

# 插入生长 AlGaAs 薄膜对 InAs 量子点 探测器性能的影响\*

王 莞<sup>1)2)</sup> 刘昭麟<sup>2)</sup> 李天信<sup>2)</sup> 陈平平<sup>2)</sup> 崔昊杨<sup>2)</sup> 肖 军<sup>1)</sup> 张 曙<sup>1)</sup> 杨 宇<sup>1)</sup> 陆 卫<sup>2)†</sup>

1) 云南大学工程技术研究院光电薄膜研究中心, 昆明 650091)

2) 中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室, 上海 200083)

(2007 年 6 月 12 日收到, 2007 年 7 月 9 日收到修改稿)

利用分子束外延生长获得的两个 InAs 量子点样品制备了 n 型的量子点红外探测器. 对于其中一个器件, 在 InAs 量子点有源区的底部和顶部分别插入生长了 AlGaAs 势垒层. 利用透射电阻显微技术研究了两个样品的结构特性. 利用光致发光光谱和光电流谱研究了两个器件的光电性质. 实验结果表明, AlGaAs 层的插入对器件的探测性质有显著的影响. 利用有三维有效质量近似模型的计算结果, 指认了带内光电流谱中峰结构的起源.

关键词: InAs 量子点, AlGaAs 薄膜, 光致发光光谱, 有效质量近似模型

PACC: 7320, 7840, 3270J, 7320D

## 1. 引 言

量子阱红外探测器(QWIP)是近 20 年来红外成像技术领域的一个热点研究对象<sup>[1,2]</sup>. 虽然 QWIP 已经显示出良好的性能和形成了成熟的工艺, 但它性能的进一步提高始终受到一些无法克服的因素限制; p 型 QWIP 因其光电转化效率较低, 未能引起人们足够的重视; 而 n 型 QWIP 虽然有较高的转换效率, 但量子阱(QW)结构只能吸收光偏振矢量满足  $\int \varphi^* E \varphi \neq 0$  或按布儒斯特角的入射光, 而对垂直入射的红外辐照的响应率却极低<sup>[3]</sup>. 在 n 型 QWIP 前加上一个耦合光栅可以解决吸收正入射辐照的困难, 但是制作耦合光栅却又增加了工艺的成本和复杂性, 阻碍了 QWIP 的更进一步的发展<sup>[4]</sup>. 目前方兴未艾的量子点红外探测器(QDIP)是除 QWIP 外实现高性能微光红外探测的另一个非常不错的选择. 在量子点中, 载流子由于在三个维度上受限而使得 QDIP 不受入射光方向的限制, 加之量子点特有的“声子瓶颈”效应能够极大抑制局域在束缚态上的载流子被声子散射的概率, 从而保证了激发态电子拥有较高的寿命, 因而在理论上也预示着 QDIP 具有

更高的工作温度和更低的暗电流特性<sup>[5]</sup>.

截止目前, 国际上数个科研小组已经陆续展开了基于 InAs QDIP 的研究. 其中, 对 InAs QDIP 的有源区进行调制生长、掺杂等改性是一个重要的研究课题, 也被认为是提高器件探测性能的最有效途径之一. Phillips 等人<sup>[6,7]</sup>在覆盖着 InGaAs 层的 InAs 量子点材料芯片制成了 InAs/GaAs QDIP, 使得器件在 80 K 时的探测率达到  $1.3 \times 10^{10}$  cmHz<sup>2</sup>/W, 比没有 InGaAs 覆盖层的 InAs 量子点探测器件有明显的改善. Krishna 等人<sup>[8]</sup>在 InGaAs 阱中生长的 InAs 量子点(InAs DWELL)材料芯片上实现了探测率峰值为  $7.1 \times 10^{10}$  cmHz<sup>2</sup>/W, 暗电流小于  $10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup> 的中波(3—5  $\mu$ m)和长波(8—11  $\mu$ m)红外双色 QDIP 探测器. 然而, 在器件有源区插入生长 AlGaAs 层的研究和报道却非常有限. 本文报道在有源区插入生长 AlGaAs 薄膜对 InAs QDIP 光电性能的影响, 利用有效质量近似模型的计算, 明确对光谱中的光学结构进行了指认.

