



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103367480 B

(45) 授权公告日 2016.04.27

(21) 申请号 201310302507.8

(56) 对比文件

(22) 申请日 2013.07.19

CN 101950773 A, 2011.01.19,
CN 103165720 A, 2013.06.19,
CN 101814543 A, 2010.08.25,
US 5407491 A, 1995.04.18,

(73) 专利权人 中国科学院苏州纳米技术与纳米
仿生研究所

审查员 周洁

地址 215125 江苏省苏州市苏州工业园区独
墅湖高教区若水路 398 号

专利权人 索尼公司

(72) 发明人 甘兴源 郑新和 吴渊渊 王海啸
王乃明 陆书龙 杨辉 有持祐之
内田史朗 池田昌夫 渡边知雅
吉田浩 野町一郎

(74) 专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所
(普通合伙) 31218

代理人 孙佳胤 翟羽

(51) Int. Cl.

H01L 31/0352(2006.01)

H01L 31/18(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

GaAs 隧道结及其制备方法

(57) 摘要

本发明提供一种 GaAs 隧道结及其制备方法，实现优异的隧穿性能和高的峰值电流，能够很好的满足高倍聚光多结电池的要求，提升电池的光电转换效率。所述 GaAs 隧道结包括在 GaAs 衬底表面依次设置的阻挡层、第一掺杂层和第二掺杂层，所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同，其特征在于，如果所述第一掺杂层为 n 型，第一掺杂剂为 Te，则所述第二掺杂层为 p 型，第二掺杂剂为 Mg；如果所述第一掺杂层为 p 型，所述第一掺杂剂为 Mg，则所述第二掺杂剂为 n 型，所述第二掺杂剂为 Te。

106
105
104
103
102
101

1. 一种 GaAs 隧道结，包括在 GaAs 衬底表面依次设置的阻挡层、第一掺杂层和第二掺杂层，所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同，其特征在于，如果所述第一掺杂层为 n 型，第一掺杂剂为 Te，则所述第二掺杂层为 p 型，第二掺杂剂为 Mg；如果所述第一掺杂层为 p 型，所述第一掺杂剂为 Mg，则所述第二掺杂剂为 n 型，所述第二掺杂剂为 Te，在第一温度下生长第一掺杂层，在第二温度下对第一掺杂层做退火处理，在第三温度下生长第二掺杂层，在第四温度下对第二掺杂层做退火处理，其中第二温度高于第一温度，第四温度高于第三温度。

2. 根据权利要求 1 所述 GaAs 隧道结，其特征在于，在所述 GaAs 衬底和阻挡层之间进一步包括一缓冲层，且所述缓冲层与所述 GaAs 衬底的导电类型相同。

3. 一种 GaAs 隧道结的制备方法，其特征在于，所述方法包括如下步骤：

(1) 在 GaAs 衬底表面外延生长阻挡层；

(2) 在所述阻挡层表面，在第一温度下生长第一掺杂层，所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同，所述第一掺杂层使用第一掺杂剂，所述第一掺杂层为 n 型，所述第一掺杂剂为 Te，或所述第一掺杂层为 p 型，所述第一掺杂剂为 Mg；

(3) 在第二温度下对所述第一掺杂层做退火处理，所述第二温度高于所述第一温度；

(4) 在所述第一掺杂层表面，在第三温度下生长第二掺杂层，所述第二掺杂层使用第二掺杂剂，其中，如果所述第一掺杂层为 n 型，则所述第二掺杂层为 p 型，所述第二掺杂剂为 Mg，如果所述第一掺杂层为 p 型，则所述第二掺杂层为 n 型，所述第二掺杂剂为 Te；

(5) 在第四温度下对所述第二掺杂层做退火处理，所述第四温度高于所述第三温度。

4. 根据权利要求 3 所述的 GaAs 隧道结的制备方法，其特征在于，在所述步骤(1)生长所述阻挡层之前在 GaAs 衬底上生长缓冲层，且所述缓冲层与所述 GaAs 衬底的导电类型相同。

5. 一种多结太阳电池，包括至少两个光伏电池，其特征在于，所有所述光伏电池由如权利要求 1 所述的 GaAs 隧道结连接。

GaAs 隧道结及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体器件结构和材料生长领域,尤其涉及一种 GaAs 隧道结及其制备方法,以及由该 GaAs 隧道结连接的多结太阳电池。

