

文章编号: 1000-7032(2018)06-0823-07

非晶铟镓锌氧薄膜晶体管钼/铜源漏电极的研究

张 磊, 刘国超, 董承远*

(上海交通大学 电子工程系, 上海 200240)

摘要: 针对非晶铟镓锌氧薄膜晶体管(a-IGZO TFT)的钼/铜源漏电极开展研究。实验证明,单层 Mo 源漏电极与栅绝缘层之间的粘附性好、表面粗糙度较小、电阻率较大,而单层 Cu 源漏电极与栅绝缘层之间的结合性差且 Cu 原子扩散问题严重、表面粗糙度较大、电阻率较小。为了实现优势互补,我们设计了双层 Mo(20 nm)/Cu(80 nm)源漏电极,并采用优化工艺制备了包含该电极结构的 a-IGZO TFT。器件具有良好的电学特性,场效应迁移率为 $8.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 阈值电压为 6.0 V,亚阈值摆幅为 2.0 V/dec,开关比为 1.3×10^7 ,证明了双层 Mo/Cu 源漏电极的可行性和实用性。

关键词: 平板显示; 非晶铟镓锌氧; 薄膜晶体管; 钼/铜电极; 磁控溅射

中图分类号: TN321

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20183906.0823

Mo/Cu Source/Drain Electrodes for Amorphous InGaZnO Thin Film Transistors

ZHANG Lei, LIU Guo-chao, DONG Cheng-yuan*

(Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

* Corresponding Author, E-mail: cydong@sjtu.edu.cn

Abstract: Mo/Cu source/drain(S/D) electrodes for amorphous InGaZnO thin film transistors(a-IGZO TFTs) were investigated. The experimental data indicate that the single-layer Mo electrodes have good adhesion to gate insulators, smaller surface roughness, and higher resistivity, whereas the single-layer Cu electrodes possess bad adhesion to gate insulators as well as the serious Cu atom diffusion problems, larger surface roughness, and lower resistivity. To complement each other's advantages, the double-layer Mo/Cu electrodes as well as the corresponding a-IGZO TFTs are designed and fabricated, which exhibits good performance parameters(field effect mobility of $8.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, threshold voltage of 6.0 V, subthreshold swing of 2.0 V/dec, and on-off current ratio of 1.3×10^7). This proved the feasibility and practicability of the double-layer Mo/Cu source/drain electrodes for the mass productions of a-IGZO TFTs.

Key words: flat panel displays; amorphous InGaZnO; thin film transistors; Mo/Cu electrodes; magnetron sputtering

1 引 言

薄膜晶体管(TFT)作为平板显示(FPD)的核

心器件,一直以来都是研究和开发的热点之一。近年来,显示面板朝着大尺寸、高分辨率、高刷新率的方向发展,对 TFT 的性能提出了越来越高的

收稿日期: 2017-08-13; 修订日期: 2017-09-16

基金项目: 国家自然科学基金(61474075)资助项目

Supported by National Natural Science Foundation of China(61474075)

要求^[1-2],因此需要寻找更加合适的 TFT 器件结构和材料来实现其性能的提升。在 TFT 的有源层材料方面,非晶铟镓锌氧(a-IGZO)以其载流子迁移率高、均匀性好、可低温制备等特点,在产业界和学术界得到了广泛关注^[3-4]。除此之外,TFT 源漏电极材料的选择也会直接影响到器件性能的优劣。目前,实际生产中多采用铝合金薄膜作为 TFT 器件的源漏电极。虽然铝具有较低的电阻率,但是其热稳定性较差,在高温作用下表面容易形成小丘,从而影响器件性能^[5]。更为关键的是,铝合金的电阻率仍然偏高,越来越无法满足超大尺寸和超高分辨率显示的技术要求。因此,研究和开发具有更好特性的 TFT 电极势在必行^[6-7]。铜电极以其较低的电阻率受到了比较广泛的关注和研究。以往的研究结果表明,Cu 容易向有源层中扩散,导致接触电阻和寄生电容增大,进而引起器件的阈值电压漂移和稳定性下降;另一方面,Cu 与玻璃和栅绝缘层(如 SiO₂)等材料之间的结合性较差,不适合直接作为布线材料^[8-9]。为了解决这些问题,通常采用 Ti、Mn 金属或其他合金作为接触层(Interlayer),以改善电极与基底之间的结合强度,同时阻止铜的扩散。但是 Ti、Mn 等金属容易与 a-IGZO 发生反应,生成氧化物界面层,从而增大了接触电阻^[10-11]。与此相反,钼(Mo)电极与非晶氧化物半导体之间具有良好的接触特性^[12-13],比较适合用作接触层来提高铜布线器件的性能。然而,目前关于 Mo/Cu 电极的研究报道并不多,特别是制备工艺参数对 Mo/Cu 电极乃至 TFT 器件特性的影响仍不清楚。