## 2. 实 验

在 GaAs(001)衬底上利用固源分子束外延生长

\* 国家重点基础研究发展规划项目(批准号 2004CB619004)和国家自然科学基金(批准号 60567001)资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: luwei@mail.stip.ac.cn



InAs 量子点,从而获得制作 InAs QDIP 的芯片材料. InAs 量子点的生长温度为  $500^{\circ}\text{C}$ ,生长速率为  $0.18\text{ ML/s}$ ,生长厚度约为  $3.0\text{ ML}$ . 对于器件 1,在 GaAs 缓冲层生长完毕后,开始生长 InAs 量子点,再用 GaAs 层作为覆盖层.在结束 5 个 GaAs/InAs/GaAs 周期的生长后,再生长一层 Si 掺杂的 n 型 GaAs 层作为电极层.对于器件 2,在每一个 InAs/GaAs 周期的底部和顶部各自生长一层厚度约  $6.5\text{ nm}$  的 AlGaAs 薄膜,也就是形成 AlGaAs/InAs/GaAs/AlGaAs 的结构,其中 Al 的掺杂率为 0.33,中间 GaAs 覆盖层的厚度约为  $6\text{ nm}$ . GaAs 和 AlGaAs 的生长温度均为  $600^{\circ}\text{C}$ . 器件 2 的具体生长结构和电极布局如图 1 所示.在两个器件靠下层均生长了 5 个周期的 AlAs/GaAs 超晶格结构,主要用于保持量子点尺寸均匀性和降低器件的暗电流.

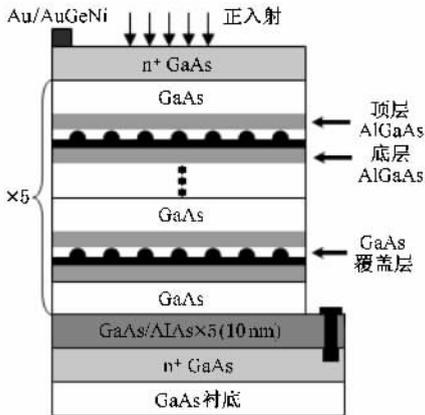


图 1 器件 2 的剖面结构示意图

在 QDIP 器件制备过程中,使用了标准的光刻蚀和湿法化学刻蚀方法.单元器件的台面面积约为  $6 \times 10^4\ \mu\text{m}^2$ .如图 1 所示,使用 Au/AuGeNi 材料制作合金电极材料,以作为合金柱与 n 型 GaAs 电极层之间的欧姆接触.使用红外傅里叶光谱仪测量 InAs 量

子点材料带间和导带内束缚态的光电流(PC)信号,测量过程中对器件光敏面使用正入射的方法.低温光谱实验使用一个 Oxford 变温光学杜瓦,器件置于变温杜瓦的冷头上,冷头使用循环的液氮制冷.光致发光(PL)光谱使用波长为  $632.8\text{ nm}$  的 He-Ne 激光作为激发光源.探测器使用液氮制冷的 InGaAs 探测器<sup>[9]</sup>,激光器的激发功率约为  $62\text{ mW/cm}^2$ .器件的噪声(暗电流)特性使用一个 HP 噪声图形测试仪和精密锁相放大器进行测量.

