



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101383480 B

(45) 授权公告日 2010.06.09

(21) 申请号 200710121505.3

(22) 申请日 2007.09.07

(73) 专利权人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72) 发明人 李睿 胡晓东 徐科 代涛
陈伟华 胡成余 包魁 王彦杰
张国义

(74) 专利代理机构 北京君尚知识产权代理事务
所(普通合伙) 11200

代理人 贾晓玲

(51) Int. Cl.

H01S 5/00(2006.01)

H01L 21/00(2006.01)

H01L 21/28(2006.01)

(56) 对比文件

CN 2694475 Y, 2005.04.20, 全文.

US 6872982 B2, 2005.03.29, 全文.

审查员 胡涛

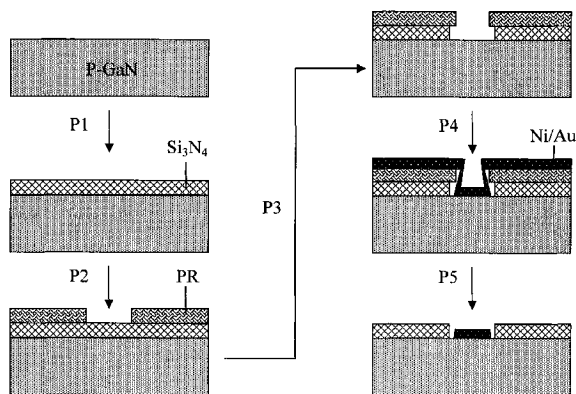
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种制备氮化镓基半导体激光器的P型电极的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种制备氮化镓基半导体激光器P型电极的方法,属于半导体激光器器件制备技术领域。该方法包括:在完成整个氮化镓基半导体激光器结构刻蚀后,P型和N型电极蒸镀前,将氮化镓基半导体激光器放入酸溶液中进行表面预处理;优化PECVD条件生长钝化层包裹整个激光器;在钝化层表面甩涂光刻胶,光刻P型电极窗口,并随后坚膜;采用湿法腐蚀或干法刻蚀加湿法腐蚀去除窗口区暴露的钝化层,然后保留原有光刻胶,烘干后直接电子束蒸镀P型Ni/Au电极;进行剥离,完成整个P型电极工艺。本发明尽可能地消除工艺流程中的不利因素对器件性能造成的影响,有效的提高了工艺可靠性及器件性能。



1. 一种制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其步骤包括:

1) 在完成整个 GaN 基半导体激光器结构刻蚀后,P 型电极和 N 型电极蒸镀前,将 GaN 基半导体激光器放入酸溶液中预处理;

2) 由 PECVD 生长钝化层包裹整个 GaN 基半导体激光器;

3) 在钝化层表面甩涂光刻胶,光刻 P 型电极窗口,并随后坚膜;

4) 进行湿法腐蚀,或先干法刻蚀去除大部分钝化层后,再进行湿法腐蚀,完全去除窗口区暴露的钝化层;

5) 完成以上步骤后,保留原有光刻胶,烘干后直接电子束蒸镀 P 型 Ni/Au 电极;

6) 进行剥离,完成整个 P 型电极工艺;

其中,步骤 4 中所述湿法腐蚀为在 BOE 中过腐蚀。

2. 如权利要求 1 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:步骤 1 所使用的酸溶液为 HCl、BOE 或 HF。

3. 如权利要求 1 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:步骤 2 中如生长二氧化硅钝化层,在 PECVD 生长钝化层时,反应气体为硅烷和一氧化二氮。

4. 如权利要求 3 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:在 PECVD 生长钝化层时,在反应气氛中加入稀释气体,该稀释气体为惰性气体。

5. 如权利要求 1 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:步骤 2 中如生长氮化硅钝化层,在 PECVD 生长钝化层时,反应气体为硅烷、氮气和氨气。

6. 如权利要求 5 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:在 PECVD 生长钝化层时,反应气氛中的氨气被氮气替代。

