

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 51/40 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03102064. X

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1282260C

[22] 申请日 2003.1.30 [21] 申请号 03102064. X

[71] 专利权人 中国科学院长春应用化学研究所
地址 130022 吉林省长春市人民大街 159 号

[72] 发明人 闫东航 张 坚 王 军 王海波
严铨俊

审查员 高 伟

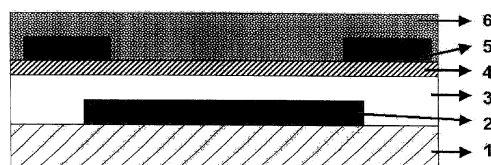
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 4 页

[54] 发明名称

含有栅绝缘层的异质结型有机半导体场效应晶体管及制作方法

[57] 摘要

一种具有耗尽型工作模式或反型工作模式的有机半导体场效应晶体管，包括衬底(1)，在衬底(1)上形成栅电极(2)，在衬底(1)和栅电极(2)上形成栅绝缘层(3)，在栅绝缘层(3)上形成第一半导体层(4)，在第一半导体层(4)上形成源/漏电极(5)，在第一半导体层(4)和源/漏电极栅(5)上形成第二半导体层(6)。



1、一种含有异质结的有机半导体场效应晶体管，包括衬底（1），栅电极（2）形成在衬底（1）上，栅绝缘层（3）形成在衬底（1）和栅电极（2）上，第一半导体层（4）形成在栅绝缘层（3）上，源/漏电极（5）形成在第一半导体层（4）上，第二半导体层（6）形成在第一半导体层（4）和源/漏电极（5）上。

2、按权利要求 1 所述场效应晶体管，其特征在于半导体材料是有机半导体材料或有机/无机杂化材料。

3、按权利要求 1 所述场效应晶体管，其特征在于所述的第一半导体层（4）或第二半导体层（6）材料是单一半导体材料。

4、按权利要求 2 所述场效应晶体管，其特征在于所述的第一半导体层（4）或第二半导体层（6）材料是两种或两种以上分子构成的混合、共晶或层状复合的半导体材料。

5、按权利要求 2 所述的场效应晶体管，其特征在于有机半导体有源层的载流子迁移率在 $10^{-3}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上。

6、按权利要求 3 所述的场效应晶体管，其特征在于所述的第一半导体层（4）或第二半导体层（6）分别由酞菁铜、酞菁镍、酞菁锌、酞菁钴、自由酞菁、酞菁氧酞、酞菁氧钒、氟代酞菁铜、氟代酞菁锌、氟代酞菁铁和氟代酞菁钴之一构成。

7、按权利要求 4 所述的场效应晶体管，其特征在于所述的第一半导体层（4）或第二半导体层（6）分别由酞菁铜、酞菁镍、酞菁锌、酞菁钴、自由酞菁、酞菁氧酞、酞菁氧钒、氟代酞菁铜、氟代酞菁锌、氟代酞菁铁和氟代酞菁钴中两种或两种以上材料构成。

8、一种含有异质结的有机半导体场效应晶体管的制作方法，包

括步骤：

- a. 在衬底上形成栅电极；
- b. 在衬底和栅电极上形成绝缘层；
- c. 在绝缘层上形成第一半导体层；
- d. 在第一半导体层上形成源/漏电极；
- e. 在源/漏电极和第一半导体层上形成第二半导体层。

含有栅绝缘层的异质结型有机半导体场效应晶体管及制作方法

5

技术领域

本发明涉及异质结型有机半导体场效应晶体管及其制作方法，特别涉及含有栅绝缘层的异质结型有机半导体场效应晶体管(Heterojunction FET)及其制作方法。

10

背景技术

近年来，有关有机半导体材料的研究异常活跃。有机场效应晶体管的性能已经超过非晶硅薄膜晶体管(a-Si:H TFT)的水平。特别是一些有机小分子齐聚物(如 Pentacene、Tetracene 等)的室温载流子迁移率已经超过 1 (平方厘米每伏每秒)。因此，有机场效应晶体管在柔性集成电路和有源矩阵显示等方面具有实际应用的潜力。现有有机半导体材料一般是高电阻性质的材料，采用有机半导体材料的现有场效应晶体管一般是累积型工作模式。此工作模式下，低栅电压时，场效应晶体管输出电流小，处于关态；高栅电压时，场效应晶体管输出电流大，处于开态。因此，
15 此类器件是一种适合经常处于关态工作模式的器件。而在实际应用中，还需要一类适合经常处于开态的耗尽型工作模式元件，来实现低功耗、性能稳定和结构简单的逻辑电路。中国发明专利 02129458.5 (申请号)描述了夹心型的有机场效应晶体管，提供了采用二种或二种以上有机半导体材料构成新型半导体的方法，采用这种方法可以有效提高有机场效应
20 晶体管的综合性能，特别是可以有效降低阈值电压。本发明提供了采用二种或二种以上有机半导体材料构成含有异质结的新型半导体的方法，采用中国发明专利 02129458.5 的器件构型，实现耗尽工作模式的器件，同时还能够实现超反型工作模式。

30 发明内容

本发明的目的是提供一种含有栅绝缘层的异质结型有机半导体场效应晶体管。

本发明的另一目的是提供一种制作场效应晶体管的方法。

为实现上述目的,根据本发明的一方面,场效应晶体管包括衬底1,栅电极2形成在衬底1上,栅绝缘层3形成在衬底1和栅电极2上,第一半导体层4形成在栅绝缘层3上,源/漏电极5形成在第一半导体层4上,第二半导体层6形成在第一半导体层4和源/漏电极栅5上。

根据本发明的另一方面,场效应晶体管的制作方法包括步骤:

- a. 在衬底上形成导电材料构成的栅电极;
- b. 在衬底和栅电极上形成绝缘层;
- c. 在绝缘层上形成第一半导体层;
- d. 在第一半导体层上形成源电极和漏电极;
- e. 在源电极、漏电极和第一半导体层上形成第二半导体层。

本发明的原理是采用两种或两种以上材料来共同构成有源半导体层,其特征是有源半导体层含有异质结。异质结的内建电场能够使高电阻的有机半导体材料构成的场效应晶体管有源层沟道处于导通状态,形成耗尽型工作模式的场效应晶体管。测试结果表明本发明场效应晶体管有机半导体有源层的载流子迁移率都在 $10^{-3}\text{cm}^2/\text{vs}$ 以上。

附图说明

图1是本发明场效应晶体管的实施例结构。

图2是本发明场效应晶体管实施例1中空穴耗尽型工作模式的输出特性曲线。

图3是本发明场效应晶体管实施例1中空穴累积型工作模式的输出特性曲线。

图4是本发明场效应晶体管实施例4中电子耗尽型工作模式的输出特性曲线。

图5是本发明场效应晶体管实施例4中空穴累积型工作模式的输出特性曲线。

具体实施方式

下面结合附图描述本发明。图 1 是本发明耗尽型场效应晶体管的结构，将导电材料层设置于衬底 1 上构成栅电极 2，绝缘材料设置于衬底和栅电极上构成栅绝缘层 3，半导体材料设置于栅绝缘层上构成第一半导体层 4，导电材料设置于第一半导体层上构成源/漏电极 5，半导体材料设置于第一半导体层 6 和源/漏电极栅 5 上与第一有源半导体层共同构成第二半导体层。

在本发明实施例 1 中，第一半导体层是采用现有 P 型半导体 CuPc，第二半导体层是采用现有 N 型半导体 $F_{16}CuPc$ 。在器件中，第一半导体层和第二半导体层相接触形成异质结，异质结的内建电场使有源半导体层在平面内的电导率明显提高，场效应晶体管的源漏电极电流在零栅压下达到微安级。施加正栅电压，降低了异质结的内建电场，源漏电极电流减小，进一步施加正栅电压使沟道断开，源漏电极电流处于关态，该场效应晶体管表现出典型的空穴耗尽型工作模式。施加负栅电压，增强了异质结的内建电场，源漏电极电流增加，进一步施加负栅电压，源漏电极电流处于饱和导通状态，该场效应晶体管表现出空穴增强型工作模式，是具有大电流输出性质的场效应晶体管器件。

在本发明实施例 2 中，第一有源半导体是采用现有 P 型半导体 H_2Pc 、CuPc、ZnPc、CoPc、NiPc 和 CuPc 复合构成，第二有源半导体层是采用现有 N 型半导体 $F_{16}CuPc$ 。器件具有空穴耗尽型工作模式。在本发明实施例 3 中，第一有源半导体是采用现有 P 型半导体 CuPc 层和 CuPc 与 ZnPc 共晶层共同构成，第二有源半导体层是采用现有 N 型半导体 $F_{16}CuPc$ 。器件具有空穴耗尽型工作模式。

在本发明实施例 4 中，第一有源半导体是采用现有 N 型半导体 $F_{16}CuPc$ ，第二有源半导体层是采用现有 P 型半导体 CuPc。在器件中，第一半导体层和第二半导体层相接触形成异质结，异质结的内建电场使有源半导体层在平面内的电导率明显提高，场效应晶体管的源漏电极电流在零栅压下达到微安级。施加负栅电压，降低了异质结的内建电场，源漏电极电流减小，进一步施加负栅电压使沟道断开，源漏电极电流处于关态，该场效应晶体管表现出典型的电子耗尽型工作模式。再进一步施加负栅电压到 -80V 时，源漏电流突然增加，该场效应晶体管表现出空穴

超反型工作模式。施加正栅电压，增强了异质结的内建电场，源漏电极电流增加，进一步施加正栅电压，源漏电极电流处于饱和导通状态，该场效应晶体管表现出电子增强型工作模式，是具有大电流输出性质的场效应晶体管器件。

5 下面通过实施例描述本发明的制作方法。

实施例 1:

所用酞箐铜(CuPc)、酞箐锌(ZnPc)、酞箐镍(NiPc)、酞箐钴(CoPc)、自由酞箐(H₂Pc)、酞箐氧钛(TiOPc)、酞箐氧钒(VOPc)和氟代酞箐铜(F16CuPc)是商业产品，经过升华纯化后使用。

10 在 7059 玻璃衬底或柔性塑料衬底 1 上用射频磁控溅射方法镀上一层金属 Ta 膜，厚度约 200 纳米，并光刻成栅极形状 2；在栅极上用直流磁控溅射方法反应溅射一层 Ta₂O₅ 作为栅绝缘层 3，厚度约 100 纳米；然后采用分子气相沉积方法制备第一半导体层 4，是酞箐铜、酞箐锌、酞箐镍、酞箐钴、自由酞箐、酞箐氧钛和酞箐氧钒中的一种，厚度约 30 纳米；接着制作 Au 的源电极和漏电极 5，厚度约 30 纳米；最后，分子气相沉积一层约 60 纳米第二有源层 6，是氟代酞箐铜。

酞箐铜和氟代酞箐铜场效应晶体管的空穴耗尽型工作模式的输出特性曲线见图 2，其饱和区的空穴载流子迁移率为 0.022cm²/V.s，阈值电压为 24V，开关电流比为 2x10²。酞箐铜和氟代酞箐铜场效应晶体管的空穴累积型工作模式的输出特性曲线见图 3。

20 表 1 列出有机半导体空穴耗尽型场效应晶体管的性质，其中迁移率和阈值电压是 V_G 为 0V 时的性质。

表 1

	半导体 4	半导体 6	空穴迁移率	阈值电压
			cm ² /V.s	V
5	酞箐铜(CuPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.022	26
	酞箐镍(NiPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.020	24
	酞箐锌(ZnPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.024	20
	酞箐钴(CoPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.009	18
	自由酞箐(H ₂ Pc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.018	35
10	酞箐氧钛(TiOPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.009	31
	酞箐氧钒(VOPc)	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	0.007	30

实施例 2:

实验所用酞箐铜(CuPc)、酞箐锌(ZnPc)、酞箐镍(NiPc)、酞箐钴(CoPc)、自由酞箐(H₂Pc)、酞箐氧钛(TiOPc)、酞箐氧钒(VOPc)和氟代酞箐铜(F₁₆CuPc)是商业产品，经过升华纯化后使用。

在 7059 玻璃衬底或柔性塑料衬底 1 上用射频磁控溅射方法镀上一层金属 Ta 膜，厚度约 200 纳米，并光刻成栅极形状 2；在栅极上用直流磁控溅射方法反应溅射一层 Ta₂O₅ 作为栅绝缘层 3，厚度约 100 纳米；然后采用分子气相沉积方法制备第一半导体层 4，是酞箐铜、酞箐锌、酞箐镍、酞箐钴、自由酞箐、酞箐氧钛和酞箐氧钒中的二种，厚度约 30 纳米；接着制作 Au 的源电极和漏电极 5，厚度约 30 纳米；最后，分子气相沉积一层约 60 纳米第二有源层 6，是氟代酞箐铜。

酞箐铜和酞箐锌为第一半导体层，氟代酞箐铜为第二半导体层，其场效应晶体管器件表现出空穴耗尽型工作模式，其饱和区的空穴载流子迁移率为 0.02cm²/V.s，阈值电压为 23V，开关电流比为 3x10²。

表 2 列出有机半导体空穴耗尽型场效应晶体管的性质，其中迁移率和阈值电压是 V_G 为 0V 时的性质。

表 2

	半导体 4	半导体 6	空穴迁移率	阈值电压
			cm ² /V.s	V
5	酞箐铜/酞箐镍	氟代酞箐铜	0.01	24
	酞箐铜/酞箐锌	氟代酞箐铜	0.02	23
	酞箐铜/酞箐钴	氟代酞箐铜	0.006	20
	酞箐铜/自由酞箐	氟代酞箐铜	0.005	30

10 **实施例 3:**

实验所用酞箐铜(CuPc)、酞箐锌(ZnPc)和氟代酞箐铜(F16CuPc)是商业产品，经过升华纯化后使用。

在 7059 玻璃衬底或柔性塑料衬底 1 上用射频磁控溅射方法镀上一层金属 Ta 膜，厚度约 200 纳米，并光刻成栅极形状 2；在栅极上用直流磁
15 控溅射方法反应溅射一层 Ta₂O₅ 作为栅绝缘层 3，厚度约 100 纳米；然后采用分子气相沉积方法制备 25 纳米厚酞箐铜，然后共沉积 5 纳米厚酞箐铜和酞箐锌，形成第一半导体层 4；接着制作 Au 的源电极和漏电极 5，厚度约 30 纳米；最后，分子气相沉积一层约 60 纳米第二有源层 6，是氟代酞箐铜。

20 该场效应晶体管器件表现出空穴耗尽型工作模式，其饱和区的空穴载流子迁移率为 0.02cm²/V.s，阈值电压为 32V，开关电流比为 3x10²。

实施例 4:

实验所用酞箐铜(CuPc)、氟代酞箐铜(F₁₆CuPc)、氟代酞箐锌(F₁₆ZnPc)、氟代酞箐铁(F₁₆FePc)和氟代酞箐钴(F₁₆CuCo)是商业产品，经过升华纯化
25 后使用。

在 7059 玻璃衬底或柔性塑料衬底 1 上用射频磁控溅射方法镀上一层金属 Ta 膜，厚度约 200 纳米，并光刻成栅极形状 2；在栅极上用直流磁
控溅射方法反应溅射一层 Ta₂O₅ 作为栅绝缘层 3，厚度约 100 纳米；然后采用分子气相沉积方法制备第一半导体层 4，是氟代酞箐铜，厚度约 30
30 纳米；接着制作 Au 的源电极和漏电极 5，厚度约 30 纳米；最后，分子

气相沉积一层约 60 纳米第二有源层 6，是酞箐铜。

氟代酞箐铜和酞箐铜场效应晶体管的电子耗尽型工作模式。其饱和区的电子载流子迁移率为 0.015cm²/V.s，阈值电压为-25V，开关电流比为 350。氟代酞箐铜和酞箐铜场效应晶体管的空穴累积型工作模式。当栅电
5 压达到-80V 时出现超反型空穴层。

表 3 列出有机半导体电子耗尽型场效应晶体管的性质，其中迁移率和阈值电压是 V_G 为 0V 时的性质。

表 3

10	半导体 4	半导体 6	电子迁移率	阈值电压
			cm ² /V.s	V
	氟代酞箐铜(F ₁₆ CuPc)	酞箐铜(CuPc)	0.015	-25
	氟代酞箐锌(F ₁₆ ZnPc)	酞箐铜(CuPc)	0.001	-21
	氟代酞箐铁(F ₁₆ FePc)	酞箐铜(CuPc)	0.004	-16
15	氟代酞箐钴(F ₁₆ CoPc)	酞箐铜(CuPc)	0.009	-18

本发明不限于上述各个实施例。一般来说，本专利所公开的场效应晶体管可以加工形成二维和三维的集成器件中的元件。这些集成器件可能应用在柔性集成电路、有源矩阵显示等方面。使用基于本发明的场效
20 应晶体管元件可以低温加工。加工本发明的场效应晶体管不限于传统的光刻工艺，也可以采用打印、印刷等加工方法。

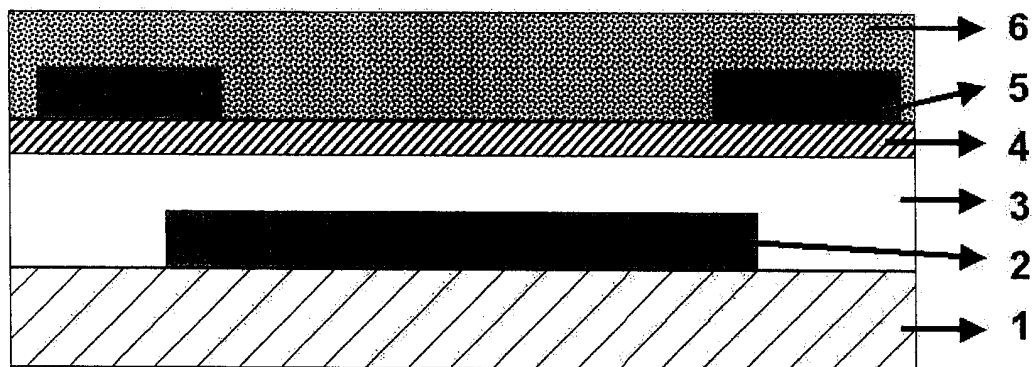


图 1

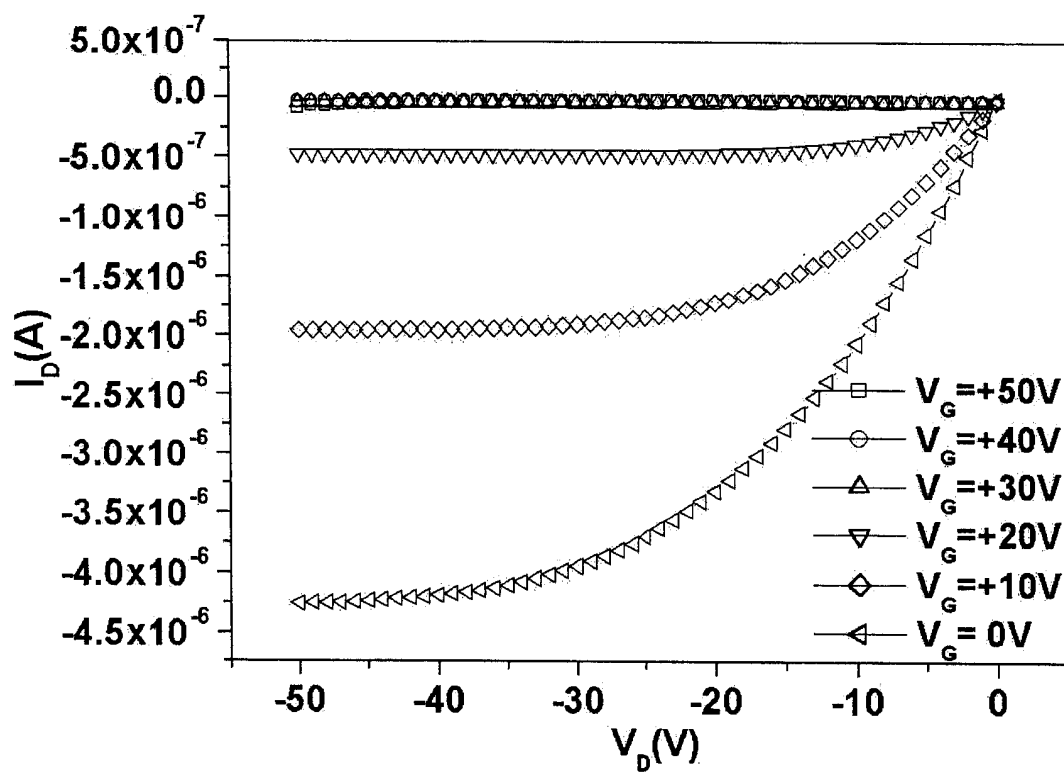


图 2

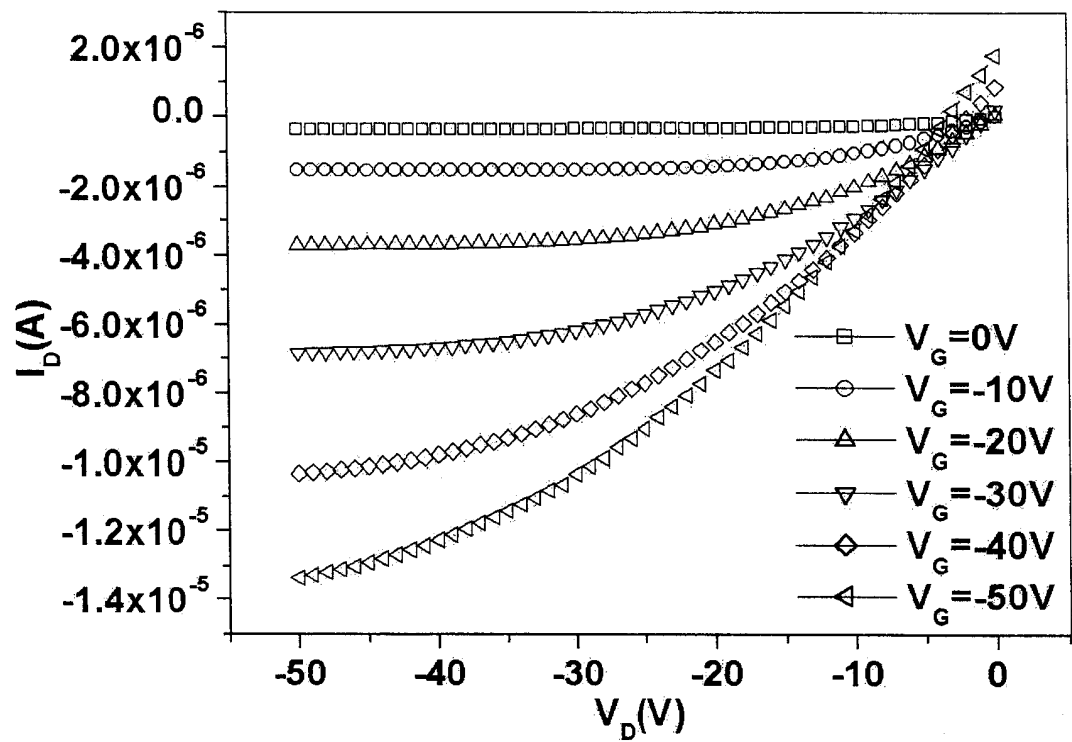


图 3

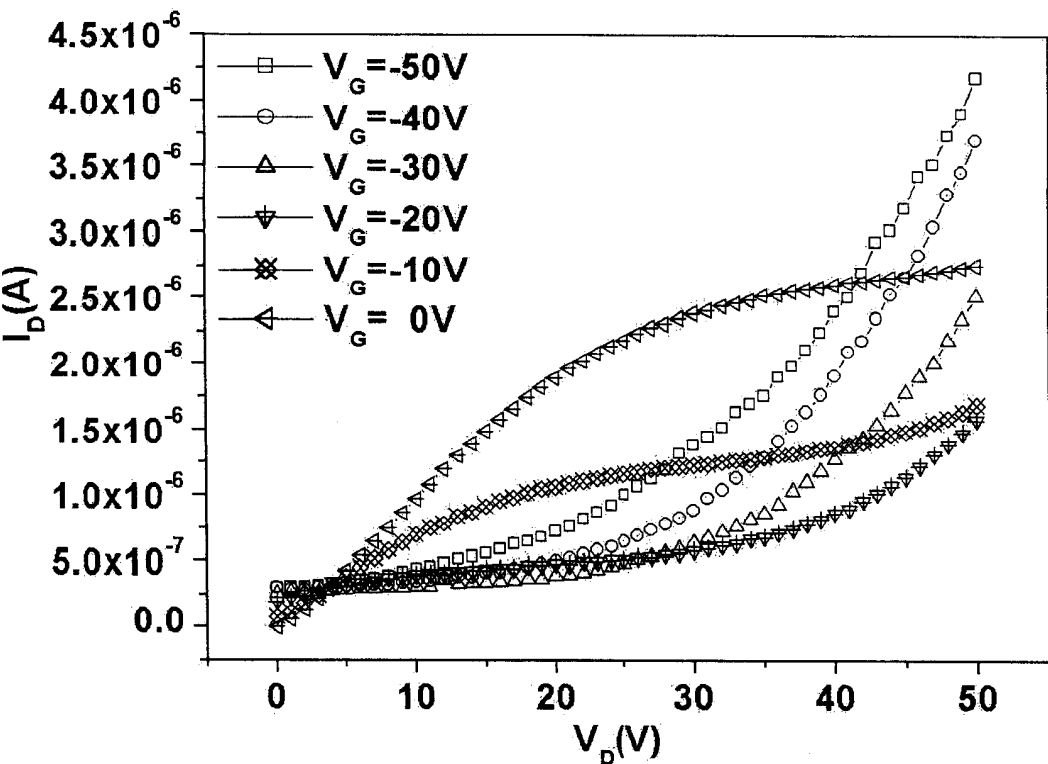


图 4

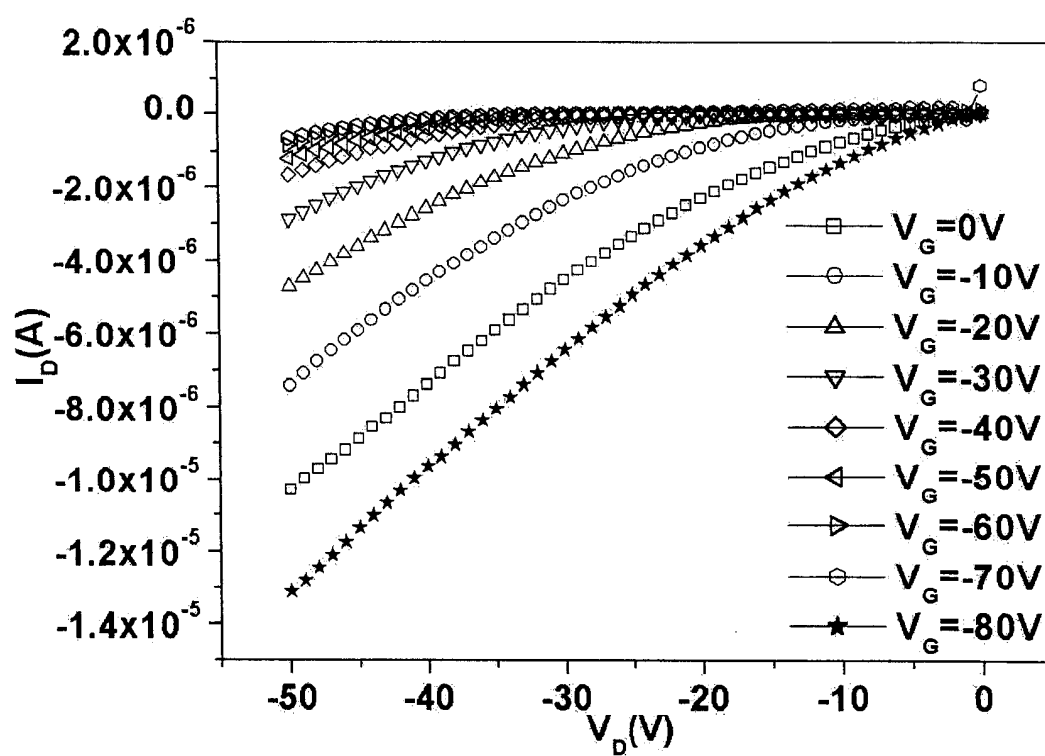


图 5