背景技术

[0002] 在聚光多结太阳电池中,要实现光生载流子在子电池之间的运输必须借助于隧道结。在高倍聚光条件下,光生电流会随着聚光倍数成比例增大,一旦光生电流大于隧道结的峰值电流,电池的填充因子将会急剧减小,电池效率降低。因此,高倍聚光多结电池对隧道结的高峰值电流要求十分迫切,而隧道结的峰值电流由掺杂浓度的高低和杂质原子的扩散强弱直接决定。

[0003] GaAs 是聚光多结电池中最常用的隧道结材料,在传统 GaAs 隧道结中, n 型掺杂元素一般为 Si, p 型掺杂元素一般为 Be。其中, Si 作为 IV 族元素在 III-V 族化合物半导体 GaAs 中呈现出两性掺杂剂的特征,在高浓度掺杂时出现严重的自补偿现象,掺杂浓度很难达到 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的水平;Be 一方面有致癌性,另一方面由于在 GaAs 中扩散系数比较大,难以形成理想的突变的隧道结掺杂形貌,影响了隧道结的隧穿特性。

[0004] 基于以上原因,以 Si 和 Be 为掺杂剂的传统 GaAs 隧道结的有效掺杂浓度低,杂质扩散问题严重,峰值电流小,直接制约了多结电池在高倍聚光条件下的转换效率。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种具有新型掺杂剂组合的 GaAs 隧道结,该 GaAs 隧道结具有高浓度掺杂及高峰值电流密度,从而提高聚光多结太阳电池的转换效率,以克服传统分子束外延生长的以 Si 和 Be 为掺杂源的 GaAs 隧道结扩散严重,峰值电流过低不适用于高倍聚光多结电池的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供了一种 GaAs 隧道结,包括在 GaAs 衬底表面依次设置的阻挡层、第一掺杂层和第二掺杂层,所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同,其特征在于,如果所述第一掺杂层为 n 型,第一掺杂剂为 Te,则所述第二掺杂层为 p 型,第二掺杂剂为 Mg;如果所述第一掺杂层为 p 型,所述第一掺杂剂为 Mg,则所述第二掺杂剂为 n 型,所述第二掺杂剂为 Te。

[0007] 本发明的另一目的在于提供一种具有新型掺杂剂组合的 GaAs 隧道结的制备方法,采用低温生长并结合反复高温退火的工艺措施,避免了传统高温生长中掺杂浓度低、扩散严重的缺点,同时生长过程中的退火处理又改善了低温生长的隧道结的晶体质量。

[0008] 为了实现上述目的,本发明提供了一种 GaAs 隧道结的制备方法,包括步骤:(1)在 GaAs 衬底表面外延生长阻挡层;(2)在所述阻挡层表面,在第一温度下生长第一掺杂层,所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同,所述第一掺杂层使用第一掺杂剂,所述第一掺杂层为 n 型,所述第一掺杂剂为 Te,或所述第一掺杂层为 p 型,所述第一掺杂剂为 Mg;(3)在第二温度下对所述第一掺杂层做退火处理,所述第二温度高于所述第一温度;

(4) 在所述第一掺杂层表面，在第三温度下生长第二掺杂层，所述第二掺杂层使用第二掺杂剂，其中，如果所述第一掺杂层为 n 型，则所述第二掺杂层为 p 型，所述第二掺杂剂为 Mg，如果所述第一掺杂层为 p 型，则所述第二掺杂层为 n 型，所述第二掺杂剂为 Te；(5) 在第四温度下对所述第二掺杂层做退火处理，所述第四温度高于所述第三温度。

[0009] 本发明还提供了一种多结太阳电池，包括至少两个光伏电池，所述光伏电池由本发明所述 GaAs 隧道结连接。

[0010] 本发明提供的 GaAs 隧道结及其制备方法，优点在于：

[0011] (1) 本发明所述 GaAs 隧道结与传统的分子束外延生长的隧道结相比不仅具有更陡峭的掺杂界面形貌，而且具有更低的杂质扩散现象和更高的有效掺杂浓度，带来更优异的隧穿性能和高的峰值电流，使得所述 GaAs 隧道结能够很好的满足高倍聚光多结电池的要求，提升电池的光电转换效率；

