

AlGaInP 四元系材料渐变异质结及其在 高亮度发光二级管器件中的应用^{*}

刘 鲁¹⁾ 范广涵¹⁾ 廖常俊²⁾ 曹明德¹⁾ 陈贵楚¹⁾ 陈练辉¹⁾

¹⁾ 华南师范大学信息光电子科技学院金属有机化合物气相沉积实验室, 广州 510631)

²⁾ 华南师范大学信息光电子科技学院量子电子研究所, 广州 510631)

(2002 年 10 月 8 日收到, 2002 年 12 月 13 日收到修改稿)

引入渐变理论, 通过建立 AlGaInP 四元系材料渐变异质结能带简单模型, 分析在渐变长度相同、不同渐变方式下导带边的情况, 分析不同掺杂浓度下, 渐变区长度变化对势垒尖峰值和 n 区区势能之间差值的影响, 讨论了渐变方式引入高亮度发光二极管(HB-LED)器件的作用和意义.

关键词: 镓铝铟磷, 异质结, 渐变, 二极管

PACC: 7850G

1. 引 言

镓铝铟磷系列材料在可见光区是理想的发光材料, 已经应用于制造从红光到黄光的 HB-LED 中.

HB-LED 以其高亮度、高效节能、环保安全的特点, 已经是一种得到广泛关注和在加速开发的新型固体光源. 与追求单模、低阈值、窄线宽的半导体激光器不同的是, 发光二极管追求低注入电流下的高亮度和高效率. 对于在照明与显示技术中的应用则特别关心可见光谱区的多色性.

提高发光效率对于 HB-LED 是关键所在.

提高发光效率一般有两种途径: 一个是增加光提取效率, 发光二极管光提取效率是发光二极管特有的一个研究问题^[1], 例如增加 GaP 窗层的厚度^[2,3], 发光二极管的形状和几何结构的改变^[4], 在电极下加阻挡层也是为了有利于光的输出^[5]. 很多半导体激光器技术在这里得到应用, 但是针对发光二极管的特点已经有改变. 例如布拉格反射器, 在这里目的是为了得到更多光输出^[6,7], 并且已经演变出串联式(tandem)^[8], 混合式(hybrid)^[9], 或啁啾(chirped)布拉格结构, 以有利于宽带光谱的输出^[10,11].

另一个途径是通过器件物理研究, 改变器件结

构, 增加电子注入效率, 同时减少输入载流子的流失和非辐射复合造成的损失. 量子阱用于发光二极管主要是多量子阱结构, 而且发现发光效率随量子阱数的增加而增加, 对提高发光效率比用布拉格反射器还好^[12]. 近来还发展成一种高效率低电压共振腔结构^[13,14]. 张应力包层用于异质结也是为了减少电子损耗从而提高发光效率^[15].

在现行的 HB-LED 中采用突变双异质结(p-i-n)结构对电子的限制作用而将电子限制在有源区, 在 i 区生长多量子阱结构, 增加限制在有源区的载流子复合, 增加了内量子效率. 与同质结相比 DH 结构主要有以下优点: 提高载流子向发光区的注入效率, 减少发光区的宽度, 从而减少发光区的自吸收, 透明限制层减少了体内吸收.

理想的 DH 结构为 p-i-n 结构, 但实际上背景载流子和杂质的扩散, 使发光区呈弱 p 型或弱 n 型^[16]. 构成 P-p-N 结构或 P-n-N 结构. 以本文讨论 P-p-N 中 p-N 渐变异质结问题.

异质结少子的注入主要是从宽带隙材料到窄带隙材料.

双异质结(P-p-N)利用 P 区和 p 区的异质结的导带带阶将电子限制在 p 区, 利用 N 区和 p 区的异质结价带带阶将空穴限制在 p 区.

如图 1^[17]所示, 在 p-N 界面导带处形成一个尖

^{*} 广州市科技重点计划项目(批准号: 1999-z-035-01)资助的课题.

峰.当电子从 N 区向 p 注入时,首先遇到这个尖峰.载流子运输中就应该考虑到热电子发射和势垒隧穿运输机制.

注入比与禁带宽度之差呈指数比的关系是在扩散理论(即假设能带边是平滑无尖峰的情况)下得到^[18]

$$\frac{J_e}{J_h} = c e^{\frac{\Delta E_g}{kT}}, \quad (1)$$

$$\Delta E_g = E_g(N \text{ 区}) - E_g(p \text{ 区}), \quad (2)$$

c 是与材料相关的常数.

当导带中出现尖峰时,在电子运输中热电子发射和势垒隧穿运输机制将占一定的比例.只用扩散模型解释电子运输时将与实际产生很大偏差.这就是不能用(1)式得到突变异质结注入比的原因.

