



# (12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 209747522 U

(45)授权公告日 2019.12.06

(21)申请号 201920490045.X

(22)申请日 2019.04.12

(73)专利权人 西交利物浦大学

地址 215000 江苏省苏州市工业园区仁爱路111号

(72)发明人 刘启晗 赵春 赵策洲 杨莉

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务有限公司 32103

代理人 范晴 吴音

(51) Int. Cl.

H01L 29/786(2006.01)

H01L 29/778(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

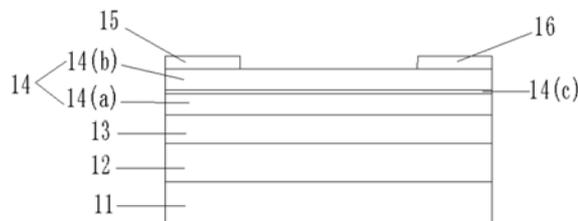
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

## (54)实用新型名称

一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管

## (57)摘要

本实用新型公开了一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,包括绝缘衬底,栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结,源电极和漏电极;绝缘衬底上依次设置有栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结;双层金属氧化物半导体异质结顶层上设置有源电极和漏电极;双层金属氧化物半导体异质结包括第一层金属氧化物半导体层和第二层金属氧化物半导体层。本实用新型是成本低廉,工艺简单,安全环保的薄膜晶体管。



1. 一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,其特征在于:包括绝缘衬底,栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结,源电极和漏电极;所述绝缘衬底位于最底层,所述绝缘衬底之上自下而上依次设置有栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结;所述双层金属氧化物半导体异质结顶层上设置有源电极和漏电极;所述双层金属氧化物半导体异质结包括采用溶液燃烧法在栅极绝缘层上形成的第一层金属氧化物半导体层和采用溶液燃烧法在第一层金属氧化物半导体层上形成的第二层金属氧化物半导体层;所述第一层金属氧化物半导体层与第二层金属氧化物半导体层之间形成了二维电子气。

2. 根据权利要求1所述的一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,其特征在于:所述第一层金属氧化物半导体层与第二层金属氧化物半导体层为溶液燃烧法制备的碱金属参杂ZnO金属氧化物半导体层或 $\text{In}_2\text{O}_3$ 金属氧化物半导体层。

3. 根据权利要求1所述的一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,其特征在于:所述栅极绝缘层为溶液燃烧法制备的氧化镓,氧化铅,氧化铝或氧化铈栅极绝缘层。

4. 根据权利要求1所述的一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,其特征在于:采用喷墨印刷,光刻,丝网印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在绝缘衬底的上表面上形成栅电极;采用丝网印刷,光刻,喷墨印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在双层金属氧化物半导体异质结上分别形成源电极和漏电极。

## 一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及微电子器件技术领域,具体涉及一种溶液燃烧法双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管。

### 背景技术

[0002] 近年来,金属氧化物半导体薄膜晶体管(MOTFT)因其在平板显示,柔性电子,传感器等方面的潜力受到了国内外广泛的关注与研究。然而传统金属氧化物薄膜晶体管主要由脉冲激光沉积,原子层沉积,磁控溅射等高真空方法制备,成本高,制备工艺复杂且无法运用于大面积生产。溶液法制备的金属氧化物薄膜晶体管由于具有较低的生产成本,制备工艺简单不依赖高真空设备,较高的电学性能等优点,因此成为了近年来国内外薄膜晶体管领域的研究热点。但是溶液法制备金属氧化物薄膜晶体管也面临着以下障碍:(a)传统工艺中常使用SiO<sub>2</sub>作为绝缘层材料,导致工作电压通常都在10V以上。较高的工作电压提高了其器件功耗,限制了更为广泛的应用领域。(b)为了形成功能性半导体层,制备工艺中需要较高的退火温度(>400℃),能耗较高且使其无法运用到Pi,PET等柔性衬底上。

### 实用新型内容

[0003] 本实用新型目的是:提供一种成本低廉,工艺简单,安全环保的溶液燃烧法制备双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管。