本文针对不同溅射功率制备的 Mo 和 Cu 薄膜进行了测试和表征,并对其应用于 a-IGZO TFT 源漏电极时所表现出的性能差异进行了分析讨论,最终设计并制备了性能良好的双层 Mo/Cu 源漏电极 a-IGZO TFT 器件。

2 实 验

本研究中的 a-IGZO TFT 制备于重掺杂硅片($n^+ + \text{Si}$)衬底上,采用栅极在下、源漏极在上的底栅错排结构,如图 1 所示。硅片衬底兼作栅极,通过热氧化的方法在硅表面生长了厚度为 300 nm 的氧化硅作为栅绝缘层。在 150 °C 下,使用磁控溅射方法沉积有源层 a-IGZO 和源漏电极薄膜,具体工艺参数和膜厚见表 1。其中,有源层利用交流磁控溅射方法沉积,所采用的靶材为 IGZO 合金靶($n_{\text{In}}:n_{\text{Ga}}:n_{\text{Zn}} = 1:1:1$)。源漏电极利用直流磁控溅射沉积,采用高纯 Mo 靶和高纯 Cu 靶。源漏电极薄膜分为 3 组:纯 Mo(100 nm)、纯 Cu(100 nm)、Mo/Cu(20/80 nm)。纯 Mo 和纯 Cu 源漏电极均采用不同溅射功率(50/100/200 W)沉积;制备 Mo/Cu 双层薄膜时,金属 Mo 和 Cu 在同一腔室内连续溅射,这样可以保证成膜环境清洁稳定。有源层和源漏电极成膜时采用金属掩膜版遮挡形成图案,TFT 器件沟道长度和宽度分别控制为 275 μm 和 1 000 μm 。最后,将 TFT 器件在 400 °C 的氮气环境下退火处理 1 h。此外,我们还采用不同溅射功率(50/100/200 W)在硅片(含热生长 SiO₂ 薄膜)上制备了 Mo、Cu 单层膜样品,其成膜工艺参数也与表 1 所示相同。TFT 器件的室温电学性能采用 Keithley 4200 半导体参数测试

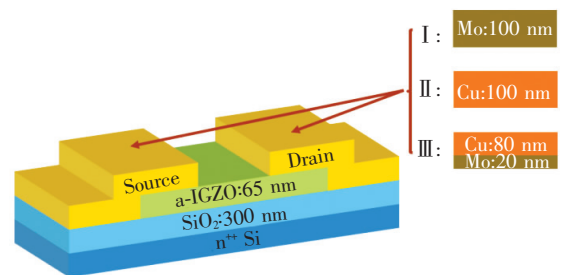


图 1 本研究采用的 a-IGZO TFT 结构示意图

Fig. 1 Schematic cross section of the a-IGZO TFTs used in this study

表 1 器件制备采用的成膜工艺参数

Tab. 1 Processing parameters used for the films' deposition

Material	Power/W	Ar: O ₂ /(mL · min ⁻¹)	Pressure/Pa	Thicknes/nm
IGZO	100	30:0/30:3	3.99×10^{-1}	65
Mo	50/100/200	40:0	6.65×10^{-1}	100
Cu	50/100/200	40:0	6.65×10^{-1}	100
Mo/Cu	50/100	40:0	6.65×10^{-1}	20/80

仪进行测试,器件特性参数提取方法见文献[14]。TFT器件断面结构的观察采用场发射扫描电子显微镜(Zeiss Ultra Plus FE-SEM)来完成。金属单膜表面粗糙度通过原子力显微镜(Bruker Icon AFM)测得。单层膜方块电阻采用四点探针测试仪(FT-331A)测试获得。

