

# 透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极最佳厚度研究\*

杨 智 邹继军 常本康<sup>†</sup>

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

(2009 年 9 月 8 日收到; 2009 年 11 月 4 日收到修改稿)

通过研究指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子扩散漂移长度与均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子扩散长度的差异, 确定透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度范围为 1.6—2.2  $\mu\text{m}$ . 利用量子效率公式对透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极最佳厚度进行了仿真分析, 发现厚度为 2.0  $\mu\text{m}$  时阴极积分灵敏度最大. 外延生长阴极厚度分别为 1.6 和 2.0  $\mu\text{m}$  的两种透射式指数掺杂 GaAs 样品并进行了激活实验, 测得样品的积分灵敏度分别为 1228 和 1547  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , 两者的比值为 79.6%. 实验结果与仿真结果符合.

**关键词:** GaAs 光电阴极, 透射式, 指数掺杂, 厚度

**PACC:** 7960, 7280E, 7360L, 7320A

## 1. 引 言

GaAs 负电子亲和势光电阴极具有量子效率高、暗发射小、发射电子的能量分布及角分布集中、长波阈可调、长波响应扩展潜力大等优点, 并由此在高性能微光像增强器、自旋电子学等众多领域获得了广泛的应用<sup>[1-6]</sup>. 近来, 指数掺杂 GaAs 光电阴极由于比均匀掺杂 GaAs 光电阴极具有更好的光谱响应特性而受到了越来越多的关注<sup>[7,8]</sup>. 照射在光电阴极上的入射光的能量分为被反射、被透射和被吸收三个部分. 前两部分能量对光电发射没有贡献, 只有被吸收的光才对光电发射有贡献. GaAs 光电阴极的光学吸收主要是本征吸收<sup>[9-11]</sup>, 在不影响光电子发射的前提下, 吸收的光越多, 阴极的光谱响应特性越好. 由于掺杂结构特殊, 指数掺杂 GaAs 光电阴极体内可以形成有利于光电子向表面运动的内建电场, 使光电子以扩散加漂移的形式向表面运动, 因此指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散漂移长度大于均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散长度, 这一特性允许指数掺杂 GaAs 光电阴极的厚度大于均匀掺杂 GaAs 光电阴极的厚度, 使指数掺杂 GaAs 光电阴极能够更加充分地吸收可见光, 有效提升阴极的光谱响应能力.

尽管透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极已得到了

较为深入的研究, 但其最佳厚度却还没有定论. 本文研究了指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子扩散漂移长度与均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子扩散长度的差异, 并由此确定了透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度范围, 通过量子效率公式对透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度进行了仿真分析, 获得了透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度.

## 2. 扩散漂移长度与扩散长度

通常把 p 型掺杂浓度保持一致的阴极称为均匀掺杂 GaAs 光电阴极, 把从后界面到表面的 p 型掺杂浓度按照下式的规律进行变化的阴极称为指数掺杂 GaAs 光电阴极:

$$N(x) = N_0 \exp(-Ax), \quad (1)$$

式中  $x$  是指阴极内某点离后界面的距离,  $N_0$  为后界面处的掺杂浓度,  $N(x)$  为  $x$  处的掺杂浓度,  $A$  为指数掺杂系数.

因为阴极外延生长时掺杂浓度的变化情况不可能严格满足 (1) 式, 实际生长时掺杂仍是按区间进行的, 所以当阴极的掺杂浓度按照 (1) 式分为 8 个区间时就可以认为掺杂浓度是按指数规律变化的. 由于掺杂结构不同, 指数掺杂 GaAs 光电阴极与均匀掺杂 GaAs 光电阴极的能带结构存在差异. 两

\* 国家自然科学基金 (批准号: 60678043, 60801036) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn

种阴极的能带结构如图 1 所示, 其中  $\delta_s$  为阴极表面能带弯曲量,  $E_{vac}$  为阴极表面真空能级,  $E_c$  为导带底能级,  $E_v$  为价带顶能级,  $E_g$  为禁带宽度,  $E_F$  为费米能级。

