

器件参数对 GaN 基 n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN 结构紫外和红外双色探测器中紫外响应的影响*

邓 懿 赵德刚[†] 吴亮亮 刘宗顺 朱建军 江德生 张书明 梁骏吾

(中国科学院半导体研究所集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

(2010 年 3 月 29 日收到; 2010 年 7 月 8 日收到修改稿)

研究了 AlGa_xN 层参数对 GaN 基 n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN 结构紫外和红外双色探测器中紫外响应的影响规律及物理机制. 模拟计算发现: 降低 AlGa_xN 层本底载流子浓度会增加器件的量子效率, 当本底载流子浓度不能进一步降低时, 可以通过减小 AlGa_xN 层的厚度以保证器件的量子效率. 在材料生长和器件工艺过程中都应减少界面态. 外加较小的反向偏压能大幅度提高紫外量子效率, 分析表明, GaN/AlGa_xN/GaN 形成的两个背靠背、方向相反的异质结电场是出现这些现象的根本原因. 在实际器件设计中, 应该根据需要调节各结构参数, 以保证器件的量子效率.

关键词: GaN, 紫外和红外探测器, 量子效率

PACC: 7850G, 7280E

1. 引 言

紫外探测器和红外探测器在诸如火灾报警、气象监测、军事探测等方面有非常重要的应用价值^[1]. 目前的紫外探测器一般采用 GaN, ZnO 等宽禁带材料, 而红外探测器一般采用 GaAs, HgCdTe 等窄禁带材料. 如果采用同一体系材料实现紫外和红外的同时探测, 不仅可以共用一个光学系统, 提高系统应用性能, 而且可以大大提高探测目标的识别概率, 被称为第三代半导体的 GaN 基材料(包括 AlN, GaN, InN 及其合金)就可以做到这一点. 由于 GaN 和 AlGa_xN 材料之间的导带带阶在 0—2 eV^[2,3], 正好处在红外波段, 而 AlGa_xN 材料的本征吸收处在紫外波段^[4,5], 如果利用 AlGa_xN 材料本征吸收实现紫外探测, 同时利用 GaN/AlGa_xN 导带带阶之间的电子跃迁实现红外探测, 这样 GaN 基紫外和红外双色探测器就可实现. n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN 就是这样一种能够同时实现紫外和红外双色探测的器件结构, 其基本思想是利用 n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N 导带阶差(0—2 eV)的内光电子发射实现红外探测, 同时利用 i-Al_xGa_{1-x}N(0 < x ≤ 1)层本征吸收

实现紫外探测^[3]. 国际上已经报道了采用该结构研制出 GaN 基紫外和红外双色探测器, 根据这一基本结构和思想进一步衍生出其他的器件结构, 也能实现紫外和红外双色探测^[6]. 但是从报道的实验结果来看, GaN 基紫外和红外双色探测器的紫外响应都比较弱, 大多数处于 10⁻³ A/W 数量级, 而纯粹的 GaN 基紫外探测器的紫外响应部分都在 10⁻¹ A/W 数量级^[7], 这说明, 虽然 GaN 基材料能够同时实现紫外和红外双色探测, 但是其紫外响应部分却变得很弱. 我们认为, 对于 n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN 及类似结构, 造成器件紫外响应很弱的一个重要原因就是存在着两个背靠背的异质结构内建电场, 造成紫外响应的急剧减弱. 因此, GaN 基紫外和红外双色探测器结构参数对于紫外响应的机理及设计显得尤为重要. 但是, 目前的研究工作大都集中在对材料性能的改善以及对器件性能的分析上^[8-10], 国内外很少有对 AlGa_xN 层的结构参数如何影响紫外光响应的机理进行模拟计算和研究的报道, 这在一定程度上不利于器件的发展.