如果将热电子发射和势垒隧穿运输机理考虑在内,所得的注入比将小于(1)式所得.可见,因为尖峰的存在,实际的注入比小于(1)式中得到的值.突变异质结无法消除此尖峰.

如果用 N-p 渐变异质结替代原有 N-p 突变结,将会有效减小导带尖峰,平滑能带边,使其更接近用扩散理论解释运输.因此将会提高注入比.

本文主要讨论在 HB-LED 结构中用 N-p 渐变异质结替代原有 N-p 突变结对提高发光二极管效率等方面的作用.

主要讨论不同渐变方式对导带边的影响,哪种方式更有利于电子运输.以及随渐变长度变化时的尖峰与 n 区电势能差值.

2. 镓铝铟磷系列材料的能带和异质结

2.1. 突变异质结

镓铝铟磷系列材料是研究很广泛的材料,用此四元系的材料可做成从红到黄的 LED.已经有一些精确实验可以得到异质结的信息^[19].从已经发表的实测数据,容易得到这类材料的能带结构的经验公式^[20].利用带隙的经验公式,LCBO 方法及韦加定律,容易算出价带和导带的阶跃^[21].

根据文献[22]对于四元系材料的带隙($\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$)可表示为

$$\Delta E_{cV} = 0.27x \quad (x \leq 0.7), \quad (3)$$

$$\Delta E_v = 0.32x. \quad (4)$$

由于电场因存在电子亲和力差而减弱,这就使

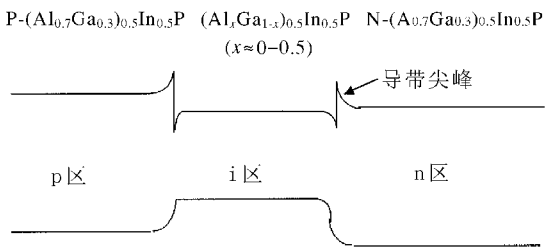


图 1 典型 AlGaInP-LED 能带图^[17]

交界面尖峰的高度随异质结交界面处成分梯度变缓而降低^[23].通过选择适当的渐变方式、渐变长度,可以使之成为平滑的能带图.

2.2. 渐变异质结

2.2.1. 渐变异质结简单模型理论

渐变异质结能带边计算通常用 Oldham 和 Milnes 的归一化模型^[24],此种模型需用数值计算,比较复杂.

文献[25]中提出一种简单的模型,不仅计算简单而且和文献[24]的结果符合得好.因此我们采用文献[25]的模型进行计算.

由于 N 区和 p 区的异质结采用渐变形式并不影响 N-p 结的价带势垒,因为不会对空穴限制产生不良影响.价带的变化对器件的影响不大,因此我们只讨论导带的变化.

文献[25]中认为 N-p 异质结的能带看成两部分的叠加:一部分是 p-n 同质结静电势能,称为 ψ_{es} ;另一部分是 E_g 随 x 变化的部分^[26],称之为 ψ_g ,

$$E_c = \psi_g - \psi_{es}. \quad (5)$$

根据耗尽层理论以及对边界条件的考虑, ψ_{es} 的表达式为

$$\begin{aligned} \psi_{es}(x \leq x_1) &= -\frac{qN_a}{2\epsilon_1} x^2, \\ \psi_{es}(x_1 \leq x \leq 0) &= \frac{qN_a}{2\epsilon_1} x^2 - \frac{qN_a x_1}{\epsilon_1} x, \\ \psi_{es}(0 \leq x \leq x_2) &= -\frac{qN_d}{2\epsilon_1} x^2 + \frac{qN_d x_2}{\epsilon_1} x \\ &\quad - \frac{qN_d x_2^2}{2\epsilon_1} + \frac{qN_a V_d}{N_a + N_d}, \\ \psi_{es}(x \geq x_2) &= \frac{qN_a V_d}{N_a + N_d}. \end{aligned} \quad (6)$$

q 为电子电量, ϵ_1 是同质结的介电常数, N_a 为 p 区掺杂浓度, N_d 为 n 区掺杂浓度, $-x_1$ 是 p 区耗尽层长度,所以 x_1 是 p 区耗尽层边界的坐标, x_2 是

n 区耗尽层边界坐标, V_d 为 p - n 结的内建电势.

ψ_g 只和组分渐变有关, 不受空间电荷区的影响. $\psi_g(x)$ 的值与渐变方式和渐变长度有关. 本文比较了四种不同的渐变方式: 线性渐变, 抛物线渐变, 扩散渐变, 高斯渐变. 我们用 (5) 式来计算导带边.

