

光触发晶闸管光敏区结构的研究*

徐静平 余岳辉 陈 涛

(华中理工大学固体电子学系, 武汉, 430074)

1991年5月27日收到, 同年12月18日修改定稿

本文对光触发晶闸管的两种不同光敏区结构进行了比较分析, 对其中颇具吸引力的结构——有一薄 n_B 层的槽状光敏区结构, 从理论和实验上进行了较为详细的研究, 着重分析了不同参数条件下, n_B 层厚度与触发灵敏度的关系。通过建立理论模型和进行数值模拟, 得到了一些新的结果, 表明对于一定的 p_B 基区参数和 n_B 层浓度, 存在一最佳 n_B 层厚度, 在此厚度下, 触发功率最小; 而且采用此光敏区结构能得到触发灵敏度与 $\frac{dv}{dt}$ 容量之间的较好折衷, 计算结果和实验吻合较好。

PACC: 2880; EEACC: 2560J

一、前 言

与电触发晶闸管比较起来, 光触发晶闸管(LTT)具有高压主回路和低压控制回路间的电位隔离, 抗干扰能力强, 可靠性高的优点, 在高压直流(HVDC)输电以及其它一些电磁辐射较严重的场合, 具有广泛的应用前景。

由于光源(光发射二极管, 半导体激光器等)输出功率的限制, 要求LTT必须具有高的光触发灵敏度, 同时不损害器件的 $\frac{dv}{dt}$ 、 $\frac{di}{dt}$ 容量。为实现这些特性之间的较好折衷, 一些各具特色的光敏区结构相继问世, 如 $\frac{dv}{dt}$ 门极补偿结构^[1,2], p_B 基区开口型光敏区结构^[3], 槽状光敏区结构^[4,5]等等。在这些众多的结构中, 最引人注目的是在光敏区有一薄 n_B 层的槽状光敏区结构, 如图1(b)所示。采用这种结构, 可以获得光触发灵敏度和 $\frac{dv}{dt}$ 容量间的较好折衷, 且和图1(d)所示的无 n_B 层的光敏区结构相比, 具有高的光触发灵敏度。本文对此结构进行了较为详细的理论研究, 着重分析了不同参数条件下光触发灵敏度与 n_B 层厚度的关系。通过建立理论模型和进行数值分析, 得出了一些新的信息, 其结果和实验吻合较好。