针对 GaN 基 n^+ -GaN/i-AlGa_xN/ n^+ -GaN 结构的紫外和红外双色探测器结构, 本文研究了 AlGa_xN 层

* 国家杰出青年科学基金(批准号:60925017)和国家自然科学基金(批准号:10990100, 60836003, 60776047)资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: dgzhao@red.semi.ac.cn

的载流子浓度、厚度及界面态等参数对该器件紫外响应部分的影响,并分析了其物理机制. 模拟计算发现,器件必须在一定的反向偏压下工作,外加较小的反向偏压能大幅度提高紫外量子效率. 进一步分析表明, n^+ -GaN/i-AlGa*n*/ n^+ -Ga*N* 形成两个背靠背、电场方向相反的异质结是出现这种现象的根本原因. 在实际器件设计中,应该根据实际需要调节各结构参数,保证器件紫外响应部分的量子效率.

2. 模拟计算所采用的器件结构

图 1 给出了本文模拟的 n^+ -i- n^+ 结构 Ga*N* 基紫外和红外探测器结构示意图,该结构包括 n^+ -Ga*N* 层、i-AlGa*n* 层(弱 n 型)和 n^+ -Ga*N* 层. 我们采用美国宾西法尼亚州立大学提供的 AMPS 软件对器件性能进行模拟计算,该软件通过求解泊松方程和连续性方程,能够对半导体器件的特性进行准确分析^[11]. 在本文的模拟计算中,由于软件功能的限制,我们采用金属电极代替 n^+ -Ga*N* 层,形成两个背靠背的肖特基结,由于异质结电场和肖特基结电场有其相似性,这种替代在物理意义上是合理的. 我们通过改变 AlGa*n* 层载流子浓度、厚度、界面态参数和偏压,总结出这些参数与量子效率之间的关系并探讨其影响机理,这对实际工作有一定的参考和指导意义.

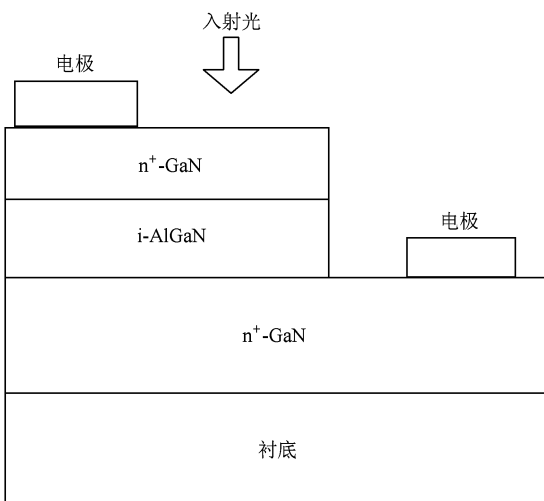


图 1 模拟计算中采用的 Ga*N* 基紫外和红外双色探测器结构示意图

3. 结果及讨论

本文通过模拟计算,不仅研究了 i-AlGa*n* 载流

子浓度 n 、厚度 t 以及外加偏压 V_b 对器件量子效率 ξ 的影响,而且分析了界面态对器件紫外响应的影响. 通过能带结构的计算,分析其中的物理机理,并提出了优化设计的方案.

3.1. i-AlGa*n* 层载流子浓度和偏压对器件紫外响应的影响

我们首先研究了 i-AlGa*n* 载流子浓度和偏压对 Ga*N* 基紫外和红外探测器量子效率的影响. 在 AlGa*n* 层载流子浓度部分的模拟计算中,固定 AlGa*n* 层厚度为 500 nm. 当 i-AlGa*n* 载流子浓度 n 为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时,器件在 $V_b = 0$ 和 -1 V 下模拟计算得到的器件响应光谱如图 2 所示. 从图 2 可以看出,载流子浓度 n 和偏压 V_b 对器件的量子效率 ξ 、光谱形状都有很大的影响. 当 i-AlGa*n* 层的载流子浓度 n 为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_b = 0$ V 时器件的量子效率比较低,加上 -1 V 的偏压后量子效率大幅度提高. 器件的量子效率随着反向偏压的加入有显著的提高,而且响应光谱的形状也有变化. 以本底载流子浓度为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的紫外响应曲线为例,在 $V_b = 0$ V 的偏压下,随着入射光波长的减小,量子效率逐步增加. 而当 $V_b = -1$ V 时,随着入射光波长的减小,量子效率变化不大(带边附近除外). 从图 2 还可以看出,当 $V_b = 0$ V 时,本底载流子浓度为 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的紫外响应大于本底载流子浓度为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的紫外响应,而当 $V_b = -1$ V 时, $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的量子效率反而高过 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