线性渐变:

$$\begin{aligned}\psi_g(0 \leq x \leq x_3) &= \Delta E_c \frac{x}{x_3}, \\ \psi_g(x_3 \leq x \leq x_2) &= \Delta E_c.\end{aligned}\quad (7)$$

抛物线渐变:

$$\begin{aligned}\psi_g(0 \leq x \leq x_3) &= \Delta E_c \frac{x^2}{x_3^2}, \\ \psi_g(x_3 \leq x \leq x_2) &= \Delta E_c.\end{aligned}\quad (8)$$

扩散渐变:

$$\psi_g(0 \leq x \leq x_2) = \Delta E_c \tanh\left(\frac{x}{l}\right). \quad (9)$$

高斯渐变:

$$\psi_g(0 \leq x \leq x_2) = \Delta E_c \exp\left(-\pi\left(\frac{x-x_3}{b}\right)^2\right). \quad (10)$$

x_3 是渐变长度, l 是扩散方式的特征长度, b 是高斯方式的图形面积.

根据文献[17], n 区掺杂浓度范围为 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ — $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 不同的掺杂浓度影响了突变 p - n 结尖峰和势垒位置之间的关系. 分别为以下三种情况:

- 1) n 型区电势能高于 p 型区;
- 2) n 型区电势能低于 p 型区, 但尖峰高于 p 区电势能;
- 3) n 型区电势能低于 p 型区, 尖峰低于 p 区电势能.

2.2.2. 渐变方式的讨论

以下是对这三种情况的分别讨论.

- 1) n 型区电势能高于 p 型区.

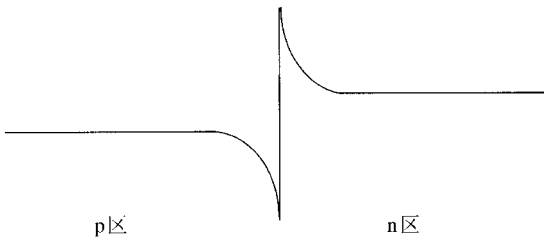


图2 n 区电势能高于 p 区能带示意图

能带图如图 2 所示, 此时 n 区掺杂较低. n 区电势能高于 p 区, 尖峰高于 p 区很多. 此时电子由 n 区

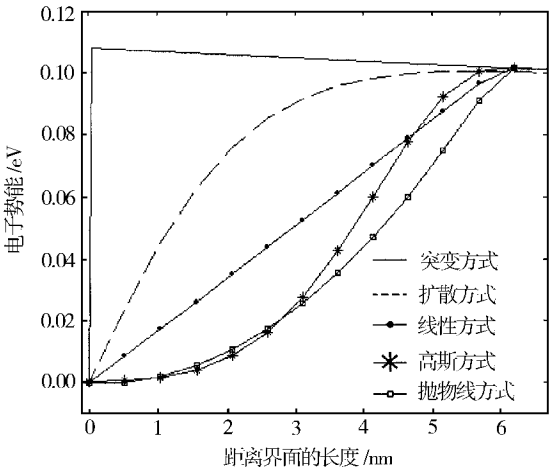


图3 渐变长为 6 nm 时的能带图 ($N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.03 \text{ V}$)

运动到 p 区, 影响电子的注入是尖峰的热电子发射和隧道效应等, 以及尖峰所产生的势垒. 如果减小尖峰值, 根据热电子发射原理, 可越过势垒 (设为 V) 注入到 p 区的电子数 (设为 n) 有以下关系:

$$n \propto \exp(-aV), \quad (11)$$

a 为常数. 根据 (11) 式可知, 随着势垒的降低, 注入的电子数目将会增加. 并且尖峰的降低将会减少尖峰对电子的散射, 增加电子注入.

图 3—5 中, p 区掺杂浓度 $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, n 区掺杂浓度 $N_d = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.03 \text{ V}$. 突变情况下 n 区耗尽层长度为 43.1 nm.

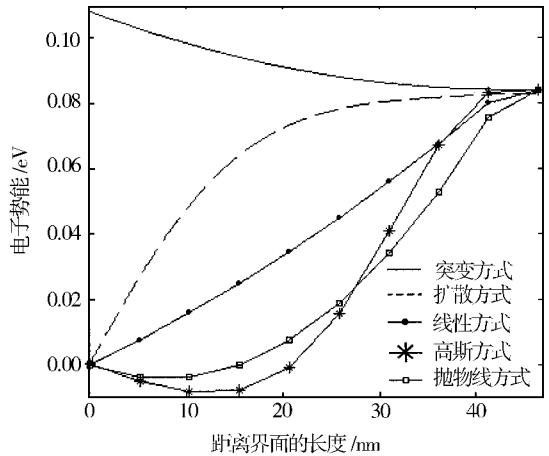


图4 渐变长度为 41.3 nm 时的能带图

图 3 中渐变长度为 6 nm (远小于耗尽层长度). 在任何渐变方式下, 尖峰值都下降, 下降值几乎相等. 比较之下, 抛物线和高斯方式更有利于电子的输运. 因为以它们为渐变方式的导带图曲率比较缓和,