二、理 论 考 虑

本节将根据图1所示圆形中心对称光敏区结构模型, 阐述光入射时光电流的产生情

* 国家自然科学基金资助项目。

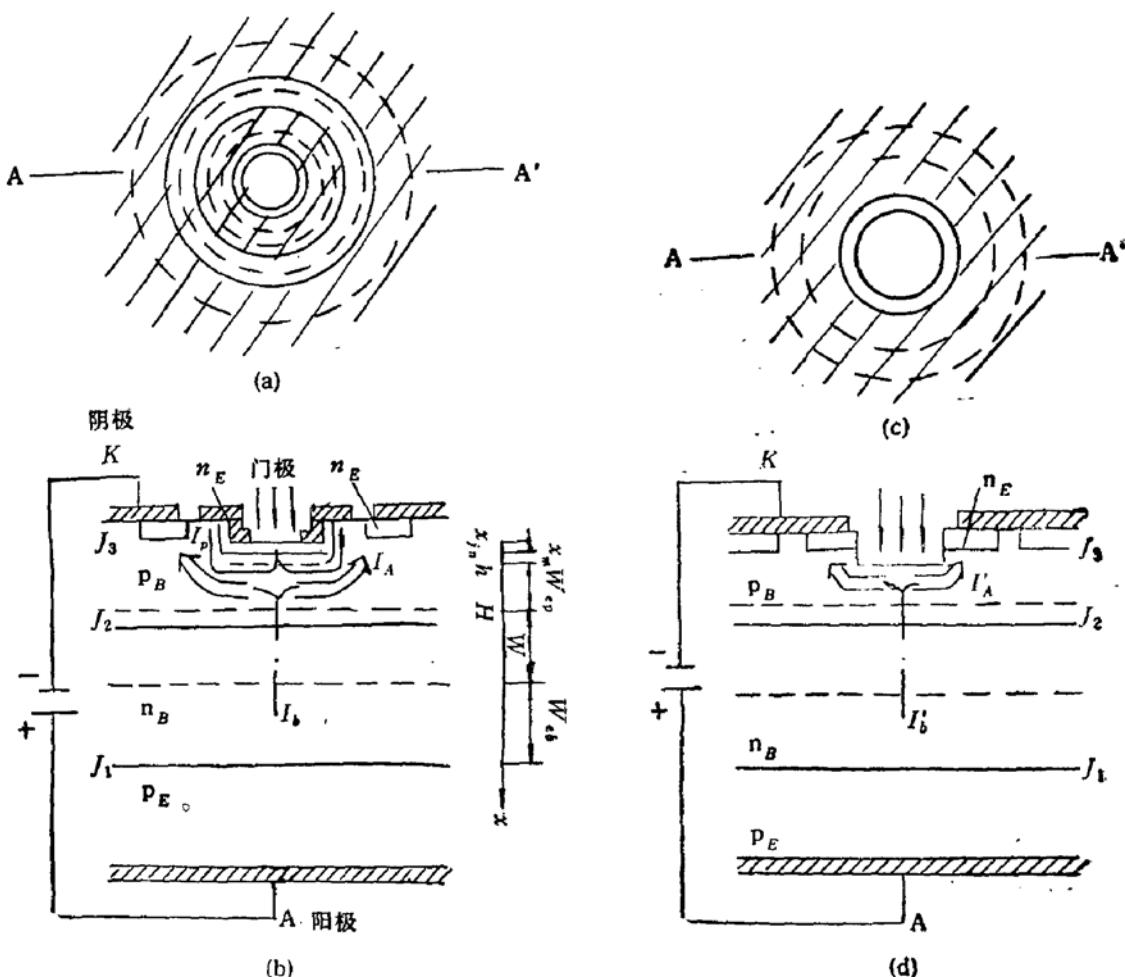


图 1 光敏区结构及光敏区下电流流动示意图
(a)、(b) 为结构 A, (c)、(d) 为结构 B, (a)、(c) 为俯视图, (b)、(d) 为剖面图

况;通过建立等效电路,分析光敏区下 $n_E p_B n_B$ 晶体管对光电流的放大作用,并根据半导体的基本理论和方程,推导出各光电流分量,获得光触发灵敏度(光电流)与 n_B 层参数和管芯其它结构参数的关系,以便进行数值分析,得出最佳参数选择。

1. 光电流的产生

当相同强度,相同波长 ($\lambda = 0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$) 的光入射到图 1 所示两种光敏区结构时,管芯内部门极区电流的流动情况如图中所示。结构 A 除了和结构 B 一样在 J_2 结空间电荷区及其两侧少子扩散长度范围内产生光电流 I_b 外,还由于光敏区下 J_3 结的光生伏特效应,产生光电流 I_p 。 I_p 经门极 J_3 结下的 p_B 基区流至门极电极,再到门极的 n_E 发射区形成回路。与 I_p 比较起来, I_b 是主要的光电流成份,而且它能通过光敏区下 $n_E p_B n_B$ 晶体管的作用,得到放大,这正是结构 A 较之结构 B 具有高的光触发灵敏度的关键所在。

2. 等效电路及晶体管放大作用

对于结构 A 来说,光敏区下的结构实际上是一小晶闸管,故它可用两个晶体管和一个光敏二极管的组合来表示,其等效电路如图 2 所示,图中: $I_{B1} = I_b + I_{c2}$, $I_{B2} = I_b + I_{c1}$, $I_A = I_K$ 。又根据晶体管原理, $I_{B1} = (1 - \alpha_1)I_A - I_{CBO1}$, $I_{c2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO2}$ 。从图中可知, I_b 一旦产生,则作为晶体管 $p_E n_B p_B$ 和 $n_E p_B n_B$ 的基极电流成份,在向阴极流动过

程中, 将被放大形成器件的阳极电流 I_A 。因此, 导通前实际流过门极发射极下的电流应是 I_A 与光电流 I_p 之和。若忽略电流流经阴极 J_3 结下的变化(在导通前, 阴极 J_3 结的注入作用实际上很小, 电流放大系数很低), 则从等效电路容易推出:

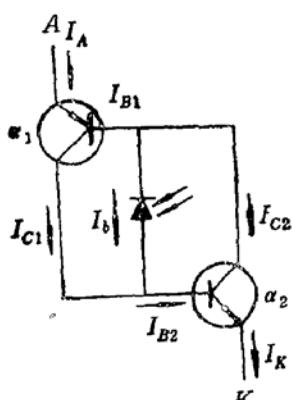


图 2 结构 A 的等效电路

式中, $I_{CBO} = I_{CBO1} + I_{CBO2}$ 为 J_2 结的反向漏电流, 一般很小, 可以忽略不计; α_1, α_2 分别为晶体管 $p_E n_B p_B$ 和 $n_E p_B n_B$ 的共基极直流电流放大系数。严格讲, α_1, α_2 是随着阳极电流变化的。为简单起见, 这里只考虑它们的稳态值, 后面的有关计算结果将表明, 这样做不会给分析问题和数值处理的结果带来多大影响。

由于阻断电压的要求, n_B 基区宽度 W_{n_B} 一般取得较大, α_1 相应较小。但在门极区则不同, 由于采用挖槽结构, 使其下对应的有基区宽度 W_{n_B} 较小, 基区输运系数大, 而且发射结处对应的 p_B 基区浓度较低, 使得 J_3 结注入效率接近于 1, 从而 α_2 较大(计算结果表明 α_2 可达 0.82 左右), $(\alpha_1 + \alpha_2)$ 接近于 1, 因此对于某一 I_b , 可以获得十几倍甚至几十倍于 I_b 的 I_A (如, 若 $\alpha_1 = 0.18$, $\alpha_2 = 0.78$, 则 $I_A = 25I_b$), 这正是晶体管 $p_E n_B p_B$ 更主要的是晶体管 $n_E p_B n_B$ 的电流放大作用, 它使得光触发灵敏度大大提高。

然而, 对于结构 B, 由于光敏区无 n_E 层, 其下面的结构等效于一 $p_E n_B p_B$ 晶体管, 不存在 $n_E p_B n_B$ 晶体管的作用, $\alpha_2 = 0$ 。与上面同样的道理, 若忽略阴极 J_3 结的注入作用, 则导通前实际流经阴极发射极下的阳极电流为:

$$I'_A = \frac{I'_b + I_{CBO}}{1 - \alpha_1}, \quad (2)$$

I'_b 为结构 B 的光产生电流。由上式可知, 由于 α_1 较小, I'_A 仅稍大于 I'_b (如 $\alpha_1 = 0.18$ 时, $I'_A \approx 1.22I'_b$)。

从上面的讨论可以得出, 由于光敏区下 $n_E p_B n_B$ 晶体管的 α_2 较大, $p_E n_B p_B$ 晶体管的 α_1 较小, 当 n_E 层厚度选择恰当时, I_b 与 I'_b 将相差无几, 因此在相同条件的光照射下, 在器件导通前, 总有 $I_A > I'_A$ 。这意味着结构 A 可在比结构 B 小的光触发功率下触发导通。

值得指出的是, α_1, α_2 的大小与器件的结构参数密切相关。为了便于后面分析这些参数对 α_1, α_2 , 从而对光触发灵敏度的影响, 下面将写出 α_1, α_2 的具体表达式。若不考虑倍增效应, 它们应为发射极注入效率和基区输运系数的乘积:

$$\alpha_1 = \gamma_1 \beta_1, \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \gamma_2 \beta_2, \quad (4)$$

其中, γ_1, β_1 和 γ_2, β_2 分别为晶体管 $p_E n_B p_B$ 和 $n_E p_B n_B$ 的发射极注入效率和基区输运系数。在晶闸管中, 常常有基区少子扩散长度小于某一阻断电压下的有效基区宽度的情况, 因此不能采用常用的近似表达式, 根据文献[6]的推导, 它们一般可表示为:

$$r_1 = \left[1 + \frac{D_{ne}}{D_{pb}} \frac{n_{B0}}{p_{E0}} \frac{L_{pb}}{L_{ne}} \operatorname{ch} \left(\frac{W_{eb}}{L_{pb}} \right) \right]^{-1}, \quad (5)$$

$$r_2 = \left[1 + \frac{D_p}{D_n} \frac{p_{B0}}{n_{E0}} \frac{L_n}{L_p} \operatorname{ch} \left(\frac{W_{ep}}{L_n} \right) \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$\beta_1 = 1/\operatorname{ch} \left(\frac{W_{eb}}{L_{pb}} \right), \quad (7)$$

$$\beta_2 = \frac{e^{\eta_1/2}}{\frac{\eta_1}{2} \cdot \frac{\operatorname{sh}(Z_0 W_{ep})}{Z_0 W_{ep}} + \operatorname{ch}(Z_0 W_{ep})}. \quad (8)$$