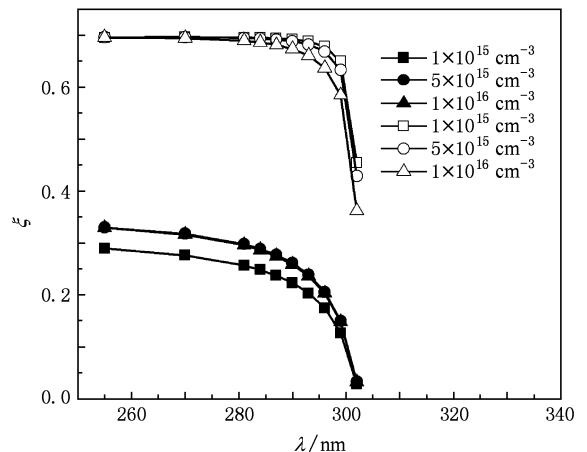


图 2 i-AlGa*n* 载流子浓度 n 为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时 Ga*N* 基紫外和红外探测器的紫外量子效率 ξ 实心和空心点对应的偏压 V_b 分别为 0 和 -1 V

的量子效率,出现了反转现象.

为了研究 $i\text{-AlGaIn}$ 载流子浓度 n 和偏压 V_b 对器件量子效率 ξ 的影响机理,我们对其能带结构进行了分析. 当 n 为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以及 $V_b = 0, -1 \text{ V}$ 时,距离前结 d 处的导带能量 E_c 如图 3 所示. 从图 3 可以看出,不同情况下的导带能量有很大差别. 当偏压 $V_b = 0 \text{ V}$ 时,导带在前结和后结的能带向不同方向弯曲,意味着这两个区域的电场方向是相反的. 而加上 $V_b = -1 \text{ V}$ 的偏压后, E_c 则发生了明显变化. $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 时的能带弯曲方向一致,意味着这两个区域的内建电场一致. 而 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时的能带仍呈现弯曲方向不同,只是弯曲的程度发生了变化,意味着前结和后结的电场方向仍然相反,只是电场强度发生了变化. 电场方向的不同,必将对器件的响应造成影响.

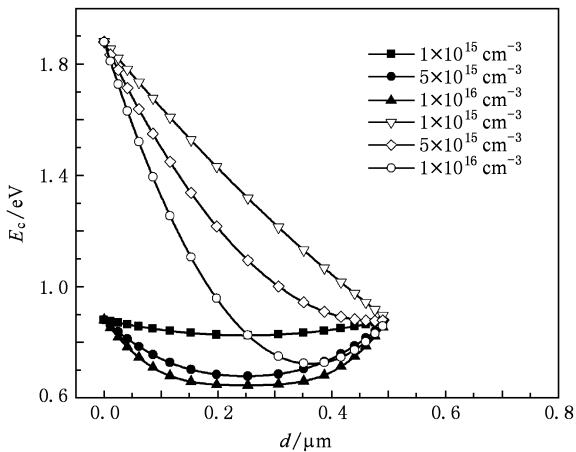


图 3 $i\text{-AlGaIn}$ 载流子浓度 n 为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时距离前结 d 处的导带能量 E_c . 实心点和空心点对应的偏压 V_b 分别为 0 和 -1 V

为了更好地说明这种能带和电场的差别对器件量子效率的影响机理,我们进行了进一步的分析. 图 4 为当 $i\text{-AlGaIn}$ 层载流子浓度 $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 时在零偏压下器件结构的光生电流原理示意图. 光从前结照射时,前后两个结都存在着结电场,这意味着前后两个结都会产生光电流. 前结产生的光电流为 I_1 ,后结产生的光电流为 I_2 ,显然这两部分光电流方向相反,故探测器的光生电流 $I = I_1 - I_2$. 我们认为,正是由于这两部分光电流相反,产生了图 2 所示的现象. 当 $i\text{-AlGaIn}$ 层的载流子浓度 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 偏压 V_b 从 0 V 变到 -1 V 时,由于前结处于反向偏压状态,从图 3 可以看出,

