μ_{FE} 为场效应迁移率、 C_i 为单位面积栅电容、 ϵ_r 为绝缘层材料的相对介电常数、 ϵ_0 为真空介电常数、 $d_{insulator}$ 为绝缘层的厚度。计算得到本实验中 C_i 为 4.66 nF/cm²。图 2 中(a)、(b)、(c)和(d)分别为器件 A、B、C 和 D 的输出特性曲线图。

由图 2 可得在 V_{DS} 为 30V 时的 $I_{DS}-V_{GS}$ 曲线及 $I_{DS1/2}-V_{GS}$ 曲线,如图 3 所示。根据器件的 $I_{DS}-V_{GS}$ 曲线可以确定器件的开关电流比。经过拟合

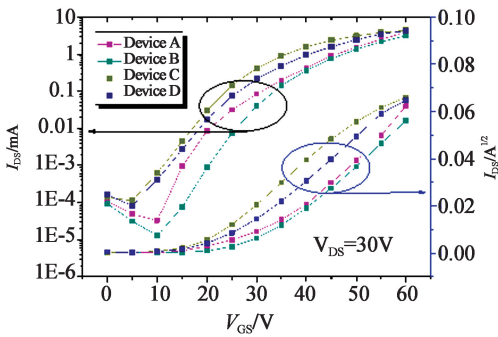


图 3 源漏电压为 30 V 时,器件 A、B、C 和 D 的 $I_{DS}-V_{GS}$ 以及 $I_{DS1/2}-V_{GS}$ 曲线

Fig. 3 $I_{DS}-V_{GS}$ and $I_{DS1/2}-V_{GS}$ curve at 30 V drain voltage of Device A, B, C and D

得到每个器件 $I_{\text{DS1/2}}-V_{\text{GS}}$ 曲线中直线段的斜率依次为 1.68×10^{-2} 、 1.63×10^{-2} 、 1.78×10^{-2} 和 1.71×10^{-2} ,结合式(2),可以计算出器件的饱和区的场效应迁移率。 $I_{\text{DS1/2}}-V_{\text{GS}}$ 曲线的直线段拟合出的直线与横坐标的交点为器件的阈值电压。4 个器件的电学参数如表 1 所示。

表 1 器件 A、B、C 和 D 的电学性能参数

Tab. 1 Electrical parameters of Device A, B, C and D

	$\mu/(\text{cm}^2\cdot\text{V}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	V_{th}/V	$I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$
Device A	12.1	21.3	3.6×10^4
Device B	11.4	27.7	3.4×10^4
Device C	13.5	17.5	3.1×10^4
Device D	12.5	21.2	2.6×10^4

3.2 接触电阻分析

为了分析器件性能存在差异的原因,我们对器件的接触电阻进行分析。W. S. Kim 等人^[18]报道的计算薄膜晶体管总电阻的模型为:

$$R_{\text{T}}=\frac{V_{\text{DS}}}{I_{\text{DS}}}=R_{\text{active}}+R_{\text{S/D}},$$

其中: R_{T} 为 IGZO TFT 的总电阻, R_{active} 为薄膜晶体管的有源层电阻, $R_{\text{S/D}}$ 为源漏电极与有源层之间的接触电阻。我们制备的四个器件的有源层材料和工艺都相同,因此可以认为四个器件拥有相同的有源层电阻(R_{active})。所以源漏电极与有源层之间的接触电阻($R_{\text{S/D}}$)与 4 个器件总电阻(R_{T})具有相同的变化趋势,可以通过总电阻的变化来反应出接触电阻的变化。

我们利用传输线法(TLM)^[20]计算出了在 60 V 的栅压下,器件 A、B、C 和 D 的总电阻分别为:8.12、9.24、7.17 和 7.92 k Ω ,其中器件 C 的总电阻最小。器件 A 中没有缓冲层,源漏电极与富氧的有源层直接接触,形成接触氧化,导致器件 A 的总电阻比器件 C 和 D 大。但是我们注意到,与器件 A 相比,插入 2 nm 缓冲层的器件 B 的接触电阻反而增大,而器件 C 和 D 的接触电阻均减小。

为了进一步探究不同厚度缓冲层对器件性能影响的原因,在源漏电极生长之前,采用 AFM 技术对样品表面形貌进行分析,AFM 图像如图 4 所示。对 AFM 数据结果进行分析发现,四个器件表面粗糙度分别为 1.30 nm、3.09 nm、2.01 nm 和 1.36 nm。当插入 2 nm 未退火 IGZO 作为缓冲层时,表面粗糙度由 1.30 nm 增大到 3.09 nm,这主要是由于 2 nm 的 IGZO 还没有形成连续均匀的薄膜,而以岛状形式存在,因而粗糙度较大。而较大的粗糙度不利于源漏电极与有源层之间形成理想的接触^[21],因此器件 B 的总电阻较大,从而导致器件 B 的性能相比于器件 A 反而降低。