上述诸式中, D_{ne} , L_{ne} , p_{E0} , 和 D_{pb} , L_{pb} , n_{B0} 分别为 p_B 区和 n_B 区少子扩散系数, 扩散长度和多子平衡浓度; p_{B0} , L_n , D_n 和 n_{E0} , L_p , D_p 分别为 p_B 区和 n_B 区的多子平衡浓度, 少子扩散长度和扩散系数; W_{ep} 和 W_{eb} 分别为 p_B 短基区和 n_B 长基区的有效基区宽度; $\eta_1 = \ln \frac{p_{B0}(h)}{p_{B0}(H)}$ (h, H 见图 1(b) 中所标), $Z_0 = \left(\frac{1}{g^2} + \frac{1}{L_n^2} \right)^{\frac{1}{2}}$, $\frac{1}{g} = \frac{\eta_1}{2W_{ep}}$. 若 n_B 层厚度 $x_{in} < L_p$, 则 (6) 式中的 L_p 应以 x_{in} 代之.

3. 光电流的推导

上面针对结构 A 分析了等效晶体管对光电流的放大作用而未涉及到光电流本身. 为了综合分析管芯结构参数, 尤其是 n_B 层参数对光触发灵敏度(光电流)的影响, 从而确定出最佳 n_B 层厚度, 下面将导出光电流 I_p , I_b 的具体表达式.

(1) I_p

根据电流连续性原理, 总的光生伏特电流应为:

$$I_p = S_L (J_{nB} + J_{pE} + J_d), \quad (9)$$

其中, S_L 为光敏区面积; J_{nB} 为 J_3 结 p_B 侧耗尽区边缘的电子光电流密度; J_{pE} 为 J_3 结 n_B 侧耗尽区边缘的空穴光电流密度; J_d 为 J_3 结耗尽区内产生的光电流密度.

J_{nB} , J_{pE} 可通过解光入射时少子的一维稳态扩散方程求出, 其详细推导过程这里不赘述, 仅写出所采用的边界条件:

在 n_B 侧:

a) 在表面, 有复合速度为 S_p 的表面复合:

$$x = 0 \text{ 处}, \quad D_p \frac{d(p_n - p_{n0})}{dx} = S_p (p_n - p_{n0}); \quad (10)$$

b) 在 J_3 结耗尽区边缘, 因受耗尽区内建电场的作用, 加上在光敏区外圆周处 n_B 区和 p_B 区短接, 使得过剩载流子浓度很低:

$$x = x_{in} \text{ 处}, \quad p_n - p_{n0} \approx 0. \quad (11)$$

在 p_B 侧:

a) 在 J_3 结耗尽区边缘, 同 n_B 侧的 b),

$$x = x_{in} + x_m = h \text{ 处}, \quad n_p - n_{p0} \approx 0, \quad (12)$$

这里 x_m 为 J_3 结耗尽区宽度;

b) 导通前, 器件处于正向阻断状态, J_2 结反偏, 其耗尽区边缘处的少子浓度几乎为

零：

$$x = h + W_{ep} = H \text{ 处}, \quad n_p \approx 0. \quad (13)$$

在这些边界条件下, 求出 J_{nB} 、 J_{pE} 分别为:

$$J_{nB} = qD_n \left(\frac{A}{L_n} e^{h/L_n} - \frac{B}{L_n} e^{-h/L_n} + \alpha C e^{-\alpha h} \right), \quad (14)$$

$$J_{pE} = -qD_p \left(\frac{E}{L_p} e^{x_{in}/L_p} - \frac{F}{L_p} e^{-x_{in}/L_p} + \alpha D e^{-\alpha x_{in}} \right), \quad (15)$$

式中,

$$A = C e^{-h(\alpha+\frac{1}{L_n})} - B e^{-2h/L_n}, \quad (16)$$

$$B = \frac{C [e^{-\alpha H} - e^{-(\alpha h - \frac{W_{ep}}{L_n})}] - n_{p0}}{e^{-H/L_n} - e^{(W_{ep}-h)/L_n}}, \quad (17)$$

$$C = \frac{\alpha P \eta_e (1 - R) \tau_n}{\alpha^2 L_n^2 - 1}, \quad D = \frac{\alpha P \eta_e (1 - R) \tau_p}{\alpha^2 L_p^2 - 1}, \quad (18)$$

$$E = (D e^{-\alpha x_{in}} - F e^{-x_{in}/L_p}) e^{-x_{in}/L_p}, \quad (19)$$

$$F = \frac{D(L_p - S_p \tau_p) e^{-x_{in}(\alpha + \frac{1}{L_p})} + D \tau_p S_p + \alpha D L_p^2}{(L_p + S_p \tau_p) + (L_p - S_p \tau_p) e^{-2x_{in}/L_p}}. \quad (20)$$