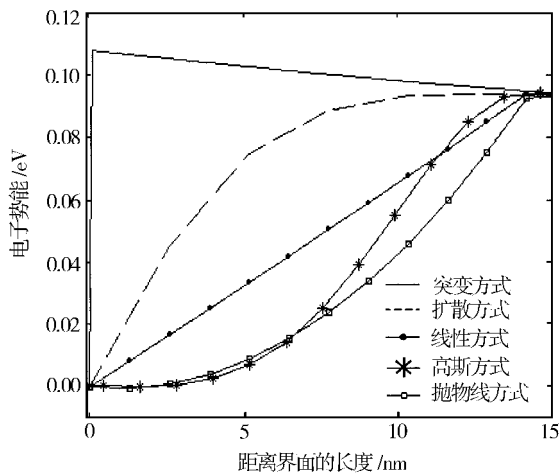


图 5 渐变长度为 14.37nm 时的能带图

与 p 区的衔接更平滑,有利于电子的运动和加速.

图 4 中渐变长度为 43.1nm(扩散区长度),势垒尖峰被完全拉平.线性渐变是比较好的方式.此时抛物线和高斯方式在很长一段距离中低于 p 区电势不利于电子运动.

图 5 渐变长度为 14.37nm(三分之一扩散区长度),与图 3 比较,势垒尖峰进一步被拉平,抛物线渐变和高斯渐变更利于电子输运.

在这几种渐变方式中,扩散渐变方式是最接近于突变方式的.如果材料的晶格常数不太匹配的情况下要求生长出突变结,此时利用扩散渐变方式近似突变结不仅可以满足要求,还可以减少失配和缺陷.

可见,采用渐变方式可以使势垒尖峰降低,使导带边变得平滑一些,从而可以提高电子注入效率,减少尖峰处对电子的散射,势垒尖峰降低,实际上减小了 n 区的内建电势,可以改善器件参数.

2) n 型区电势能低于 p 区,尖峰高于 p 区电势能

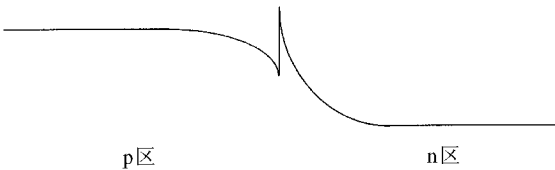


图 6 n 区电势能低于 p 区,尖峰高于 p 区电势能能带示意图

当 n 区电势能低于 p 区同时尖峰高于 p 区电势能时, n 区的掺杂浓度比 1) 中的高, n 区的耗尽层长度减小.能带图如图 6 所示.

图 7—9 中, $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.071845 \text{ V}$.

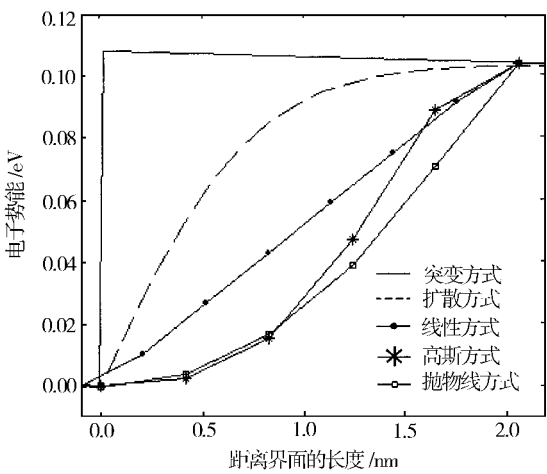


图 7 渐变长度为 2nm 时的能带图

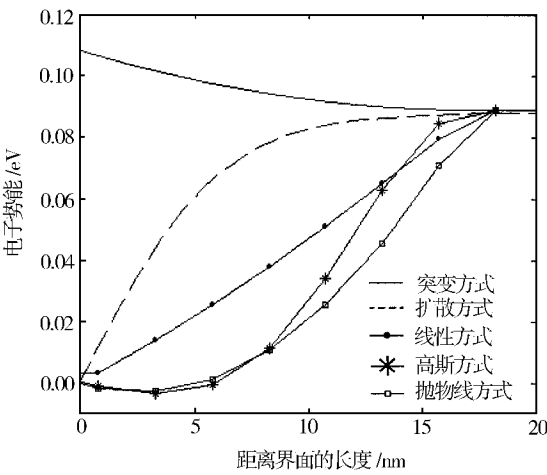


图 8 渐变长度为 17.2nm 时的能带图

突变情况下耗尽层长度为 17.2nm.