前结所形成的耗尽区不断扩展^[12],更多的光生载流子在前结的电场作用下能够形成光电流,从而 I_1 也逐渐增加,而此时后结处于正向偏压状态,耗尽区也将变窄,甚至消失,导致 I_2 急剧减小甚至减至零. 所以当加上反向偏压后,由于 I_1 增加, I_2 急剧减小,器件总的光电流 I 增加,量子效率大大提高. 当器件处于零偏压下且波长较长的情况下,吸收系数相对较小^[13],透入深度较深,大量的光子能透过 AlGaIn 层,前结和后结都有较强的吸收, I_1 和 I_2 的差距不是太大,所以总的光电流 I 比较小. 当器件处于零偏压且波长较短的情况下,吸收系数很大,透入深度变小,大量的光子被前结吸收,被后结所吸收的光子数减少,此时 I_1 比较大, I_2 却减小,总的光电流 $I = I_1 - I_2$ 反而增加. 所以,器件在零偏压下紫外响应随着入射光波长的减小而逐渐增加. 但是当器件处于 -1 V 偏压时情况就不同了,此时前结处于反偏状态,耗尽区扩展较宽而且电场强度较高,无论入射光是长波还是短波, I_1 值都比较大,后结处于正偏状态,耗尽区宽度变小甚至完全消失,无论入射光是长波还是短波, I_2 此时都很小甚至降低到零. 所以,器件在 -1 V 偏压下总的光电流 $I = I_1 - I_2$ 在波长较长和较短时差别不大(带边附近除外),器件的响应光谱随波长变化不大. 当 $V_b = 0 \text{ V}$ 时,我们也相应地进行了单结的模拟计算. 单结的模拟结果发现,三个浓度对应的前结吸收产生的量子效率差别不是太大(具体情况本文未给出),差异主要体现在后结上. 由于后结产生的光电流是相反的,对整个器件的量子效率影响很大. 载流子浓度 $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 后结的耗尽区较宽, I_2 较大,相减作用更明显. 而 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 后结的耗尽区较小, I_2 也较小,相减作用会变弱. 所以比较的结果是 $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 时产生的光电流 I 较小. 当偏压 $V_b = -1 \text{ V}$ 时,根据图 3 可知,此时载流子浓度 $n = 1 \times 10^{15}$

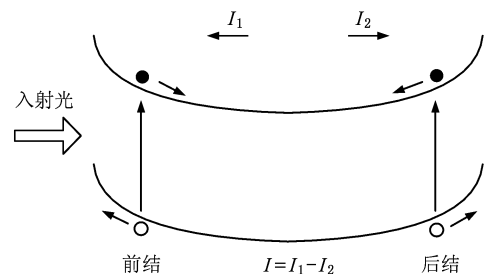


图 4 $i\text{-AlGaIn}$ 层载流子浓度 $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 时在零偏压下双色探测器结构的光生电流原理示意图

cm^{-3} 的整个耗尽区内电场方向一致,前结的耗尽区完全扩展到整个 i-AlGaN 层,后结完全消失, I_1 也将变大, I_2 将下降到零,所以总的光电流 I 较大;而载流子浓度 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时情况则不同,此时虽然前结的耗尽区有扩展,但是后结仍然存在着一一定的耗尽区和较强的电场,所以此时还存在一定的 I_2 值. 因此,综合的效果是载流子浓度 $n = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的量子效率反而高过 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的量子效率,出现了反转现象.

从模拟计算和上述分析结果看,要使 GaN 基紫外和红外双色探测器得到较高紫外响应,探测器应该在一定的负偏压下工作,而且 AlGaN 层的本底载流子浓度应该尽可能地降低.