上述诸式中, n_p 、 n_{p0} 、 τ_n 和 p_n 、 p_{n0} 、 τ_p 分别为 p_B 区和 n_E 区的光入射时的少子浓度分布、平衡少子浓度和少子寿命; η_e 为有效量子效率, $\alpha(\lambda)$ 为吸收系数, $P(\lambda)$ 为单位带宽每 cm^2 每秒的入射光子数, $R(\lambda)$ 为硅表面对光的反射系数。

在 J_2 结耗尽区, 若忽略光生载流子在该区的复合, 则单位带宽的光电流等于被吸收的光子数:

$$J_s = \eta_e q P (1 - R) e^{-\alpha x_{in}} (1 - e^{-\alpha x_m}). \quad (21)$$

(2) I_b

由于导通前, 器件处于正向阻断状态, J_2 结反偏, 故入射光在 J_2 结空间电荷区及其两侧少子扩散长度范围内所产生的电子-空穴对都将贡献给光电流 I_b 。根据 Lambert 吸收法则:

$$I_b = q P \eta_e S_L (1 - R) [e^{-\alpha H} (e^{\alpha L_n} - 1) + e^{-\alpha H} (1 - e^{-\alpha W}) + e^{-\alpha(H+W)} (1 - e^{-\alpha L_{pb}})], \quad (22)$$

式中, W 为 J_2 结耗尽区宽度。

对于结构 B, 其光电流 I'_b 与结构 A 的 I_b 相似, 可用类似方法求出。

三、数值计算结果

由上述诸关系式, 并考虑等效晶体管的放大作用, 则通过数值计算, 可得到不同条件下, 结构 A 的光敏区下 n_E 层厚度与触发电流 ($I_t = I_A + I_p$) 的关系。计算中, 以 2500V 的阻断电压为设计指标, 取 Si 片电阻率 $\rho = 150 \Omega \cdot \text{cm}$, $W_{nB} = 450 \mu\text{m}$, $D_{pB} = 13 \text{ cm}^2/\text{s}$, $L_{pb} = 161 \mu\text{m}$ (n_B 基区少子寿命取为 $20 \mu\text{s}$), 槽深 $30 \mu\text{m}$, p_E 区和 p_B 区厚度 x_{ip} 均

为 $115\mu\text{m}$; 同时取 $S_p = 10^3\text{cm/s}$, $P = 10^{17}\text{光子数/s}\cdot\text{cm}^2$, $R = 10\%$ (表面有 SiO_2 抗反射膜的实测值) ($\lambda = 0.93\mu\text{m}$), $\alpha \approx 370\text{cm}^{-1}$ ($\lambda = 0.93\mu\text{m}$), $\eta_e = 0.7$ (对于 $\lambda = 0.93\mu\text{m}$ 的入射光的实测结果); 而且光入射时, 器件两端实际加的阻断电压 $V_{AK} = 100\text{V}$, 这时 $W_{eb} = 385\mu\text{m}$, $W_{ep} \approx 50\mu\text{m}$.

图 3 所示是 p_B 基区平均浓度 $p_{B0} = 1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 时, 不同 n_E 层浓度下, 触发电流与 n_E 层厚度的关系曲线。可以看出, n_E 层厚度有一最佳值 x_{in}^* , 在 x_{in}^* 下, 触发电流最大(记为 I_{tmax})。对于低的 n_E 层浓度, $x_{in}^* \approx 7\mu\text{m}$; 反之, $x_{in}^* \approx 4\mu\text{m}$, 而且 n_E 层浓度越高(相对于 p_B 区浓度), 触发电流越大。这些现象, 都与 J_3 结的注入效率有关, 考查(6)式, 即可得到很好的理解。