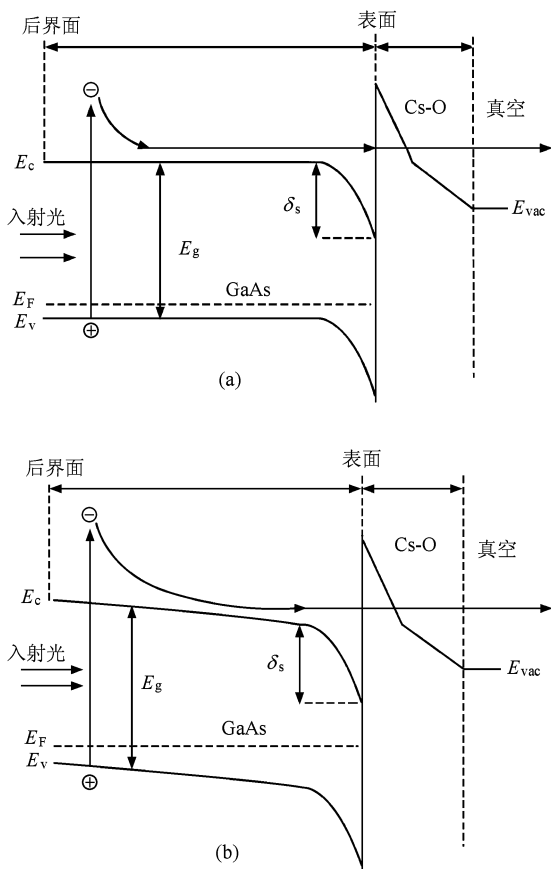


图 1 两种不同掺杂结构 GaAs 光电阴极的能带结构 (a) 均匀掺杂 GaAs 光电阴极, (b) 指数掺杂 GaAs 光电阴极

由图 1 可以看出, 在指数掺杂 GaAs 光电阴极中, 各个区域的掺杂浓度不同会导致费米能级的拉平效应, 形成一个由高掺杂到低掺杂, 即体内到表面的向下的能带弯曲。这些向下的能带弯曲形成的内建电场有利于体内电子向表面迁移。这样, 当入射光照射指数掺杂阴极时, 阴极体内激发的光电子一方面在内建电场的作用下向表面作定向加速运动, 一方面通过传统的扩散方式到达表面, 这种情况下光电子在复合前的运动路程称作扩散漂移长度。在均匀掺杂 GaAs 光电阴极中, 由于不存在能带弯曲和内建电场, 光电子只以扩散方式到达表面, 这种情况下光电子在复合前的运动路程称作扩散长度。由于内建电场能够为光电子提供额外的能量, 指数掺杂的 GaAs 光电阴极中光电子的扩散漂移长度要大于均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的

扩散长度。

指数掺杂 GaAs 光电阴极内建电场为电子提供的能量为

$$E = \left( E_v - k_B T \ln \frac{N_s}{N_v} \right) - \left( E_v - k_B T \ln \frac{N_0}{N_v} \right) = k_B T \frac{N_0}{N_s}, \quad (2)$$

式中  $N_v$  为 GaAs 价带态密度,  $k_B$  为玻尔兹曼常数,  $N_s$  为阴极表面的掺杂浓度。

研究发现, 获得最高量子效率的掺杂浓度范围在  $10^{18} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  之间<sup>[12,13]</sup>。取  $N_0 = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_s = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , 由(2)式可得, 指数掺杂 GaAs 光电阴极中的光电子可以从内建电场中获得 0.06 eV 的能量。可见光激发的光电子在向表面运动的过程中, 只受到电子-声子散射, 光电子在一次电子-声子散射中损失的能量为 0.01 eV, 在相邻两次电子-声子散射的间隙, 光电子的平均自由程为  $0.1 \mu\text{m}$ <sup>[14]</sup>, 因此, 指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散漂移长度比均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散长度要长  $0.6 \mu\text{m}$ 。由此可得, 指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度应比均匀掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度大  $0.1 - 0.6 \mu\text{m}$ 。研究发现, 透射式均匀掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度为  $1.6 \mu\text{m}$ <sup>[12]</sup>, 那么透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度在  $1.6 - 2.2 \mu\text{m}$  之间。