3 结果与讨论

在实际应用中,TFT阵列的源漏电极和布线一般会与栅绝缘层大面积接触,因此源漏电极与栅绝缘层(例如 SiO_2 等)之间需要具有较高的结合强度。根据文献[15]中报道的方法,我们使用高温胶带测试了Mo、Cu薄膜的粘附性。首先在硅基衬底(含热生长 SiO_2 薄膜)上沉积相同厚度(100 nm)的Mo薄膜和Cu薄膜,接着用玻璃刀在薄膜表面划出多条纵横交错的细线,再用高温胶带粘贴压实于薄膜表面,最后进行去除,测试结果如图2所示。我们注意到,Mo薄膜保持不变,而Cu薄膜则几乎都被揭除了。由此看出,Mo薄膜与 SiO_2 之间的粘附性显著优于Cu薄膜,这表明引入Mo接触层确实能够提高Cu与栅绝缘层之间的结合强度。

采用磁控溅射方法沉积金属电极时,其成膜工艺条件直接关系到薄膜质量的好坏,进而可能对TFT器件特性产生影响^[16]。薄膜的表面粗糙

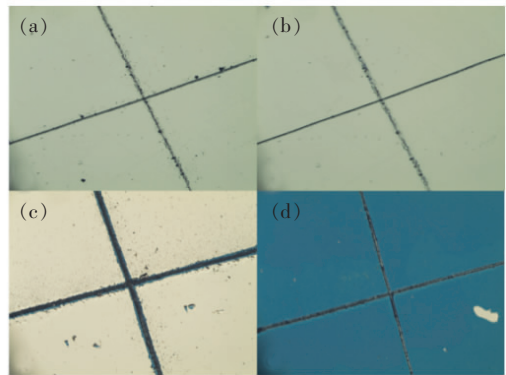


图2 Mo、Cu薄膜粘附性测试结果。(a)胶带测试前的Mo薄膜;(b)胶带去除后的Mo薄膜;(c)胶带测试前的Cu薄膜;(d)胶带去除后的Cu薄膜。

Fig. 2 Peeling testing results of Mo and Cu films. (a) Mo film before the peeling test. (b) Mo film after the peeling test. (c) Cu film before the peeling test. (d) Cu film after the peeling test.

度能在一定程度上反映成膜质量;一般而言,金属薄膜的表面粗糙度越小,说明薄膜表面越平整,薄膜均匀性越好。为此我们采用不同溅射功率(50,100,200 W)在硅片(含热生长 SiO_2 薄膜)上制备了同样厚度(100 nm)的Mo、Cu薄膜样品,使用AFM观察其表面形貌;测试范围设定为 $500\text{ nm} \times 500\text{ nm}$,采用软件根据形貌图计算其表面均方根粗糙度,结果如图3所示。从图中可以看出,随着溅射功率从50 W提高到200 W,Mo薄膜的

