



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108878264 B

(45) 授权公告日 2020.12.25

(21) 申请号 201810695671.2

CN 102723437 A, 2012.10.10

(22) 申请日 2018.06.29

CN 101281956 A, 2008.10.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 1786232 A, 2006.06.14

申请公布号 CN 108878264 A

CN 104776759 A, 2015.07.15

US 2014312293 A1, 2014.10.23

(43) 申请公布日 2018.11.23

CN 102779845 A, 2012.11.14

(73) 专利权人 云南大学

CN 202308073 U, 2012.07.04

地址 650000 云南省昆明市五华区翠湖北
路2号

CN 101656302 A, 2010.02.24

CN 102576709 A, 2012.07.11

US 2013307126 A1, 2013.11.21

(72) 发明人 吕正红 张涛 王登科

US 2018013003 A1, 2018.01.11

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

CN 104867981 A, 2015.08.26

代理人 刘奇

CN 102867854 A, 2013.01.09

CN 105957975 A, 2016.09.21

(51) Int. Cl.

H01L 21/02 (2006.01)

张涛. 高性能白光有机发光二极管的研制.

《CNKI博士学位论文全文库》. 2018,

(56) 对比文件

CN 101611505 A, 2009.12.23

审查员 詹斯琦

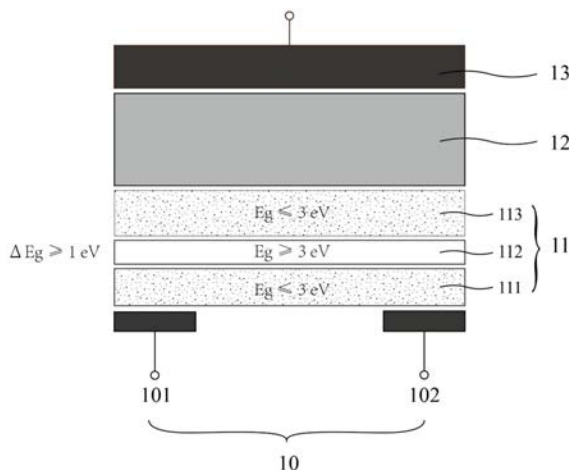
权利要求书1页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法,采用真空气相沉积法在衬底上依次沉积第一金属氧化物、芯层金属和第二金属氧化物,所述第一金属氧化物和芯层金属发生氧化还原反应,在衬底上形成第一表层和芯层前驱体,所述芯层前驱体和第二金属氧化物发生氧化还原反应,形成芯层和第二表层;所述芯层中金属氧化物的带隙 $\geq 3\text{eV}$,所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$ 。本发明提供的制备方法操作简单、生产成本低、成膜性好,产品具有高的载流子迁移率。



1. 一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法,包括以下步骤:

采用真空气相沉积法在硅片衬底上依次层叠沉积厚度为2nm的MoO₃薄膜、厚度为2 nm的Al薄膜和厚度为3 nm的MoO₃薄膜,所述依次层叠的薄膜经氧化还原反应在所述硅片衬底上形成依次层叠的MoO₂第一表层、Al₂O₃芯层和MoO₂第二表层,所述MoO₂第一表层的厚度为2 nm,所述MoO₂第一表层与硅片衬底接触;所述Al₂O₃芯层的厚度为2 nm;所述MoO₂第二表层的厚度为3 nm;所述MoO₂第一表层、Al₂O₃芯层和MoO₂第二表层构成金属氧化物叠层场效应材料;其中,沉积所述Al薄膜的操作参数为:真空度为10⁻⁵ Pa,蒸距为30 cm,蒸发温度为750 °C,蒸发电流为180 A,蒸发速率为1 Å/s;沉积所述MoO₃薄膜的操作参数为:真空度为10⁻⁵ Pa,蒸距为30 cm,蒸发温度为570 °C,蒸发电流为4.5 A,蒸发速率为0.5 Å/s。

一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体集成电路技术领域,尤其涉及一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法。

背景技术

[0002] 集成电路的发展水平已成为一个国家工业发展水平的标志。目前集成电路使用较广泛的半导体材料为氢化非晶硅材料(a-Si:H),但其场效应迁移率较低(约 $0.5\sim 1.0\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)、透光率较差、载流子密度较低、机械柔韧性不太理想,不易用来制备高性能、柔性主动式矩阵液晶显示器(AMLCD)和主动矩阵有机发光二极管(AMOLED)等主流显示器及柔性集成电路。

[0003] 随着集成电路的迅速发展,金属氧化物场效应材料因制备工艺相对其他材料更加简单、成本更加低廉、成膜均匀、可实现高性能、高集成度,且可以制备透明集成电路和柔性集成电路等优势,广泛应用于电子工业。但是,目前金属氧化物场效应材料载流子迁移率仍较低,不足 $10\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$;而为了提高金属氧化物场效应材料的载流子迁移率,需要将其制作成具有较高成本的晶相结构,甚至需要晶相结构的衬底。

[0004] 金属氧化物场效应材料作为一种薄膜材料,在微电子工艺中的制备方法主要有物理气相沉积法(Physical Vapor Deposition, PVD)、化学气相沉积法(Chemical Vapor Deposition, CVD)、外延生长法(Epitaxy)以及电化学沉积法(Electrochemistry, ECD)等方法。其中,物理气相沉积法因厚度易控制、反应机理简单、成膜速度快、效率高等优点,成为制备薄膜的一种最常用的方法。物理气相沉积法主要有溅射镀膜、离子镀、真空蒸镀等几种方法。溅射镀膜是在低气压下,利用气体放电等离子体中产生一定能量的粒子(离子或中性原子、分子)轰击固体表面,使固体近表面的原子或分子获得足够大的能量而最终逸出固体表面,可被用于制备金属、半导体、绝缘体等多种薄膜材料;但是设备复杂、需要高压装置或者磁控控制单元,靶材需要精制,而且利用率低,易受杂质影响。离子镀是在真空条件下,利用气体放电使气体或被蒸发物质离化,在气体离子或被蒸发物质离子轰击作用的同时,把蒸发物或其反应物蒸镀在基片上;但是需要引入气体放电,装置及操作均较复杂。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法。本发明提供的制备方法操作简单、生产成本低、成膜性好,制备得到的金属氧化物叠层场效应材料具有高的载流子迁移率。

[0006] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0007] 本发明提供了一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法,包括以下步骤:

[0008] 采用真空气相沉积法在衬底上依次沉积第一金属氧化物、芯层金属和第二金属氧化物,所述第一金属氧化物和芯层金属发生氧化还原反应,在衬底上形成第一表层和芯层前驱体,所述芯层前驱体和第二金属氧化物发生氧化还原反应,形成芯层和第二表层;

[0009] 其中,所述芯层中金属氧化物的带隙 $\geq 3\text{eV}$,所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$ 。

[0010] 优选地,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物独立地包括 AgO 、 Bi_2O_5 、 CeO_2 、 Co_2O_3 、 CuO 、 Fe_2O_3 、 Mn_2O_7 、 MoO_3 、 PbO_2 、 V_2O_5 或 WO_3 。

[0011] 优选地,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物是 MoO_3 。

[0012] 优选地,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物以薄膜形式使用,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物的厚度独立地为 $1\sim 10\text{nm}$ 。

[0013] 优选地,所述芯层金属包括 Al 、 Ba 、 Ca 、 Cr 、 Ga 、 K 、 La 、 Li 、 Mg 、 Mn 、 Nb 、 Nd 、 Ni 、 Pr 、 Sb 、 Sm 、 Sn 、 Sr 、 Ta 、 Tb 、 Ti 、 Zn 或 Zr 。

[0014] 优选地,所述芯层金属为 Al 。

[0015] 优选地,所述芯层金属以薄膜形式使用,所述芯层金属的厚度为 $1\sim 10\text{nm}$ 。

[0016] 优选地,所述衬底包括硅片衬底或玻璃衬底。

[0017] 本发明提供了一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法,包括以下步骤:采用真空气相沉积法在衬底上依次沉积第一金属氧化物、芯层金属和第二金属氧化物,所述第一金属氧化物和芯层金属发生氧化还原反应,在衬底上形成第一表层和芯层前驱体,所述芯层前驱体和第二金属氧化物发生氧化还原反应,形成芯层和第二表层;其中,所述芯层中金属氧化物的带隙 $\geq 3\text{eV}$,所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$ 。本发明提供的制备方法操作简单、生产成本低、成膜性好。采用本发明提供的方法制备得到的金属氧化物叠层场效应材料将带隙不同的金属氧化物形成异质结,并限定带隙差(ΔE) $\geq 1\text{eV}$,异质结界面处产生能带弯曲,在带隙较大的一侧形成势垒,在带隙较小的一侧形成三角势阱,在栅极电场的诱导下,在异质结界面上产生极化电荷,并聚集大量的载流子。因此,本发明提供的金属氧化物叠层场效应材料具有高的载流子迁移率,高于 $10^3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$,克服了常规金属氧化物场效应材料载流子迁移率较低,需要将其制作成具有较高成本的晶相结构,甚至需要晶相结构的衬底的问题,能够广泛应用于场效应晶体管、在场效应透明电极、驱动有机发光二极管、逻辑电路、存储器或柔性半导体集成电路领域中。

[0018] 进一步地,采用本发明提供的方法制备得到的金属氧化物叠层场效应材料的厚度不超过 30nm ,具有良好的透光性。

附图说明

[0019] 图1为本发明提供的柔性有机场效应晶体管的结构示意图;

[0020] 图2为实施例1制备的金属氧化物叠层场效应材料的紫外光电子能谱图;

[0021] 图3为实施例1制备的金属氧化物叠层场效应材料、单一 MoO_3 薄膜与 Al 薄膜的透射电子显微镜图以及所述金属氧化物叠层场效应材料的透射电子显微镜衍射图;

[0022] 图4为实施例2制备的多层金属氧化物叠层场效应材料的截面STEM图;

[0023] 图5为实施例3制备的柔性有机场效应晶体管的输出特性图;

[0024] 图6为实施例3制备的柔性有机场效应晶体管的转移特性图。

具体实施方式

[0025] 本发明提供了一种金属氧化物叠层场效应材料的制备方法,包括以下步骤:

[0026] 采用真空气相沉积法在衬底上依次沉积第一金属氧化物、芯层金属和第二金属氧化物,所述第一金属氧化物和芯层金属发生氧化还原反应,在衬底上形成第一表层和芯层前驱体,所述芯层前驱体和第二金属氧化物发生氧化还原反应,形成芯层和第二表层;

[0027] 其中,所述芯层中金属氧化物的带隙 $\geq 3\text{eV}$,所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$ 。

[0028] 在本发明中,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物优选独立地包括 AgO 、 Bi_2O_5 、 CeO_2 、 Co_2O_3 、 CuO 、 Fe_2O_3 、 Mn_2O_7 、 MoO_3 、 PbO_2 、 V_2O_5 或 WO_3 ,更优选为 MoO_3 。

[0029] 在本发明中,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物优选以薄膜形式使用,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物的厚度优选独立地为 $1\sim 10\text{nm}$,更优选为 $2\sim 7\text{nm}$,最优选为 $3\sim 5\text{nm}$ 。

[0030] 在本发明中,所述芯层金属优选包括 Al 、 Ba 、 Ca 、 Cr 、 Ga 、 K 、 La 、 Li 、 Mg 、 Mn 、 Nb 、 Nd 、 Ni 、 Pr 、 Sb 、 Sm 、 Sn 、 Sr 、 Ta 、 Tb 、 Ti 、 Zn 或 Zr ,更优选为 Al 。

[0031] 在本发明中,所述芯层金属优选以薄膜形式使用,所述芯层金属的厚度优选为 $1\sim 10\text{nm}$,更优选为 $2\sim 7\text{nm}$,最优选为 $3\sim 5\text{nm}$ 。

[0032] 在本发明中,所述真空气相沉积法中真空度优选为 $10^{-4}\sim 10^{-5}\text{Pa}$,蒸距优选为 $20\sim 30\text{cm}$ 。

[0033] 在本发明中,所述真空气相沉积法中芯层金属的蒸发温度具体是按照实际金属的蒸发温度来确定,优选为 $200\sim 1000^\circ\text{C}$,更优选为 $500\sim 750^\circ\text{C}$;蒸发电流优选为 $160\sim 180\text{A}$;蒸发速率优选为 $1\sim 2\text{ \AA/s}$ 。在本发明中,所述芯层金属的蒸发速率过小会导致蒸发材料在基片上形成堆积,蒸发速率过大会导致蒸发材料在基片上出现较大的空隙。