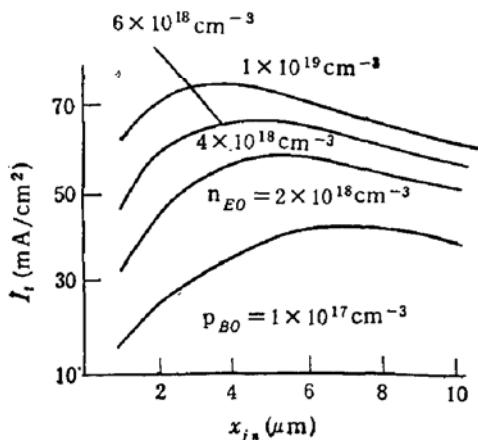


图 3 不同 n_E 层浓度下, n_E 层厚度与触发电流的关系计算中, 有关取值:

$$\tau_s = 1.5\mu\text{s}, \tau_p = 0.2\mu\text{s}, D_n = 13.65\text{cm}^2/\text{s}$$

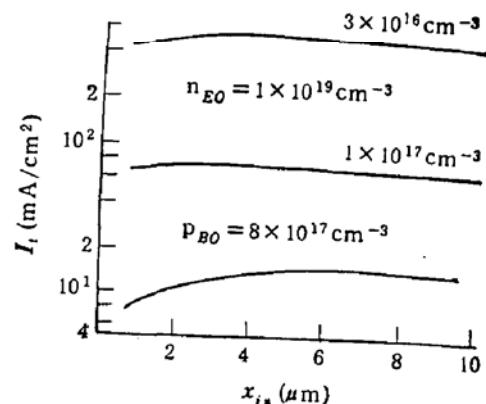


图 4 不同 p_B 区浓度下, n_E 层厚度与触发电流的关系, 计算中有关取值:

$$\tau_s = 1.5\mu\text{s}, \tau_p = 0.2\mu\text{s}, D_p = 1.04\text{cm}^2/\text{s}$$

图 4 所示是 n_E 区浓度一定时, 不同 p_B 区浓度(p_{B0})下, n_E 层厚度与电流的关系曲线。可见, 对于不同的 p_{B0} , x_{in}^* 相差不是很大, 但高、低浓度时的触发电流却相差一个数量级以上。这是因为, p_B 区浓度愈低, 空间电荷区愈宽, 少子扩散长度 L_n 愈长, I_b 分量愈大; 而且 J_3 结注入效率和基区输运系数都将增加, 从而 α_2 亦大, 使得最终触发晶闸管的电流愈大。这种情况下, 增加 n_E 层厚度, 无疑将减少入射到 J_2 结的光子数, 使 I_b 下降, 故 $x_{in}^* \approx 4\mu\text{m}$ 。当 p_B 区浓度较高时, 所产生的效应恰好和上面相反, 从而使电流下降, x_{in}^* 相应增加, 为了使器件导通, 必须加足够大的光触发功率, 这对光源将提出更苛刻的要求, 而且很难实现过触发。

然而, 应当指出的是, p_B 区浓度并非越低越好。浓度太低, 对提高 $\frac{dV}{dt}$ 容量不利。例如, 对图 1(b) 所示光敏区结构, 容易推出门极光敏区下 $\frac{dV}{dt}$ 容量表达式为:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{4V_0}{C_0 R_i r^2}, \quad (23)$$

式中, V_0 为 J_3 结开启电压, 约 0.7V ; C_0 为 J_2 结单位面积势垒电容, 约 $43.7\text{pf}/\text{cm}^2$, r 为光敏区半径, R_i 为光敏区下 p_B 区薄层电阻。对于 $x_{ip} = 115\mu\text{m}$, 槽深 $48\mu\text{m}$, $r = 1.8\text{mm}$ 的 p_B 区参数, 当 $p_{B0} = 1 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 时 $R_i \approx 1250\Omega$, 由(23)式算出 $\frac{dV}{dt} = 1582\text{V}/\mu\text{s}$;

若 $p_{B0} = 6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, 则 $R_s \approx 2080 \Omega$, 求出 $\frac{dV}{dt} = 950 \text{ V}/\mu\text{s}$. 可见, 浓度稍有下降, $\frac{dV}{dt}$ 即下降很多. 因此应适当选择 p_B 基区浓度, 同时选择与之匹配的 n_E 层参数, 使 $\frac{dV}{dt}$ 容量满足设计要求的同时, 触发灵敏度不致下降.

图 5 所示为 n_E 发射区和 p_B 基区不同的少子寿命 τ_n 和 τ_p 的影响. n_E 层厚度与电流的关系曲线. 显而易见, p_B 区少子寿命 τ_p 的影响较 n_E 区少子寿命 τ_n 的影响为大. τ_n 减小三分之一, 触发电流减小了四倍之多, x_{in}^* 从 $4 \mu\text{m}$ 变为 $2 \mu\text{m}$; 而 τ_p 虽减小一个数量级, 除 x_{in}^* 从 $4 \mu\text{m}$ 变为 $2 \mu\text{m}$ 外(由于该区少子扩散长度的减小), I_{tmax} 只是稍有下降. 但值得注意的是, 超过 x_{in}^* 后, 电流下降很快, 这给精确控制最佳 n_E 层厚度提出了严格要求. 因此, 长的少子寿命不但可提高灵敏度, 而且可减小工艺上制备 n_E 层的难度.

