



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110061109 B

(45) 授权公告日 2020.10.30

(21) 申请号 201910342832.4

H01S 5/183 (2006.01)

(22) 申请日 2019.04.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106848016 A, 2017.06.13

申请公布号 CN 110061109 A

CN 107895690 A, 2018.04.10

(43) 申请公布日 2019.07.26

WO 2011094391 A1, 2011.08.04

(73) 专利权人 山东大学

审查员 马泽宇

地址 250199 山东省济南市历城区山大南路27号

(72) 发明人 张宇 魏斌

(74) 专利代理机构 济南金迪知识产权代理有限公司 37219

代理人 赵龙群

(51) Int. Cl.

H01L 33/10 (2010.01)

H01L 33/46 (2010.01)

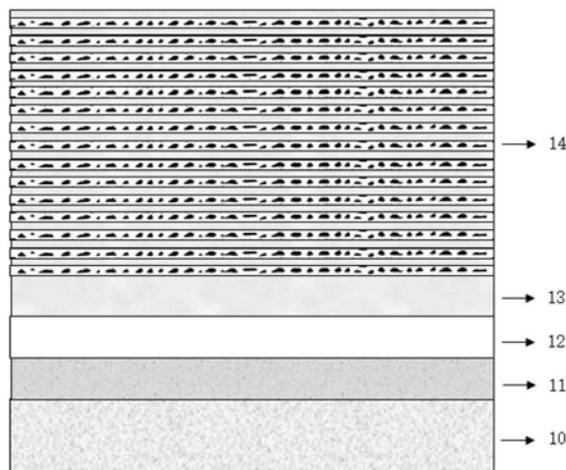
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种多孔GaN导电DBR及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种多孔GaN导电DBR及其制备方法,包括自下而上依次生长的衬底、缓冲层、非故意掺杂GaN层、n型故意掺杂氮化镓层和多孔GaN导电DBR层;所述多孔GaN导电DBR层由高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层交替堆叠形成。本发明不存在晶格失配问题,结构稳定,且多孔GaN导电DBR层具有高反射率、导电性好、中心波长可调的特点。



1. 一种多孔GaN导电DBR,其特征在于,包括自下而上依次生长的衬底、缓冲层、非故意掺杂GaN层、n型故意掺杂氮化镓层和多孔GaN导电DBR层;

所述多孔GaN导电DBR层由高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层交替堆叠形成;

所述多孔GaN导电DBR层包括5对以上交替堆叠的高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层,高孔洞率多孔GaN层的孔洞率为30%以上,低孔洞率多孔GaN层的孔洞率为20%;

所述高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层为分别采用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层进行腐蚀得到,所述n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层的掺杂剂为硅或锗;

上述多孔GaN导电DBR的制备方法,包括以下步骤:

(1) 在衬底上生长缓冲层和非故意掺杂GaN层;

(2) 在非故意掺杂GaN层上生长n型掺杂GaN层;

(3) 在n型掺杂GaN层上生长5对以上交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层;

(4) 利用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型轻掺杂GaN层与n型重掺杂GaN层进行纵向腐蚀,形成高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率GaN层交叠的多周期多孔GaN导电DBR。

2. 根据权利要求1所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,所述n型掺杂GaN层的掺杂剂为硅或锗,掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

3. 根据权利要求1所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,所述多孔GaN导电DBR层的孔径为1nm~300nm。

4. 根据权利要求1所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,所述缓冲层为非故意掺杂GaN或AlN。

5. 根据权利要求1所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,所述衬底为蓝宝石、硅、碳化硅或玻璃,衬底的结构为平面或图形。

6. 根据权利要求1所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,步骤(4)中采用选择性电化学腐蚀溶液进行腐蚀,所述选择性电化学腐蚀溶液为弱酸、弱碱或中性盐溶液。