[0034] 在本发明中,所述真空气相沉积法中第一金属氧化物和第二金属氧化物的蒸发温度具体是按照实际金属氧化物的蒸发温度来确定,优选独立地为 $500\sim 1500^\circ\text{C}$,更优选为 $570\sim 700^\circ\text{C}$;蒸发电流优选独立地为 $4\sim 5\text{A}$;蒸发速率优选独立地为 $0.1\sim 0.5\text{ \AA/s}$ 。在本发明中,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物的蒸发速率过小会导致蒸发材料在基片上形成堆积,蒸发速率过大会导致蒸发材料在基片上出现较大的空隙。

[0035] 本发明对于所述衬底没有特殊的限定,采用本领域技术人员熟知的衬底即可,具体如硅片衬底或玻璃衬底。

[0036] 在本发明中,所述第一金属氧化物和第二金属氧化物的纯度优选独立地 $\geq 99.95\%$;所述芯层金属的纯度优选 $\geq 99.99\%$ 。

[0037] 本发明首先采用真空气相沉积法在衬底上沉积第一金属氧化物,然后沉积芯层金属的过程中,所述第一金属氧化物和芯层金属发生氧化还原反应,在衬底上形成第一表层和芯层前驱体;最后沉积第二金属氧化物的过程中,所述芯层前驱体和第二金属氧化物发生氧化还原反应,形成芯层和第二表层。

[0038] 采用本发明上述技术方案所述制备方法制备得到的金属氧化物叠层场效应材料,具有夹芯结构,依次包括第一表层、芯层和第二表层,所述芯层为宽带隙金属氧化物层,所述第一表层和第二表层为窄带隙金属氧化物层;其中,所述芯层中金属氧化物的带隙 \geq

3eV,所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$ 。

[0039] 在本发明中,所述金属氧化物叠层场效应材料的厚度优选 $\leq 30\text{nm}$,更优选为10~25nm,最优选为10~15nm。

[0040] 在本发明中,所述第一表层、第二表层和芯层的厚度优选独立地 $\leq 10\text{nm}$,更优选为3~8nm,最优选为5~6nm。

[0041] 在本发明中,所述芯层为宽带隙金属氧化物层,所述芯层中金属氧化物的带隙 $\geq 3\text{eV}$,优选为3.5~7eV,更优选为4~5eV。在本发明中,所述芯层中金属氧化物优选包括二元金属氧化物或三元金属氧化物;所述芯层中二元金属氧化物优选包括 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 CaO 、 Ga_2O_3 、 La_2O_3 、 MnO 、 Nb_2O_5 、 Nd_2O_3 、 NiO 、 Pr_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Sm_2O_3 、 SnO 、 SnO_2 、 Ta_2O_5 、 Tb_2O_3 、 TiO_2 、 ZnO 或 ZrO_2 ;所述芯层中三元金属氧化物优选包括 AlTiO_3 、 BaTiO_3 、 KNbO_3 、 KTaO_3 、 LaTi_2O_7 、 LiTaO_3 、 LiNbO_3 、 MgTiO_3 、 MnTiO_3 、 SrTiO_3 或 ZnTiO_3 。

[0042] 在本发明中,所述芯层中金属氧化物以及其对应的导带、价带能级和带隙如下表所示:

[0043] 芯层中金属氧化物种类以及其对应的导带、价带能级和带隙

金属氧化物	导带 (Ec)	价带能级 (Ev)	带隙 (Eg)
Al ₂ O ₃	5.4	12.4	7
Cr ₂ O ₃	-0.57	2.93	3.5
CaO	-1.09	3.91	5eV
Ga ₂ O ₃	-1.55	3.25	4.8
La ₂ O ₃	-1.97	3.53	5.5
MnO	-1.01	2.59	3.6
Nb ₂ O ₅	0.09	3.49	3.4
Nd ₂ O ₃	-1.63	3.07	4.7
NiO	-0.5	3.0	3.5
Pr ₂ O ₃	-1.26	2.64	3.9
Sb ₂ O ₃	0.32	3.32	3
Sm ₂ O ₃	-1.43	2.97	4.4
SnO	-0.91	3.29	4.2
[0044] SnO ₂	0	3.5	3.5
Ta ₂ O ₅	-0.17	3.83	4
Tb ₂ O ₃	-1.06	2.74	3.8
TiO ₂	-0.29	2.91	3.2
ZnO	-0.31	2.89	3.2
ZrO ₂	-1.09	3.91	5
SrTiO ₃	-1.26	2.14	3.4
AlTiO ₃	-0.86	2.74	3.6
BaTiO ₃	0.08	3.38	3.3
KNbO ₃	-0.86	2.44	3.3
KTaO ₃	-0.93	2.57	3.5
LaTi ₂ O ₇	-0.6	3.4	4
LiTaO ₃	-0.95	3.05	4
LiNbO ₃	-0.73	2.77	3.5
MgTiO ₃	-0.75	2.95	3.7
[0045] MnTiO ₃	-0.46	2.64	3.1
ZnTiO ₃	-0.23	2.83	3.06

[0046] 在本发明中,所述第一表层和第二表层为窄带隙金属氧化物层;所述第一表层和第二表层中金属氧化物的带隙独立地 $\leq 3\text{eV}$,优选为 $0\sim 2.5\text{eV}$,更优选为 $1\sim 2\text{eV}$ 。在本发明中,所述第一表层和第二表层中金属氧化物优选独立地为二元金属氧化物;所述第一表层和第二表层中二元金属氧化物优选独立地包括 Ag_2O 、 Bi_2O_3 、 Ce_2O_3 、 CoO 、 Cu_2O 、 FeO 、 Fe_3O_4 、 MnO_2 、 MoO_2 、 PbO 、 VO 、 VO_2 、 WO 或 WO_2 。

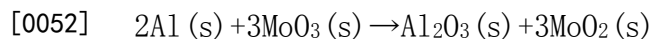
[0047] 在本发明中,所述第一表层和第二表层中部分二元金属氧化物以及其对应的导带、价带能级和带隙如下表所示:

[0048] 第一表层和第二表层中部分二元金属氧化物以及其对应的导带、价带能级和带隙

	金属氧化物	导带 (E_c)	价带能级 (E_v)	带隙 (E_g)
	Ag_2O	0.19	1.39	1.2
	Bi_2O_3	0.33	3.13	2.8
	Ce_2O_3	-0.5	1.9	2.4
	CoO	-0.11	2.49	2.6
[0049]	Cu_2O	-0.28	1.92	2.2
	FeO	-0.17	2.23	2.4
	Fe_3O_4	1.23	1.33	0.1
	MnO_2	1.33	1.58	0.25
	MoO_2			0
	PbO	-0.48	2.32	2.8