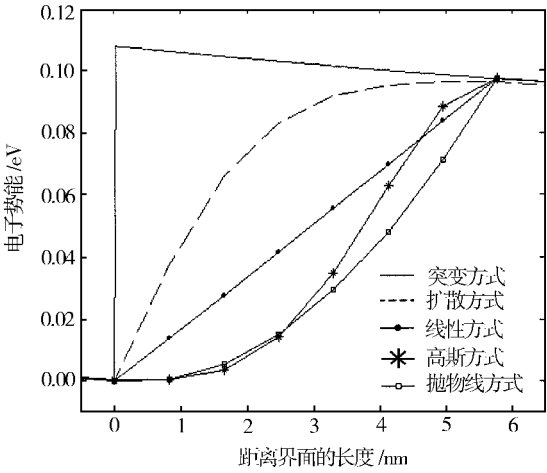


图 9 渐变长度为耗尽层长度的 5.73nm 的能带图

图 7 中渐变长度为 2nm(远小于耗尽层长度),尖峰值都下降,并且下降值几乎相等.抛物线渐变和

高斯渐变方式是比较好的渐变方式.

图 8 中渐变长度为 17.2nm(耗尽层长度). 势垒尖峰被完全拉平. 线性渐变是比较好的渐变方式.

图 9 的渐变长度为 5.73nm(耗尽层的三分之一) 与图 5 不同的是此时抛物线和高斯渐变方式优于线性渐变方式.

3) 尖峰低于 p 区电势能

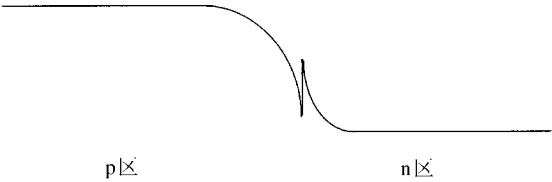


图 10 尖峰低于 p 区电势能能带示意图

此时 , 能带图如图 10 所示 . n 区掺杂浓度高于 2) 中的掺杂浓度 , n 区耗尽层进一步减小 .

电子此时的输运可以用扩散理论来描述 .

但当加上电压后 , 尖峰可能会由于在耗尽层上的压降而将尖峰拉平一些 , 但仍会有尖峰高于 p 区导带边 . 此尖峰仍会产生一定的散射和热电子发射 . 因此 , 仍有必要采用渐变方式 .

图 11—13 中 , $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.089867 \text{ V}$. 突变情况下耗尽层长度为 10.6nm . 选择渐变长度分别为 2nm(远小于耗尽层长度) , 10.6nm(耗尽层长度) , 3.35nm(耗尽层长度的三分之一). 图 11 和图 13 中最佳渐变方式均为高斯渐变和抛物线渐变 . 图 12 中最佳方式是线性渐变方式 .