[0012] (2) 在制备方法上采用低温生长并结合反复高温退火的工艺措施，避免了传统高温生长中掺杂浓度低、扩散严重的缺点，同时生长过程中的退火处理又改善了低温生长的隧道结的晶体质量。

附图说明

[0013] 图 1 是本发明所述 GaAs 隧道结的结构示意图；

[0014] 图 2 是不同温度下 Be 和 Mg 在 GaAs 中的扩散系数比较示意图；

[0015] 图 3 是本发明所述 GaAs 隧道结的制备方法流程图；

[0016] 图 4A-4B 是采用分子束外延生长所获取的本发明所述 GaAs 隧道结表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片，其中，图 4A 是低温生长本发明所述 GaAs 隧道结时样品表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片，图 4B 是高温退火处理本发明所述 GaAs 隧道结后样品表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片；

[0017] 图 5 是采用分子束外延生长所获取的本发明所述 GaAs 隧道结的 I-V 曲线；

[0018] 图 6 是图 5 中 I-V 曲线负阻区域的放大图。

具体实施方式

[0019] 为使本发明更易于理解，下面结合附图对本发明所述 GaAs 隧道结及其制备方法作进一步的详细说明。但以下关于实施方式、实施例的描述及说明对本发明保护范围不构成任何限制。

[0020] 首先结合附图给出本发明所述 GaAs 隧道结的具体实施方式。

[0021] 参考附图 1，本具体实施方式提供的 GaAs 隧道结的结构示意图，接下来对附图 1 所示的结构做详细说明。

[0022] 本具体实施方式提供一种 GaAs 隧道结，包括：在 GaAs 衬底 101 表面依次设置的阻挡层 103、第一掺杂层 104 和第二掺杂层 105。其中，所述 GaAs 衬底 101、阻挡层 103 以及第一掺杂层 104 的导电类型相同，第二掺杂层 105 的导电类型与第一掺杂层 104 的导电类型互补。即，如果第一掺杂层 104 为 n 型，则第二掺杂层 105 为 p 型；如果第一掺杂层 104 为 p 型，则第二掺杂层 105 为 n 型。使用易于获得高掺杂浓度的 Te 作为 n 型掺杂层的掺杂剂；使用易于获得高掺杂浓度且扩散系数低的 Mg 作为 p 型掺杂层的掺杂剂。

[0023] 作为优选的实施方式,在所述 GaAs 衬底 101 和阻挡层 103 之间进一步生长一缓冲层 102,所述缓冲层 102 与所述 GaAs 衬底 101 的导电类型相同。使用缓冲层 102 来优化薄膜质量。

[0024] 在第二掺杂层 105 上可以生长与第二掺杂层 105 的导电类型相同的第二阻挡层(或电池组成结构)106。所述阻挡层 103 与第二阻挡层(或电池组成结构)106 一方面用来阻挡隧道结掺杂层(第一掺杂层 104 和第二掺杂层 105)中掺杂原子的扩散,另一方面成为所串接电池所需的窗口层或背表面电场。在第二阻挡层(或电池组成结构)106 上进一步生长电极接触层。

[0025] 本发明所述 GaAs 隧道结可以采用气相外延生长法(VPE)制备、以液相外延生长法(LPE)制备、以分子束外延生长方法(CVD)制备,以及使用本领域技术人员已知的用于沉积硅层的其他的方法和工艺步骤制备。

[0026] 本发明所述 GaAs 隧道结,以 Te 元素作为 n 型掺杂剂,以 Mg 元素作为 p 型掺杂剂。实验表明,Te 元素易在 GaAs 中获得较高的掺杂浓度(可达 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$),Mg 元素在 GaAs 中具有较低扩散系数。参考附图 2,不同温度下 Be 和 Mg 在 GaAs 中的扩散系数比较示意图,通过比较,可以得知在同等温度下,Mg 元素在 GaAs 中的扩散系数,比传统 GaAs 隧道结 p 型掺杂剂 Be 元素的扩散系数要低约 2~3 个数量级。

[0027] 至少两个光伏电池采用本发明所述 GaAs 隧道结连接,制成多结太阳电池。由于 GaAs 隧道结以掺杂浓度更高、扩散系数更低的 Te 和 Mg 元素替代传统的 Si 和 Be 元素,提升了隧道结的峰值电流和隧穿特性,满足了高倍聚光条件下多结电池对隧道结的要求,提高了聚光电池的光电转换效率。