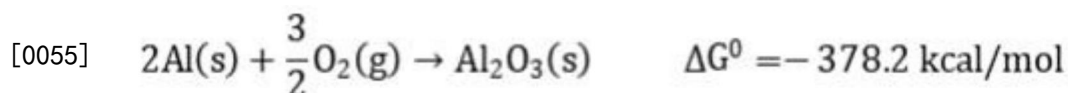
[0050] 在本发明中,所述芯层中金属氧化物的带隙与所述第一表层中金属氧化物的带隙的差值 $\geq 1\text{eV}$,优选为 $1.5\sim 7\text{eV}$,更优选为 $2.0\sim 4.0\text{eV}$ 。

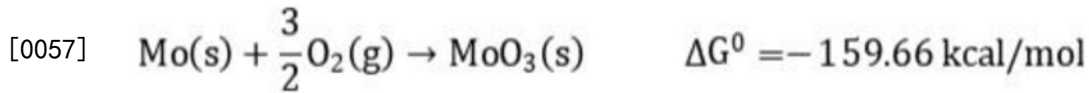
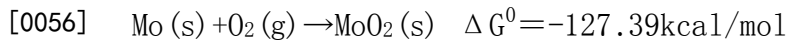
[0051] 在本发明的实施例中,具体是采用真空气相沉积法在衬底上依次沉积 MoO_3 薄膜(厚度为 2nm)、 Al 薄膜(厚度为 2nm)和 MoO_3 薄膜(厚度为 3nm),在所述衬底上形成金属氧化物叠层场效应材料,所述金属氧化物叠层场效应材料包括 MoO_2 第一表层、 Al_2O_3 芯层和 MoO_2 第二表层;在两种不同材料的界面处将发生以下反应:



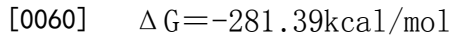
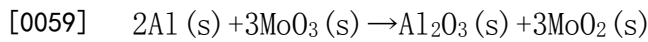
[0053] 其中,在底层 MoO_3 薄膜和中间层 Al 薄膜的界面处发生氧化还原反应, MoO_3 失去氧原子变为 MoO_2 ,其中钼的价态由+6价变为+4价,中间层 Al 薄膜被氧化成为 Al_2O_3 ;同样地,上层 MoO_3 薄膜与中间层 Al 薄膜的界面也发生了氧化还原反应, MoO_3 失去氧原子变为 MoO_2 ,其中钼的价态由+6价变为+4价,中间层 Al 薄膜被氧化成为 Al_2O_3 。

[0054] 在化学热力学中,为了判断反应进行的方向而引入一热力学函数 G ,称为吉布斯自由能或自由焓。在等温等压反应中,如果吉布斯自由能 G 为负,则正反应为自发,反之则逆反应自发;如果为0,则反应处于平衡状态。本发明中涉及的氧化还原反应的吉布斯自由能的改变量如下:





[0058] 氧化还原反应方程式中的标准吉布斯自由能,可根据氧化还原反应方程计算得出:



[0061] 由于所述氧化还原反应的吉布斯自由能G变化为-281.39kcal/mol,因此,所述氧化还原反应是朝着正反应方向自发进行。

[0062] 在本发明中,上述技术方案所述金属氧化物叠层场效应材料能够应用于场效应晶体管、在场效应透明电极、驱动有机发光二极管、逻辑电路、存储器或柔性半导体集成电路领域中。在本发明中,所述场效应晶体管优选包括有机场效应晶体管、无机场效应晶体管、薄膜晶体管、绝缘栅型场效应晶体管或结型场效应晶体管,更优选为有机场效应晶体管,最优选为柔性有机场效应晶体管。

[0063] 在本发明中,所述柔性有机场效应晶体管优选包括源漏电极10、设置在所述源漏电极上的金属氧化物叠层场效应材料11、设置在所述金属氧化物叠层场效应材料上的栅极绝缘层12和设置在所述栅极绝缘层上的栅极13,如图1所示。

[0064] 在本发明中,所述柔性有机场效应晶体管优选包括源漏电极10;所述源漏电极10优选包括源极101和漏极102。在本发明中,形成所述源极和漏极的电极材料优选独立地包括金属导电材料或金属氧化物导电材料;所述金属导电材料优选包括Ag、Cu、Au、Al、W、Ni、Ti、Zn、Cr或Mo;所述金属氧化物导电材料优选包括氧化铟锡(ITO)、氧化铟锌(IZO)或SnO。在本发明的实施例中,具体采用Al作为形成源极和漏极的电极材料。

[0065] 在本发明中,所述柔性有机场效应晶体管优选包括设置在所述源漏电极上的金属氧化物叠层场效应材料11。在本发明中,所述金属氧化物叠层场效应材料的表层与所述源漏电极接触即可,如可以将所述金属氧化物叠层场效应材料的第一表层或第二表层与所述源漏电极接触。在本发明的实施例中,所述金属氧化物叠层场效应材料11具体包括第一表层111、芯层112和第二表层113,其中,所述第一表层111与所述源漏电极接触。在本发明中,所述金属氧化物叠层场效应材料在柔性有机场效应晶体管中是作为P沟道材料;在本发明的实施例中,所述沟道的长度具体为6mm,宽度具体为16mm。

[0066] 在本发明中,所述柔性有机场效应晶体管优选包括设置在所述金属氧化物叠层场效应材料上的栅极绝缘层12。在本发明中,所述栅极绝缘层优选包括有机发光层121和设置在所述有机发光层上的空穴传输层122。在本发明中,所述有机发光层的厚度优选为50~60nm;所述空穴传输层的厚度优选为40~45nm。本发明对于形成所述有机发光层所采用的有机发光材料和形成所述空穴传输层所采用的空穴传输材料没有特殊的限定,采用本领域技术人员熟知的有机发光材料和空穴传输材料即可;在本发明的实施例中,具体采用三羟基喹啉铝(Alq_3)作为有机发光材料,采用N,N'-二(1-萘基)-N,N'-二苯基-1,1'-联苯-4,4'-二胺(NPB)作为空穴传输材料。

[0067] 在本发明中,所述栅极绝缘层与所述金属氧化物叠层场效应材料的表层接触即可,如可以将所述栅极绝缘层与所述金属氧化物叠层场效应材料的第一表层或第二表层接

触。在本发明的实施例中,具体是将所述栅极绝缘层的有机发光层121与所述金属氧化物叠层场效应材料的第二表层113接触。

[0068] 在本发明中,所述柔性有机场效应晶体管优选包括设置在所述栅极绝缘层上的栅极13。本发明对于形成所述栅极所采用的栅极材料没有特殊的限定,采用本领域技术人员熟知的电极材料即可;在本发明的实施例中,具体采用Al作为形成栅极的电极材料。

[0069] 下面将结合本发明中的实施例,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0070] 实施例1

[0071] 采用真空气相沉积法在硅片衬底上依次沉积MoO₃薄膜(纯度为99.95%,厚度为2nm)、Al薄膜(纯度为99.99%,厚度为2nm)和MoO₃薄膜(纯度为99.95%,厚度为3nm),在所述硅片衬底上形成金属氧化物叠层场效应材料,所述金属氧化物叠层场效应材料包括MoO₂第一表层111(厚度为2nm,与硅片衬底接触)、Al₂O₃芯层112(厚度为2nm)和MoO₂第二表层113(厚度为3nm),其中,沉积所述Al薄膜的操作参数为:真空度为10⁻⁵Pa,蒸距为30cm,蒸发温度为750℃,蒸发电流为180A,蒸发速率为1 Å/s;沉积所述MoO₃薄膜的操作参数为:真空度为10⁻⁵Pa,蒸距为30cm,蒸发温度为570℃,蒸发电流为4.5A,蒸发速率为0.5 Å/s。

[0072] 为了证明所述金属氧化物叠层场效应材料中各物质的价态结构,对所述金属氧化物叠层场效应材料进行紫外光电子能谱分析,结果如图2所示。图2为沉积在硅片衬底上的金属氧化物叠层场效应材料不同阶段的样品(所述沉积的原料分别为MoO₃薄膜(2nm)、MoO₃薄膜(2nm)/Al薄膜(2nm)、MoO₃薄膜(2nm)/Al薄膜(2nm)/MoO₃薄膜(3nm))的Mo 3d和Al 2p核心紫外光电子能谱。由图2可知,自发的界面氧化还原化学反应的结果是在所述金属氧化物叠层场效应材料中形成了Mo⁴⁺/Al³⁺/Mo⁴⁺的结构。

[0073] 为了对比单一薄膜和所述金属氧化物叠层场效应材料的形貌特征,将MoO₃薄膜和Al薄膜在相同的条件下,沉积在碳衬底上形成平整的非晶结构薄膜,结果如图3所示。图3为实施例1制备的金属氧化物叠层场效应材料(原料为MoO₃薄膜(2nm)/Al薄膜(2nm)/MoO₃薄膜(3nm))、单一MoO₃薄膜(原料为MoO₃薄膜(2nm))与Al薄膜(原料为Al薄膜(2nm))的透射电子显微镜图以及所述金属氧化物叠层场效应材料的透射电子显微镜衍射图。从图3中可知,单一的Al薄膜和MoO₃薄膜均匀地沉积在碳衬底上,所述金属氧化物叠层场效应材料也具有均匀平整的表面结构,因衬底未加热,形成了一层具有无定型的薄膜结构。

[0074] 实施例2

[0075] 为了验证本发明提供的金属氧化物叠层场效应材料的界面叠层特征,按照实施例1的方法制备多层金属氧化物叠层场效应材料MoO₂(2nm)/Al₂O₃(2nm)/MoO₂(4nm)/Al₂O₃(2nm)/MoO₂(4nm)/Al₂O₃(2nm)/MoO₂(4nm)。图4为本实施例制备的多层金属氧化物叠层场效应材料的截面STEM图,由图4可知,MoO₂薄膜和Al₂O₃薄膜界面显示出较明显的分界面(白色为MoO₂薄膜,灰黑色为Al₂O₃薄膜)。

[0076] 实施例3

[0077] 将实施例1制备的金属氧化物叠层场效应材料作为P沟道材料(沟道长度设置为6mm,宽度设置为16mm)制备柔性有机场效应晶体管,具体是在所述MoO₂第一表层111的下面

设置源极101和漏极102(所述源极和漏极由Al形成),在所述MoO₂第二表层113的上面设置有机发光层121(由Alq₃形成,厚度为60nm),在所述有机发光层121的上面设置空穴传输层122(由NPB形成,厚度为45nm),在所述空穴传输层122的上面设置栅极13(由Al形成)。

[0078] 实施例4

[0079] 对实施例3制备的柔性有机场效应晶体管的性能进行测试,具体如下:

[0080] 选用一个HP-4140B皮安表/直流电压电源输出恒定电压给柔性有机场效应晶体管的栅极,选用另一个HP-4140B皮安表/直流电压电源输出电压给柔性有机场效应晶体管的源极和漏极。在不同的恒定栅压输出下,通过软件控制,使输出在有机场效应晶体管的源极和漏极的电压为阶梯状上升,与此同时同步测量出通过源漏电极的电流值,在计算机上实时输出电压-电流值。

[0081] 图5为所述柔性有机场效应晶体管的输出特性图。由图5可知,当栅极电压为零时,源漏电压V_{DS}在0.2V时,源漏电流I_{DS}达到饱和,约为1mA,源漏电流很小。当栅极加上正电压时,源漏电流I_{DS}很快变为0,说明所述金属氧化物叠层场效应材料为传输空穴的P型半导体材料,所述柔性有机场效应晶体管为P型单极性电导特性。当栅极加上负电压时,金属氧化物叠层场效应材料与有机发光层界面的载流子浓度升高,源漏电流I_{DS}增加,并且随着栅电压的增加,源漏电压V_{DS}和源漏电流I_{DS}之间呈现明显的场效应晶体管特征关系。源漏电压V_{DS}在小于0.6V的范围内,I_{DS}随着V_{DS}的增大而增大,I_{DS}-V_{DS}呈线性关系,这说明本发明提供的金属氧化物叠层场效应材料与源漏铝电极形成良好的欧姆接触。

[0082] 图6为所述柔性有机场效应晶体管的转移特性图。由图6可知,在无栅电压的情况下,金属氧化物叠层场效应材料具有很大的面电阻,通过面电阻测试仪(型号:RTS-9)测试发现,面电阻约在10⁴Ω/□,可视为绝缘体。当增加栅电压V_G时,金属氧化物叠层场效应材料上下表面产生感应电荷,芯层为宽带隙氧化物材料,金属氧化物叠层场效应材料中载流子局限在上下表面的窄带隙氧化物中,形成二维空穴气。在源漏极之间外加电场时,可以检测到沟道电流I_D。通过改变栅压V_G可以控制载流子的浓度。