7. 如权利要求 1 所述的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,其特征在于:步骤 4 中所述干法刻蚀为反应离子刻蚀法或电感耦合等离子刻蚀法,刻蚀气体中不含有氧气。

一种制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法

技术领域

[0001] 本发明属于半导体激光器器件制备技术领域,具体涉及一种制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法。

背景技术

[0002] 当前信息产业发展迅速,朝着器件微型化,传输高速度,存储高密度方向发展。然而,衍射极限(聚焦光斑最小尺度约为波长的四分之一)决定着存储密度极限,进一步提高存储密度的唯一途径就是采用波长更短的直接带隙半导体材料。

[0003] 氮化镓(GaN)基半导体材料具有比传统砷化镓(GaAs)基半导体材料更大的禁带能隙,其发光波长更短,是现今最具有发展潜力和应用前景的微光电器件材料。以 GaN 基材料制作的半导体激光器可以将现有红光 DVD 的存储密度提高 4-6 倍以上,是下一代光存储标准的基本光源。

[0004] 典型的 GaN 条型及脊型半导体激光器结构都具有钝化层,如附图 1 和图 2 所示。钝化层主要由具有较高介电常数的薄膜(如 SiO_2 , Si_3N_4) 构成,包裹除 P 型和 N 型电极以外的激光器结构表面,以减少侧向漏电和避免击穿。由于其成膜一般采用沉积方式,如等离子增强化学气相沉积(PECVD),化学气相沉积(CVD)等。在工艺上不可避免地带来电极窗口开启及电极制备的问题。且考虑到 GaN 基材料有别于传统的 GaAs 基材料,有其自身的生长特点和材料特性。GaN 半导体激光器的制备工艺相比 GaAs 半导体激光器也有特别之处。从 P 型电极的角度来讲,由于 P 型光限制层的横向电阻远小于纵向电阻,因此易引发高阶横向模式,阈值电流密度较高($10\text{kA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 量级)。为了降低电流横向扩展带来的高阈值电流,P 型电极宽度相对于其长度(几百 μm 以上)小,通常为 2-10 μm 。因此, GaN 基半导体激光器的 P 型电极工艺对光刻和剥离提出了很高要求。

[0005] 目前,电极窗口开启通常采用光刻掩膜后,BOE(缓冲 HF)溶液湿法腐蚀;或是反应离子刻蚀(RIE)、电感耦合等离子刻蚀(ICP)干法刻蚀,电极的制备则采用光刻电极图形,电子束蒸镀(E-beam)电极金属,随后剥离(LIFT OFF)的方法;或是直接蒸镀电极金属,然后光刻电极图形,利用湿法或是干法去除电极以外的多余部分,采用上述方法制备 GaN 基半导体激光器的 P 型电极存在如下优缺点:

[0006] 1) 电极窗口开启:

[0007] 光刻掩膜后,采用 BOE 溶液湿法腐蚀;或反应离子刻蚀(RIE)、电感耦合等离子刻蚀(ICP)干法刻蚀方法中,干法刻蚀存在高能等离子的轰击作用,若电极先于钝化层蒸镀在 P 型 GaN 表面的情况下,直接采用此法容易对 P 型 GaN 层和 P 型电极材料(Ni/Au)产生损伤。但是,干法是各向异性的,光刻窗口图形向钝化层转移的效果很好。

[0008] 湿法腐蚀由于腐蚀是相对各向同性的,对于一般的 SiO_2 , Si_3N_4 会带来明显的侧向钻蚀的问题。这使得光刻掩膜图形向钝化层转移过程中,易造成窗口边缘不整齐,窗口宽度大于光刻图形的宽度。尤其在脊型结构中,侧向钻蚀易造成脊两侧的钝化层被腐蚀,使得器件在工作条件下极易被击穿。另外, Ni 不耐酸溶液腐蚀, P 型电极 Ni/Au 的厚度很薄(约