### 3. 实验结果和讨论

图 2(a)和(b)分别为两个 5 周期 InAs 量子点材料芯片的截面透射电子显微(TEM)照片.在照片(a)和(b)中可以清楚看到 InAs 量子点和浸润层;另外,在图 2(b)图中可以很容易分辨出 AlGaAs 和 GaAs 的界限.大多数量子点的形状呈良好的透镜形.器件 1 和 2 中的 InAs 量子点平均高度分别约为  $7.4\text{ nm}$  和  $6.0\text{ nm}$ ,器件 1 量子点的高度略优于器件 2 的量子点平均高度.而量子点的平均底面直径恰好相反,器件 2 中的  $18.6\text{ nm}$  略大于器件 1 中的  $16.2\text{ nm}$ .两个器件中的量子点密度大致相似,约为  $9.5 \times 10^{10}\text{ cm}^{-2}$ .

从 TEM 照片中不难看出,在器件 1 中,随着周期层数的增加,量子点的尺寸和密度在逐渐减小,而在有源区生长了 AlGaAs 层的器件 2 中,随着周期层数的增加,量子点尺寸和密度并没有太多的改变.这些差异也同时也被两个样品的 PL 光谱所证实.图 3 显示了  $80\text{ K}$  温度下器件 1 和 2 的量子点的 PL 谱. PL 谱和以下的 PC 谱均使用高斯线形模型进行了拟合<sup>[10,11]</sup>.从图 2 中可以看出,器件 1 和 2 的量子点带间基态( $e_1-hh_1$ )复合发光峰分别位于  $1.058$  和  $1.068\text{ eV}$ . 相比而言,器件 2 中量子点基态发光峰发生了  $10\text{ eV}$  的蓝移.在相同的激发功率下,器件 2 的