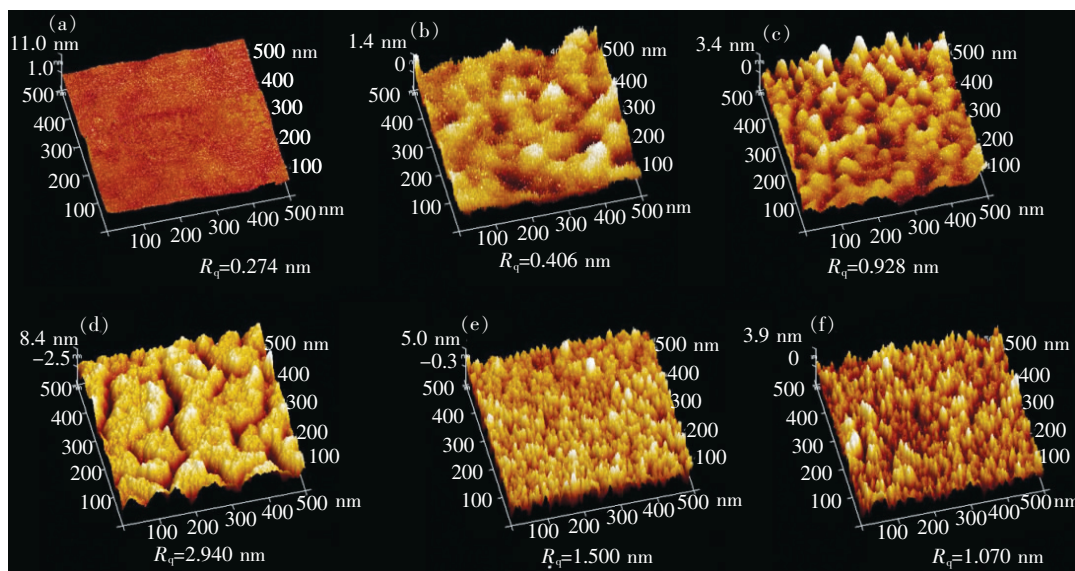


图3 Mo、Cu薄膜表面粗糙度测试结果。(a)Mo/50 W;(b)Mo/100 W;(c)Mo/200 W;(d)Cu/50 W;(e)Cu/100 W;(f)Cu/200 W。

Fig. 3 Surface roughness testing results of Mo and Cu films. (a) Mo/50 W. (b) Mo/100 W. (c) Mo/200 W. (d) Cu/50 W. (e) Cu/100 W. (f) Cu/200 W.

表面粗糙度均方根值逐渐升高(从 0.274 nm 升高到 0.928 nm),文献[17]也报道了类似的规律。出现这种现象的原因是随着溅射功率的提高,Ar 原子轰击靶材的能量也随之升高,轰击到 SiO₂ 绝缘层表面的金属原子具有更高的平均能量,发生更激烈的碰撞,进而形成了更加不规则的表面,因此薄膜的表面粗糙度增大。从图 3 还可以看出,Cu 薄膜的表面粗糙度均方根值随着溅射功率的升高而逐渐降低(从 2.940 nm 降低到 1.070 nm),其表面粗糙度的数值大小与文献[18]报道的相近(总体上大于 Mo 膜),但并不符合前述金属薄膜表面粗糙度随着溅射功率升高而增大的规律。我们推测上述实验结果可能与 Cu 原子的扩散特性有关:Cu 原子扩散能力较强,薄膜沉积时会扩散进入 SiO₂ 绝缘层,从而对薄膜的表面粗糙度产生了比较复杂的影响,进而导致其表面粗糙度与溅射功率之间的关系与 Mo 膜的规律并不相同。

TFT 低阻值电极的研究对于进一步提升 FPD 的尺寸和分辨率具有重大意义。相较于金属 Mo (电阻率约 $5.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$),金属 Cu 用作 TFT 源漏电极的一个明显优势在于其电阻率很低 ($1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)。我们在硅片(含热生长 SiO₂ 薄膜)上用磁控溅射法制备了不同溅射功率下 100 nm 厚的 Mo、Cu 薄膜,用四探针法测试了薄膜的方块电阻,实验结果如图 4 所示。我们注意到,Mo 薄膜方块电阻明显大于 Cu 薄膜。随着溅射功率的提高,Mo 薄膜方块电阻逐渐减小(从 106.7 Ω/\square 到 14.6 Ω/\square),这与文献[19]的报道比较符合。出现这种现象是因为当溅射功率过低时,薄膜结构较为疏松,具有较差的致密性和完整性,不能形成很好的结晶状态,从而导致其导电性

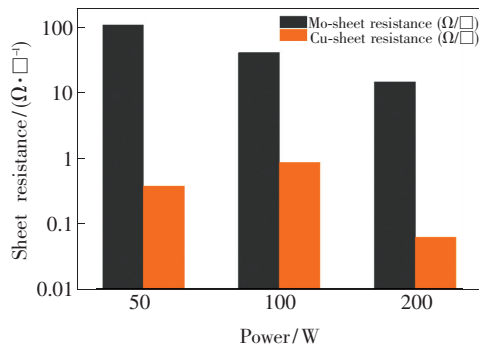


图 4 Mo、Cu 薄膜方块电阻测试结果。

Fig. 4 Sheet resistance testing results of Mo and Cu films

较差。一般情况下,溅射功率的升高会提高金属薄膜的表面致密性,并改善结晶状态,带来电阻率的下降。另一方面,随着溅射功率的增加,Cu 薄膜方块电阻变化不大,平均值保持在 0.4 Ω/\square 左右。