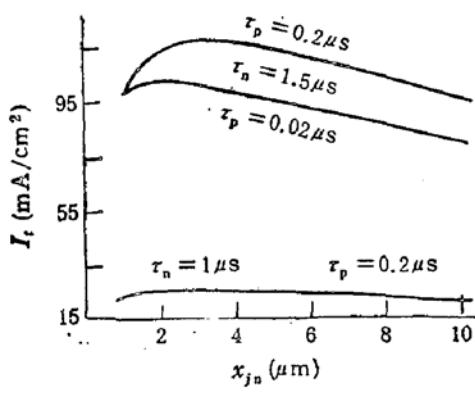


图 5 不同少子寿命下, n_E 层厚度与触发电流的关系, 计算中, 取
 $p_{B0} = 7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_{E0} = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,
 $D_s = 14.95 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_p = 1.04 \text{ cm}^2/\text{s}$.

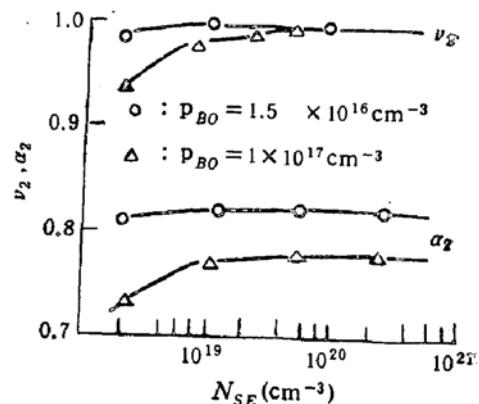


图 6 ν_2 、 α_2 与 n_E 层表面浓度的关系, 计算中, 取
 $\tau_n = 1.5 \mu\text{s}$, $\tau_p = 0.2 \mu\text{s}$, $x_{in} = 5 \mu\text{m}$

图 6 所示为 $x_{in} = 5 \mu\text{m}$, p_B 区平均浓度分别为 $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 和 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 时, n_E 层表面浓度 N_{SE} 与 J_t 结注入效率以及 $n_E p_B n_B$ 晶体管电流放大系数 α_2 的关系曲线. 很明显, 为了使 ν_2 接近于 1, 使 α_2 尽可能大, 要求 n_E 层浓度至少要比 p_B 区浓度高两个数量级.

由上面的数值分析可知, 结构 A 的光敏区下 n_E 层存在一最佳厚度 x_{in}^* , 在 x_{in}^* 下, 触发灵敏度(触发电流)最大, 且 x_{in}^* 随不同的参数条件而变. 当 n_E 区浓度比 p_B 区浓度高两个数量级以上时, x_{in}^* 较小, 触发电流较大(由于 α_2 较大); 反之, x_{in}^* 较大, 触发电流相应较小(由于 α_2 的减小). 而且采用此结构, 可以使 $\frac{dV}{dt}$ 容量与光触发灵敏度之间得到较好折衷.

四、实验结果

图 7 所示是在 $p_{B0} = 4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_{E0} = 1.8 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 其它参数与上面有关取值相同的条件下, 对于不同的 n_E 层厚度, 实际测得的管芯触发导通所需要的

最小光触发功率 $P_{L\min}$ 。可见, 它们各自对应着一 x_{in}^* , 在 x_{in}^* 下, 所需要的触发功率最小。从图中可知 $x_{in}^* \approx 6 \sim 9 \mu\text{m}$, 这与上述理论计算结果是吻合的。

表 1 列出了不同的 p_B 区浓度所对应的 $P_{L\min}$ 和 $\frac{d\nu}{dt}$ 容量测量值。正如前面所表述的, 浓度低时, 灵敏度高, $\frac{d\nu}{dt}$ 低; 浓度高时, 灵敏度低, $\frac{d\nu}{dt}$ 高。