[0004] 本实用新型的技术方案是:一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管,包括绝缘衬底,栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结,源电极和漏电极;所述绝缘衬底位于最底层,所述绝缘衬底之上自下而上依次设置有栅电极,栅极绝缘层,双层金属氧化物半导体异质结;所述双层金属氧化物半导体异质结顶层上设置有源电极和漏电极;所述双层金属氧化物半导体异质结包括采用溶液燃烧法在栅极绝缘层上形成的第一层金属氧化物半导体层和采用溶液燃烧法在第一层金属氧化物半导体层上形成的第二层金属氧化物半导体层;所述第一层金属氧化物半导体层与第二层金属氧化物半导体层之间形成了二维电子气。

[0005] 优选的,所述第一层金属氧化物半导体层与第二层金属氧化物半导体层为溶液燃烧法制备的碱金属参杂ZnO金属氧化物半导体层或In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>金属氧化物半导体层。

[0006] 优选的,所述栅极绝缘层为溶液燃烧法制备的氧化镓,氧化铪,氧化铝或氧化钽栅极绝缘层。

[0007] 优选的,采用喷墨印刷,光刻,丝网印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在绝缘衬底的上表面上形成栅电极;采用丝网印刷,光刻,喷墨印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在双层金属氧化物半导体异质结上分别形成源电极和漏电极。

[0008] 一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管的制备方法,具体步骤包括:

[0009] a) 绝缘衬底的清洗处理:先用丙酮超声清洗柔性衬底1-30min,再用乙醇超声清

洗柔性衬底1-30min,最后去离子水冲洗,氮气吹干;

[0010] b) 制备栅电极:采用喷墨印刷,光刻,丝网印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在绝缘衬底的上表面上形成栅电极;

[0011] c) 表面处理:将栅电极与绝缘衬底进行0.1-1小时的表面清水处理,处理方式为深紫外光,紫外臭氧,氧等离子或空气等离子表面清水处理中的一种;

[0012] d) 溶液燃烧法制备栅极绝缘层:以1000-6000RPM的转速旋涂绝缘层溶液燃烧法前驱体源,然后经100-150℃,10分钟-1小时的空气中预退火处理,最后进1-60分钟的深紫外光处理或紫外臭氧处理得到栅极绝缘层;所述绝缘层溶液燃烧法前驱体源为硝酸铝,硝酸镓或硝酸铟的2-巯基乙醇溶液或水溶液;所述硝酸铝,硝酸镓或硝酸铟中含有尿素或乙酰丙酮;所述尿素或乙酰丙酮中的一种与硝酸铝,硝酸镓或硝酸铟中的一种的摩尔比为0.5-3 :1;

[0013] e) 溶液燃烧法制备第一层金属氧化物半导体层:在栅极绝缘层上以1000-6000RPM的转速旋涂半导体层溶液燃烧法前驱体源,然后经100-150℃,10分钟-1小时的空气中预退火处理,最后进1-60分钟的深紫外光或紫外臭氧处理得到第一层金属氧化半导体层;半导体层溶液燃烧法前驱体源为碱金属参杂ZnO前驱体源或In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>前驱体源;所述碱金属参杂ZnO前驱体源为0.1-20%摩尔比的碱金属、氧化锌络合物和硝酸铵的氨水溶液;所述碱金属为Li, Na, K, Rb, Cs, Fr中的一种;所述氧化锌络合物中含有尿素或乙酰丙酮;所述尿素或乙酰丙酮与氧化锌络合物的摩尔比为0.5-3 :1,氧化锌络合物的氨水溶液浓度为0.05-3摩尔浓度;所述硝酸铵与氧化锌络合物的摩尔比为0.5-3 :1;所述In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>前驱体源为0.05-3摩尔浓度的硝酸铟的2-巯基乙醇溶液或水溶液;所述硝酸铟中含有尿素或乙酰丙酮;所述尿素或乙酰丙酮与硝酸铟的摩尔比为0.5-3 :1;