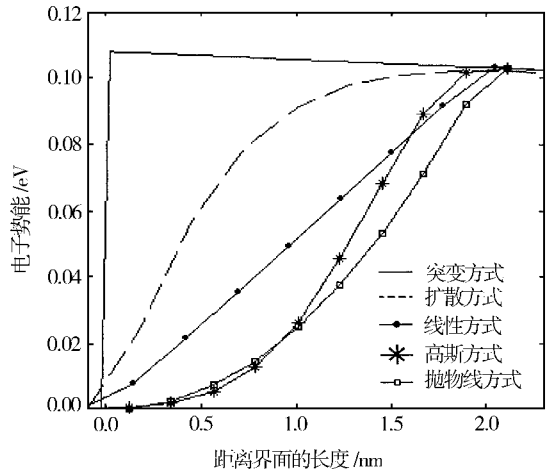


图 11 渐变长度为 2nm 时的能带图

2.2.3. 渐变长度的选取

从图 3—5 , 7—9 , 11—13 可知 : 在不同的渐变方

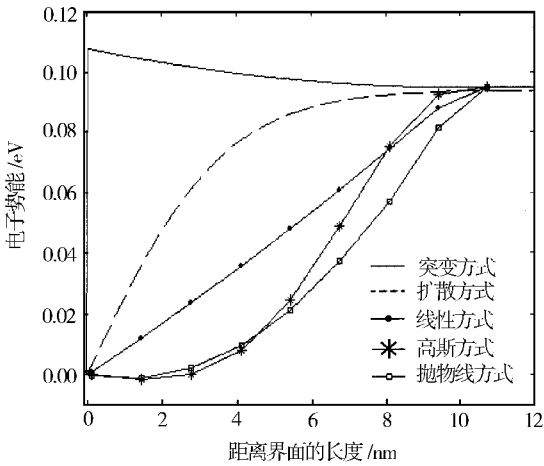


图 12 渐变长度为 10.6nm 时的能带图

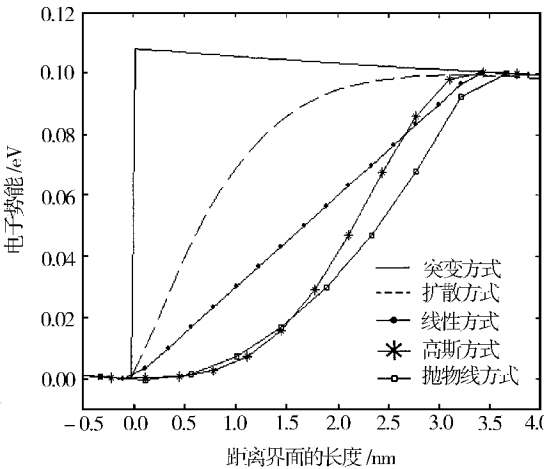


图 13 渐变长度为 3.35nm 时的能带图

式、相同的渐变长度的情况下 , 能带的走势不同 ; 同一种渐变方式、不同的渐变长度下 , 尖峰值也会不同 .

图 14—16 分别为情况 1) , 2) , 3) 中以抛物线方式渐变时 , 不同渐变长度下 , 尖峰和 n 区电势能之间的差值 . 图中 x 坐标区域限定为 n 区耗尽层 .

随渐变长度的增加 , 尖峰值不断减小 . 在渐变长度为某一定值时 , 可以使势垒尖峰和 n 区电势能之差为零 , 此时尖峰被完全拉平 .

图 14 中 , 在 40nm 处势垒尖峰和 n 区电势能之差为零 . 图 15 中 , 16.2nm 处势垒尖峰和 n 区电势能之差为零 . 图 16 中 , 在 9.2nm 处势垒尖峰和 n 区电势能之差为零 .

n 区的掺杂浓度越高 , 所需拉平尖峰的渐变区长度越短 .

因此如果在渐变区长度受限时 , 可以通过提高

n 区掺杂浓度的方法来消除尖峰.

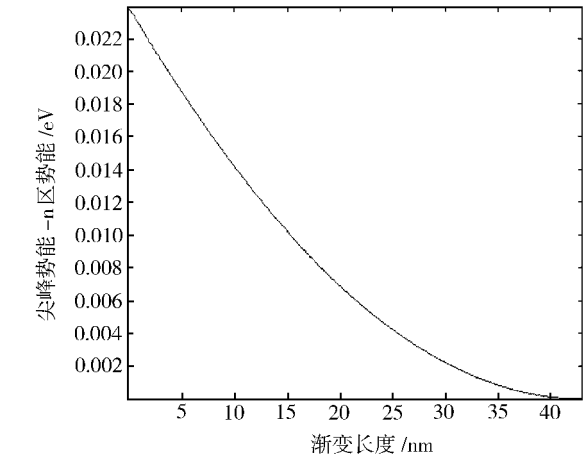


图 14 $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.03 \text{ V}$ 时, 尖峰势能与 n 区势能的差值随渐变长度的变化

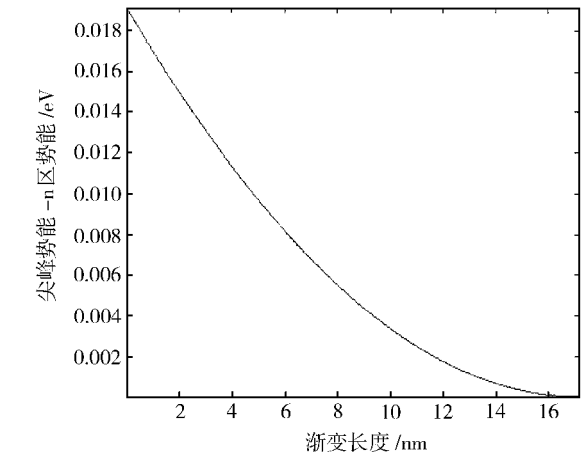


图 15 $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.071845 \text{ V}$ 时, 尖峰势能与 n 区势能的差值随渐变长度的变化