3.2. i-AlGaN 层厚度对器件紫外响应的影响

我们还研究了 AlGaN 层的厚度 t 对探测器紫外响应的影响. 虽然本底载流子浓度越低,量子效率越高,但考虑到实际材料生长过程中本底载流子浓度很难做得更低^[14],在 AlGaN 层厚度部分的模拟计算中,选取 AlGaN 层的 $n = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. 图 5 是不同 AlGaN 层的厚度和偏压下探测器的紫外响应曲线. 从图 5 可以看出,当 AlGaN 层厚度 t 在 100—500 nm 范围时,加上 -1 V 的偏压后,量子效率大幅度提高,计算结果再次证明了器件必须在一定的反向偏压下工作. 除此之外,我们还可以看到另外三个现象. 加上 -1 V 偏压后,随着 AlGaN 层厚度增加,量子效率上升,但 $t = 550 \text{ nm}$ 的量子效率和 $t = 500 \text{ nm}$ 时相比并没有明显变化,似乎厚度超过

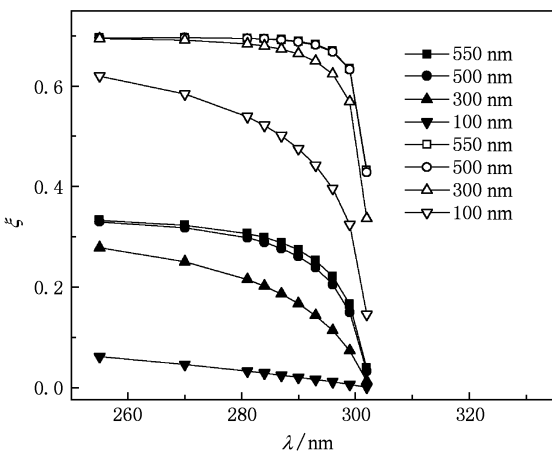


图 5 i-AlGaN 厚度 $t = 550, 500, 300, 100 \text{ nm}$ 时 GaN 基紫外和红外探测器的紫外量子效率 ξ 实心点和空心点对应的偏压 V_b 分别为 0 和 -1 V

500 nm 后器件紫外响应出现饱和现象. 对于特定波长(以 $\lambda = 255 \text{ nm}$ 为例),加上 -1 V 偏压后, AlGaN 层厚度为 100 nm 时器件的量子效率增加非常明显,随着 AlGaN 层厚度增加,量子效率增加幅度变小. 当入射光波长 $\lambda = 299 \text{ nm}$ 时也可得到同样的结果.

为了进一步确定器件的量子效率在偏压下的增加幅度与厚度的关系,我们研究了 -1 V 偏压下器件的量子效率 ξ_1 与 0 V 偏压下器件的量子效率 ξ_0 的比值. 图 6 中实心点是当入射光波长 $\lambda = 255 \text{ nm}$ 处 ξ_1/ξ_0 与 AlGaN 层厚度 t 的关系,空心点则是 $\lambda = 299 \text{ nm}$ 时 ξ_1/ξ_0 与厚度 t 的关系. 从图 6 可以看出,在 AlGaN 层厚度 $t = 100 \text{ nm}$, $V_b = -1 \text{ V}$ 时,器件量子效率要远高于 $V_b = 0 \text{ V}$ 时的量子效率, ξ_1/ξ_0 值很大;随着厚度的增加, ξ_1/ξ_0 越来越小,相同厚度时 ξ_1/ξ_0 的差值也越来越小. 从图 6 还可以看出,在 AlGaN 层厚度相同的情况下,入射光波长越短, ξ_1/ξ_0 越大,器件受偏压的影响也越大.

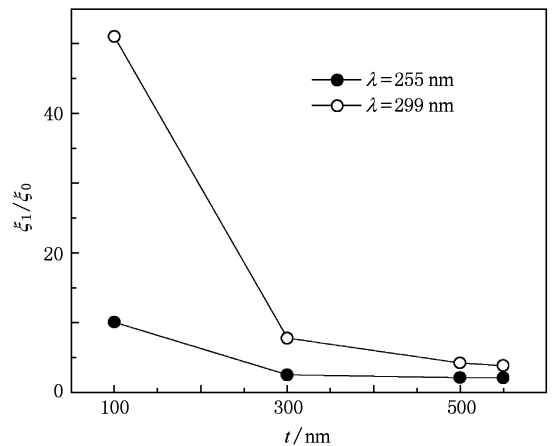


图 6 i-AlGaN 厚度 $t = 550, 500, 300, 100 \text{ nm}$ 时,探测器在 $V_b = -1$ 和 0 V 的紫外量子效率之比 ξ_1/ξ_0