当缓冲层厚度继续增大时,可以看出界面处的粗糙度逐渐降低,然而器件的总电阻在经历器件 B 到器件 C 的降低后,器件 D 的总电阻又开始升高。我们分析认为,器件 D 中的缓冲层过厚,相对于器件 C,引入额外无意义的串联电阻。实验结果表明,插入 4 nm 未退火 IGZO 缓冲层时,器件的性能最好,饱和区场效应迁移率为 13.5 cm²/(V·s),阈值电压为 17.5 V,开关电流比为 3.1×10^4 。

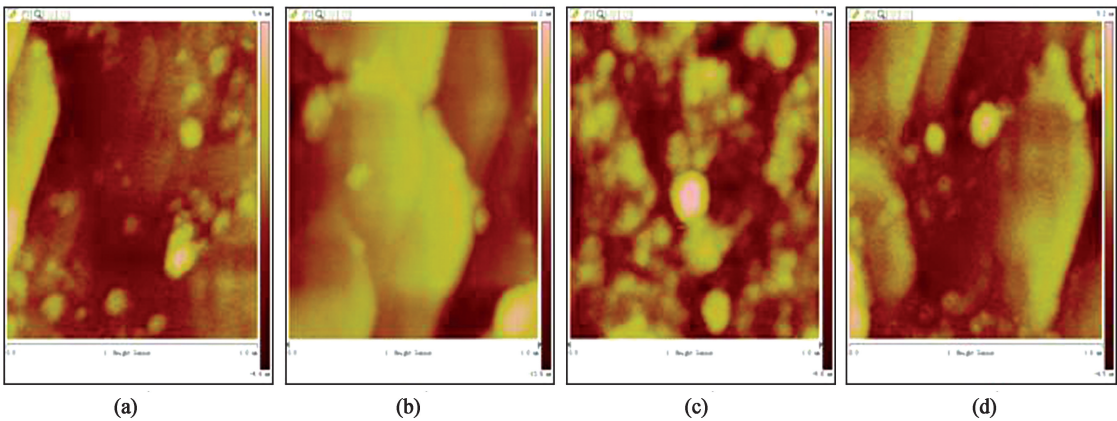


图 4 (a)、(b)、(c)和(d)分别为器件 A、B、C 和 D 的原子力显微镜图像(扫描面积: 1 $\mu\text{m}\times1\mu\text{m}$)

Fig. 4 (a), (b), (c) and (d) are AFM images of Device A, B, C and D, respectively(scan area: 1 $\mu\text{m}\times1\mu\text{m}$)

4 结 论

为了研究未退火 IGZO 作为源漏电极缓冲层对 IGZO 薄膜晶体管性能的影响,我们考察了不同缓冲层厚度的器件性能。研究发现,在有源层和源漏电极之间,插入适当厚度的未退火 IGZO 作为缓冲层,能够有效减少接触氧化,从而使得接

触电阻降低。当缓冲层厚度为 4 nm 时,器件性能最优,与无缓冲层的对比器件相比,其饱和区场效应迁移率由 $12.1 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 提高到 $13.5 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$, 阈值电压由 21.3 V 降低到 17.5 V。且本文采用与有源层相同的材料作为缓冲层,可在原位退火后继续溅射生长缓冲层,与其他材料作为缓冲层相比,制备工艺更加简单,方便采用大型矩形靶的工业生产。

参 考 文 献:

- [1] 詹润泽,谢汉萍,董承远. 采用不同透明电极的非晶铟镓锌氧化物薄膜晶体管 [J]. 液晶与显示, 2013, 28(1): 55-58.
Zhan R Z, Shien H P, Dong C Y. Amorphous InGaZnO thin film transistors with different transparent electrodes [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2013, 28(1): 55-58. (in Chinese)
- [2] 刘翔,薛建设,贾勇,等. 金属氧化物 IGZO 薄膜晶体管的最新研究进展 [J]. 现代显示, 2010, 117(10): 28-32.
Liu X, Xue J S, Jia Y, *et al.* The recent research progress of amorphous Indium Gallium Zinc Oxide thin film transistors [J]. *Advanced Display*, 2010, 117 (10): 28-32. (in Chinese)
- [3] Nomura K, Ohta H, Takagi A, *et al.* Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Nature*, 2004, 432(7016): 488-492.
- [4] Yabuta H, Sano M, Abe K, *et al.* High-mobility thin-film transistor with amorphous InGaZnO₄ channel fabricated by room temperature rf-magnetron sputtering [J]. *Applied Physics Letters*, 2006, 89 (11): 112123-1-3.
- [5] Park J S, Maeng W J, Kim H S, *et al.* Review of recent developments in amorphous oxide semiconductor thin-film transistor devices [J]. *Thin Solid Films*, 2012, 520(6): 1679-1693.
- [6] Suresh A, Gollakota P, Wellenius P, *et al.* Transparent, high mobility InGaZnO thin films deposited by PLD [J]. *Thin Solid Films*, 2008, 516(7): 1326-1329.
- [7] Miura K, Ueda T, Nakano S, *et al.* Low-temperature-processed IGZO TFTs for flexible AMOLED with integrated gate driver circuits[C]. *SID Symposium Digest of Technical Papers. Blackwell Publishing Ltd*, 2011, 42(1): 21-24.
- [8] Nakata M, Sato H, Nakajima Y, *et al.* Low-temperature fabrication of flexible AMOLED displays using oxide TFTs with polymer gate insulators[C]. *SID Symposium Digest of Technical Papers. Blackwell Publishing Ltd*, 2011, 42(1): 202-205.
- [9] 冯巍良,黄培. 柔性显示衬底的研究及进展 [J]. 液晶与显示, 2012, 27(5): 599-607.
Feng W L, Huang P. Advances in flexible displays substrates [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2012, 27(5): 599-607. (in Chinese)
- [10] Takagi A, Nomura K, Ohta H, *et al.* Carrier transport and electronic structure in amorphous oxide semiconductor, a-InGaZnO₄ [J]. *Thin Solid Films*, 2005, 486(1): 38-41.
- [11] Fuh C S, Sze S M, Liu P T, *et al.* Role of environmental and annealing conditions on the passivation-free in-Ga-Zn-O TFT [J]. *Thin Solid Films*, 2011, 520(5): 1489-1494.
- [12] Nomura K, Kamiya T, Kikuchi Y, *et al.* Comprehensive studies on the stabilities of a-In-Ga-Zn-O based thin film transistor by constant current stress [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518(11): 3012-3016.
- [13] Hsieh H H, Kamiya T, Nomura K, *et al.* Modeling of amorphous InGaZnO₄ thin film transistors and their sub-gap density of states [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(13): 133503-133503-3.
- [14] Nomura K, Kamiya T, Ohta H, *et al.* Defect passivation and homogenization of amorphous oxide thin-film transistor by wet O₂ annealing [J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 93(19): 192107-192107-3.
- [15] Kimura M, Nakanishi T, Nomura K, *et al.* Trap densities in amorphous-InGaZnO₄ thin-film transistors [J]. *Ap-*

- plied Physics Letters*, 2008, 92(13): 133512-133512-3.
- [16] Trinh T T, Nguyen V D, Ryu K, *et al.* Improvement in the performance of an InGaZnO thin-film transistor by controlling interface trap densities between the insulator and active layer [J]. *Semiconductor Science and Technology*, 2011, 26(8): 085012-1-8.
- [17] Kiani A, Hasko D G, Milne W I, *et al.* Analysis of amorphous indium-gallium-zinc-oxide thin-film transistor contact metal using Pilling-Bedworth theory and a variable capacitance diode model [J]. *Applied Physics Letters*, 2013, 102(15): 152102-1-2.
- [18] Kim W S, Moon Y K, Kim K T, *et al.* An investigation of contact resistance between metal electrodes and amorphous gallium-indium-zinc oxide (a-GIZO) thin-film transistors [J]. *Thin Solid Films*, 2010, 518(22): 6357-6360.
- [19] Park J, Kim C, Kim S, *et al.* Source/drain series-resistance effects in amorphous gallium-indium-zinc-oxide thin film transistors [J]. *Electron Device Letters, IEEE*, 2008, 29(8): 879-881.
- [20] Schroder D K. *Semiconductor Material and Device Characterization* [M]. John Wiley & Sons, 2006.
- [21] 王小燕, 董桂芳, 乔娟, 等. 溶液法制备的氧化锌多层膜及其场效应性质 [J]. *物理化学学报*, 2010, 26(1): 249-252.
- Wang X Y, Dong G F, Qiao J, *et al.* Preparation and field-effect property of solution-processed multilayer Zinc Oxide [J]. *Acta Phys.-Chim. Sin.*, 2010, 26(1): 249-252. (in Chinese)

作者简介:苟昌华(1989—),男,四川广安人,硕士,主要从事氧化物薄膜晶体管方面的研究。E-mail:gouch0819@sina.com
王红波(1969—),女,吉林长春人,副教授,硕士生导师,主要从事有源有机发光显示驱动电路的研究。E-mail:wang_hongbo@jlu.edu.cn