采用表 1 所示工艺参数制备的单层 Mo 电极 a-IGZO TFT 器件的转移特性曲线如图 5 所示,提取的各项特性参数列于表 2。我们注意到,在不同溅射功率下,单层 Mo 电极 a-IGZO TFT 特性差异较大。当 Mo 溅射功率逐渐升高时,a-IGZO TFT 的关态电流(I_{off})逐渐升高(从 9.2×10^{-12} A 到 3.2×10^{-9} A),电流开关比($I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$)逐渐减小(从 5.0×10^6 到 1.5×10^4),亚阈值摆幅(SS)也逐渐增大(从 3.3 V/dec 到 4.0 V/dec),即器件特性明显变差。图 5 所示的特性差异主要表现在关态区域和反向亚阈值区域,该区域的特性一般由前沟道和背沟道状态共同决定。参考非晶硅 TFT 的相关物理机制^[4],我们推测在功率过大时,Mo 源漏电极在有源层界面处可能发生一定程度的扩散,游离的 Mo 原子有可能进入有源层,增强了沟道区导电特性,从而发生了 I_{off} 升高的现象。此外,结合单层金属薄膜的测试结果来看,随着溅射功率的升高,Mo 薄膜表面粗糙度逐渐增大,这可能会增加 a-IGZO 薄膜内部或界面处的缺陷态密度,并进而使器件电学特性变差。根据图 5,随着溅射功率的升高,器件的阈值电压有所降低,这可能是因为溅射功率较高时源漏电极与有源层接触区具有较高的氧空位(载流子)浓度,从而导致器

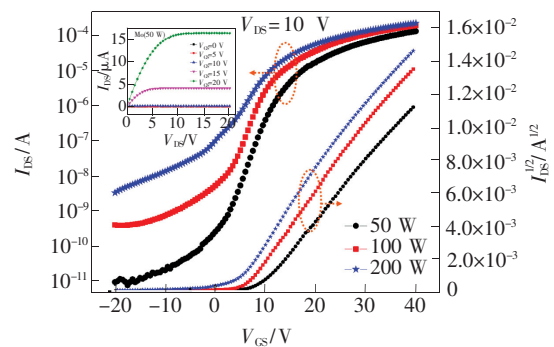


图 5 单层 Mo 源漏电极 a-IGZO TFT 的转移特性曲线。插图:单层 Mo 源漏电极(成膜功率为 50 W) a-IGZO TFT 的输出特性曲线。

Fig. 5 Transfer curves of the a-IGZO TFTs with single-layer Mo S/D electrodes. Inset: output characteristics of the device with Mo S/D electrodes deposited at 50 W.

件的开启电压有所降低。另外,我们还测试了 50 W 成膜 Mo 电极器件的输出特性曲线(见图 5 插图)。我们注意到输出曲线并未出现电流拥挤 (Current crowding) 现象,这证明源漏电极与有源层之间具有较好的接触特性。

需要指出的是,根据参考文献[20],随着溅射功率的升高,Mo 与 a-IGZO 之间的接触电阻会一定程度地增大,在接触区域会形成一定高度的势垒,抑制载流子的传输,从而致使迁移率下降。本研究的结果与该报道并不相同,说明在我们制备的器件中,Mo 原子的扩散和有源层缺陷态密度的变化受成膜功率的影响更加明显。根据图 5 所示的实验结果,我们可以确定,低功率 Mo 膜比较适合作为 a-IGZO TFT 的源漏电极。另外,因为 Mo 膜具有较大的电阻率(见图 4),在大尺寸和高分辨率 FPD 生产中并不适合采用单层 Mo 膜作为电极。

采用表 1 所示工艺参数制备的单层 Cu 电极 a-IGZO TFT 器件的转移特性曲线如图 6 所示,提

取的各项特性参数也列于表 2 中。我们注意到,随着溅射功率从 50 W 升高到 200 W,单层 Cu 电极 a-IGZO TFT 的特性变化比较复杂,在 100 W 溅射功率条件下,尽管器件的阈值电压(8 V)略大于其他功率(7 V),但总体电学特性特性相对最佳(场效应迁移率为 $12.96 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,亚阈值摆幅为 2.3 V/dec,开关电流比为 1.6×10^7)。与 Mo 电极器件相比,影响 Cu 电极 a-IGZO TFT 电学特性的因素更多。随着 Cu 薄膜溅射功率的增加,一方面针对 a-IGZO 的等离子体伤害会加剧,另一方面扩散进入有源层的 Cu 原子也会增多^[21]。上述这些变化将导致 a-IGZO 中的氧空位和缺陷态等发生非常复杂的变化,因此在适当的电极成膜功率下才能获得最佳的 TFT 器件特性。同样地,我们也测试了 100 W 溅射条件下 Cu 电极器件的输出特性曲线(见图 6 插图)。可以看出,如果采用适当的成膜功率,Cu 与 a-IGZO 之间也可以形成较好的接触特性。目前关于纯 Cu 源漏电极工艺影响接触电阻特性的报道非常有限,

表 2 不同源漏电极 a-IGZO TFT 的特性参数

Tab. 2 Electrical parameters of the a-IGZO TFTs with different S/D electrodes

Source/Drain	Power/W	V_{th}/V	$SS/(\text{V} \cdot \text{dec}^{-1})$	$\mu_{fe}(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	I_{on}/I_{off}
Mo	50	8.0	3.3	10.44	5.0×10^6
I	Mo	100	7.0	3.8	2.2×10^5
	Mo	200	6.0	4.0	1.5×10^4
II	Cu	50	7.0	3.0	2.8×10^8
	Cu	100	8.9	2.3	1.6×10^7
	Cu	200	7.0	2.8	8.0×10^6

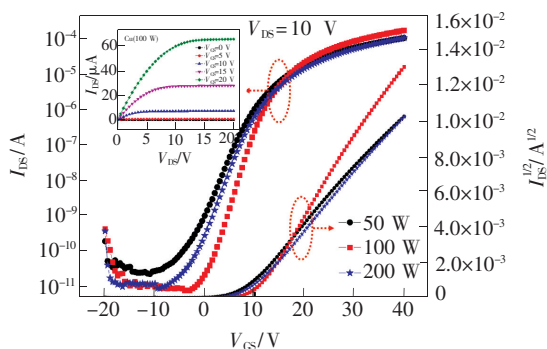


图 6 单层 Cu 源漏电极 a-IGZO TFT 的转移特性曲线。插图:单层 Cu 源漏电极(成膜功率为 100 W) a-IGZO TFT 的输出特性曲线。

Fig. 6 Transfer curves of the a-IGZO TFTs with single-layer Cu S/D electrodes. Inset: output characteristics of the device with Cu S/D electrodes deposited at 100 W.

一般认为原子扩散会导致纯 Cu 与 a-IGZO 之间的接触电阻较大(数量级为 $10^4 \Omega$);因此,为了减小 Cu 电极的接触电阻,一般都需要添加接触层来抑制 Cu 的扩散^[13]。

尽管单层 Cu 电极器件在适当的成膜功率下可以获得较好的电学特性(见图 6),但是因为 Cu 电极具有非常差的粘附特性(见图 2)和比较严重的原子扩散问题^[8-9],在其与有源层之间增加接触层非常必要。基于优势互补的考虑,如果将 Mo 与 Cu 薄膜相结合则可能获得更好的 TFT 源漏电极。为此,我们设计了如图 1 所示的双层电极(样品 III)。从图 5、图 6 和表 2 所示的实验数据来看,我们发现 Mo 薄膜在 50 W 而 Cu 薄膜在 100 W 时所表现出的器件特性最佳,因此选择这两组

工艺条件用来制备双层 Mo/Cu (20/80 nm) 源漏电极,其对应 a-IGZO TFT 的转移特性曲线和输出特性曲线如图 7 所示。我们注意到,该双层结构电极既保持了 Cu 电极器件较好的开关特性(电流开关比为 1.3×10^7),又拥有更低的阈值电压(6.0 V),其场效应迁移率可达到 $8.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,

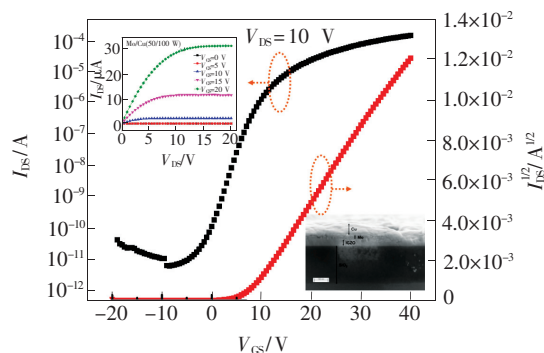


图 7 Mo/Cu 源漏电极 a-IGZO TFT 的转移特性曲线。左上插图:器件输出特性曲线;右下插图:Mo/Cu 源漏电极与 a-IGZO 有源层接触界面的 SEM 图像。

Fig. 7 Transfer curve of the a-IGZO TFTs with Mo/Cu S/D electrodes. Inset: output characteristic of the TFT devices (left) and cross-sectional SEM image of the interface between Mo/Cu and a-IGZO film (right).

亚阈值摆幅为 2.0 V/dec 。输出特性曲线(见图 7 中左上插图)也证明了 Mo/Cu 电极与有源层之间形成了较好的欧姆接触。我们选取 Mo/Cu 源漏电极与 a-IGZO 有源层接触界面做了 SEM 分析(见图 7 中右下插图),可以看到有源层、源漏电极各层之间界限清晰,达到了很好的隔绝效果,从而有效地降低了 Cu 原子向 a-IGZO 的渗透。上述实验结果证明:采用 Mo/Cu 双层薄膜作为 a-IGZO TFT 的源漏电极是可行的。

4 结 论

本文设计并制备了采用 Mo/Cu 源漏电极的 a-IGZO TFT 器件,对不同溅射功率制备的单层 Mo 和 Cu 薄膜以及相应的 a-IGZO TFT 器件做了详细的对比分析。实验结果表明,将单层 Mo 或单层 Cu 源漏电极应用于 a-IGZO TFT 均存在一定技术问题,而将两者结合制备出的双层 Mo/Cu 源漏电极 a-IGZO TFT 器件具有较好的电学特性(阈值电压为 6.0 V ,场效应迁移率达到 $8.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,亚阈值摆幅为 2.0 V/dec ,开关比为 1.3×10^7)和工艺特性(如基板粘附性等)。

参 考 文 献:

- [1] KENJI N M, AKIHIRO T K, TOSHIO K M, *et al.*. Amorphous oxide semiconductor for high-performance flexible thin-film transistors [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2006, 45(5B):4303-4308.
- [2] JAE S L, SEONGPIL C, SANG M K, *et al.*. High-performance a-IGZO TFT with ZrO_2 gate dielectric fabricated at room temperature [J]. *IEEE Electron Dev. Lett.*, 2010, 31(3):225-227.
- [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] 董承远. 薄膜晶体管原理及应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2016.
DONG C Y. *Principles and Applications of Thin Film Transistors* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016. (in Chinese)
- [5] LUO D X, XU M, LAN L F, *et al.*. Role of rare earth ions in anodic gate dielectrics for indium-zinc-oxide TFTs [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2012, 159(5H):502-506.
- [6] 陈宇霆. 非晶氧化物薄膜晶体管金属电极的研究 [D]. 上海:上海交通大学, 2014.
CHEN Y T. *Study on Metal Electrodes of Amorphous Oxide Thin Film Transistors* [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014. (in Chinese)
- [7] 吴琦, 许玲, 董承远, 等. 非晶铜镓锌氧薄膜晶体管银/钛源漏电极的研究 [J]. *液晶与显示*, 2016, 31(4):375-379.
WU Q, XU L, DONG C Y, *et al.*. Ag/Ti source/drain electrodes for amorphous InGaZnO thin film transistors [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.*, 2016, 31(4):375-379. (in Chinese)
- [8] 徐瑞霞, 陈子楷, 彭俊彪, 等. 使用铜源漏电极的非晶氧化铜锌薄膜晶体管的研究 [J]. *发光学报*, 2015, 36(8):935-940.
XU R X, CHEN Z K, PENG J B, *et al.*. Amorphous Indium-zinc-oxide TFT with copper source/drain electrodes [J].

- Chin. J. Lumin.*, 2015, 36(8):935-940. (in Chinese)
- [9] CHUL K L, SE Y P, HONG Y J, *et al.*. High performance ZnSnO thin film transistors with Cu source/drain electrode [J] *Phys. Stat. Sol.*, 2013, 7(3):196-198.
- [10] LEE Y W, KIM S J, LEE S Y, *et al.*. Effects of Ti/Cu source/drain on an amorphous IGZO TFT employing SiN_x passivation for low data-line resistance [J]. *Electrochem. Solid-state Lett.*, 2012, 15(4):H126-H129.
- [11] YUN P S, KOIKE J. Metal reaction doping and ohmic contact with Cu-Mn electrode on amorphous InGaZnO semiconductor [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2011, 158(10):H1034-H1040.
- [12] 李旭远, 薛唯, 喻志农, 等. 钼缓冲层对钼/铜叠层结构电极特性的影响 [J]. 真空科学与技术学报, 2015, 35(1):1-5.
LI X Y, XUE W, YU Z N, *et al.*. Effects of Mo buffer layer on properties of Mo/cu electrode stack [J]. *Chin. J. Vac. Sci. Technol.*, 2015, 35(1):1-5. (in Chinese)
- [13] 宁洪龙, 胡诗霖, 姚日晖, 等. 铜-钼源漏电极对非晶氧化铜镓锌薄膜晶体管性能的改善 [J]. 物理学报, 2015, 64(12):126103.
NING H L, HU S B, YAO R H, *et al.*. Improved performance of the amorphous IGZO TFT with Cu-Mo source/drain electrode [J]. *Acta Phys. Sinica*, 2015, 64(12):126103. (in Chinese)
- [14] SHI J F, DONG C Y, DAI W J, *et al.*. The influence of RF power on the electrical properties of sputtered amorphous In-Ga-Zn-O thin films and devices [J]. *J. Semicond.*, 2013, 34(8):084003.
- [15] PENG J B, LU K K, YAO R H, *et al.*. High conductivity and adhesion of Cu-Cr-Zr alloy for TFT gate electrode [J]. *Appl. Sci.*, 2017, 7(820):1-9.
- [16] AHN J H, LEE K H, PARK S K, *et al.*. Highly stable top gate contact IZTO TFT deposited by using high density plasma sputtering [C]. *Active-matrix Flatpanel Displays & Devices, Kyoto, Japan*, 2016:183-184.
- [17] 廖国, 陈太红, 何智兵, 等. 溅射功率对 Mo 薄膜微结构和性能的影响 [J]. 强激光与粒子束, 2011, 23(9):2386-2390.
LIAO G, CHEN T H, HE Z B, *et al.*. Effects of sputtering power on structure and property of Mo films deposited by DC magnetron sputtering [J]. *High Power Laser Part. Beams*, 2011, 23(9):2386-2390. (in Chinese)
- [18] 胡佳智, 陈冷. 磁控溅射 Cu 薄膜表面形貌与表面粗糙度研究 [C]. 第十三届中国电视学与图像分析学术会议, 太原, 2013:280-283.
HU Z J, CHEN L. Surface topography and surface roughness of magnetron sputtering Cu thin films [C]. *The 13th China Symposium on Visual and Image Analysis, Taiyuan*, 2013:280-283. (in Chinese)
- [19] 黄涛, 闫勇, 余洲, 等. 直流溅射工艺参数对 Mo 薄膜结构及电性能的影响 [J]. 功能材料, 2012, 43(4):499-503.
HUANG T, CHEN T H, YU Z, *et al.*. Influence of DC sputtering parameter on the structural and electrical properties of Mo thin film [J]. *Funct. Mater.*, 2012, 43(4):499-503. (in Chinese)
- [20] 徐华, 宁洪龙. 源漏电极的制备对氧化物薄膜晶体管性能的影响 [J]. 物理学报, 2014, 63(3):038501.
XU H, NING H L. Influence of S/D electrodes on amorphous thin film transistors [J]. *Acta Phys. Sinica*, 2014, 63(3):038501. (in Chinese)
- [21] YAO J K, XU N S, HUANG Y P, *et al.*. Electrical and photosensitive characteristics of a-IGZO TFTs related to oxygen vacancy [J]. *IEEE Trans. Electron Dev.*, 2011, 58(4):1121-1126.



张磊(1992-),男,河南信阳人,硕士研究生,2015年于上海大学获得学士学位,主要从事 a-IGZO TFT 制备工艺及金属电极的研究。
E-mail: zlsj15@sjtu.edu.cn



董承远(1971-),男,辽宁沈阳人,博士,副教授,2003年于上海交通大学获得博士学位,主要从事薄膜电子器件与集成的研究。
E-mail: cydong@sjtu.edu.cn