结合不同 i-AlGaN 厚度和偏压下的导带能量(图 7),分析上述 AlGaN 层厚度对量子效率影响的现象,可以做如下解释:在 AlGaN 层厚度为 100—550 nm 的情况下,当器件偏压 V_b 从 0 V 变到 -1 V 时, I_1 大幅度增加, I_2 急剧减小甚至到零,所以总的光电流 $I = I_1 - I_2$ 明显增加,即量子效率大大提高. 从图 7 可以明显看出,在 -1 V 偏压下,整个 AlGaN 层基本耗尽,电场也基本一致,亦即此时后结所形成的光电流 I_2 已经非常小甚至降低到零,影响整个器件紫外响应主要决定于前结的光电流 I_1 . 随着厚度 t 增加,更多的光子被前结所吸收, I_1 也相对增

加,量子效率上升,当厚度达到 500 nm 时吸收基本达到饱和,再继续增加厚度对量子效率的变化已没有什么影响. AlGa_xN 层厚度 $t = 100$ nm 时,由于光的透入深度比较深,后结可以吸收较多的光子产生光电流, $V_b = 0$ V 时 I_1 与 I_2 的绝对值相差不大,且此时两者又是相减关系,故综合作用下量子效率很小. 但当加上 -1 V 的偏压后, I_2 急剧下降甚至到零,同时 I_1 反而增加,所以量子效率增加非常明显. 即 $V_b = -1$ V 时量子效率和 $V_b = 0$ V 时的量子效率之比 ξ_1/ξ_0 较大. 随着厚度的增加,后结的作用越来越弱,所以 $V_b = -1$ V 时的量子效率与 $V_b = 0$ V 时的量子效率之比 ξ_1/ξ_0 减小. 在 AlGa_xN 层厚度固定的情况下,当入射光波长 $\lambda = 255$ nm 时,透入深度较浅,此时即使在 $V_b = 0$ V 的偏压下,器件的总光电流 I 也在很大程度上取决于前结所形成的光电流 I_1 ,所以当加上 -1 V 偏压后,虽然量子效率显著提高,但是 ξ_1/ξ_0 仍然不会很大. 同样在 AlGa_xN 层厚度固定的情况下,但是当入射光波长 $\lambda = 299$ nm 时,透入深度较深,在 $V_b = 0$ V 偏压下 I_2 所占比例很大,所以总的光电流 $I = I_1 - I_2$ 相对很小,当加上 -1 V 偏压后器件总的光电流 I 急剧增加,这样 ξ_1/ξ_0 就会变得很大. 所以,在 AlGa_xN 层厚度相同的情况下,入射光波长越短, ξ_1/ξ_0 就越大,器件受偏压的影响也越大.

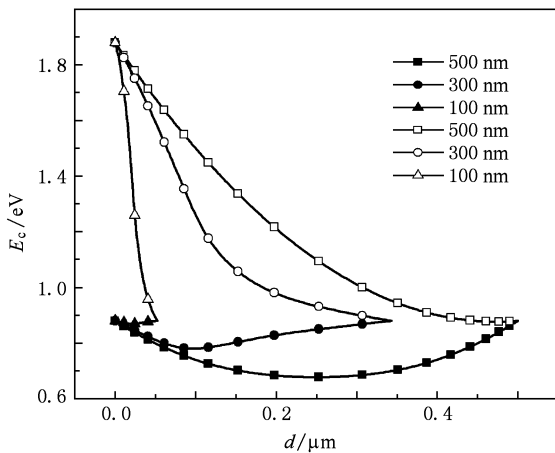


图7 i-AlGa_xN 厚度 $t = 500, 300, 100$ nm 时 GaN 基紫外和红外双色探测器的导带能量 E_c . 实心点和空心点对应的偏压 V_b 分别为 0 和 -1 V

由上述模拟计算结果可以发现,当 AlGa_xN 层载流子浓度 $n = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 时,较优的厚度是 500 nm; 当 AlGa_xN 层载流子浓度 $n = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 时,较优的厚度是 300 nm. 由此可以推断,当本底载流子

浓度不能进一步降低时,通过减小 AlGa_xN 层的厚度可保证器件具有较优的量子效率. 另外,计算结果再次证明了探测器应该在一定的负偏压下工作.