几十 nm), 宽度很窄 (2-10 μm), 若电极先于钝化层蒸镀在 P 型 GaN 表面的情况下, 直接采用 BOE 腐蚀开启窗口, 电极容易剥落。

[0009] 然而湿法腐蚀溶液 (BOE) 在处理 P 型 GaN 表面方面, 可有效改善表面接触电阻, 而且 BOE 对不同化学成分的 SiO_2 , Si_3N_4 的腐蚀速率存在巨大差异。

[0010] 2) 电极的制备:

[0011] 采用直接蒸镀, 然后光刻电极图形, 利用湿法或干法去除电极以外的多余部分。然而对于 Ni/Au 来讲, 将它们大面积湿法去除干净是十分困难的, 而且 Ni/Au 也是极难干法去除的金属, 都会对后续刻蚀形貌造成极为不利的影晌。采用这种方法, 钝化层是后于电极蒸镀的, 窗口开启时存在与电极对准误差和电极损伤剥落的问题。

[0012] 或是采用光刻电极图形, 电子束蒸镀 (E-beam) 电极金属, 随后剥离 (Lift-off)。但其剥离的好坏直接受到光刻质量的影响, 如果光刻胶图形边缘陡直, 乃至形成理想的悬垂形貌, 那么剥离才会容易, 金属电极图形转移的质量高。但不论是钝化层是先于还是后于电极蒸镀, 都存在窗口与电极对准误差, 光刻胶显影不净, 污染 P 型 GaN 表面的问题。

[0013] 因此, 如何合理地安排工艺流程, 选用各步骤中适宜的实现方法, 对于提高工艺可靠性和器件性能有至关重要的影响。

发明内容

[0014] 针对上述 GaN 基半导体激光器 P 型电极制备方法所存在的问题, 为了提高工艺可靠性及器件性能, 本发明提出了一种制备 GaN 基半导体激光器的 P 型电极的方法。

[0015] 一种制备 GaN 基半导体激光器的 P 型电极的方法, 其步骤包括:

[0016] 1) 在完成整个 GaN 基半导体激光器结构刻蚀后, P 型和 N 型电极蒸镀前, 将 GaN 基半导体激光器放入酸溶液中预处理;

[0017] 2) 由 PECVD 生长钝化层包裹整个激光器;

[0018] 3) 在钝化层表面甩涂上光刻胶, 光刻 P 型电极窗口, 并随后坚膜;

[0019] 4) 进行湿法腐蚀, 或先干法刻蚀去除大部分钝化层再进行湿法腐蚀, 完全去除窗口区暴露的钝化层;

[0020] 5) 完成以上步骤后, 保留原有光刻胶, 烘干后直接电子束蒸镀 (E-beam) P 型 Ni/Au 电极;

[0021] 6) 进行剥离 (Lift-Off), 完成整个 P 型电极工艺。

[0022] 步骤 1 中所使用的酸溶液为 HCl, BOE 或 HF。

[0023] 步骤 2 中如钝化层为二氧化硅 (SiO_2), PECVD 生长钝化层时, 反应气体为硅烷 (SiH_4) 和一氧化二氮 (N_2O)。在反应气氛中加入稀释气体, 该稀释气体为惰性气体 (He, Ar)。

[0024] 步骤 2 中如钝化层为氮化硅 (Si_3N_4), PECVD 生长钝化层时, 反应气体为硅烷 (SiH_4)、氮气 (N_2) 和氨气 (NH_3)。在反应气氛中加入稀释气体, 该稀释气体为氮气 (N_2) 和惰性气体 (He, Ar), 其中氨气 (NH_3) 可完全被氮气 (N_2) 替代。惰性气体的流量可根据实际要求而定, 也可不加。

[0025] 步骤 4 中所述干法刻蚀为氟基气体 RIE 或 ICP 刻蚀, 湿法腐蚀是在 BOE 中过腐蚀。

[0026] 本发明的技术优点在于:

[0027] 1) 电极窗口开启和电极蒸镀只采用一次光刻定义, 避免传统套刻工艺由于光刻精

度误差带来的电极窗口和电极错位问题,工艺简单,成功率高。

[0028] 2) 由于P型Ga₂N生长过程中反应气中的氢易使Mg掺杂钝化,使得其载流子浓度比较低(10^{16} - 10^{17} cm⁻²),所以P型欧姆接触一般由具有较高功函数的金属,如Ni/Au。为了保证形成合金电极,金属与半导体表面之间要良好接触,本发明采用酸溶液(诸如HCl,BOE,HF)表面预处理和钝化层湿法过腐蚀(BOE)表面处理相结合,可降低P型电极和P型氮化镓表面接触电阻。同时采用湿法腐蚀最终去除窗口区钝化层,可避免光刻显影不净造成的较高表面接触电阻,且利用湿法腐蚀的侧向特性形成悬垂形貌有利于电极剥离。

[0029] 3) 通过调整PECVD气体组分可获得对钝化层湿法腐蚀速率的控制。

附图说明

[0030] 图1是氮化镓条型半导体激光器纵剖面构造图;

[0031] 图2是氮化镓脊型半导体激光器纵剖面构造图;

[0032] 其中,1-P型电极,2-P型氮化镓,3-钝化层,4-N型电极,5-Mesa,6-Ridge;

[0033] 图3是P型电极工艺流程图;其中,

[0034] P1-PECVD生长Si₃N₄或SiO₂,P2-光刻P型电极窗口,P3-开启P型电极窗口,P4-电子束蒸镀P型Ni/Au电极,P5-剥离(Lift-off);

[0035] 图4是氮化镓条型半导体激光器P型电极SEM像;

[0036] 图5是氮化镓脊型半导体激光器P型电极SEM像;

[0037] 图6是采用本专利工艺流程和先前工艺流程的Ga₂N激光器I-V特性比较。

具体实施方式

[0038] 以下结合附图详细描述本发明所提供的制备氮化镓基半导体激光器的P型电极的方法,但不构成对本发明的限制。

[0039] 本发明首先完成Ga₂N条型半导体激光器Mesa刻蚀或脊型半导体激光器Mesa和Ridge刻蚀,随后,将Ga₂N激光器基片放入酸溶液中进行预处理,在P型和N型电极蒸镀前,采用PECVD沉积SiO₂或Si₃N₄。由于PECVD本身的成膜机制的限制,一般条件下所生成的SiO₂,Si₃N₄中往往含有较多的氢,在BOE中腐蚀速度较快、不易控制。特别对于脊型激光器的突起形貌,湿法腐蚀普通的SiO₂,Si₃N₄钝化层,易造成脊两侧裸露。因此,必须改变PECVD反应气体的气份,如生成SiO₂时加入He等惰性气体稀释;生成Si₃N₄时,增加N₂比例和加入He等惰性气体稀释等手段获得腐蚀速率较慢的钝化层。之后,在钝化层表面甩涂光刻胶,其胶厚取决于干法刻蚀条件,需留有足够厚度的光刻胶用于剥离,同时要兼顾到光刻的分辨率。光刻窗口图形,曝光,显影,并随后在热板上坚膜,提高光刻胶的抗腐蚀性。

[0040] 随后,去除钝化层,包括在BOE中进行较长时间的过腐蚀,比较适合具有平坦形貌的条型Ga₂N半导体激光器结构,但钝化层在BOE中的速率不宜过慢,以免发生严重的侧向钻蚀;或选用干法和湿法相结合,即先使用干法(RIE/ICP)刻蚀去除窗口区的大部分钝化层,然后再进行湿法腐蚀,但须注意干法刻蚀时,气体中不能有O₂,否则光刻胶掩膜消耗得很快,光刻胶与钝化层选择比降低,窗口边缘陡直度变差。该方法比较适合具有突起形貌的脊型Ga₂N半导体激光器结构,也同样适用于条型结构。