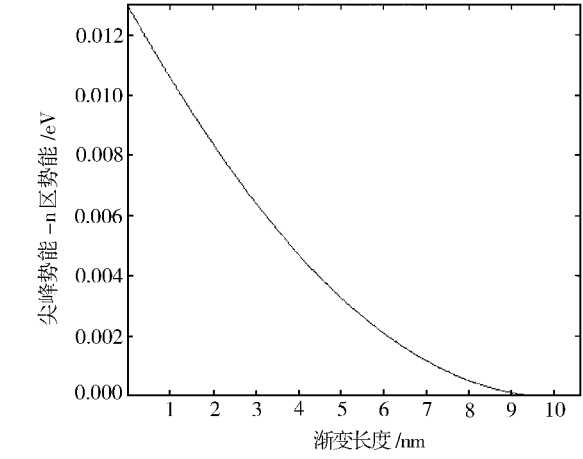


图 16 $N_a = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $V_d = 0.089867 \text{ V}$ 时, 尖峰势能与 n 区势能的差值随渐变长度的变化

3. 结 论

3.1. 渐变方式的选择

在不同浓度下,不同的渐变方式都可以有效地减小尖峰.不同的渐变方式使尖峰所降低的值相差不多.

渐变长度较小时,高斯渐变和抛物线渐变是最佳渐变方式.在这两种渐变方式下所形成的导带边的曲率比较平缓,最适合电子输运.渐变长度较大时,最佳渐变方式是线性渐变.

3.2. 渐变长度

根据图 14—16 可见,随渐变长度的增加,势垒尖峰和 n 区电势能的差值不断减小.在某一特定值时,势垒尖峰和 n 区电势能之差为零.一般情况下这个特定值小于耗尽层长度.并且随 n 区掺杂浓度的增加,此值变小.所以当渐变区长度受限时,可以提高 n 区掺杂浓度以消除尖峰.

3.3. 渐变方式改善晶体质量

在生长过程中,失配总是存在的,因此我们需要调整失配.组分相差得越大,失配就会越大.如果采用渐变方式,组分的缓变可以使失配减小,使缺陷减少,从而改善晶体质量.随着失配和缺陷的减少,非辐射复合减少,提高发光效率.

并且渐变异质结比突变异质结更容易生长.改善晶体质量将改善器件的性能.

4. 在 HB-LED 中的应用

现在我们来讨论渐变异质结应用在 HB-LED 中可能产生的一些作用.

4.1. 提高 HB-LED 的注入效率

1) 增加注入比
由此言中所讲可知,当 p-N 的导带图越平滑,注入比越接近于 (1) 式给出值.

从计算出来的结果可见,渐变方式的导带边的确比突变方式的导带边平滑,因此可以提高注入比.

2) 改善电子输运
应用渐变方式可以改善电子输运,减小尖峰对

电子的散射,增加电子注入,有更多的电子注入.
由于以上两条知,渐变方式可提高注入效率.

4.2. 减小内建电势

由于减小了尖峰值,实际上减小了 n 区的耗尽层电势,减小了内建电势,改善了器件参数.

4.3. 改善晶体质量

由于渐变方式可以改善晶体质量,可以减小晶体失配,减少晶体缺陷,从而减少非辐射复合,提高发光亮度.

4.4. 不影响 p-N 结对空穴的限制作用

由于渐变并不降低价带所产生的势垒,所以并不影响 p-n 结对空穴的限制作用.

5. 实 验

我们在制作 HB-LED 过程中,HB-LED 器件结构

中有源区(即 p 区)和 N 区之间采用渐变异质结构而不采用原有突变异质结构.

注入电流不变的情况下,发光强度增加 15%,说明发光效率提高.驱动电压下降 12%,说明渐变异质结构有效减小内建电势.x 射线双晶衍射测试晶体质量,半峰宽减小,失配度减小,表明总体晶体质量明显变好.

总之,器件参数变好了.

符合了我们从理论上进行的一系列分析.

6. 结 论

从理论分析来看,HB-LED 中渐变异质结的应用将使器件的总体性能得到改善.

实验也证明了渐变异质结的应用的确有效改善了 HB-LED 的器件性能,包括发光效率和内建电势等等参数.

总之,p-n 异质结由突变方式改为渐变方式可以有效改善 HB-LED 的器件性能.