3.3. 界面态对器件紫外响应的影响

我们还研究了界面态对探测器紫外响应的影响. 模拟中主要通过调节界面复合速率 v 来说明其对量子效率的影响. 如图 8 所示,我们计算了当界面复合速率 v 分别为 $1 \times 10^5 \text{ cm/s}$, $1 \times 10^7 \text{ cm/s}$, $1 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 时器件在 -1 V 偏压下的紫外响应光谱. 从图 8 可以看出:界面复合速率越大,量子效率越低. 随着波长的减小,三条曲线变化趋势并不一样. 当复合速率 $v = 1 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 时,随着波长的减小,量子效率略微有所增加;当复合速率 $v = 1 \times 10^7 \text{ cm/s}$ 时,随着波长的减小,量子效率基本不变;当复合速率 $v = 1 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 时,随着波长的减小,量子效率有减小的趋势. 结合器件物理概念,我们对上述现象进行了进一步的分析. 光照下产生了等量的光生载流子,但随着复合速率的增加,大量的光生电子空穴对会复合,因而不易形成光电流. 复合速率 $v = 1 \times 10^5 \text{ cm/s}$ 时,短波方向电场较强,复合速率适中,综合作用下产生的光电流长波方向较大. 而复合速率 $v = 1 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 时,短波吸收区电场没有变化,但此时由于复合速率大大增加,综合作用下产生的光电流小于长波方向产生的光电流. 根据以上的分析可知,为保证器件性能,材料生长和工艺过程中都应减少界面态,可以把 AlGa_xN 层改为 AlInGa_xN, 通过减少晶格失配减小界面态^[15]. 当然,

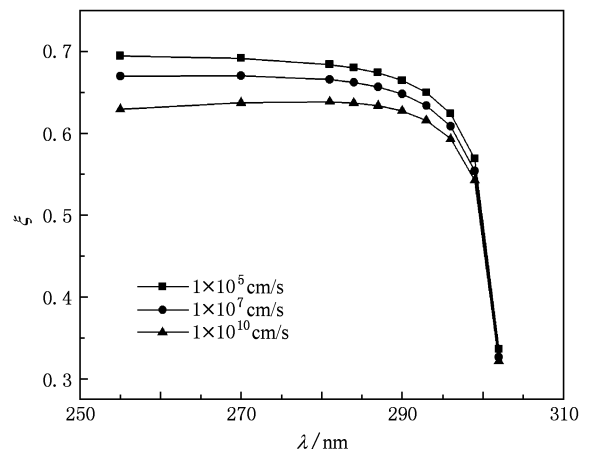


图8 界面复合速率 $v = 1 \times 10^5 \text{ cm/s}$, $1 \times 10^7 \text{ cm/s}$, $1 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ 时 GaN 基紫外和红外双色探测器在偏压 $V_b = -1$ V 下的紫外量子效率 ξ

在实际的材料生长过程中, AlInGaN 材料生长难度可能更大, 此时就需要进行综合考虑各种因素.

4. 结 论

本文研究了 AlGaIn 参数对 n^+ -GaN/i-AlGaIn/ n^+ -GaN 结构 GaN 基紫外和红外双色探测器紫外响应的影 响. 模拟计算表明: 外加较小的反向偏压能大幅度提高紫外量子效率, 器件必须在一定的反向偏

压下工作; 降低 AlGaIn 层本底载流子浓度会增加器件的量子效率, 当本底载流子浓度不能进一步降低时, 可以通过减小 AlGaIn 层的厚度以保证器件的量子效率; 材料生长过程和器件工艺中都应减小 GaN/AlGaIn 界面态. 进一步分析表明, GaN/AlGaIn/GaN 形成两个背靠背、电场方向相反的异质结是出现这些现象的根本原因. 在实际器件设计中, 应该根据需要调节各结构参数, 以保证器件的量子效率.