### 3. 透射式指数掺杂阴极量子效率公式及其仿真

#### 3.1. 量子效率公式

透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的量子效率公式可以通过在一定边界条件下求解连续性方程得到。透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极中少数载流子(光电子)所遵循的一维连续性方程为<sup>[7]</sup>

$$D_n \frac{d^2 n(x)}{dx^2} - \mu | E | \frac{dn(x)}{dx} - \frac{n(x)}{\tau} + \alpha I_0 (1 - R) \exp(-\alpha x) = 0 \quad (x \in [0, T_e]). \quad (3)$$

(3)式满足的边界条件为

$$D_n \frac{dn(x)}{dx} - \mu | E | n(x) \Big|_{x=0} = S_v n(x) \Big|_{x=0} \quad (n(T_e) = 0).$$

这里  $n(x)$  为少数载流子(光电子)浓度,  $I_0$  为入射

光强度,  $R$  为阴极表面对入射光的反射率,  $\alpha$  为阴极对入射光的吸收系数,  $\mu$  为电子迁移率,  $\tau$  为少数载流子(光电子)寿命,  $D_n$  为少数载流子(光电子)扩散系数,  $S_v$  为后界面复合速率,  $E$  为指数掺杂 GaAs 光电阴极内建电场的强度,  $T_e$  为 GaAs 光电阴极的厚度.

求解(3)式可得  $n(x)$ , 由  $n(x)$  可得透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的量子效率公式为

$$Y = \frac{P(\lambda)(1-R)\alpha L_d}{\alpha^2 L_d^2 + \alpha L_d q |E| / (k_B T) - 1} \times \left[ \frac{N(S + \alpha D_n) \exp(q |E| T_e / (2k_B T))}{M} - \frac{Q \exp(-\alpha T_e)}{M} - \alpha L_d \exp(-\alpha T_e) \right]. \quad (4)$$

这里

$$L_d = \sqrt{D_n \tau},$$

$$N = \sqrt{(L_d q |E| / (k_B T))^2 + 4L_d^2},$$

$$S = S_v + \mu |E|,$$

$$M = (ND_n / L_d) \cosh\left(\frac{NT_e}{2L_d^2}\right) + (2SL_d - D_n L_d q |E| / (k_B T)) \sinh\left(\frac{NT_e}{2L_d^2}\right),$$

$$Q = SN \cosh\left(\frac{NT_e}{2L_d^2}\right) + (SL_d + 2D_n) \sinh\left(\frac{NT_e}{2L_d^2}\right),$$

式中  $P(\lambda)$  是波长为  $\lambda$  的入射光所产生的光电子在阴极表面的逸出概率,  $T$  为温度,  $L_d$  为光电子复合前运动路程.

### 3.2. 最佳厚度仿真

根据量子效率公式对透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的积分灵敏度进行理论仿真研究, 以确定阴极的最佳厚度. 设定温度为室温,  $D_n = 120 \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $R = 0.3$ ,  $S_v = 100 \text{ cm/s}$ ,  $L_d = 3 \text{ }\mu\text{m}$ <sup>[7]</sup>. 仿真时单独改变  $T_e$ , 变化范围为 1.6—2.2  $\mu\text{m}$ , 变化步长为 0.1  $\mu\text{m}$ . 仿真结果如图 2 所示.

由图 2 可知, 随着厚度  $T_e$  的增加, 阴极的积分灵敏度逐渐提高, 当厚度为 2.0  $\mu\text{m}$  时, 阴极的积分灵敏度达到最大值, 而后当厚度增加到 2.1 和 2.2  $\mu\text{m}$  时, 阴极的积分灵敏度不是继续提升, 而是略有下降, 且 1.6  $\mu\text{m}$  厚阴极的积分灵敏度仅为 2.0  $\mu\text{m}$  厚阴极积分灵敏度的 80% 左右.