-
- [1] Peng H D *et al* 1998 *Photon Learned Journal* **27** 952 (in Chinese)
[彭怀德等 1998 光子学报 **27** 952]
 - [2] Huang K H ,Yu J G ,Kuo C P *et al* 1992 *Appl . Phys . Lett .* **61** 1045
 - [3] Deng Y L *et al* 2002 *Luminescence Learned Journal* **23** 255 [邓云龙等 2002 发光学报 **23** 255]
 - [4] Causa F ,Sarma J ,Yunus S *Applied Optics-LP.* **41** 5045
 - [5] Sugawara H ,Itaya K ,Ishikawa M 1992 *Jpn . J . Appl . Phys .* **31** 2446
 - [6] Saka T ,Hiratani H ,Taka T 1993 *J . Appl . Phys .* **73** 380
 - [7] Dutta A K ,Ueda K ,Hara K 1997 *IEEE Photonics Technology Lett .* **9** 1567
 - [8] Lee W 1995 *Appl . Phys . Lett .* **67** 3753
 - [9] Sugawara H ,Itaya K ,Hatakoshi G 1994 *Jpn . J . Appl . Phys .* **33** 6195
 - [10] Chang S S J ,Chang S C and Su Y K 1997 *IEEE Photonics Technology Lett .* **9** 182
 - [11] Sugawara H ,Itaya K and Hatakoshi G 1993 *J . Applied Physics* **74** 3189
 - [12] Chang S J ,Chang C S ,Su Y K ,Chang P T ,Wu Y R ,Huang K H , Chen T P 1997 *IEE Proc-Optoelectron* **144** 405
 - [13] Gray J W ,Jalili Y S ,Stavrinou P N ,Whitehead M ,Parry G ,Joel A , Robjohn R ,Petrie R ,Hunjan S ,Gong P and Duggan G 2000 *Electron Lett .* **36** 1730
 - [14] Wirth R ,Kamutsch C ,Kugler S ,Streubel K 2001 *IEEE Photonics Technology Lett .* **13** 421
 - [15] Chang S J ,Chang C S ,Su Y K ,Chang P T ,Wu Y R ,Huang K H and Chen T P 1997 *IEEE Photonics Technology Lett .* **9** 1199
 - [16] Sugawara H ,Ishikawa M *et al* 1992 *Us patent* **5** 154 889
 - [17] Stringfellow G B *et al* 1998 *Higt Brightness Light Emitting diodes* (Academic Press)p160
 - [18] Wang G H *Doctor thesis* p18 [王国宏 博士论文第 18 页]
 - [19] Ding G Q 2000 *Acta Phys . Sin .* **49** 1567 (in Chinese) [丁国庆 2000 物理学报 **49** 1567]
 - [20] Nie C C *et al* 1998 *Semiconductor Photon-electric* **19** 23 (in Chinese)
[聂承昌等 1998 半导体光电 **19** 23]
 - [21] Wen S S *et al* 2001 *Semiconductor Photon-electric* **22** 147 (in Chinese) [文尚胜等 2001 半导体光电 **22** 147]
 - [22] Watanabe M O and Ohba Y 1987 *Appl . Phys . Lett .* **50** 906
 - [23] Kalispell H ,Bartely J K 1977 *Semiconductor Laser and Heterojunction LED* (New York :Academic) p67 (in Chinese) [美] 亨利 . 克雷歇尔 J. K. 巴特勒 1977 半导体激光器和异质结发光二极管 第 67 页]
 - [24] Oldham W G ,Milnes A G 1963 *Solid-State Electronics* **6** 121
 - [25] Cheung D T ,Chiang S Y and Pearson G L 1975 *Solid-State Electronics* **18** 263
 - [26] Keci H C *et al* 1985 *Heterostruction Laser part one* :p237 - 241 (in Chinese) [美] H. C. 凯西等著 ,郭长志译 1985 异质结构激光器 上册 第 237 - 241 页]

Graded heterojunction in AlGaInP compound semiconductors and its application to HB-LED^{*}

Liu Lu¹⁾ Fan Guang-Han¹⁾ Liao Chang-Jun²⁾ Cao Ming-De¹⁾ Chen Gui-Chu¹⁾ Chen Lian-Hui¹⁾

¹⁾ (Metalorganic Chemical Vapor Deposition Laboratory, Information and Photoelectron School, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

²⁾ (Quantum and Electron Institute, Information and Photoelectron School, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

(Received 8 October 2002; revised manuscript received 13 December 2002)

Abstract

A simple model of the graded heterojunction in AlGaInP compound semiconductors was introduced to analyze the energy band profile. We analyze the energy band profiles with the different grading ways but the same grading length, under the different doping densities. We analyze the effect of the different grading lengths on the surplus of the spike potential to the potential of the n region under the different doping densities. We analyze the effect of the graded heterojunction, finding it can improve the HB-LED (high-brightness light emitting diode) performance, and proved by the experiment. A graded heterojunction should be applied to HB-LED, based on this analysis.

Keywords: AlGaInP, heterojunction, graded, LED

PACC: 7850G

^{*} Project supported by the Center Technology Project of The City of Guangzhou (No. 1999-z-035-01).