[0028] 接下来结合附图给出本发明所述 GaAs 隧道结制备方法的具体实施方式。

[0029] 参考附图 3,本具体实施方式提供的 GaAs 隧道结制备方法的流程图,接下来对图 3 所示的步骤做详细说明。

[0030] 步骤 S301,在 GaAs 衬底上外延生长一缓冲层。其中,所述缓冲层与所述 GaAs 衬底的导电类型相同。此步骤为优选步骤,使用缓冲层来优化薄膜质量。

[0031] 步骤 S302,在缓冲层上生长阻挡层。若省略步骤 S301,则本步骤为直接在 GaAs 衬底表面外延生长阻挡层,以阻挡掺杂原子的扩散。

[0032] 步骤 S303,在所述阻挡层表面,在第一温度下生长第一掺杂层,所述第一掺杂层使用第一掺杂剂。其中,所述 GaAs 衬底、阻挡层以及第一掺杂层的导电类型相同。若阻挡层为 n 型,则第一掺杂层为 n 型,第一掺杂剂为 Te;若阻挡层为 p 型,则第一掺杂层为 p 型,第一掺杂剂为 Mg。

[0033] 步骤 S304,在第二温度下对所述第一掺杂层做退火处理,其中,所述第二温度高于所述第一温度。例如,第一掺杂层生长温度(即第一温度)为 370°C~460°C,退火温度(即第二温度)为 550~600°C,退火 5~10 分钟,以改善低温条件下生长的晶体质量。

[0034] 步骤 S305,在所述第一掺杂层表面,在第三温度下生长第二掺杂层,所述第二掺杂层使用第二掺杂剂。其中,第二掺杂层的导电类型与第一掺杂层的导电类型互补。即,如果所述第一掺杂层为 n 型,则所述第二掺杂层为 p 型,所述第二掺杂剂为 Mg;如果所述第一掺杂层为 p 型,则所述第二掺杂层为 n 型,所述第二掺杂剂为 Te。

[0035] 步骤 S306,在第四温度下对所述第二掺杂层做退火处理,所述第四温度高于所述

第三温度。例如,第二掺杂层生长温度(即第三温度)为370℃~460℃,退火温度(即第四温度)为550~600℃,退火5~10分钟,以改善低温条件下生长的晶体质量。

[0036] 本发明所述GaAs隧道结的制备方法,采用低温生长并结合反复高温退火的工艺措施,避免了传统高温生长中掺杂浓度低、扩散严重的缺点。同时生长过程中退火处理又改善了低温生长的隧道结的晶体质量。参考图4A~4B所示采用分子束外延生长所获取的本发明所述GaAs隧道结表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片。其中,图4A是低温生长本发明所述GaAs隧道结时样品表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片,可以看出衍射花样呈点状,表明外延生长过程中的表面比较粗糙;图4B是高温退火处理本发明所述GaAs隧道结后样品表面的反射式高能电子衍射花样的光学照片,可以看出衍射花样呈条纹状,表面样品表面变得平坦,退火处理对晶体质量的改善明显,从而进一步提高了峰值电流密度。

[0037] 接下来给出本发明一优选实施例,对本发明提供的技术方案作进一步说明,本优选实施例采用分子束外延生长方法生长本发明所述GaAs隧道结。

[0038] 1)在p型GaAs衬底上生长p型GaAs外延缓冲层,使用缓冲层来优化薄膜质量。生长温度580℃,掺杂浓度为约 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,缓冲层厚度为300nm。

[0039] 2)在p型缓冲层上生长p型AlGaAs阻挡层,阻挡隧道结中p型掺杂原子的扩散。生长温度710℃,掺杂浓度为约 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,p型阻挡层厚度为30nm。

[0040] 3)在p型阻挡层上,生长以Mg为掺杂源的GaAs隧道结的p⁺⁺区。生长温度370℃,掺杂浓度为约 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,隧道结的p区厚度为15nm。

[0041] 4)580℃高温退火5分钟,改善低温条件下生长的晶体质量。

[0042] 5)低温条件下生长以Te为掺杂源的GaAs隧道结的n⁺⁺区。生长温度460℃,掺杂浓度为 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,隧道结的n区厚度为15nm。