[0041] 最后,取出放置于热板烘干,使用E-beam进行P型电极蒸镀,在丙酮溶液中剥离

(Lift-Off)。用异丙醇和去离子水清洗,氮气吹干。

[0042] 本发明的实例一:

[0043] 如图 1 所示,完成 GaN 条型半导体激光器 Mesa 刻蚀、酸溶液预处理后,在图 3 所示工艺流程中,通过 PECVD($\text{SiH}_4 = 3\text{sccm}$, $\text{N}_2\text{O} = 100\text{sccm}$, $\text{He} = 100\text{sccm}$, 66Pa , 350°C , 120w , 16min) 生长 SiO_2 钝化层,然后甩上厚度大约 $1.5\mu\text{m}$ 左右的光刻胶,曝光,显影,用热板在 120°C 下坚膜约 2min 。而后在 25°C 的 BOE 中腐蚀 SiO_2 大约 12min ,取出后于 120°C 热板烘干约 2min ,后用 E-beam 进行 P 型电极蒸镀,随后进行在丙酮溶液中剥离 (Lift-Off)。最后用异丙醇和去离子水清洗。效果见图 4。

[0044] 本发明的实例二:

[0045] 如图 2 所示,完成 GaN 脊型半导体激光器 Mesa 和 Ridge 刻蚀、酸溶液预处理后。由于突起的形貌,宜选用优化条件生长的 Si_3N_4 。在图 3 所示工艺流程中,通过 PECVD($\text{SiH}_4 = 4\text{sccm}$, $\text{N}_2 = 150\text{sccm}$, 70Pa , 300°C , 300w , 14min) 生长 Si_3N_4 钝化层,然后甩上厚度大约 $1.5\mu\text{m}$ 左右的光刻胶,曝光,显影,用热板在 120°C 下坚膜约 2min 。干法 RIE($\text{SF}_6 = 15\text{sccm}$, 2Pa , 40W) 刻蚀去窗口区的大部分 Si_3N_4 ,而后在 25°C 的 BOE 中过腐蚀余下的 Si_3N_4 约 10min ,取出后于 120°C 烘干约 2min ,后用 E-beam 进行 P 型电极蒸镀,随后进行在丙酮溶液中剥离 (LIFT OFF)。最后用异丙醇和去离子水清洗。效果见图 5。

[0046] 如图 4、图 5 所示,窗口区中电极宽度明显略小于钝化层的宽度;钝化层有侧向腐蚀形成的倾斜边缘,但是侧向展宽很小,都说明形成了理想的悬垂形貌。电极位于窗口位置的正中,没有出现错位的现象,电极剥离 (LIFT OFF) 得干净整齐。特别对于脊型结构,脊两侧钝化层完整;没有发生钝化层生长工艺调整前,湿法直接开启窗口,脊两侧未被钝化层包裹的情况。

[0047] 另外,对比先前工艺得到的样品的 I-V 特性,采用上述工艺的样品电阻比较低,可见 BOE 表面处理有利于获得更好的欧姆接触,对于降低表面接触电阻的效果是显著的。特别是反向 I-V 特性,参考图 6,采用上述工艺流程的样品的漏电流整体上比先前工艺流程的样品要低一个数量级,充分印证了前面电镜的观察结果。说明采用本专利工艺流程获得样品具有较好的表面钝化,有效抑制了表面的漏电通道。

[0048] 以上通过详细实施例描述了本发明所提供的制备氮化镓基半导体激光器的 P 型电极的方法,本领域的技术人员应当理解,在不脱离本发明实质的范围内,可以对本发明做一定的变形或修改;其制备方法也不限于实施例中所公开的内容。