[0014] f) 溶液燃烧法制备第二层金属氧化物半导体层:在第一层金属氧化半导体层上以1000-6000RPM的转速旋涂半导体层溶液燃烧法前驱体源,然后经100-150℃,10分钟-1小时的空气中预退火处理,最后进1-60分钟的深紫外光处理或紫外臭氧处理得到第二层金属氧化半导体层;半导体层溶液燃烧法前驱体源为碱金属参杂ZnO前驱体源或In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>前驱体源;半导体层溶液燃烧法前驱体源为碱金属参杂ZnO前驱体源或In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>前驱体源;所述碱金属参杂ZnO前驱体源为0.1-20%摩尔比的碱金属、氧化锌络合物和硝酸铵的氨水溶液;所述碱金属为Li, Na, K, Rb, Cs, Fr中的一种;所述氧化锌络合物中含有尿素或乙酰丙酮;所述尿素或乙酰丙酮与氧化锌络合物的摩尔比为0.5-3 :1,氧化锌络合物的氨水溶液浓度为0.05-3摩尔浓度;所述硝酸铵与氧化锌络合物的摩尔比为0.5-3 :1;所述In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>前驱体源为0.05-3摩尔浓度的硝酸铟的2-巯基乙醇溶液或水溶液;所述硝酸铟中含有尿素或乙酰丙酮;所述尿素或乙酰丙酮与硝酸铟的摩尔比为0.5-3 :1;

[0015] g) 源电极和漏电极的制备:采用丝网印刷,光刻,喷墨印刷,或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在第二层金属氧化半导体层上分别形成源电极和漏电极。

[0016] 优选的,所述氧化镓水溶液前驱体源制备步骤包括:将0.05-3摩尔浓度的硝酸镓以及与硝酸镓摩尔比为0.5-3 :1的尿素或乙酰丙酮溶于去离子水或2-巯基乙醇溶液或水溶液中,再进行0.5-24小时的磁力搅拌或超声处理形成特定浓度的氧化镓前驱体溶液,然后过滤待用。

[0017] 优选的,所述氧化铝水溶液前驱体源制备步骤包括:将0.05-3摩尔浓度的硝酸铝以及与硝酸铝摩尔比为0.5-3 :1的尿素或乙酰丙酮溶于去离子水或2-巯基乙醇溶液中,再进行0.5-24小时的磁力搅拌或超声处理形成特定浓度的氧化铝前驱体溶液,然后过滤待用。

[0018] 优选的,所述氧化铊水溶液前驱体源制备步骤包括:将0.05-3摩尔浓度的硝酸铊以及与硝酸铊摩尔比为0.5-3 :1的尿素或乙酰丙酮溶于去离子水或2-巯基乙醇溶液中,再进行0.5-24小时的磁力搅拌或超声处理形成特定浓度的氧化铊前驱体溶液,然后过滤待用。

[0019] 优选的,所述 $\text{In}_2\text{O}_3$ 前驱体源为0.05-3摩尔浓度的硝酸铟水溶液;所述 $\text{In}_2\text{O}_3$ 前驱体源制备步骤包括:将0.05-3摩尔浓度的硝酸铟以及与硝酸铟摩尔比为0.5~3 :1的尿素或乙酰丙酮溶于去离子水或2-巯基乙醇溶液中,再进行0.5-24小时的磁力搅拌或超声处理形成特定浓度的硝酸铟前驱体溶液,然后过滤待用。

[0020] 优选的,所述碱金属参杂 $\text{ZnO}$ 水溶液前驱体源为0.1-20%摩尔比的碱金属/氧化锌络合物的氨水溶液,氧化锌络合物的氨水溶液浓度为0.05-3摩尔浓度,所述碱金属选自Li, Na, K, Rb, Cs, Fr中的一种;所述碱金属参杂 $\text{ZnO}$ 水溶液前驱体源制备步骤包括:将0.05-1摩尔浓度的氧化锌纳米粉末溶于10-40%浓度的氨水中,再将0.1-20%摩尔比的氢氧化锂,氢氧化钾,氢氧化钠,氢氧化铷,氢氧化铯,氢氧化钫中的一种或几种,与氧化锌摩尔比为0.5~3 :1的尿素或乙酰丙酮,以及与氧化锌摩尔比为0.5~3 :1的硝酸铵加入其中;然后进行0.5-24小时的磁力搅拌或超声处理形成碱金属参杂 $\text{ZnO}$ 前驱体源溶液,之后过滤待用。

[0021] 本实用新型的优点是:

[0022] 1、双层金属氧化物半导体异质结可以通过异质结的制备在两层金属氧化物半导体层中形成了二维电子气,极大的提高了薄膜晶体管的电学性能;

[0023] 2、溶液燃烧法绝缘层制备方法可以提供极高的绝缘层电容值以及高质量的绝缘层薄膜;