7. 根据权利要求6所述的多孔GaN导电DBR,其特征在于,选择性电化学腐蚀溶液为氢氧化钠、盐酸、氯化钠或硝酸钠。

## 一种多孔GaN导电DBR及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种多孔GaN导电DBR及其制备方法,属于光电技术领域。

### 背景技术

[0002] 三族氮化物宽禁带半导体材料由于其禁带宽度大、可覆盖从红外到紫外波段、击穿场强大、耐高温、耐酸碱等独特的物理特性在照明、显示和医疗等光电子和电力电子领域得到广泛的应用。随着氮化镓材料和器件的研究的不断深入,氮化镓光电子器件必将应用到更多的光电领域,如高端照明、光通讯、激光显示等。因此,通过深入研究制备的高反射率导电DBR的结构设计开发出一种简单、低成本的技术具有重要的科学意义和应用价值。

[0003] 对于AlN/GaN系的氮化物DBR,AlGa<sub>n</sub>N/GaN DBR结构由于晶格不匹配引起的应力将造成DBR开裂,同时AlGa<sub>n</sub>N材料导电性比较差,影响器件的光电性能。AlInN/GaN DBR中虽然可通过调整Al和In比例使AlInN与GaN晶格匹配,但由于AlInN的生长速度较慢,而AlGa<sub>n</sub>N、AlInN和GaN折射系数比较接近,往往需要几十对1/4λ厚度AlGa<sub>n</sub>N/GaN,需要很长的生长时间,因此DBR生长程序复杂,条件苛刻且重复率不高。

[0004] 通过电选择性电化学刻蚀技术刻蚀导电的Ga<sub>n</sub>N层从而制备的Ga<sub>n</sub>N/Air结构DBR,最高反射率均在50%以上,但Ga<sub>n</sub>N/Air结构DBR结构不稳定、不导电。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种多孔GaN导电DBR及其制备方法,不存在晶格失配问题,结构稳定,且多孔GaN导电DBR层具有高反射率、导电性好、中心波长可调的特点。

[0006] 术语解释:

[0007] DBR(distributed Bragg reflection)又叫分布式布拉格反射镜,由两种不同折射率的材料以ABAB的方式交替排列组成的周期结构,每层材料的光学厚度为中心反射波长的1/4。

[0008] 本发明采用以下技术方案:

[0009] 一种多孔GaN导电DBR,包括自下而上依次生长的衬底、缓冲层、非故意掺杂Ga<sub>n</sub>N层、n型故意掺杂氮化镓层和多孔Ga<sub>n</sub>N导电DBR层;

[0010] 所述多孔Ga<sub>n</sub>N导电DBR层由高孔洞率多孔Ga<sub>n</sub>N层和低孔洞率多孔Ga<sub>n</sub>N层交替堆叠形成,其周期优选为大于5,高孔洞率指孔洞率在30%以上,低孔洞率指孔洞率在20%以下(包括0,即无孔洞),本发明的孔洞为空气孔洞(半导体掺杂后经电化学腐蚀形成孔洞,孔洞中充满空气),空气孔洞的引入将使多孔Ga<sub>n</sub>N层间产生一定的折射率差。

[0011] 多孔Ga<sub>n</sub>N导电DBR层在发光峰附近的反射率超过50%,并且通过调节层厚度与周期数可改变峰值强度、半高宽与波长,如增加(轻重掺杂)层厚度、周期数均可使峰值强度增加、半高宽增加,波长向右移动,但改变不同参数增加程度不同,可根据需要设计DBR周期数、层厚度。

[0012] 优选的,所述多孔GaN导电DBR层包括5对以上交替堆叠的高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层。

[0013] 优选的,所述n型掺杂GaN层的掺杂剂为硅或锗,掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ,优选为 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0014] 优选的,所述高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层为分别采用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层进行腐蚀得到,所述n型轻掺杂GaN层与n型重掺杂GaN层的掺杂剂为硅或锗。