可见光照射在 GaAs 光电阴极上, 光电子从价带被激发到导带, 被激发到导带的光电子迅速热化

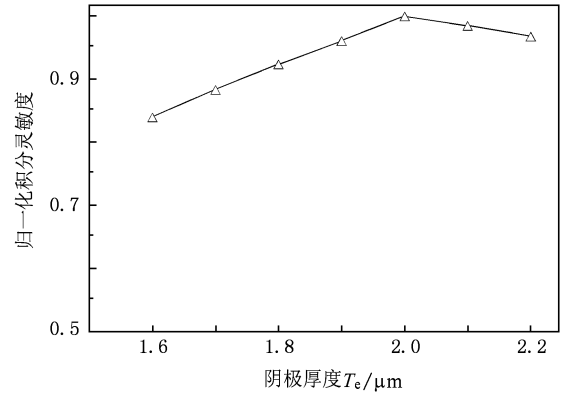


图 2  $T_e$  改变时透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极积分灵敏度变化过程仿真

到导带底, 主要从  $\Gamma$  能谷运动到表面通过隧道效应逸出<sup>[15,16]</sup>. 光电子是否运动到表面, 取决于光电子在复合前的运动路程, 复合前运动的路程越长, 到达表面的光电子越多. 在指数掺杂 GaAs 光电阴极和均匀掺杂 GaAs 光电阴极中, 这种运动路程分别表现为光电子的扩散漂移长度和扩散长度.

与均匀掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散长度相比, 指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子的扩散漂移长度更长. 因此透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的理论厚度要大于透射式均匀掺杂 GaAs 光电阴极, 这使得透射式指数掺杂阴极能够在不影响光电子发射的情况下更加充分地吸收入射光, 有效地提升阴极的光谱响应能力. 所以从  $T_e = 1.6 \text{ }\mu\text{m}$  开始, 随着厚度的增加, 阴极对入射光的吸收更加充分, 相应地, 阴极的积分灵敏度也逐渐增加. 仿真结果显示, 透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度为 2.0  $\mu\text{m}$ , 而不是理论厚度的最大值(2.2  $\mu\text{m}$ ), 这是因为  $\Gamma$  能谷中光电子向表面所作的扩散漂移运动并不是直线运动. 在光电子向表面运动的过程中, 主要考虑光电子与晶格点阵热振动发生碰撞形成的电子-声子散射, 而散射前后电子能量变化为<sup>[17]</sup>

$$\Delta E = 2m_n^* v^2 \left(\frac{u}{v}\right) \sin \frac{\theta}{2}, \quad (5)$$

式中  $m_n^*$  为电子有效质量,  $v$  为电子速度,  $u$  为声子速度,  $\theta$  为散射前后电子波矢间的夹角.

在每次电子-声子碰撞过程中, 光电子不仅会损失 0.01 eV 的能量<sup>[14]</sup>, 而且运动方向也会发生一定的变化, 如图 3 所示. 如果光电子在被复合前所经过

的总路程为  $L_d$ , 那么光电子在被复合前的位移则要小于  $L_d$ . 透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的理论最佳厚度为  $2.0 \mu\text{m}$ , 比透射式均匀掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度  $1.6 \mu\text{m}$  要大  $0.4 \mu\text{m}$ , 这说明虽然透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极中光电子在复合前的运动路程增加了  $0.6 \mu\text{m}$ , 但由于电子-声子碰撞作用, 光电子在表面方向位移分量的增量仅为  $0.4 \mu\text{m}$ . 当阴极的厚度超过  $2.0 \mu\text{m}$  时, 一部分光电子就会因为扩散漂移长度的限制而无法到达阴极表面, 造成阴极的光谱响应能力下降, 并且厚度增加越多, 无法到达表面的光电子数目越多, 阴极的光谱响应能力也就下降越剧烈, 所以  $T_e = 2.1 \mu\text{m}$  和  $T_e = 2.2 \mu\text{m}$  时阴极的积分灵敏度依次降低.