- [1] Cen L Q, Shen B, Qin Z X, Zhang G Y 2009 *Chin. Phys. B* **18** 5366
- [2] Gmachl C, Ng H M, Cho A Y 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 334
- [3] Ariyawansa G, Rinzan M B M, Alevli M, Strassburg M, Dietz N, Perera A G U, Matsik S G, Asghar A, Ferguson I T, Luo H, Bezinger A, Liu H C 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 091113
- [4] Biyikli N, Aytur O, Kimukin I, Tut T, Ozbay E 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 3272
- [5] Walker D, Zhang X, Kung P, Saxler A, Javadpour S, Xu J, Razeghi M 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 2100
- [6] Perera A G U, Ariyawansa G, Rinzan M B M, Stevens M, Alevli M, Dietz N, Matsik S G, Asghar A, Ferguson I T, Luo H, Bezinger A, Liu H C 2007 *Infrared Phys. Techn.* **50** 142
- [7] Zhao D G, Jiang D S, Zhu J J, Liu Z S, Zhang S M, Liang J W, Yang H 2007 *Appl. Phys. Lett.* **90** 062106
- [8] Zhang S, Zhao D G, Liu Z S, Zhu J J, Zhang S M, Wang Y T, Duan L H, Liu W B, Jiang D S, Yang H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7952 (in Chinese) [张 爽、赵德刚、刘宗顺、朱建军、张书明、王玉田、段俐宏、刘文宝、江德生、杨 辉 2009 物理学报 **58** 7952]
- [9] Zhao J Z, Lin Z J, Corrigan T D, Zhang Y, Lü Y J, Lu W, Wang Z G, Chen H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3980
- [10] Wu Y X, Zhu J J, Chen G F, Zhang S M, Jiang D S, Liu Z S, Zhao D G, Wang H, Wang Y T, Yang H 2010 *Chin. Phys. B* **19** 036801
- [11] Zhao D G, Jiang D S, Zhu J J, Liu Z S, Zhang S M, Yang H 2008 *Semicond. Sci. Technol.* **23** 095021
- [12] Sze S M 1981 *Physics of Semiconductor Devices* (6th ed) (New York: John Wiley & Sons) p321
- [13] Zhang X, Kung P, Walker D, Biotrowski J, Rogalski A, Sazier A, Razeghi M 1995 *Appl. Phys. Lett.* **67** 2028
- [14] Jain S C, Willander M, Narayan J, Van Overstraeten R 2000 *J. Appl. Phys.* **87** 333
- [15] Li J, Nam K B, Kim K H, Lin J Y, Jiang H X 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 61

Effects of AlGa_xN layer parameter on ultraviolet response of n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN structure ultraviolet-infrared photodetector*

Deng Yi Zhao De-Gang[†] Wu Liang-Liang Liu Zong-Shun Zhu Jian-Jun

Jiang De-Sheng Zhang Shu-Ming Liang Jun-Wu

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(Received 29 March 2010; revised manuscript received 8 July 2010)

Abstract

We have investigated the effect of AlGa_xN layer parameter on the ultraviolet response of n^+ -GaN/i-Al_xGa_{1-x}N/ n^+ -GaN structure ultraviolet-infrared photodetector and its physical mechanism. Through the simulation, it is found that the decrease of AlGa_xN background concentration has a positive effect on device's ultraviolet quantum efficiency. When AlGa_xN layer background concentration cannot be reduced, the decrease of its thickness can ensure the efficiency. Besides, interfacial state should be minimized during materials growth and device fabrication. In addition, small reverse bias voltage can greatly increase ultraviolet quantum efficiency. All these phenomena may be mainly attributed to the existence of the back-to-back heterojunction and the opposite electrical field. It is suggested that we need to adjust structural parameters to obtain high quantum efficiency according to the materials quality in device design.

Keywords: GaN, ultraviolet and infrared photodetector, quantum efficiency

PACC: 7850G, 7280E

* Project supported by the National Natural Science Foundation for Distinguished Young Scholars of China (Grant No. 60925017) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10990100, 60836003, 60776047).

[†] Corresponding author. E-mail: dgzhao@red.semi.ac.cn.