对于表 1 中 $p_{B0} = 1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 的情况, 代入有关数据 ($n_{E0} = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $r = 0.22 \text{ mm}$, 槽深 $45 \mu\text{m}$, $R_s = 1225 \Omega$) 到前面理论公式中计算得到 $P_{L\min} = 3.7 \text{ mW}$, $\frac{d\nu}{dt} = 1080 \text{ V}/\mu\text{s}$, 与实测值亦符合较好。

表 1 ($n_{E0} = 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)

$p_{B0} (\text{cm}^{-3})$	3×10^{15}	1.5×10^{16}	1×10^{17}
$P_{L\min} (\text{mW})$	$1.5 \sim 2.7$	$3.0 \sim 4.5$	$5.8 \sim 8.5$
$\frac{d\nu}{dt} (\text{V}/\mu\text{s})$	< 300	$500 \sim 1000$	> 1000

这些结果较好地说明了上述理论考虑和模型是正确合理的, 数值处理的结果亦是较为精确的。

五、结 论

采用槽状并留一薄的 n_E 层的光敏区结构较之无 n_E 层的结构, 可以获得高的光触发灵敏度; 对于一定的 p_B 区参数和 n_E 区浓度, 有一最佳 n_E 层厚度, 在此厚度下, 触发功率最小; 本文对这一最佳厚度与各参数之间的关系所作的理论考虑和数值分析是合理的, 和实验结果符合较好; 由于这一薄 n_E 层的存在, 导致了光敏区下 $n_E p_B n_B$ 晶体管的放大作用, 使得我们能在较宽的范围内选取既利于提高光触发灵敏度, 又不致于使器件的 $\frac{d\nu}{dt}$ 容量受到损害的 p_B 基区参数。根据本文的理论考虑和实验结果, 已做出 $500\text{A}, 2.5\text{kV}$ 的 LTT, 其 $P_{L\min} = 3.2 \sim 5.0 \text{ mW}$, $\frac{d\nu}{dt} = 800 \sim 1000 \text{ V}/\mu\text{s}$ 。

参 考 文 献

- [1] D. Silber and M. Fullman, *IEDM*, pp. 371—374 (1975).

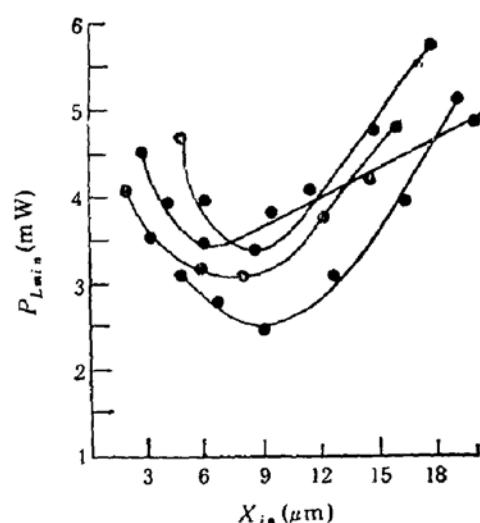


图 7 实测的管芯最小光触发功率与 n_B 层厚度的关系

- [2] D. Silber *et al.*, *IEDM*, pp. 575—578 (1978).
- [3] P. De Bruyne and R. Sittig, *PESC 76 Record*, pp. 262—266 (1976).
- [4] A. Tada *et al.*, *Proc. of 12th Conf. on Solid State Device*, Tokyo, pp. 99—104 (1980).
- [5] O. Hashimoto and Y. Sato, *IEEE PESC*, pp. 226—231 (1981).
- [6] 浙江大学半导体器件教研室编,《晶体管原理》,国防工业出版社, pp. 99—106 (1980).

Study of Light-Sensitive Region of Light-Triggered Thyristors

Xu Jingping, Yu Yuehui and Chen Tao

(*Department of Solid State Electronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074*)

Abstract

Two different kinds of light-sensitive region (LSR) structures of light-triggered thyristors (LTT) are compared and analysed. For the very attractive one, the grooved LSR structure with a thin n_B layer, the theoretical and experimental developing work is made in detail. The analyses centred on the relation between the thickness of the n_B layer and the triggering sensitivity under different parameters and conditions. Some new results are obtained through setting up theoretical model and making numerical simulation, which shows that there is an optimum thickness of n_B layer for the definite parameters of p_B base region and the impurity concentration of n_B layer, and under the thickness, triggering power is minimum. Moreover, a better trade-off between triggering sensitivity and $\frac{dv}{dt}$ capacity can be obtained using the LSR structure. The calculated results agree fairly well with the experimental results.

PACC: 2880; **EEACC:** 2560J