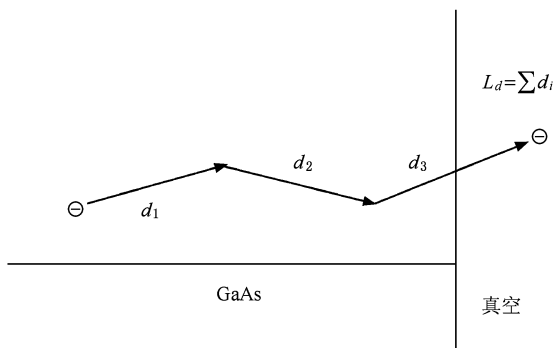


图 3 光电子向表面运动过程

### 4. 透射式指数掺杂阴极激活实验

在透射式 GaAs 光电阴极制备系统上进行了 GaAs 光电阴极激活实验. 实验采用分子束外延 (MBE) 法生长的两种 p 型透射式指数掺杂 GaAs 样品, 样品结构如图 4 所示. 两种样品的阴极厚度分别为  $1.6$  和  $2.0 \mu\text{m}$ , 掺杂原子为 Be, 两种样品的阴极掺杂浓度都分为 8 个区间, 设定后界面掺杂浓度为  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , 表面掺杂浓度为  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ , 由 (1) 式求得两种样品阴极各自的指数掺杂系数和每个区间对应的掺杂浓度, 使阴极的掺杂浓度按照指数掺杂的规律分布. 分子束外延的生长速率较慢, 生长温度较低, 不仅可以精确控制外延层的厚度, 还可以把扩散等热激活过程减少到最低程度. 生长前, 先将 GaAs 衬底材料放入 MBE 真空生长室中, 生长室真空度保持在  $4 \times 10^{-10} \text{Pa}$ , 在  $620 \text{ }^\circ\text{C}$  的操作温度下把衬底加热, 去除衬底表面的 C 和 O 等杂质, 然后在  $580 \text{ }^\circ\text{C}$  富 As 环境下外延生长样品. 首先在 GaAs 衬底上生长  $1 \mu\text{m}$  的  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}(1)$  腐蚀

层, 接着生长 GaAs 阴极层, 然后依次生长  $1 \mu\text{m}$  的  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}(2)$  缓冲层和  $0.1 \mu\text{m}$  的 GaAs 帽层, 样品的生长过程由反射高能电子衍射进行监测.