[0015] 本发明采用高低掺杂浓度不同的交替GaN层,通过选择性电化学腐蚀,使腐蚀后形成的多孔GaN导电DBR层具有高反射率、导电性好、中心波长可调的特点。

[0016] 优选的,n型重掺杂GaN层的掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ,优选为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ,n型轻掺杂GaN层的掺杂浓度为 $1 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,优选为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。

[0017] 优选的,所述多孔GaN导电DBR层并入有铟或铝组分,其材料可以为GaN、AlGaIn、InGaIn或AlInGaIn。

[0018] 优选的,所述多孔GaN导电DBR层的孔径为1nm~300nm,高孔洞率多孔GaN层与低孔洞率多孔GaN层的孔径大小是一样,均为上述范围。

[0019] 优选的,所述缓冲层为非故意掺杂GaN或AlN。

[0020] 优选的,所述衬底为蓝宝石、硅、碳化硅(SiC)或玻璃,衬底的结构为平面或图形。

[0021] 一种多孔GaN导电DBR的制备方法,包括以下步骤:

[0022] (1) 在衬底上生长缓冲层和非故意掺杂GaN层;

[0023] (2) 在非故意掺杂GaN层上生长n型掺杂GaN层;

[0024] (3) 在n型掺杂GaN层上生长5对以上交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层;

[0025] (4) 利用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层进行腐蚀,形成高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率GaN层交叠的多周期多孔GaN导电DBR。本发明为纵向腐蚀,将n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层腐蚀出孔洞即可,制备方法简单,降低成本,掺杂浓度越高,形成孔洞率越高。

[0026] 优选的,步骤(4)中采用选择性电化学腐蚀溶液进行腐蚀,根据材料的不同选择合适的选择性电化学腐蚀溶液,选择性电化学腐蚀溶液为弱酸、弱碱或中性盐溶液,优选为氢氧化钠、盐酸、氯化钠或硝酸钠等。

[0027] 本发明通过在弱酸、弱碱或中性盐溶液中进行选择性电化学腐蚀,可选择性的在n型重掺杂GaN层内30%以上形成空气孔洞,从而改变该层材料的有效折射率,而n型轻掺杂层则20%以下形成空气孔洞,空气孔洞的引入将使多孔GaN层间产生一定的折射率差。

[0028] 本发明中,未详尽之处,均可采用现有技术进行。

[0029] 本发明的有益效果为:

[0030] 本发明的多孔GaN导电DBR可以从根本上解决GaN DBR结构导电性能差的技术壁垒。通过选择性电化学腐蚀轻掺杂层和重掺杂层交替堆叠的周期性结构,可选择性的在n型重掺杂GaN层内形成高孔洞率多孔GaN,大大改变该层材料的有效折射率,而n型轻掺杂GaN层的有效折射率改变较小(或不改变),从而形成很大的折射率差,而对结构的导电性影响不大,从而形成高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层交替堆叠的导电DBR。

[0031] 本发明的多孔GaN导电DBR只需掺杂浓度周期调制的GaN,采用选择性电化学腐蚀制备形成多孔GaN导电DBR结构,不存在晶格失配问题,反射率很容易达到90%以上,且可重复性高,实现过程简单,利于实际应用。多孔GaN导电DBR结构可通过调制高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率或非多孔GaN层的结构参数和制备工艺达到良好的导电性,有效提高GaN谐振腔光电子器件的性能,并简化了其制备工艺,通过调节DBR各层厚度与周期数,可调节峰值强度、半高宽与波长,从而满足光电技术领域对光学器件的设计与要求。

[0032] 本发明为纵向腐蚀,只需外延生长层结构然后腐蚀,制备方法简单,降低成本。

#### 附图说明

[0033] 图1为本发明的多孔GaN导电DBR的结构示意图;

[0034] 图2为本发明的多孔GaN导电DBR的制备方法示意图;

[0035] 图3为本发明的多孔GaN导电DBR结构在放大20万倍的横截面扫描电子显微镜示意图;

[0036] 图4为图3的反射谱图及模拟结果图;

[0037] 图5为多孔GaN导电DBR厚度不同情况下反射率随波长变化示意图;