[0083] 载流子迁移率的计算公式如下:

$$[0084] \quad \mu = \frac{hL_{ch}g_m}{\epsilon_r \epsilon_0 d V_{DS}}$$

[0085] 其中, μ 为载流子迁移率,h为栅极绝缘层厚度,L_{ch}为沟道长度,d为沟道宽度, ϵ_r 为栅极绝缘层的相对介电常数(以NPB计), ϵ_0 为真空介电常数,g_m为跨导;

[0086] 在本实施中,h=105nm,L_{ch}=6mm,d=16mm, $\epsilon_r=1.7^2$ (以NPB计), $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}$ F/m,g_m=8.44mA/V(为I_{DS}-V_G曲线的斜率)。

[0087] 由上述公式计算得到 μ 约为10⁵cm²/V·s。

[0088] 由以上实施例可知,本发明提供的金属氧化物叠层场效应材料具有高的载流子迁移率,高于10³cm²/V·s,克服了常规金属氧化物场效应材料载流子迁移率较低,需要将其制作成具有较高成本的晶相结构,甚至需要晶相结构的衬底的问题。

[0089] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

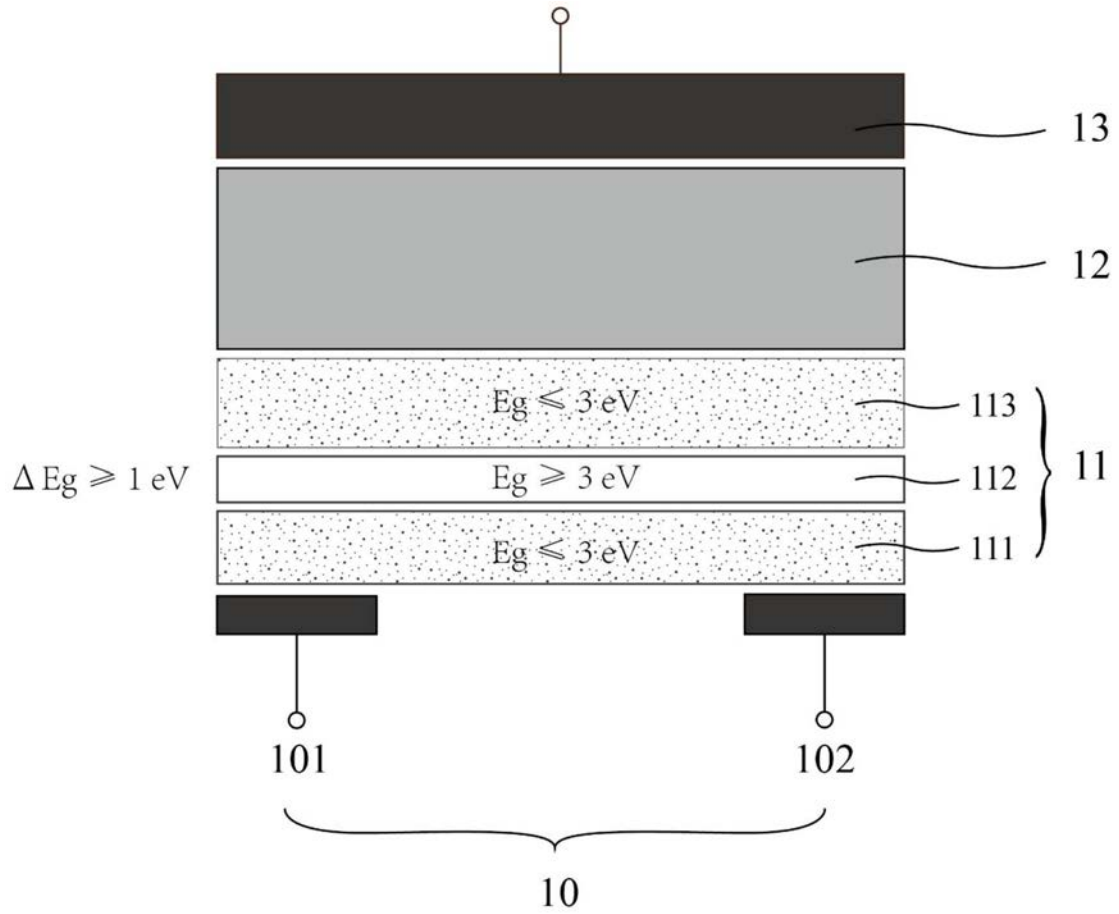


图1

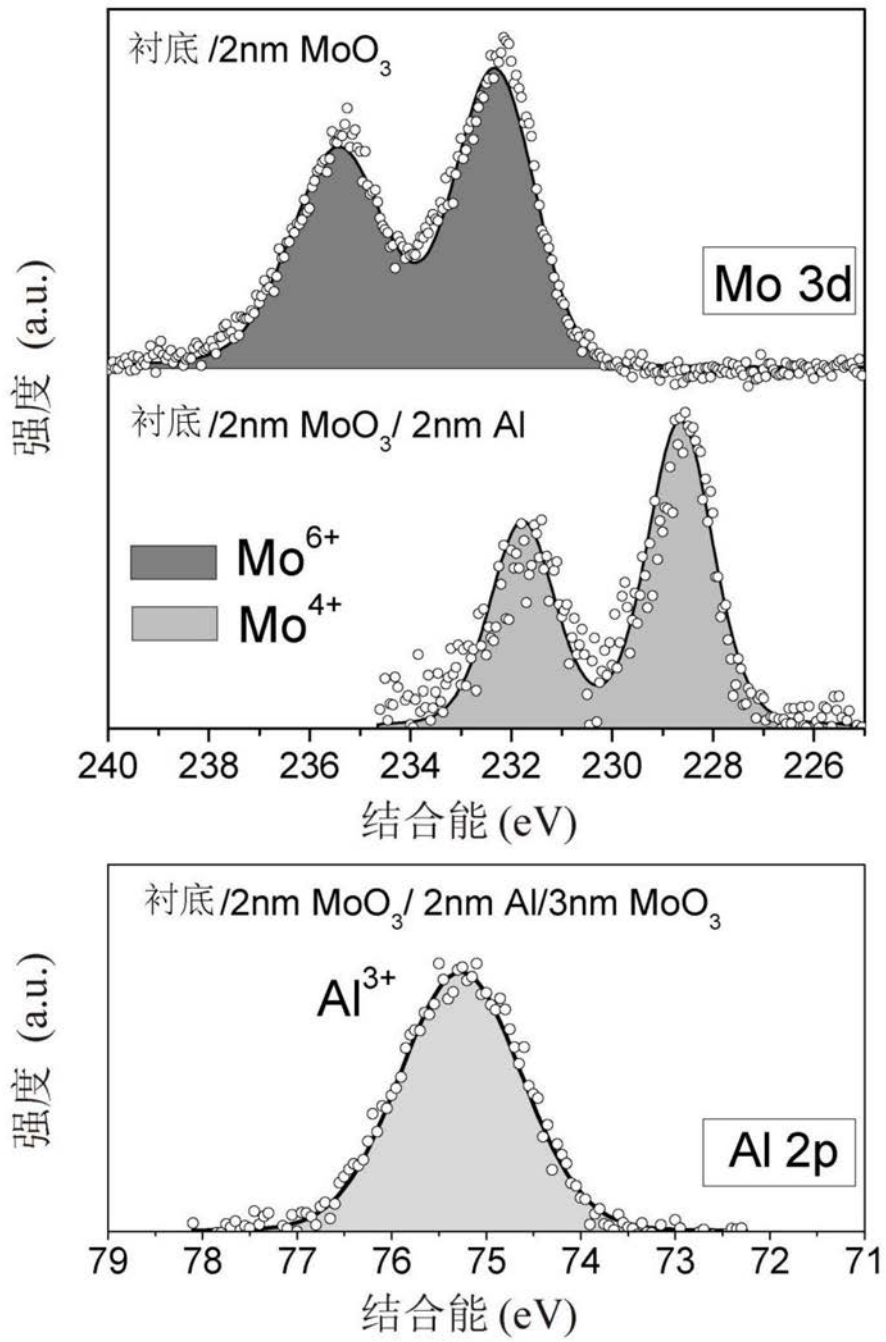


图2

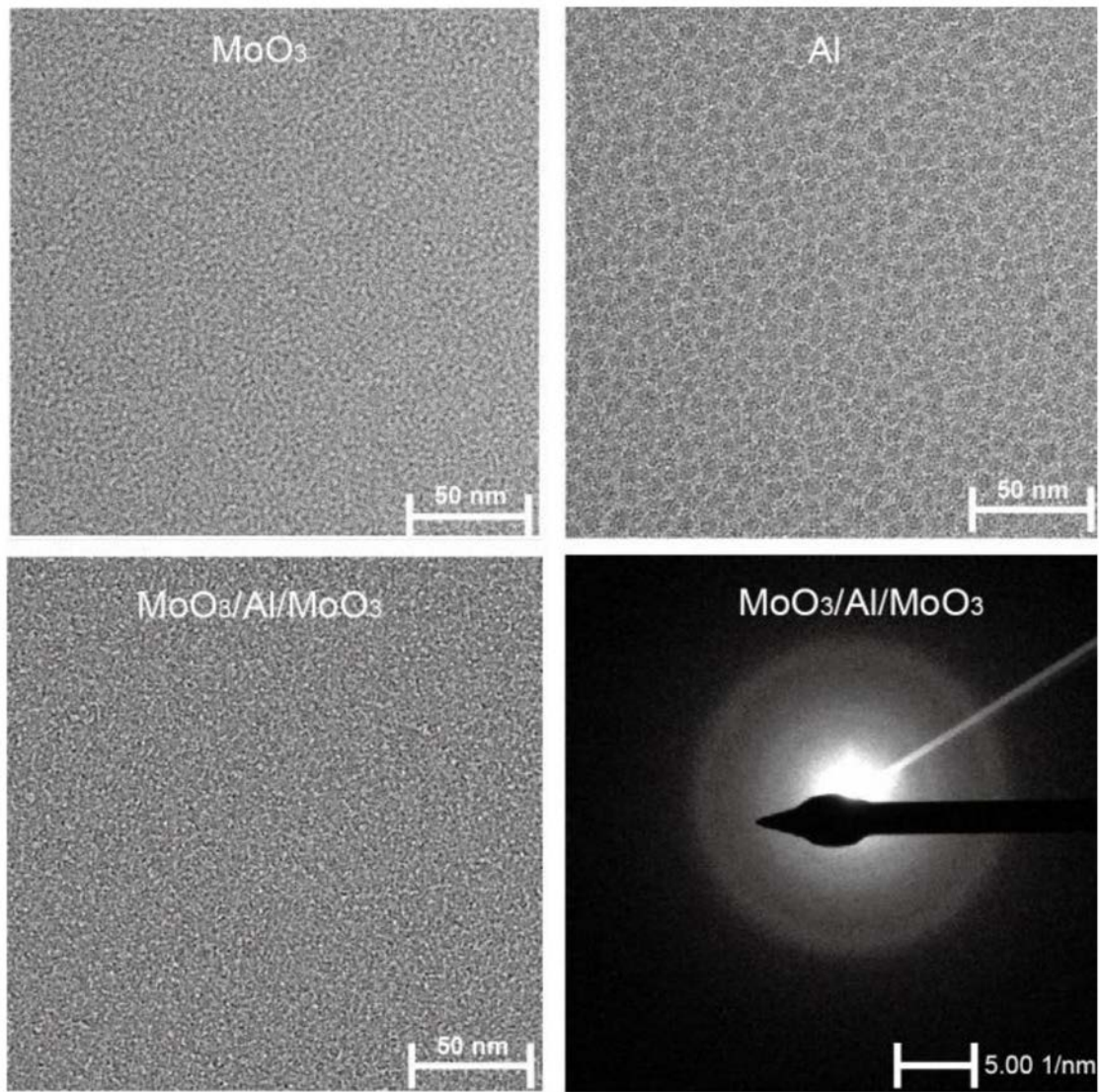


图3

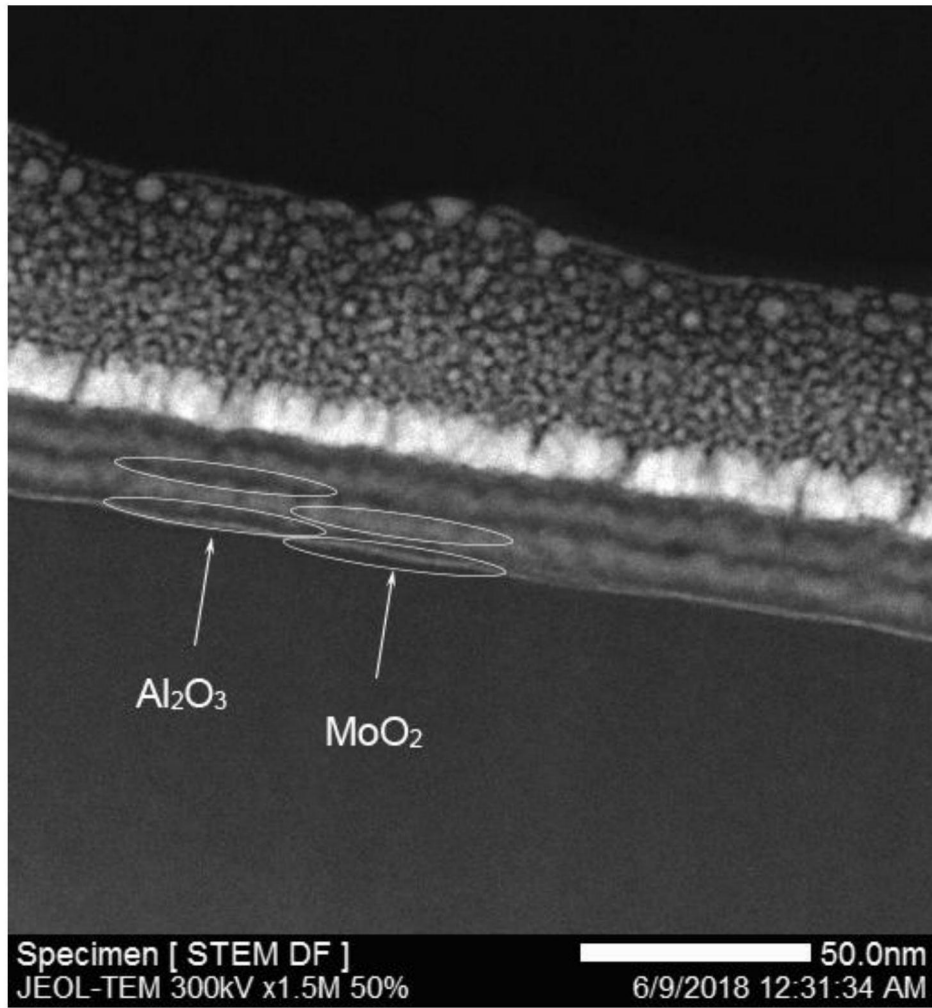


图4

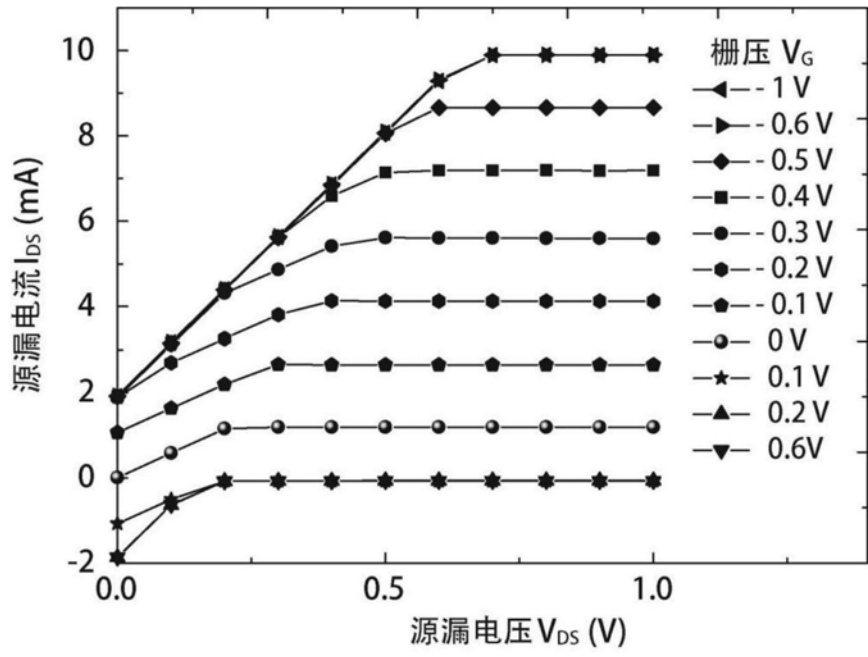


图5

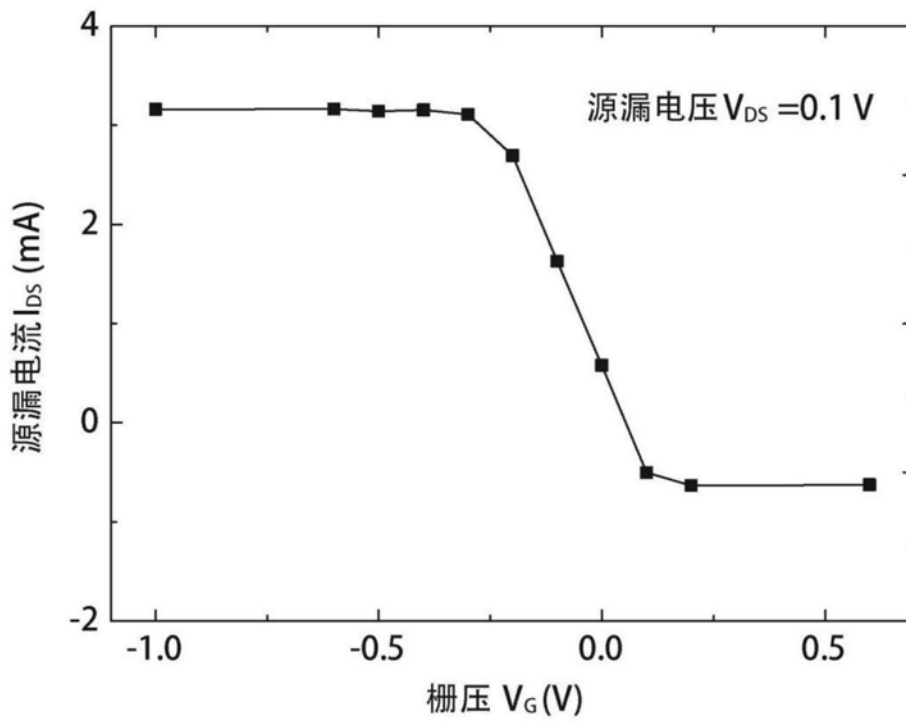


图6