[0043] 6)580℃高温退火5分钟,改善低温条件下生长的晶体质量。

[0044] 7)生长n型AlGaAs阻挡层,阻挡隧道结中n型掺杂原子的扩散。生长温度710℃,掺杂浓度为约 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,n型阻挡层厚度30nm。

[0045] 8)生长n型的GaAs电极接触层。生长温度为580℃,掺杂浓度为约 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,厚度为100nm。

[0046] 参考附图5~6,其中,图5为采用分子束外延生长所获取的本发明所述GaAs隧道结的I-V曲线,图6为图5中I-V曲线负阻区域的放大图,通过图6更清楚的呈现出隧道结的负阻效应。由图5以及图6可知使用Te元素作为n型掺杂剂、以Mg元素作为p型掺杂剂,并通过分子束外延技术获得的n⁺⁺-GaAs($2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)/p⁺⁺-GaAs($1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)隧道结的峰值电流密度已可达21A/cm²,而且通过生长优化还可进一步提升GaAs隧道结的峰值电流密度。

[0047] 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,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。

106
105
104
103
102
101

图 1

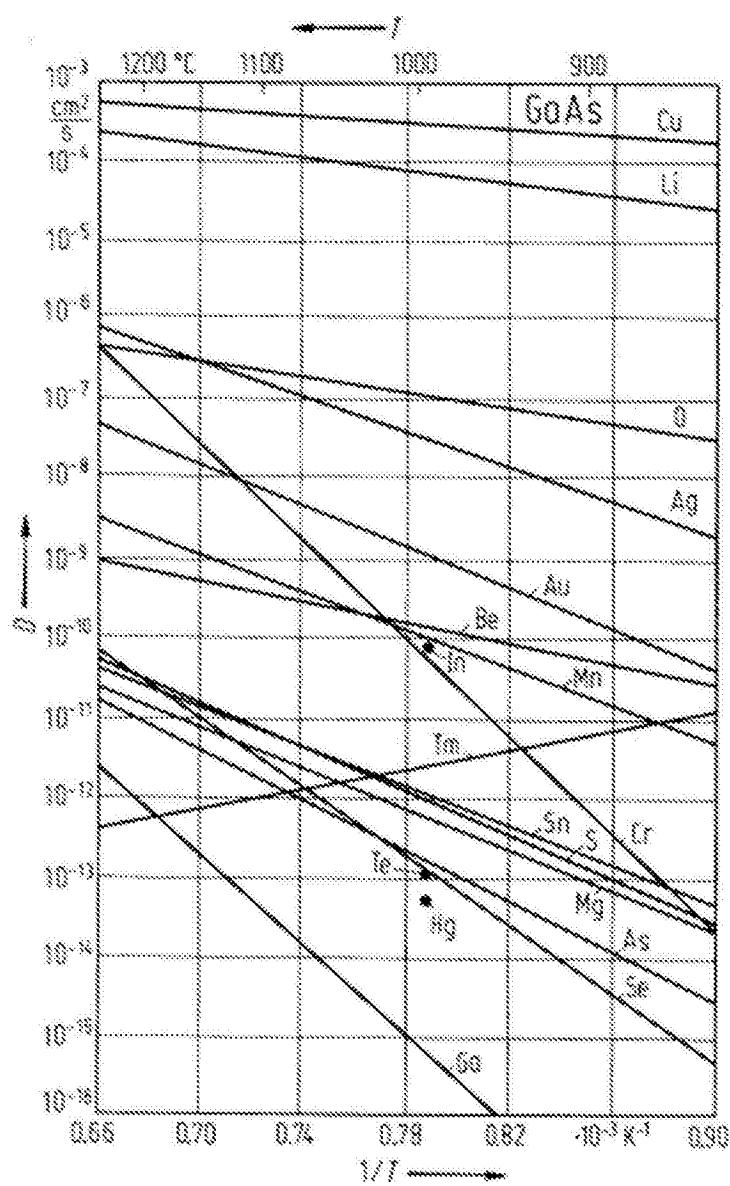


图 2

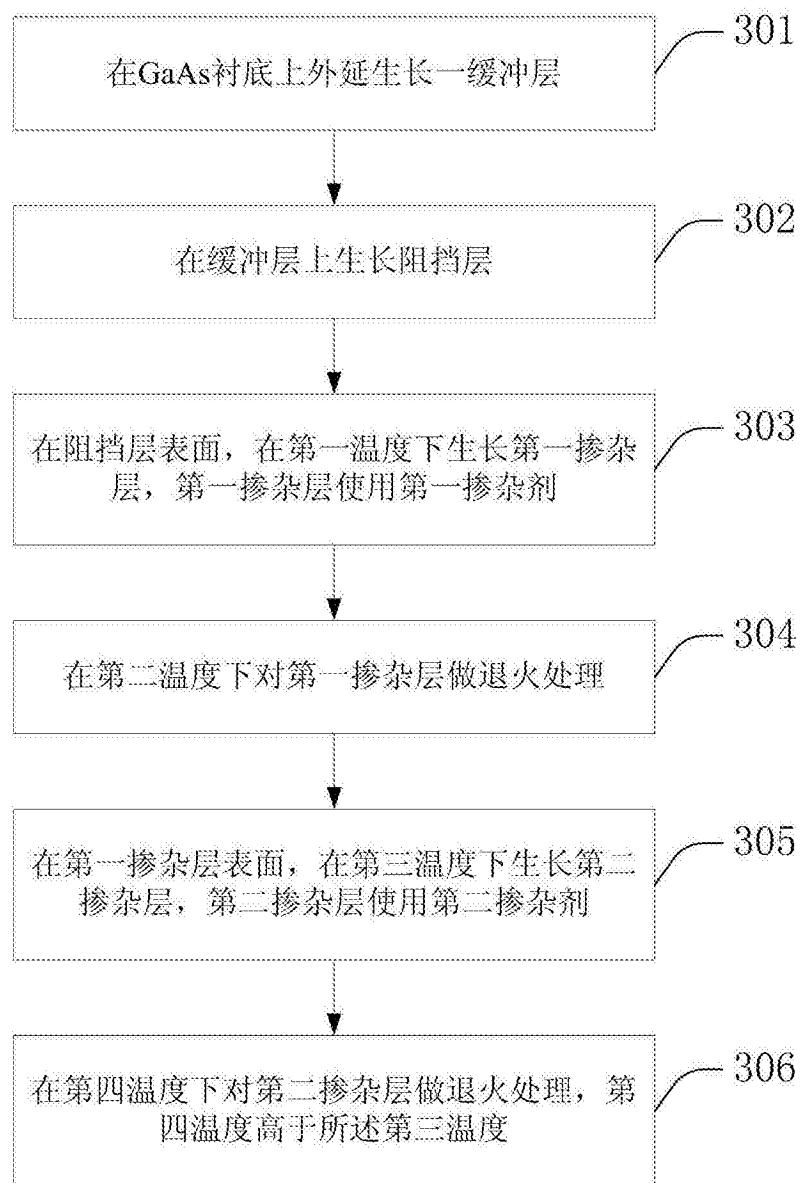


图 3

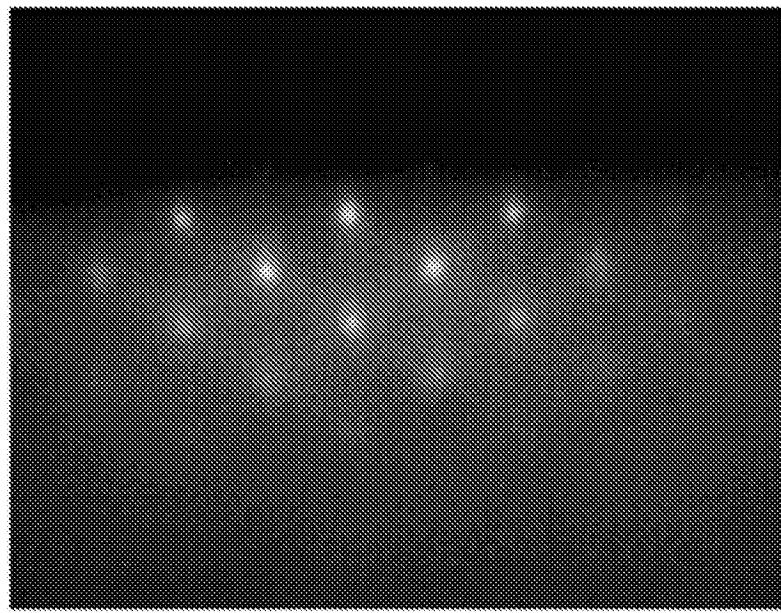


图 4A

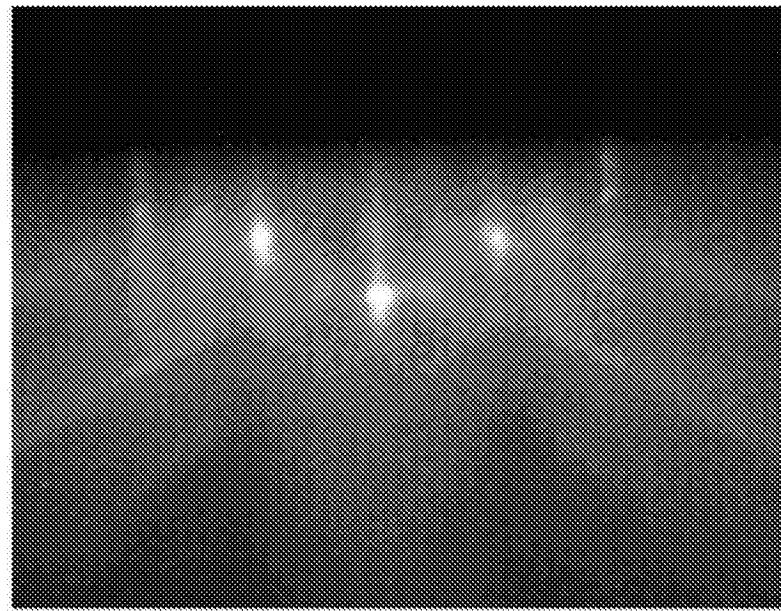


图 4B

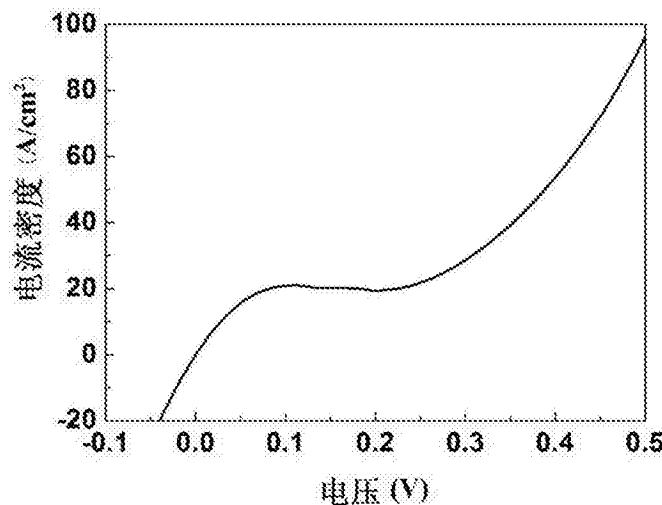


图 5

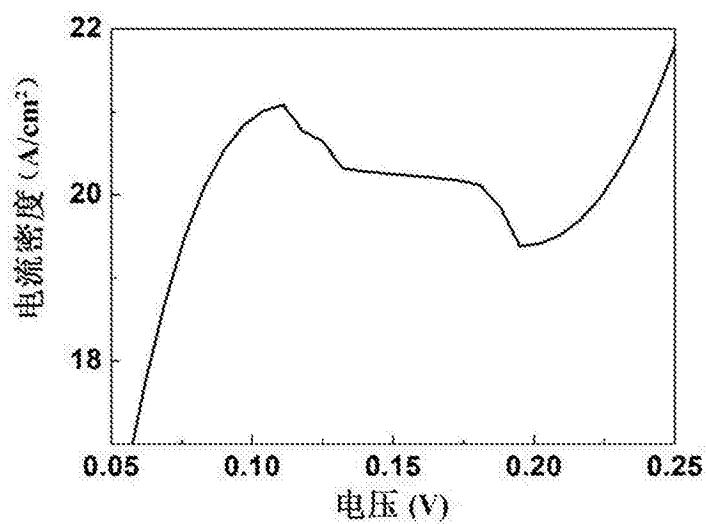


图 6