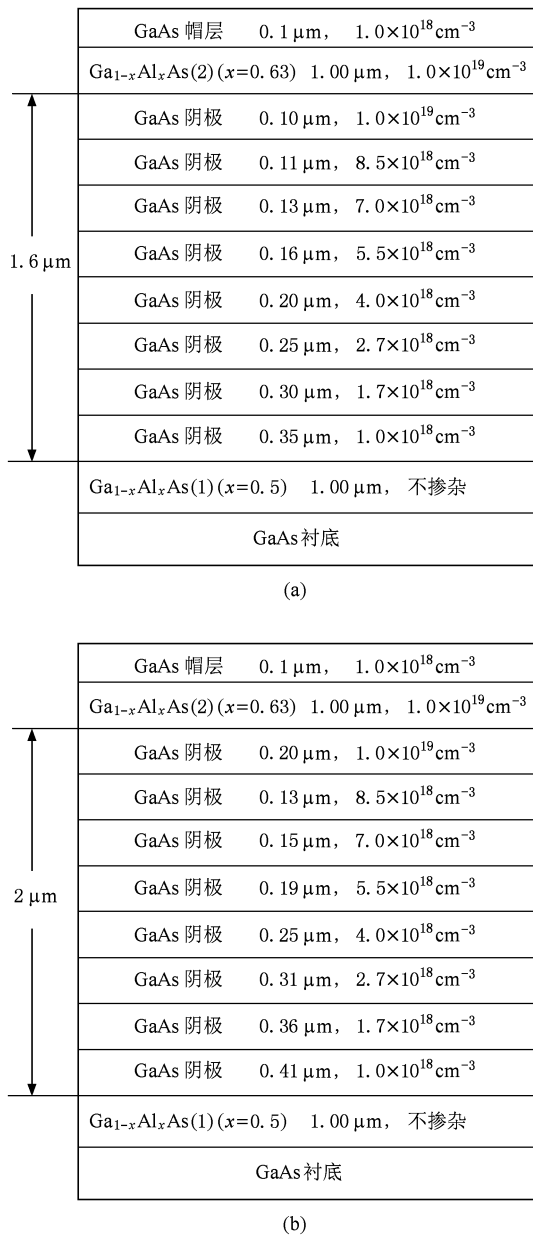


图 4 两种不同阴极厚度的透射式指数掺杂 GaAs 样品结构 (a) 阴极厚度为  $1.6 \mu\text{m}$ , (b) 阴极厚度为  $2.0 \mu\text{m}$

图 5 是采用电化学电容电压分析仪测得的两种透射式 GaAs 样品阴极的掺杂浓度分布. 由图 5 可知, 两种样品阴极均实现了 8 区间指数掺杂, 考虑到掺杂原子离子化率和仪器测量误差的影响, 两种样品阴极掺杂浓度的变化情况和设计是一致的.

实验时, 首先腐蚀掉样品的 GaAs 衬底层、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}(1)$  腐蚀层和 GaAs 帽层, 然后再在

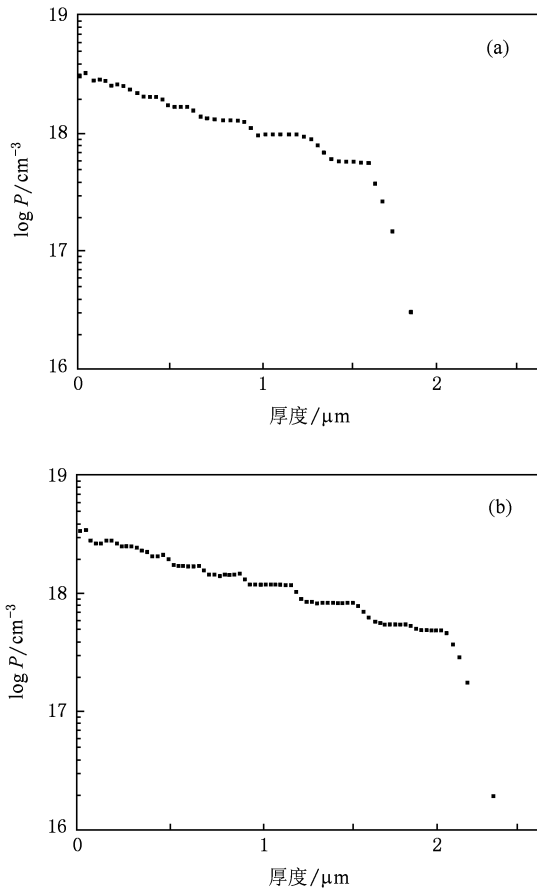


图5 两种不同厚度透射式指数掺杂 GaAs 样品阴极掺杂浓度  $P$  的分布 (a) 阴极厚度为  $1.6 \mu\text{m}$ , (b) 阴极厚度为  $2.0 \mu\text{m}$

$\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  (2) 缓冲层上镀  $\text{Si}_3\text{N}_4$  增透膜, 并在  $\text{Si}_3\text{N}_4$  增透膜上热粘接玻璃, 形成四层结构的透射式 GaAs 光电阴极组件, 接着对组件进行清洗, 最后把清洗后的透射式 GaAs 光电阴极组件送入激活室进行激活. 激活采用 Cs 源连续, O 源断续的工艺来进行<sup>[18]</sup>, 激活结束后利用光谱响应测试仪对两种样品的透射式光谱响应曲线进行了测试, 测试结果如图 6 所示, 图中曲线  $a$  和曲线  $b$  分别为阴极厚度  $T_e = 2.0 \mu\text{m}$  样品和阴极厚度  $T_e = 1.6 \mu\text{m}$  样品的光谱响应曲线. 由图 6 可以看出, 阴极厚度  $T_e = 2.0 \mu\text{m}$  样品的光谱响应特性要明显好于阴极厚度  $T_e = 1.6 \mu\text{m}$  的样品. 通过曲线对阴极的光谱响应特性参数进行了计算和拟合, 所得结果如表 1 所列.