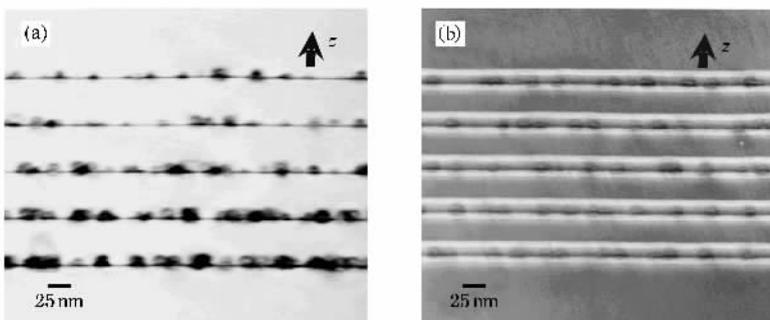


图 2 器件 1(a)和(b)的截面 TEM 照片

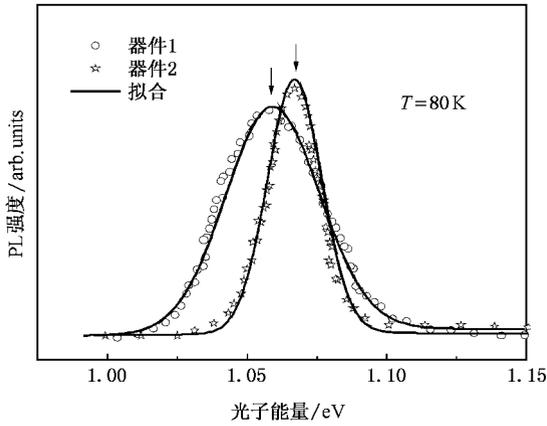


图3 80 K 温度下两个器件的 PL 谱,图中的箭头用来标识 PL 峰的位置

量子点基态发光峰稍强于器件 1 的基态发光峰强度.高斯线性拟合表明,器件 2 中基态发光峰半高宽(FWHM)非常窄,只有 25 meV,这比器件 1 中量子点基态发光峰宽度的 40 meV 减小了近 40%.上述结果与 TEM 照片显示的结果相符:插入生长了 AlGaAs 薄层的 InAs 量子点的尺寸更加均匀,使得不同量子点中相同束缚态在能量分布上更加集中;在两者量子点密度相近的情况下,这将导致器件 2 中的复合发光峰在强度上稍稍占优.我们认为 AlGaAs 薄膜促使量子点尺寸均匀生长的原因可能是由于 Al 原子的原子半径小于 Ga 和 In 的原子半径,这会使得 Al 原子在 MBE 生长过程中更加容易发生迁移和扩散,进而导致在底层 AlGaAs 上生长的 InAs 二维浸润层更为平整,也同时有助于同一个周期内的 InAs 量子点的均匀化生长.实际上,底层 AlGaAs 的作用和前面短周期 GaAs/AlAs 超晶格的作用相似,GaAs/AlAs 超晶格的作用亦是使得上方生长的 GaAs 缓冲层更为平整.而在 GaAs 覆盖层和 InAs 量子点顶部生长顶层 AlGaAs 也将导致用于间隔每个有源区周期之间的 GaAs 层表面比没有顶层 AlGaAs 时更加平整,从而为下一周期 InAs 量子点的均匀生长奠定了基础.顶层 AlGaAs 的作用已经在 TEM 照片中得以显现,器件 1 中量子点尺寸均匀性和密度随着三明治结构的周期数增大而变差;但值得注意的是,在 GaAs 间隔层之前生长了 AlGaAs 层的器件 2 中,量子点均匀性和密度随周期数增大却得以保持.

图 4(a)和(b)分别显示了两个 QDIP 在正向偏置下的室温带间跃迁 PC 谱.处于 0.933 和 1.004 eV 的 QD0 峰分别为两个器件中起源于载流子发生

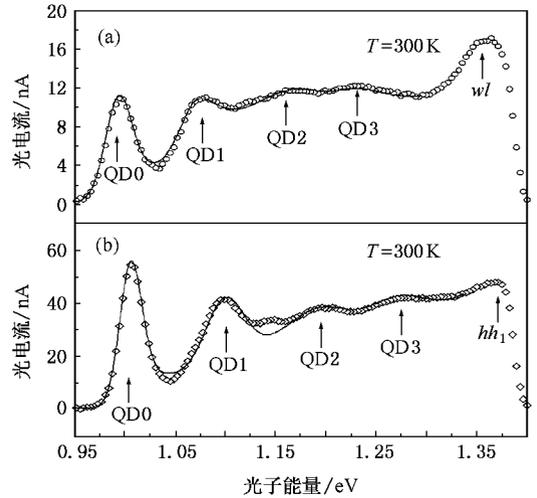


图4 器件 1 和 2 分别在 +0.35 V (a)和 +0.4 V (b)偏压下的室温带间 PC 谱

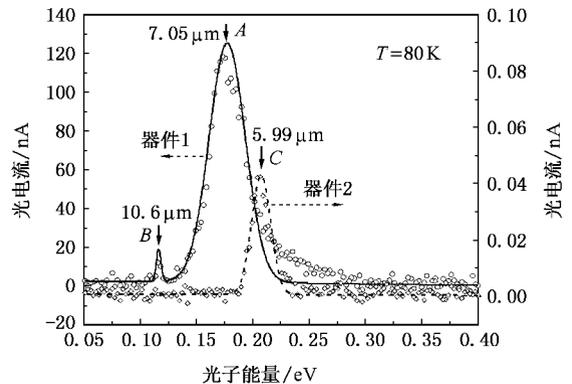


图5 两个器件在 80 K 的带内 PC 谱

$e_1-hh_1$  跃迁并随外加电场作用而定向迁移形成的基态峰.在图 4(a)和(b)中都观察到的 QD1、QD2 和 QD3 峰均与量子点中激发态的带间跃迁有关.图 4(a)中的  $wl$  结构被认为是起源于 InAs 浸润层形成的二维量子阱中的基态跃迁;而图 4(b)中的  $hh_1$  峰则来自于 GaAs 覆盖层形成的一维受限 GaAs/AlGaAs 量子阱中的基态跃迁.尽管在室温下,PC 谱仍能够清晰观察到量子点中所有带间束缚态的光学结构,表明 PC 谱是一种研究 QDIP 较为有效的方法.两个器件中量子点第一激发态 QD1 分别位于 1.076 和 1.101 eV,它们和基态 QD0 的能量间距分别为 83 meV 和 97 meV.可以看到,插入生长 AlGaAs 层后,不仅会使得 InAs 量子点基态束缚能量的增大,还会导致束缚态之间的能量间距有所增大.

图 5 分别给出了器件 1 和 2 在 +0.8 V 偏压和

80 K 温度下的导带内跃迁 PC 谱. 器件 1 中量子点的主体光电流峰 *A* 位于 176 meV (7.05  $\mu\text{m}$ ), 半峰宽为 31 meV. 在低能量端有出现了另一个强度微弱的光电流峰 *B*, 其能量位置处于 117 meV (10.6  $\mu\text{m}$ ). 然而在器件 2 中的带内 PC 谱中, 只观察到位于 208 meV (5.96  $\mu\text{m}$ ) 的一个主体峰 *C*, 其半峰宽较窄, 仅为 16 meV. 从图 5 中还可以看到, 相同的偏压下, 器件 2 的光电流峰 *C* 的强度比器件 2 的主峰 *A* 的强度弱 3 个数量级. 对器件 2 进行不同外加正向偏压下的 PC 谱实验表明, 器件 2 的 *C* 峰在 +1.8 V 时达到最高的 1.2 nA, 但这个值还是与器件 1 的 *A* 峰相差了 3 个数量级. 因此, 可以认为势垒较高的 AlGaAs 层在光生载流子的定向迁移过程中充当了一个阻挡层的作用, 减弱了光电流峰的强度. 除此之外, 由于 AlGaAs 层的插入, 使得器件的主要探测波段发生了 32 meV (7.05 - 5.96 = 1.09  $\mu\text{m}$ ) 的蓝移.

为了进一步研究 AlGaAs 层对量子点中束缚态的限制效应, 利用基于三维有效质量近似模型对两个器件中的量子束缚能级进行了理论计算. 计算模型基于 Wojcik 等人 [12, 13] 发展的透镜型量子点有效质量模型. 计算过程中 InAs, GaAs 和 AlGaAs 之间的导带带阶取为 0.60 [14]. 导带势分布取自 Califano 等人 [15, 16] 推导获得的经验公式. 计算过程中的 Al<sub>0.33</sub>Ga<sub>0.67</sub>As 薄层的参数来源于 GaAs 和 AlAs 材料参数线性内插的结果, InAs, AlAs 和 GaAs 材料参数取自文献 [17]. 相关的应力和能带不连续效应均已包含在 InAs 量子点电子有效质量  $m_e$  中,  $m_e$  取值为 0.02 $m_0$ . 用于计算的量子点高度和底部直径的数值均取自 AFM 和 TEM 照片的统计结果, InAs 浸润层的等效厚度取为 0.36 nm [18]. 图 6 显示了计算获得的两个器件在平衡态下的导带势分布情况, 其中对 *wl* 和 *hh*<sub>1</sub> 的能态计算使用的是一维有效质量近似

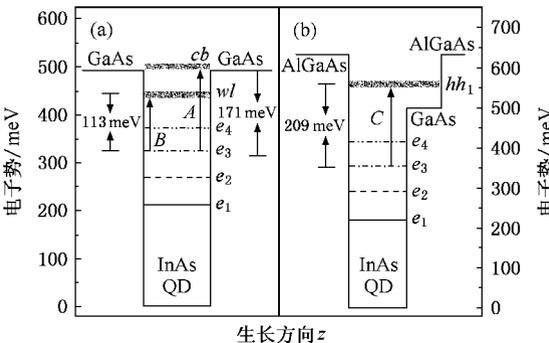


图 6 计入应变效应后计算得到器件 1 (a) 和 2 (b) 的带内跃迁示意图

模型 [18]. 计入应变效应后的计算结果表明, 器件 1 中的第二激发态 *e*<sub>3</sub> 到 GaAs 势垒上连续态 *cb* 的跃迁 (*e*<sub>3</sub>-*cb*) 以及到 InAs 浸润层形成量子阱中 *wl* 带的跃迁 (*e*<sub>3</sub>-*wl*) 在能量上分别与 *A* 峰和 *B* 峰的峰位接近, 而器件 2 中第二激发态 *e*<sub>3</sub> 到 GaAs/AlGaAs 量子阱中 *hh*<sub>1</sub> 的基态跃迁 (*e*<sub>3</sub>-*hh*<sub>1</sub>) 能量正好与 *C* 峰的峰位对应. 因此, 在图 5 中观察到的 *A*, *B* 和 *C* 峰也就得到了相应的指认. 其中, 类似 *B* 峰那样起源于束缚态到 *wl* 态的跃迁也曾经在 InAs/GaAs QDIP 的光谱中被观察到 [19], 而类似与 *C* 峰来自量子阱中基态重空穴的跃迁也曾在 InAs/InGaAs QDIP 中被观察到 [20].

最后, 我们还测量了 80 K 温度下两个器件的暗电流曲线 (图 7). 从图 7 可以看出, 器件 2 显示了较佳的暗电流性质, 暗电流在 10<sup>-2</sup> 和 10<sup>7</sup> nA 这一很宽的范围变化. 而相同偏压下, 器件 1 的暗电流密度为器件 2 的暗电流密度的近 10<sup>6</sup> 倍. 这也表明插入生长的 AlGaAs 层不仅起到了限制 QDIP 光电流密度的作用, 同样还起到了极大限制暗噪声的作用. 对于这两个 (光电流和暗电流) 会对器件探测性能产生极大影响而又相互矛盾的电流参数, AlGaAs 薄膜造成的综合效应究竟是起到了积极还是消极的作用呢? 我们定义信噪比为光电流 *I*<sub>p</sub> 比上暗电流 *I*<sub>d</sub>, 即 *I*<sub>p</sub>/*I*<sub>d</sub>. 在 80 K 和 +0.8 V 下这个器件 1 的最佳工作条件下, 可以得到器件 1 和 2 的信噪比的比率约为 1/10<sup>3</sup>, 也就是器件 2 的信噪比是器件 1 的 10<sup>3</sup> 倍. 器件 2 中出现如此高的信噪比现象也许可以通过三个与 AlGaAs 势垒层相关的因素得到解释. 第一个因素是 AlGaAs 层的电子势垒较高, 它起到一个阻挡层的作用, 在减弱了光电流的同时也极大地限制了器件

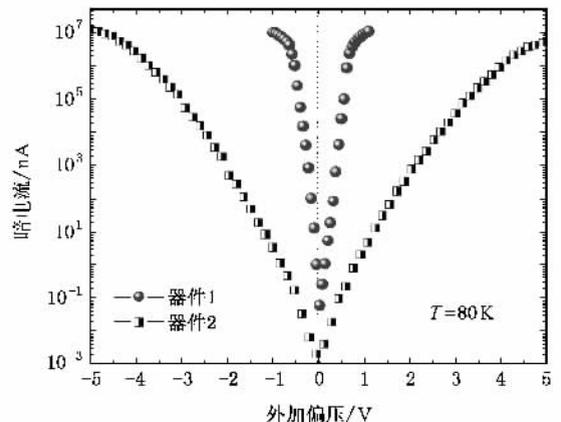


图 7 两个器件在 80 K 时的暗电流曲线

的暗电流.第二个因素与器件 2 的主峰 C 起源于  $e_3-hh_1$  跃迁有关,虽然器件 2 中的  $hh_1$  态的态密度要小于器件 1 中势垒上连续态  $cb$  的态密度,这会导致器件 2 的光电流强度较弱,但是  $hh_1$  是一维受限态,这种状况就类似于 InAs 量子点生长在 InGaAs 量子阱结构中一样,量子阱结构能够极大地抑制暗电流<sup>[20]</sup>,从而使得器件 2 的整体暗电流要比器件 1 的暗电流小得多.另外,由于主峰 C 起源于到一维受限态  $hh_1$  的跃迁,而不像是起源于束缚态到势垒上连续态  $cb$  的跃迁,这可能也是导致器件 2 中的 C 峰的半高宽仅为器件 1 中 A 峰半高宽的  $\sim 50\%$  的原因.第三个因素可以归因于器件 2 中 InAs 量子点占据二维 InAs 浸润层表面积的比例高达  $\sim 80\%$ ;由于  $\delta$  函数态密度引起的“声子瓶颈”效应能够极大地限制声子对三维受限量子点束缚能态中载流子的散射,而在无量子点占据的单纯二维 InAs 浸润层区域上,其中一维受限态上(例如  $wl$  态)的载流子得不到“声子瓶颈”效应的有效掩护,从而导致器件 1 由于热效应相关作用导致的噪声信号相对有所提高.因此,从这一角度上看,量子点的高占据率也是一个抑制暗电流增大的有效因素.

## 4. 结 论

对一个传统的 InAs/GaAs 和一个在有源区插入生长 AlGaAs 层的 AlGaAs/InAs/GaAs/AlGaAs 量子点单元探测器进行了光电性质的研究. TEM 实验表明 AlGaAs 层有助于多周期量子点结构保持较好的量子点尺寸均匀性和较高的量子点密度. PL 光谱实验和带间 PC 光谱表明生长了 AlGaAs 层的量子点器件是制作近红外( $\sim 1 \mu\text{m}$ )波段较为优良的探测器.低温带内 PC 谱和暗电流实验显示 AlGaAs 层不仅会极大的抑制暗噪声信号,也会由于较高的势垒限制光生载流子到达电极的数目,从而降低了光电流信号.简单的分析表明,含有 AlGaAs 层的 InAs 量子点器件的信噪比高出没有相应 AlGaAs 结构的 InAs 量子点探测器约  $\sim 10^3$  倍.这一内嵌的 AlGaAs 层布局为制作优良的 InAs 量子点红外探测器提供了一种切实可行的器件结构.

作者衷心感谢陈忠辉博士、李宁研究员和甄红楼副研究员在实验和讨论过程中提供的无私帮助!

- [ 1 ] Liu H C , Levine B F 1993 *Quantum Well Intersubband Transition Physics and Devices* ( Kluwer Academic Publishers ) p2
- [ 2 ] Levine B F 1993 *J. Appl. Phys.* **74** R1-R81
- [ 3 ] Zhen H L 2005 *Doctoral Dissertation* ( Shanghai : Shanghai Institute of Technical Physics , Chinese Academy of Science ) p7 ( in Chinese ) [ 甄红楼 2005 博士论文 ( 中国科学院上海技术物理研究所 ) 第 7 页 ]
- [ 4 ] Xu S J , Chua S J , Mei T , Wang X C , Zhang X H , Karunasiri G , Fan W J , Wang C H , Jiang J , Wang S , Xie X G 1998 *Appl. Phys. Lett.* **73** 3153
- [ 5 ] Towe E , Pan D 2000 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **6** 408
- [ 6 ] Phillips J , Bhattacharya P , Kennerly S W , Beekman D W , Dutta M 1999 *IEEE J. Quantum Electron.* **35** 936
- [ 7 ] Kim E T , Chen Z H , Madhukar A 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 3341
- [ 8 ] Krishna S , Forman D , Annamalai S , Dowd P , Varangis P , Tumulillo T , Gray J A , Zilko J , Sun K , Liu M , Campbell J , Carothers D 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 193501
- [ 9 ] Wang C , Liu Z L , Chen P P , Cui H Y , Xia C S , Yang Y , Lu W 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5418 ( in Chinese ) [ 王 莞、刘昭麟、陈平平、崔昊杨、夏长生、杨 宇、陆 卫 2007 物理学报 **56** 5418 ]
- [ 10 ] Miao Z L , Chen P P , Cai W Y , Li Z F , Xu W L , Shi G L , Lu W 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 116 ( in Chinese ) [ 缪中林、陈平平、蔡伟颖、李志峰、徐文兰、史国良、陆 卫 2001 物理学报 **50** 116 ]
- [ 11 ] Wang C , Chen P P , Liu Z L , Li T X , Lu W 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3636 ( in Chinese ) [ 王 莞、陈平平、刘昭麟、李天信、陆 卫 2006 物理学报 **55** 3636 ]
- [ 12 ] Wojs A , Hawrylak P , Fafard S , Jack L 1996 *Phys. Rev. B* **54** 5604
- [ 13 ] Xia C S , Hu W D , Wang C , Li Z F , Chen X S , Lu W , Simon L 2006 *Opt. Quant. Electron.* **38** 1077
- [ 14 ] Amtout A , Raghavan S , Rotella P , Winckel G V , Stinz A , Krishna S 2004 *J. Appl. Phys.* **96** 3782
- [ 15 ] Califano M , Harrison P 2002 *J. Appl. Phys.* **91** 389
- [ 16 ] Tang N Y , Chen X S , Lu W 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2277 ( in Chinese ) [ 汤乃云、陈效双、陆 卫 2005 物理学报 **54** 2277 ]
- [ 17 ] Sadao A 1982 *J. Appl. Phys.* **53** 8775
- [ 18 ] Wang C , Chen P P , Tang N Y , Xia C S , Lu W , Chen Z H 2006 *J. Crystal. Growth.* **289** 547
- [ 19 ] Liu H C , Gao M , Mccaffrey J , Wasilewski Z R , Fafard S 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 79
- [ 20 ] Krishna S 2005 *Infrared Phys. Technol.* **47** 153

# The effect of the inserted AlGaAs films on the behaviors of InAs quantum dot detector<sup>\*</sup>

Wang Chong<sup>1,2)</sup> Liu Zhao-Lin<sup>2)</sup> Li Tian-Xin<sup>2)</sup> Chen Ping-Ping<sup>2)</sup> Cui Hao-Yang<sup>2)</sup> Xiao Jun<sup>1)</sup>  
Zhang Shu<sup>1)</sup> Yang Yu<sup>1)</sup> Lu Wei<sup>2)</sup>†

1) *Research Center for Photoelectric Thin Films, Research Institute of Engineering and Technology, Yunnan University, Kunming 650091, China*

2) *National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China*

( Received 12 June 2007 ; revised manuscript received 9 July 2007 )

## Abstract

Two InAs quantum dot samples have been grown by the solid source molecular beam epitaxy ( MBE ) and fabricated to detectors. AlGaAs thin films have been inserted into the source region for one of the two devices. The structural features of the two samples have been studied by using the transmission electron microscope ( TEM ). The photoelectric properties of them have been measured by the photoluminescence ( PL ) and photocurrent ( PC ) spectra. The experimental results indicated that the AlGaAs films have profound effects on the properties of the detector. According to the calculations based on effective mass approximation, the origins of the photocurrent peaks of the two devices have been identified.

**Keywords** : InAs quantum dots, AlGaAs films, photoluminescence, effective mass approximation

**PACC** : 7320, 7840, 3270J, 7320D

<sup>\*</sup> Project supported by the State Key Program for Basic Research of China ( Grant No. 2004CB619004 ) and the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 60567001 ).

† Corresponding author. E-mail : luwei@mail.sitp.ac.cn