[0024] 3、通过处理过程中前驱体溶液内的氧化还原反应放热,极大的降低了制备温度,制备成本低且降低了薄膜晶体管的工作电压以及回滞,最高退火温度不超过 $150^\circ\text{C}$ ,可以应用于Pi等柔性基底上;

[0025] 4、低温下制备高质量的栅极绝缘层,可以提供极高的电容值以及极低的漏电流,相比于传统的 $\text{SiO}_2$ 栅极绝缘层极大地提高了薄膜晶体管的电学性能,降低了工作电压。

## 附图说明

[0026] 下面结合附图及实施例对本实用新型作进一步描述:

[0027] 图1本案所述的一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管的结构示意图;

[0028] 图2本案所述的一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管的转移特性曲线图;

[0029] 其中:11: 绝缘衬底,12: 栅电极,13: 栅极绝缘层,14: 双层金属氧化物半导体层,14(a): 第一层金属氧化物半导体层,14(b): 第二层金属氧化物半导体层,14(c): 二维电子气,15: 源电极,16: 漏电极。

## 具体实施方式

[0030] 实施例：

[0031] 如附图1-2所示，一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管，包括绝缘衬底11，栅电极12，栅极绝缘层13，双层金属氧化物半导体异质结14，源电极15和漏电极16；所述绝缘衬底11位于最底层，所述绝缘衬底11之上自下而上依次设置有栅电极12，栅极绝缘层13，双层金属氧化物半导体异质结14；所述双层金属氧化物半导体异质结14顶层上设置有源电极15和漏电极16；所述双层金属氧化物半导体异质结14包括采用溶液燃烧法在栅极绝缘层上形成的第一层金属氧化物半导体层14(a)和采用溶液燃烧法在第一层金属氧化物半导体层上形成的第二层金属氧化物半导体层14(b)；所述第一层金属氧化物半导体层与第二层金属氧化物半导体层之间形成了二维电子气14(c)。

[0032] 所述第一层金属氧化物半导体层14(a)与第二层金属氧化物半导体层14(b)为溶液燃烧法制备的碱金属参杂ZnO金属氧化物半导体层或 $\text{In}_2\text{O}_3$ 金属氧化物半导体层。

[0033] 所述栅极绝缘层13为溶液燃烧法制备的氧化镓，氧化铅，氧化铝或氧化钪栅极绝缘层。

[0034] 采用喷墨印刷，光刻，丝网印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在绝缘衬底11的上表面上形成栅电极13；采用丝网印刷，光刻，喷墨印刷或者使用一定图案的掩膜进行热蒸度或电子束蒸镀的方法在双层金属氧化物半导体异质结14上分别形成源电极15和漏电极16。

[0035] 一种双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管的制备方法，具体步骤包括：

[0036] a) 绝缘衬底的清洗处理：先用丙酮超声清洗柔性衬底10min，再用乙醇超声清洗柔性衬底10min，最后去离子水冲洗，氮气吹干；

[0037] b) 制备栅电极：剥离(lift-off)工艺具体为，采用az5214光刻胶，以4000rpm的转速在绝缘衬底的上表面上旋涂光刻胶30s，依次进行使用热板110度软烘(soft bake)60s，曝光25s，显影60s，使用热板后烘(hard bake)110度90s，得到电极区域窗口；磁控溅射沉积氮化钛，氧化铟锡，氧化锌铝，氧化铟锌，金，银，铜，或铝100nm；丙酮超声清洗10min去除光刻胶及其上导电薄膜，获得有图形的栅电极；

[0038] c) 表面处理：将栅电极与绝缘衬底进行30分钟的表面清水处理，处理方式为深紫外光(DUV)，紫外臭氧(UV/Ozone)，氧等离子(Oxygen plasma)，或空气等离子(Air plasma)表面清水处理中的一种；

[0039] d) 溶液燃烧法制备栅极绝缘层：取9.37825g硝酸铝水合物以及3g尿素溶于10ml的2-巯基乙醇(2-Me)溶液中，磁力搅拌20min得到硝酸铝前驱体溶液；使用0.45um的PES过滤嘴将硝酸铝前驱体溶液过滤得到氧化铝前驱体源；在步骤c)后的样品上4500rpm，40s旋涂氧化铝前驱体源，而后使用加热板进行150度空气中退火30min，最后进行10分钟的紫外臭氧(UV/Ozone)处理得到氧化铝栅极绝缘层；