表 1 对光谱响应曲线计算和拟合得到的阴极参数值

样品阴极厚度 $T_e/\mu\text{m}$	$S_e/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$D_n/\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$L_d/\mu\text{m}$	积分灵敏度/ $\mu\text{A}\cdot\text{lm}^{-1}$
2.0	101	126	3	1547
1.6	103	123	3	1228

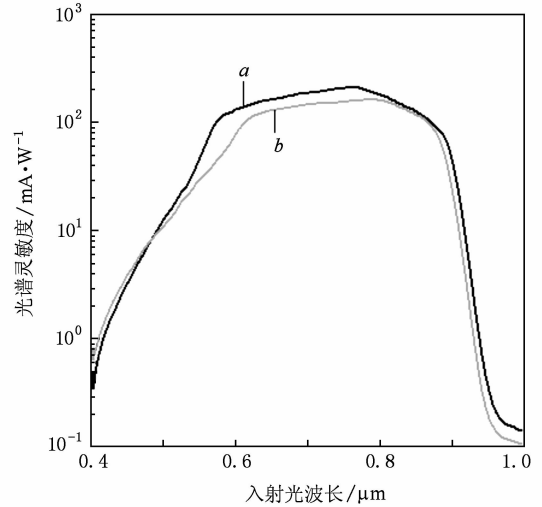


图6 两种不同阴极厚度透射式指数掺杂 GaAs 样品的透射式光谱响应曲线

从表 1 可知, 两种样品的后界面复合速率  $S_e$ 、扩散系数  $D_n$  和光电子复合前运动路程  $L_d$  基本相同, 但是阴极厚度  $T_e = 2.0 \mu\text{m}$  样品在不影响光电子发射的前提下对入射光的吸收更充分, 所以积分灵敏度也就更高. 阴极厚度  $T_e = 1.6 \mu\text{m}$  样品的积分灵敏度为  $1228 \mu\text{A}/\text{lm}$ , 阴极厚度  $T_e = 2.0 \mu\text{m}$  样品的积分灵敏度为  $1547 \mu\text{A}/\text{lm}$ , 两者的比值为  $79.6\%$ , 仿真结果中  $T_e = 1.6 \mu\text{m}$  阴极的积分灵敏度为  $T_e = 2.0 \mu\text{m}$  阴极积分灵敏度的  $80\%$  左右, 实验结果与仿真结果相符, 验证了仿真结果的正确性.

## 5. 结 论

指数掺杂 GaAs 光电阴极中电子的扩散漂移长度要比均匀掺杂 GaAs 光电阴极中电子的扩散长度长  $0.6 \mu\text{m}$ , 由此得到透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度范围为  $1.6\text{—}2.2 \mu\text{m}$ . 利用量子效率公式对透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度进行了仿真分析, 发现透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的最佳厚度为  $2.0 \mu\text{m}$ , 而当阴极厚度超过  $2.0 \mu\text{m}$  时, 到达阴极表面的光电子数目开始下降, 使阴极的积分灵敏度随着厚度的增加而下降. 采用阴极厚度分别为  $1.6$  和  $2.0 \mu\text{m}$  的两种透射式指数掺杂 GaAs 样品进行了 (Cs, O) 激活实验, 实验测得阴极厚度为  $1.6 \mu\text{m}$  样品的积分灵敏度为  $1228 \mu\text{A}/\text{lm}$ , 阴极厚度为  $2.0 \mu\text{m}$  样品的积分灵敏度为  $1547 \mu\text{A}/\text{lm}$ , 两者积分灵敏度的比值为  $79.6\%$ , 与仿真结

果一致. 本文的仿真及实验结果对于透射式指数掺杂 GaAs 光电阴极的设计和制备具有指导意义.