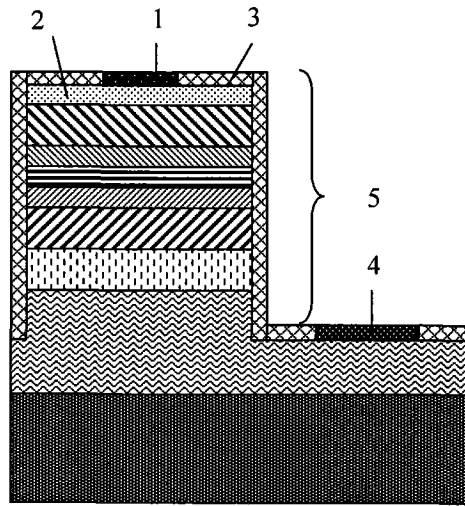


图1

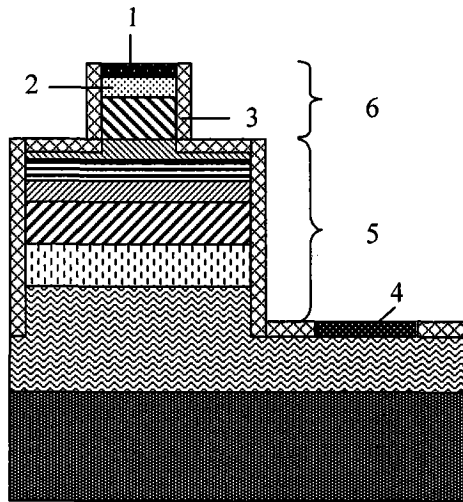


图2

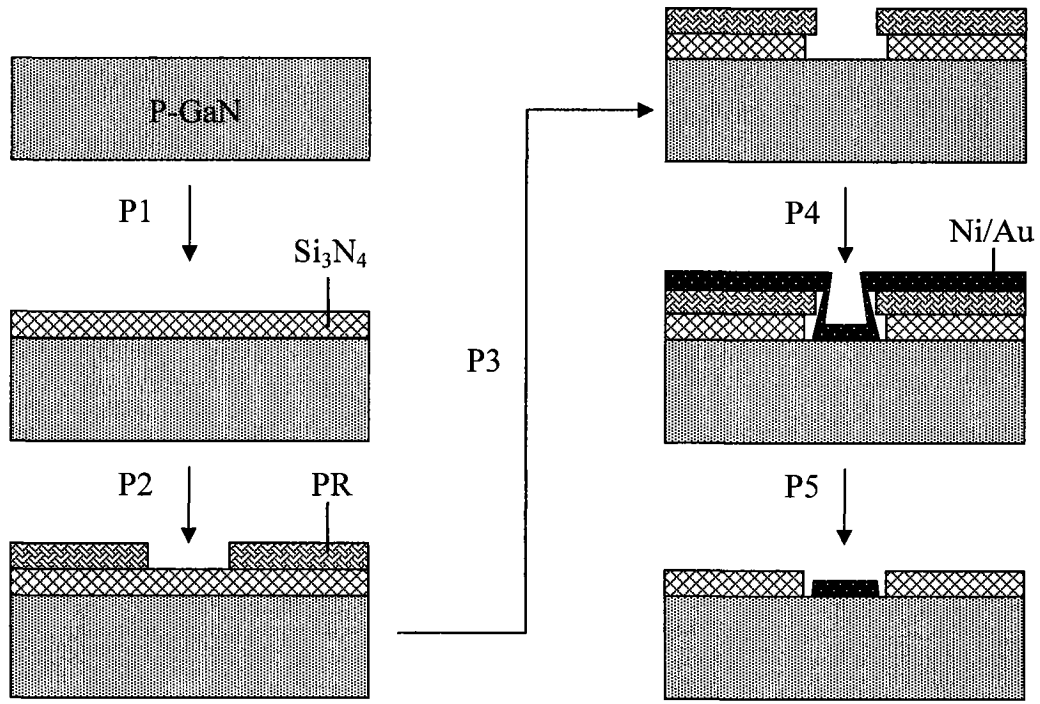


图3

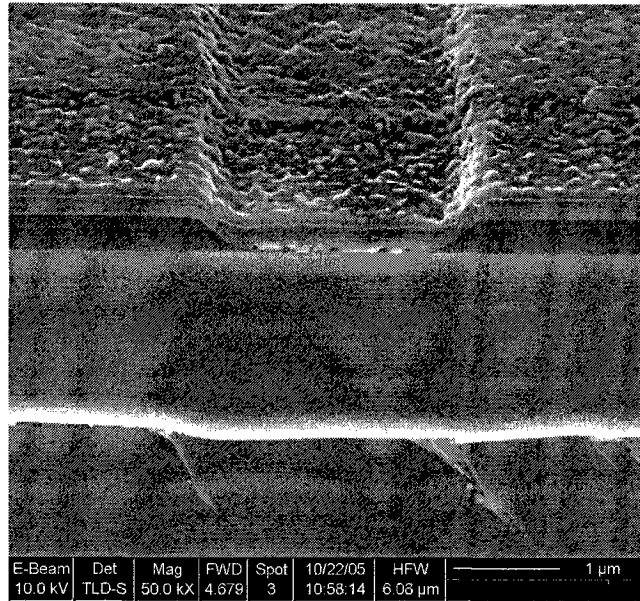


图4

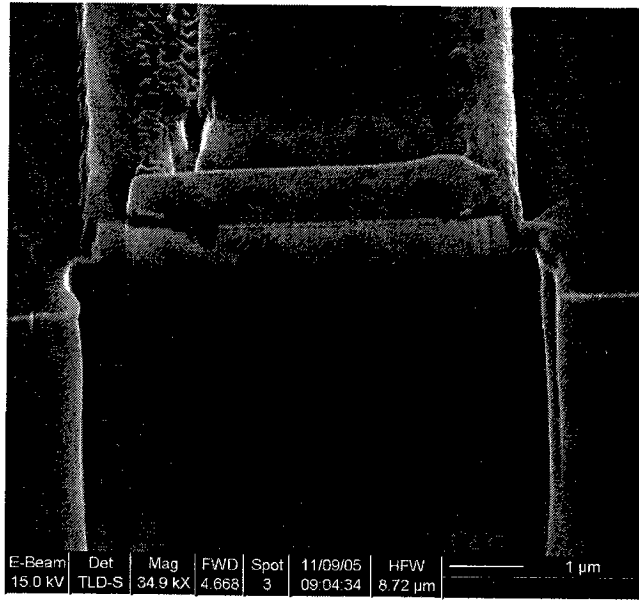


图 5

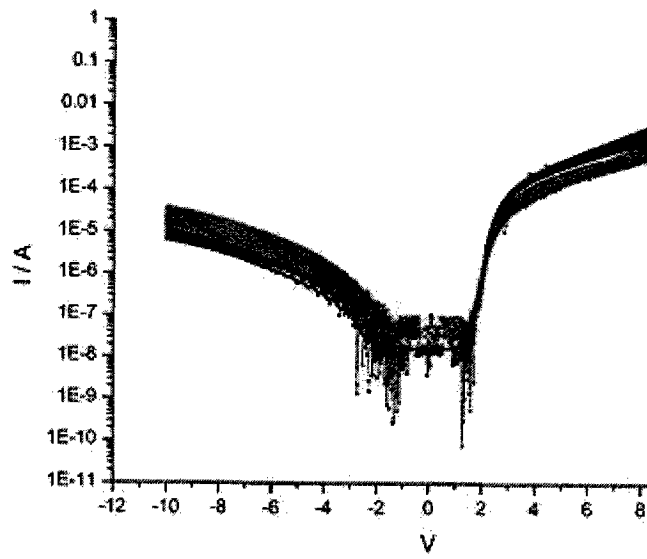


图 6