[0040] e) 溶液燃烧法制备第一层金属氧化物半导体层：取80mg的ZnO纳米粉末，与ZnO摩尔比为15%的LiOH，与ZnO摩尔比为1:2.5的硝酸铵粉末，以及与ZnO摩尔比为1:2.5的尿素，溶于10ml，28%浓度的氨水中，磁力搅拌12h得到Li参杂的锌氨络合物前驱体溶液；使用0.45um的PES过滤嘴将锌氨络合物溶液过滤得到Li参杂ZnO前驱体源；在栅极绝缘层上以6000RPM的转速旋涂Li参杂ZnO前驱体源30s，然后经150°C，10分钟的空气中预退火处理，最

后进10分钟的深紫外光 (DUV) 处理得到第一层金属氧化半导体层;

[0041] f) 溶液燃烧法制备第二层金属氧化物半导体层: 取0.90249g的硝酸铟水合物以及  
与硝酸铟摩尔比为1:2.5的尿素溶于20ml的2-巯基乙醇 (2-Me) 溶液中, 磁力搅拌20min得  
到硝酸铟前驱体溶液; 使用0.45um的PES过滤嘴将硝酸铟溶液过滤得到 $\text{In}_2\text{O}_3$ 前驱体源; 在第  
一层金属氧化半导体层上以3000RPM的转速旋涂 $\text{In}_2\text{O}_3$ 前驱体源, 然后经150℃, 10分钟的空气  
中预退火处理, 最后进10分钟的深紫外光 (DUV) 处理或紫外臭氧 (UV/Ozone) 处理得到第  
二层金属氧化半导体层;

[0042] g) 源电极和漏电极的制备: 剥离 (lift-off) 工艺具体为, 依次进行使用热板110摄  
氏度软烘 (soft bake) 60s, 曝光25s, 显影60s, 使用热板后烘 (hard bake) 110摄氏度90s, 得  
到电极区域窗口; 磁控溅射沉积氮化钛, 氧化铟锡, 氧化锌铝, 氧化铟锌, 金, 银, 铜, 或铝  
100nm; 丙酮超声清洗10min去除光刻胶以及其上导电薄膜, 获得有图形的源电极和漏电极。

[0043] 下表为本实施例得到的双层金属氧化物半导体异质结薄膜晶体管的电学性能:

[0044]

迁移率 ( $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ )	开关比 ( $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ )	阈值电压 (V)	亚阈值摆幅 (V/decade)
37	2000	0.33	1

[0045] 本实用新型所提出的制备方法的所有步骤中, 工艺的最高温度不超过150℃, 溶液  
燃烧法绝缘层制备方法可以提供极高的绝缘层电容值以及高质量的绝缘层薄膜, 通过处理  
过程中前驱体溶液内的氧化还原反应放热, 极大的降低了制备温度, 制备成本低且降低了  
薄膜晶体管的工作电压以及回滞, 最高退火温度不超过150℃, 可以应用于Pi等柔性基底  
上;

[0046] 本实用新型所提出的溶液燃烧法制备的双层金属氧化物半导体异质结可以在不  
超过150℃的低温下制备高质量的有源层, 且通过异质结的制备在两层金属氧化物半导体  
层中形成了二维电子气 (14c), 极大的提高了薄膜晶体管的电学性能。

[0047] 本实用新型的溶液燃烧法制备高质量高性能的的栅极绝缘层可以在不超过150℃  
的低温下制备高质量的栅极绝缘层, 可以提供极高的电容值以及极低的漏电流, 相比于传  
统的 $\text{SiO}_2$ 栅极绝缘层极大地提高了薄膜晶体管的电学性能, 降低了工作电压。