- [1] Reilly D J, Taylor M J, Petta R J, Marcus C M, Hanson M P, Gossard A C 2008 *Science* **321** 1350
- [2] Liu Z, Sun Y, Peterson S, Pianetta P 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 241107
- [3] Zhang Y J, Chang B K, Yang Z, Niu J, Zou J J 2009 *Chin. Phys. B* **18** 4541
- [4] Zou J J, Chang B K, Yang Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6109 (in Chinese) [邹继军、常本康、杨 智 2007 物理学报 **56** 6109]
- [5] Ding H B, Pang W N, Liu Y B, Shang R C 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4097 (in Chinese) [丁海兵、庞文宇、刘义保、尚仁成 2005 物理学报 **54** 4097]
- [6] Spindt C J, Besser R S, Cao R 1989 *Appl. Phys. Lett.* **54** 1148
- [7] Zou J J, Chang B K, Yang Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2992 (in Chinese) [邹继军、常本康、杨 智 2007 物理学报 **56** 2992]
- [8] Niu J, Yang Z, Chang B K, Qiao J L, Zhang Y J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 5002 (in Chinese) [牛 军、杨 智、常本康、乔建良、张益军 2009 物理学报 **58** 5002]
- [9] Schneider J E, Sen P, Pickard D S J 1998 *J. Vac. Sci. Techn.* **16** 3192
- [10] Guo L J, Wüstenberg J P, Andreyev O, Michael B, Martin A 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3200 (in Chinese) [郭立俊、Wüstenberg J P, Andreyev O, Michael B, Martin A 2005 物理学报 **54** 3200]
- [11] Machuca F, Liu Z, Sun Y, Pianetta P, Spicer W E, Pease R F W 2003 *J. Vac. Sci. Techn. B* **21** 1863
- [12] Fisher D G, Enstrom R E, Escher J S 1972 *J. Appl. Phys.* **43** 3815
- [13] Su C Y, Spicer W E, Lindau I 1983 *J. Appl. Phys.* **54** 1413
- [14] Spicer W E, Herrera-Gomez A 1993 *Proc. SPIE* **2022** 18
- [15] James L W, Moll J L 1969 *Phys. Rev.* **183** 740
- [16] Zou J J, Chang B K, Chen H L, Liu L 2007 *J. Appl. Phys.* **101** 033126
- [17] Liu E K, Zhu B S, Luo J S 2003 *Semiconductor Physics* (Beijing: Publishing House of Electronics Industry) p114 (in Chinese) [刘恩科、朱秉升、罗晋生 2003 半导体物理学(北京:电子工业出版社)第 114 页]
- [18] Turnbull A A, Evans G B 1968 *J. Appl. Phys.* **1** 155

## Research on the optimal thickness of transmission-mode exponential-doping GaAs photocathode\*

Yang Zhi Zou Ji-Jun Chang Ben-Kang<sup>†</sup>

(Institute of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

(Received 8 September 2009; revised manuscript received 4 November 2009)

### Abstract

The difference between the diffusion drift length of photoelectrons in exponential-doping GaAs photocathode and that in uniform-doping GaAs photocathode is studied. According to quantum equations, the optimized thickness of transmission-mode exponential-doping GaAs photocathode is simulated to be 2.0  $\mu\text{m}$ . Two transmission-mode exponential-doping GaAs samples with the thickness of 1.6 and 2.0  $\mu\text{m}$  are activated by (Cs, O) alternation technique. Integral sensitivities of the two samples are 1228 and 1547  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , respectively. The ratio of integral sensitivities of the two samples is 0.796:1, which agrees with the simulation result.

**Keywords:** GaAs photocathode, transmission-mode, exponential-doping, thickness

**PACC:** 7960, 7280E, 7360L, 7320A

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60678043, 60801036).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn