

文章编号: 1000-7032(2014)11-1365-05

## 电极材料对 IGZO 薄膜晶体管性能的影响

刘 冲, 韦 敏, 杨 帆, 贾 卓, 邓 宏\*

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

**摘要:** 采用射频磁控溅射方法在 n 型硅片上制备了底栅顶结构的铟镓锌氧-薄膜晶体管(IGZO-TFT)。分别采用 Au、Cu、Al 3 种金属材料作为电极, 研究不同电极材料对 IGZO 薄膜晶体管性能的影响。器件的输出特性和转移特性测试结果表明: 以 Au 为电极的 IGZO-TFT 具有最佳的性能, 其饱和输出电流达到  $17.9 \mu\text{A}$ , 开关比达到  $1.4 \times 10^6$ 。基于功函数比较分析了 3 种电极的接触特性, 根据 TLM(Transmission line model) 理论推算得出 Au 电极具有三者中最小的接触电阻。

**关 键 词:** IGZO; 接触电阻; TLM 理论; 功函数

中图分类号: TN321+.5

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20143511.1365

## Effects of Electrode Materials on The Performances of IGZO-based Thin Film Transistor

LIU Chong, WEI Min, YANG Fan, JIA Zhuo, DENG Hong\*

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

\* Corresponding Author, E-mail: hdeng@uestc.edu.cn

**Abstract:** Indium gallium zinc oxide thin film transistors (IGZO-TFTs) with bottom-gate top structure were fabricated on n-type silicon substrates using radio frequency (RF) magnetron sputtering method. Three kinds of metal material such as Au, Cu, and Al were used to fabricate electrode, respectively, and the effects of different electrode materials on IGZO TFT performance were investigated. The output characteristic and transfer characteristic of the TFT devices were tested. The best performance was obtained when Au was used to fabricate electrode, its saturation output current was  $17.9 \mu\text{A}$ , and on-off current ratio was up to  $1.4 \times 10^6$ . In addition, the contact characteristics between three kinds of electrodes and IGZO thin film were analyzed based on their work function. Au electrode had the smallest contact resistance of these three metal according to the TLM(transmission line model) theory.

**Key words:** IGZO; contact resistance; TLM theory; work function

### 1 引 言

最近,非晶氧化物半导体(AOS)越来越受到人们的关注。相比于非晶硅<sup>[1]</sup>和多晶硅材料<sup>[2]</sup>,

非晶氧化物半导体具有很多明显的优势,如大的电子迁移率、高的透光率、可以在常温下制备和良好的均一性等<sup>[3]</sup>,使其成为下一代显示技术的关键材料。现在,以非晶氧化物半导体为沟道的薄

收稿日期: 2014-06-16; 修订日期: 2014-09-26

基金项目: 中央高校基金(ZYGX2013J041); 电子薄膜与集成器件国家重点实验室基金(KFJJ201303)资助项目

膜晶体管主要有氧化锌(ZnO)基晶体管<sup>[4]</sup>、铟锌氧(InZnO)基晶体管<sup>[5-6]</sup>、铟镓锌氧(IGZO)基晶体管<sup>[3,7]</sup>等。其中,IGZO以其优异的性能被大家广泛研究。显示技术的发展要求驱动器件具有更大的迁移率和更高的开关比<sup>[8]</sup>。IGZO-TFT具有较大的迁移率,大迁移率意味着高饱和电流,有利于有源矩阵有机发光二极管(AMOLED)的驱动<sup>[9]</sup>,但晶体管的饱和输出电流还要受到栅绝缘层介电系数、沟道层材料和源漏电极等多个因素的影响。

本文采用IGZO作为有源层,使用Au、Cu、Al 3种金属作为源漏电极制备了a-IGZO TFTs,并讨论了不同电极材料对IGZO晶体管性能的影响。通过电学特性测试分析了3种电极材料的TFT的性能及金属电极与沟道层界面势垒,结果表明,Au电极TFT具有最好的电学性能。

## 2 实 验

### 2.1 制备工艺

IGZO-TFT采用底栅顶接触结构在n型硅片制备。在重掺杂的n型硅片上热氧化一层SiO<sub>2</sub>作为栅介质层,厚度为300 nm。在n型硅片的背面蒸镀一层Al作为栅级。IGZO薄膜采用射频磁控溅射方法制备,靶材原子比为Ga:In:Zn=2:2:1,直径为68 mm。腔室的本底真空度在10<sup>-3</sup> Pa以下,基板温度为室温,溅射功率为100 W,溅射气压为0.45 Pa,腔室内的氧氧比为95:5,薄膜厚度为80 nm。最后所制备的薄膜在空气中450 °C进行退火处理。源漏电极采用热蒸发方法生长,通过光刻工艺得到边长为100 μm的正方形电极图形。沟道的宽长比W/L=100 μm/20 μm。图1为实验所制备的IGZO TFT器件的结构图。

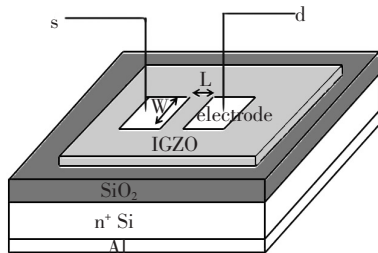


图1 IGZO TFT 器件结构示意图

Fig.1 Schematic structure of IGZO TFT device

### 2.2 测试仪器

使用日本理学公司 Rigaku D/MAX2200PC 射

线衍射仪表征 IGZO 薄膜的物相结构,使用 Nano-Map-500LS 台阶仪测量 IGZO 薄膜的厚度,使用 Agilent 4155B 半导体参数分析仪测试 IGZO-TFT 器件的电学性能。

## 3 结果与讨论

### 3.1 IGZO 薄膜特性

图2是在带有热氧化硅的硅片上生长的一层IGZO薄膜的EDS和XRD图谱。从图2(a)中可以看出,薄膜中In、Ga、Zn元素的原子比为6:5:3,接近于靶材的2:2:1。图2(b)中的XRD谱除了位于69.3°的Si(100)峰,没有发现其他明显的峰值,表明所制备的IGZO薄膜是非晶结构。

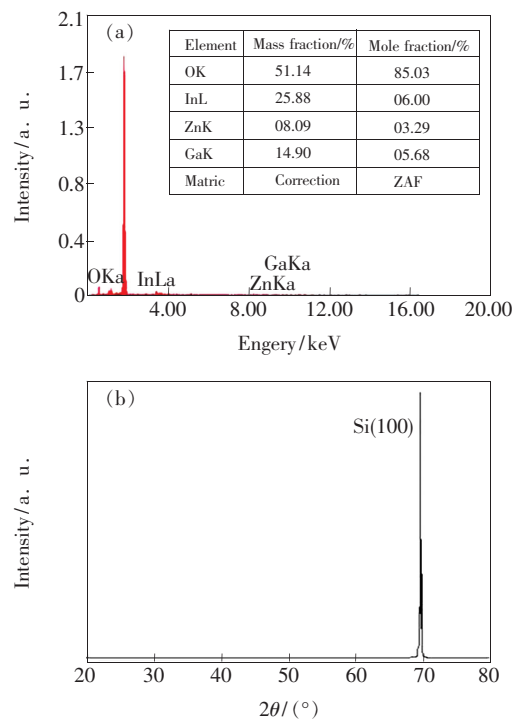


图2 IGZO薄膜的EDS(a)和XRD(b)图谱

Fig.2 EDS (a) and XRD (b) patterns of IGZO thin film

### 3.2 IGZO TFT 的电学特性

图3是3种电极所对应的IGZO-TFT的输出特性曲线。从图中可以看出,3种TFT都具有较好的关断和饱和特性。当 $V_{DS} = V_{GS} = 30$  V时,Au电极的输出电流为17.9 μA,大于Al的3.8 μA和Cu的13.3 μA。可见使用Au电极的TFT拥有更好的输出特性,更大的驱动能力,其原因是Au与氧化物半导体的接触电阻最小<sup>[10-11]</sup>。

图4为采用Al、Cu、Au 3种电极材料制备的IGZO-TFT器件的转移特性曲线,可以看出这3种

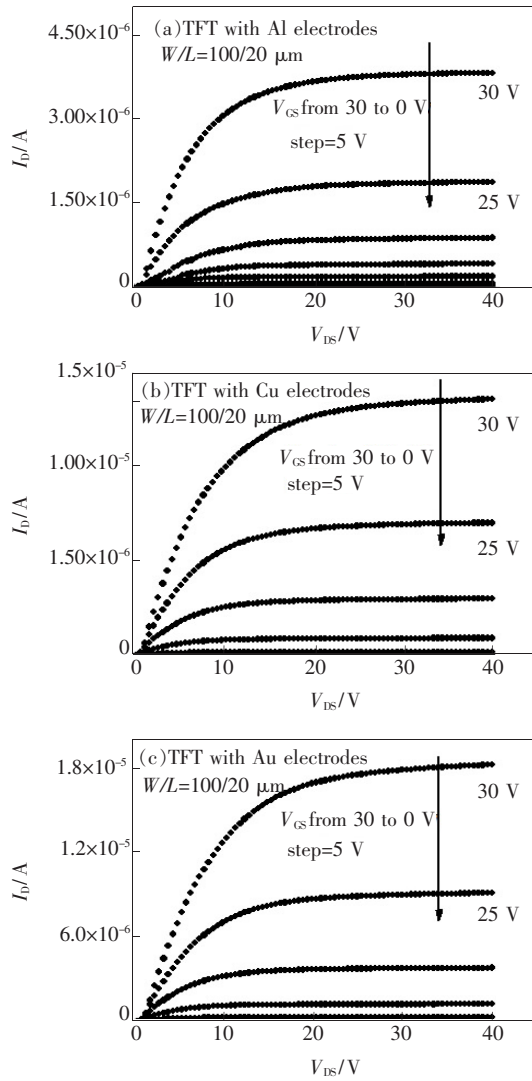


图 3 Al(a)、Cu(b)、Au(c)3 种电极的 IGZO-TFT 输出特性曲线。

Fig. 3 Output characteristics of IGZO-TFT with Al (a), Cu (b), and Au (c) as source/drain electrodes, respectively.

TFT 器件都具有较低的泄漏电流和良好的开关特性。其中,Au 电极 TFT 具有最小的关态电流和最大的饱和电流,开关比达到  $1.4 \times 10^6$ 。Al 电极 TFT 与 Cu 电极 TFT 的关态电流比较接近,但 Al 电极 TFT 的饱和电流较小;Cu 电极 TFT 的关态

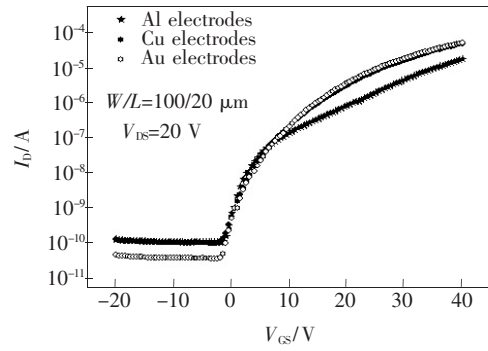


图 4 Al(a)、Cu(b)、Au(c)3 种电极的 IGZO-TFT 转移特性曲线

Fig. 4 Transfer characteristics of IGZO-TFT with Al (a), Cu (b), and Au (c) as source/drain electrodes, respectively.

电流没有 Au 电极 TFT 小,但饱和电流比较接近。这可能是由于电极与薄膜间 Cu 离子迁移的影响<sup>[12]</sup>。

根据下面的公式可以求出它的饱和迁移率,当  $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$  时:

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

其中  $I_{DS}$  是缘漏极电流,  $C_i$  是栅绝缘层单位面积电容,  $W$  和  $L$  分别是沟道的宽和长,  $V_{GS}$  是栅级所加电压,  $V_{th}$  为器件的阈值电压。求出的 Au 电极 TFT 的迁移率为  $3.05 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , 高于 Al 电极 TFT 的  $1.51 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  和 Cu 电极 TFT 的  $2.81 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。器件的亚阈值摆幅(SS)是表示使漏电流变化一个数量级所需要的栅极电压增量,反应了界面态密度的大小<sup>[13]</sup>:

$$SS = \frac{\partial V_{GS}}{\partial(\log I_{DS})}, \quad (2)$$

表 1 为 3 种电极制备的 TFT 器件参数。

综合各方面性能参数分析可知,金电极 TFT 拥有最好的性能,这可能是因为金电极与半导体界面的接触电阻小。总电阻( $R_{on}$ )可以通过在线性区域的传输线性理论(TLM)求出<sup>[14]</sup>:

表 1 3 种电极的 IGZO-TFT 器件参数

Table 1 Character parameters of IGZO-TFT with three kinds of source/drain electrode

电极材料	$I_{on}/I_{off}$	$V_{th}/V$	$SS/(V \cdot \text{dec}^{-1})$	$\mu_{sat}/(\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$
Au	$1.4 \times 10^6$	10.7	1.39	3.05
Cu	$4.5 \times 10^5$	11.6	2.58	2.81
Al	$1.6 \times 10^5$	16.1	2.08	1.51

$$R_{\text{on}} = \partial V_{\text{D}} / \partial I_{\text{D}} = R_{\text{ch}} + R_{\text{p}}, \quad (3)$$

$$R_{\text{ch}} = \frac{L}{\mu_{\text{sat}} C_i W (V_{\text{GS}} - V_{\text{th}})}, \quad (4)$$

其中,  $R_{\text{ch}}$  是沟道电阻,  $R_{\text{p}}$  是接触电阻。在沟道长宽不变的情况下, 可以认为  $R_{\text{ch}}$  是一个固定值, 改变的主要就是接触电阻  $R_{\text{p}}$ 。当  $V_{\text{GS}} = 20 \text{ V}$ 、 $V_{\text{D}} = 20 \text{ V}$  时, Au 电极 TFT 的总电阻为  $5.4 \text{ M}\Omega$ , Cu 电极 TFT 的总电阻为  $6.6 \text{ M}\Omega$ , Al 电极 TFT 的总电阻为  $27 \text{ M}\Omega$ 。可以看出 Au 电极的接触电阻最小, 与之前分析得出的结论一致。

根据 Michaelson 等<sup>[15]</sup> 的研究, 得知 Au、Cu、Al 的功函数分别为  $5.1, 4.65, 4.28 \text{ eV}$ 。对于所制备的有源层薄膜, 这里参考 Hosono 等<sup>[16]</sup> 得出的 IGZO 薄膜的功函数  $4.5 \text{ eV}$ , 这个值与 Al 和 Cu 的功函数接近。根据金属半导体接触理论, 实验

所制备的 IGZO 薄膜与 Al、Cu 应该呈现一个良好的欧姆接触, 但测试结果显示, 它们类似于一个肖特基接触。我们推断, 由于 Al 和 Cu 都是比较活泼的金属, 在与 IGZO 薄膜接触时可能部分被氧化形成了一层薄的氧化层, 从而使它们之间不再是欧姆接触而类似于肖特基接触, 这也是它们的接触电阻比 Au 大的一个原因。

## 4 结 论

用射频磁控溅射制备的 IGZO 薄膜为有源层, 使用 3 种不同的源漏电极材料制备了 IGZO-TFT 晶体管, 并对薄膜质量和电学性能进行了分析。在 3 种电极材料中, 以 Au 为电极的 TFT 电学性能最优, 开关比达  $1.4 \times 10^6$ , 迁移率为  $3.05 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

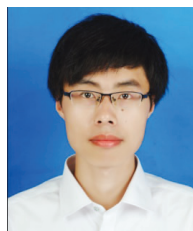
## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Lim W, Jang J H, Kim S H, *et al.* High performance indium gallium zinc oxide thin film transistors fabricated on polyethylene terephthalate substrates [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 93(8):082102-1-3.
- [ 2 ] Kamiya T, Mizuta H, Ahmed H, *et al.* Reduction of grain-boundary potential barrier height in polycrystalline silicon with hot  $\text{H}_2\text{O}$ -vapor annealing probed using point-contact devices [J]. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2003, 21(3):1000-1003.
- [ 3 ] Nomura K, Kamiya T, Hosono H, *et al.* Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors [J]. *Lett. Nat.*, 2004, 432(7016):488-492.
- [ 4 ] Lim W, Kim S, Wang Y L, *et al.* High-performance indium gallium zinc oxide transparent thin-film transistors fabricated by radio-frequency sputtering [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2008, 155(6):H383-H385.
- [ 5 ] Wang Y L, Ren F, Lim W, *et al.* Room temperature deposited indium zinc oxide thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(23):232103-1-3.
- [ 6 ] Park J S, Kim H, Heo Y W, *et al.* Transparent amorphous indium zinc oxide thin-film transistors fabricated at room temperature [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90(2):022106-1-3.
- [ 7 ] Yabuta H, Sano M, Abe K, *et al.* High-mobility thin-film transistor with amorphous  $\text{InGaZnO}_4$  channel fabricated by room temperature RF-magnetron sputtering [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, 89(11):112123-1-3.
- [ 8 ] Kamiya T, Nomura K, Hosono H, *et al.* Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors [J]. *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 2010, 11(4):044305-1-23.
- [ 9 ] Liu H Y, Sun R G. Laminated active matrix organic light-emitting devices [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 92(6):063304-1-3.
- [ 10 ] Shimura Y, Nomura K, Hosono H, *et al.* Specific contact resistances between amorphous oxide semiconductor In-Ga-Zn-O and metallic electrodes [J]. *Thin Solid Films*, 2008, 516(17):5899-5902.
- [ 11 ] Na J H, Kitamura M, Arakawa Y. High field-effect mobility amorphous InGaZnO transistors with aluminum electrodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 93(6):063501-1-3.
- [ 12 ] Jeong J, Kim J, Lee G J, *et al.* Electrical characterization of a-InGaZnO thin-film transistors with Cu source/drain electrodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2012, 100(11):112109-1-3.
- [ 13 ] Wu W J, Yan J, Xu Z P, *et al.* Property comparison between IGZO TFT and ZnO TFT [J]. *Chin. J. Liq. Cryst. Disp.* (液晶与显示), 2011, 26(2):147-153 (in Chinese).
- [ 14 ] Ahn B D, Shin H S, Kim H J, *et al.* Comparison of the effects of Ar and  $\text{H}_2$  plasmas on the performance of homojunction

tioned amorphous indium gallium zinc oxide thin film transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008, 93(20):203506-1-3.

[15] Herbert B. Michaelson. The work function of the elements and its periodicity [J]. *J. Appl. Phys.*, 1977, 48(11):4729-4733.

[16] Shimura Y, Nomura K, Hosono H, *et al.* Specific contact resistances between amorphous oxide semiconductor In-Ga-Zn-O and metallic electrodes [J]. *Thin Solid Films*, 2008, 516(11):5899-5902.



刘冲(1987 - )男,湖北天门人,硕士研究生,2011 年于武汉工程大学获得学士学位,主要从事 IGZO-TFT 薄膜晶体管的研究。  
E-mail: 397491613@qq.com



邓宏(1963 - )男,四川江油人,教授,博士生导师,1986 年于成都电讯工程学院(现电子科技大学)获得硕士学位,主要从事氧化锌材料的研究。  
E-mail: hdeng@uestc.edu.cn

## 《发 光 学 报》

——EI 核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于 1980 年创刊,曾于 1992 年,1996 年,2000 年和 2004 年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于 2000 年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000 年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自 1999 年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自 2000 年;美国《剑桥科学文摘社网站》自 2002 年;日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自 2003 年已定期收录检索该刊论文;2008 年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊;2010 年被美国“EI”确定为源期刊。2001 年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002 年获中国科学院 2001~2002 年度科学出版基金“择重”资助。2004 年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自 2011 年改为月刊, A4 开本, 144 页, 国内外公开发行。国内定价: 40 元, 全年 480 元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市东南湖大路 3888 号

《发光学报》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/04

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org