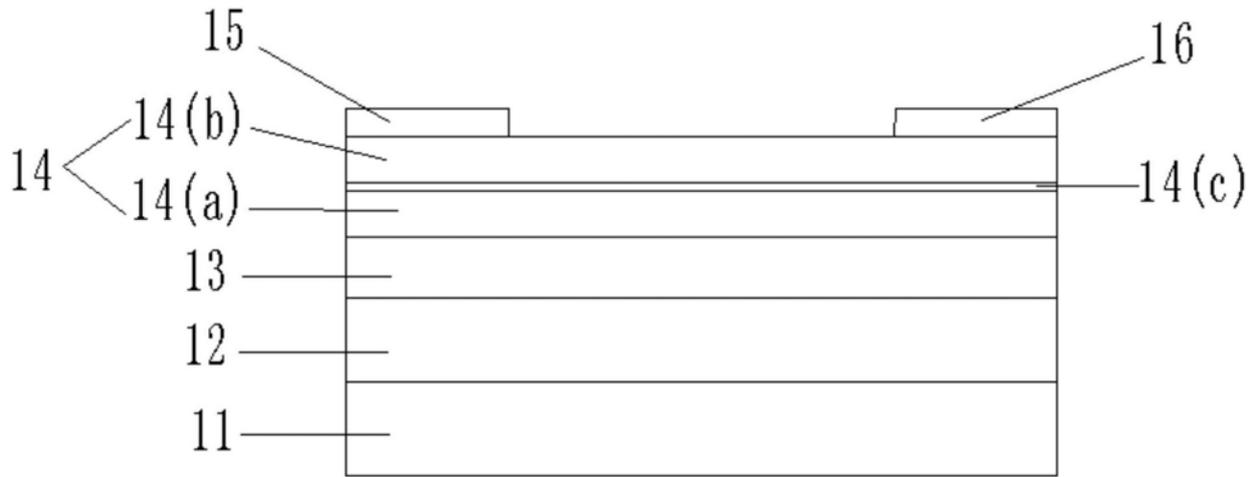


图1

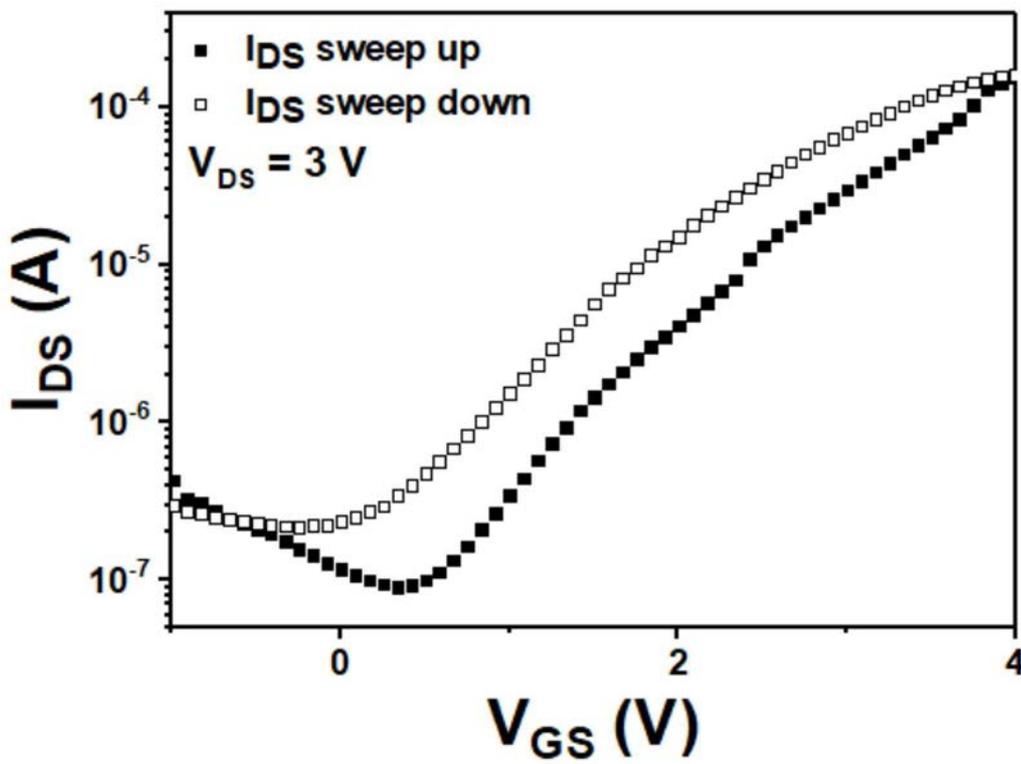


图2