[0038] 图6为不同多孔GaN导电DBR样品的电流电压变化示意图;

[0039] 其中,10-衬底,11-缓冲层,12-非故意掺杂GaN层,13-n型故意掺杂氮化镓层,14-多孔GaN导电DBR层。

#### 具体实施方式:

[0040] 为使本发明要解决的技术问题、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图及具体实施例进行详细描述,但不仅限于此,本发明未详尽说明的,均按本领域常规技术。

[0041] 实施例1:

[0042] 一种多孔GaN导电DBR,如图1所示,包括自下而上依次生长的衬底10、缓冲层11、非故意掺杂GaN层12、n型故意掺杂氮化镓层13和多孔GaN导电DBR层14;

[0043] 多孔GaN导电DBR层14由15对高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层交替堆叠形成,高孔洞率多孔GaN层的孔洞率为52%,低孔洞率多孔GaN层的孔洞率在0(即无孔洞)。

[0044] 实施例2:

[0045] 一种多孔GaN导电DBR,结构如实施例1所示,不同的是,n型掺杂GaN层13的掺杂剂为硅,掺杂浓度为 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0046] 实施例3:

[0047] 一种多孔GaN导电DBR,结构如实施例1所示,不同的是,高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率多孔GaN层为分别采用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层进行腐蚀得到,n型轻掺杂GaN层与n型重掺杂GaN层的掺杂剂为硅,掺杂浓度越高,形成孔洞率越高,如图3所示,为多孔GaN导电DBR结构在放大20万倍的横截面扫描电子显微镜示意图,经电化学腐蚀后的n型重掺杂GaN层形成的孔洞较均匀,孔径在1~300nm之间;而未腐蚀的GaN层为n型轻掺杂GaN层,两层材料由于空气孔洞的引入存在折射率差,交替堆叠形成多孔GaN导电DBR层14,图4为图3的反射谱图及模拟结果图,其横坐标为波长,纵坐标为反射率,实线表示模拟值,虚线表示测量值,从图中可看出,多孔GaN导电DBR层14在467nm附近

达到反射率峰值,并且具有较宽的反射带。

[0048] 本实施例中,n型重掺杂GaN层的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ,n型轻掺杂GaN层的掺杂浓度为 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。

[0049] 图5为多孔GaN导电DBR厚度不同情况下反射率随波长变化示意图,横坐标为波长,纵坐标为反射率,图中曲线由下至上分别为原多孔GaN导电DBR层、多孔GaN导电DBR层增加20nm、多孔GaN导电DBR层增加40nm、多孔GaN导电DBR层增加60nm,从图中可以看出,通过调节多孔GaN导电DBR层14厚度或周期数,可以调节峰值强度、半高宽与波长。

[0050] 实施例4:

[0051] 一种多孔GaN导电DBR,结构如实施例1所示,不同的是,多孔GaN导电DBR层的14孔径为1~300nm之间。

[0052] 实施例5:

[0053] 一种多孔GaN导电DBR,结构如实施例1所示,不同的是,缓冲层11为低温GaN形核层以高纯氮气为氮源,三甲基镓或三乙基镓为Ga源,低温生长GaN形核层;衬底10为蓝宝石。

[0054] 实施例6:

[0055] 一种多孔GaN导电DBR的制备方法,如图2所示,包括以下步骤:

[0056] (1) 在衬底10上生长缓冲层11和非故意掺杂GaN层12;

[0057] (2) 在非故意掺杂GaN层12上生长n型掺杂GaN层13;

[0058] (3) 在n型掺杂GaN层13上生长15对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层;

[0059] (4) 利用电化学腐蚀的方法对交替堆叠的n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层进行腐蚀,形成高孔洞率多孔GaN层和低孔洞率GaN层交叠的多周期多孔GaN导电DBR。本发明为纵向腐蚀,将n型重掺杂GaN层与n型轻掺杂GaN层腐蚀出孔洞即可,制备方法简单,降低成本,掺杂浓度越高,形成孔洞率越高。

[0060] 步骤(4)中采用选择性电化学腐蚀溶液进行腐蚀,本实施例的选择性电化学腐蚀溶液选用硝酸钠,得到的多孔GaN导电DBR层14的孔径为1~300nm,在发光峰附近的反射率在90%以上。

[0061] 图6为不同多孔GaN导电DBR样品的电流电压变化示意图,横坐标为电压,纵坐标为电流,图中左上角图例从上向下依次表示:未经腐蚀DBR样品、腐蚀电压为15V时形成的DBR样品、腐蚀电压为18V时形成的DBR样品、腐蚀电压为22V时形成的DBR样品的电压电流曲线,从图中可看出,选择性电化学腐蚀后形成的多孔GaN导电DBR的电流曲线与未经腐蚀DBR的电流曲线相差不是特别大,即选择性电化学腐蚀对结构的导电性影响不大。

[0062] 以上所述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,在不脱离本发明所述原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

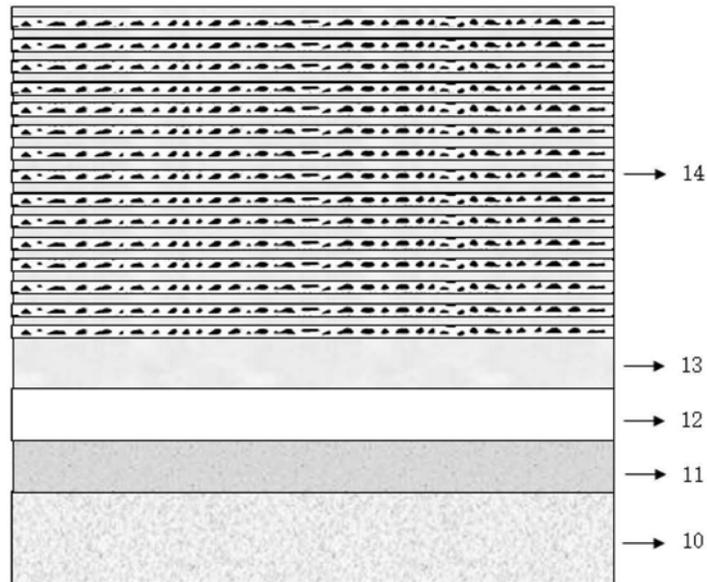


图1

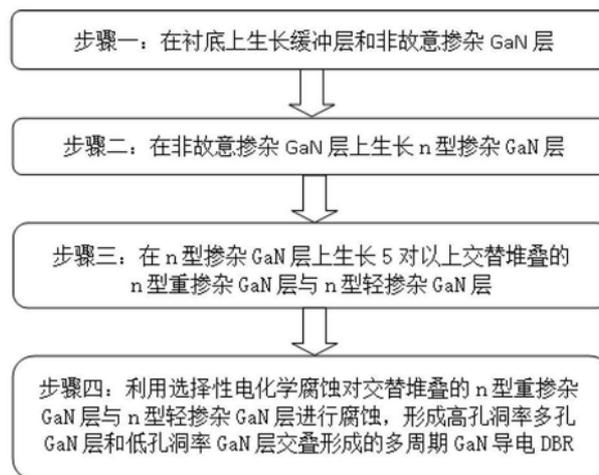


图2

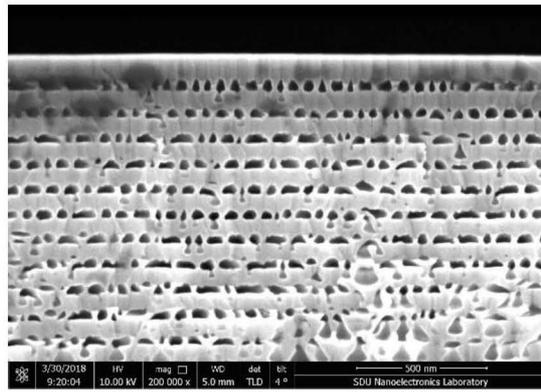


图3

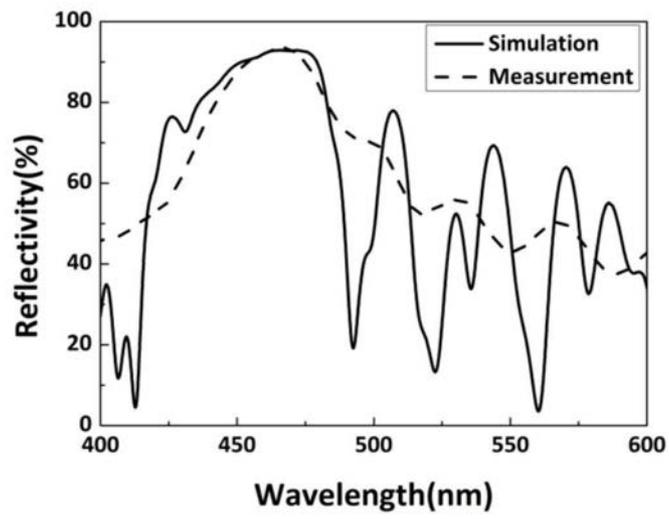


图4

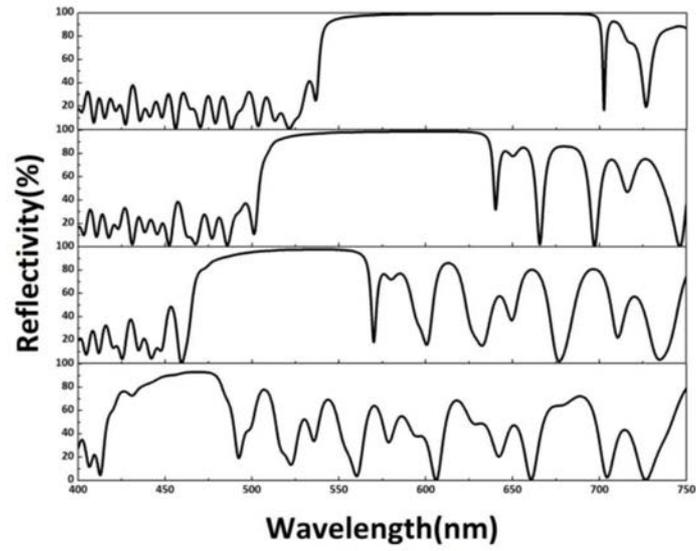


图5

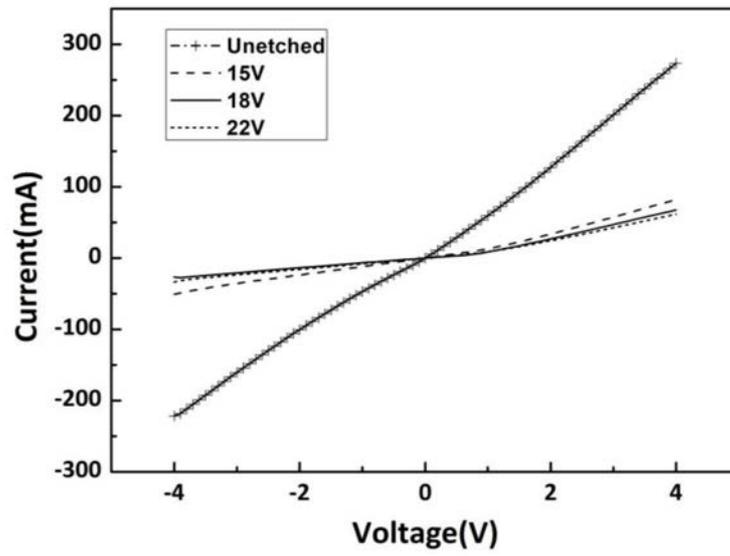


图6