

后表面对光导器件性能的影响*

胡燮荣 王 慷 刘兆鹏

(山东大学光学系)

摘要——本文导出了更普遍的 \mathcal{R}_λ 及 D_λ^* 公式。推导中取消了 $\alpha \rightarrow \infty$ 及 $\tau_n = \tau_p$ 的条件, 且考虑了后表面反射的影响。本文用得到的公式计算了后表面对 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件的影响, 结果既不同于 Szmulowicz, 也不同于 Kruse。

一、引 言

近年来, F. Szmulowicz 等计算了后表面反射对光导器件性能的影响^[1,2], 但计算中, 未考虑到后表面及前表面的表面复合, 也未详细考虑材料参量对器件性能的影响, 而且只计算了后表面的反射率与前表面的反射率相等的少见特殊情况。

Kruse^[3] 曾讨论过后表面及前表面的表面复合对光导器件性能的影响, 但未考虑到后表面的反射, 而且, 由于他在讨论中作了无限吸收及电子寿命等于空穴寿命等假定, 因而我们认为^[4]得到的公式有很大的局限性。

本文除在文献[4]中已考虑到的取消无限吸收及电子、空穴寿命相等的假定和前后表面的表面复合速度因素外, 还考虑了光导器件后表面的反射, 从而导出了更为普遍的光导器件响应率和探测率的公式, 并对公式进行了讨论。

二、公式推导

对于板状样品, 以前表面为坐标原点, 作 x 轴(指向器件内), 若该光导器件的长、宽、厚分别为 l 、 w 、 d , 材料的吸收系数为 α , 前表面的反射率为 r_1 , 后表面的反射率为 r_2 , 垂直投射到样品前表面的光强为 I_0 , 则在略去位相影响而考虑到多次反射对光能量影响的情况下, 在样品中 $x \rightarrow x+dx$ 范围内, 样品对光能量的吸收为

$$dI = \frac{I_0(1-r_1)(e^{-\alpha x} + r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}) \alpha dx}{(1-r_1 r_2 e^{-2\alpha d})} \quad (1)$$

由此可写出光电导器件的基本方程式为

本文 1984 年 2 月 28 日收到。

* 中国科学院科学基金资助课题。

$$J_{ex} = q\mu_e n E_x + qD_e \frac{d(\Delta n)}{dx}; \quad (2)$$

$$J_{hx} = q\mu_h p E_x - qD_h \frac{d(\Delta p)}{dx}; \quad (3)$$

$$\frac{dJ_{ex}}{dx} = -Q\alpha(e^{-\alpha x} + r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}) + \frac{q}{\tau_n} \Delta n = -Q\alpha(e^{-\alpha x} + r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}) + \frac{q}{\tau_p} \Delta p; \quad (4)$$

$$Q = \frac{q\eta(1-r_1)I_0}{(1-r_1 r_2 e^{-2\alpha d})}; \quad (5)$$

$$\Delta n = n - n_0; \quad \Delta p = p - p_0$$

式中 q 为电子电量, μ_e 及 μ_h 分别为电子迁移率及空穴迁移率, n 及 p 分别为电子浓度及空穴浓度, n_0 及 p_0 分别为无光照时的电子浓度及空穴浓度, D_e 及 D_h 分别为电子及空穴的扩散系数, τ_n 及 τ_p 分别为电子及空穴的寿命, J_{ex} 及 J_{hx} 分别为电子电流密度及空穴电流密度在 x 方向上的分量, η 为量子效率, E_x 为电场的 x 分量。

由以上等式可得

$$\frac{d^2 J_{ex}}{dx^2} - \frac{J_{ex}}{L^2} = Q\alpha^2(e^{-\alpha x} - r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}); \quad (6)$$

$$L = (D_e \tau_{PEM})^{1/2} \left(\frac{1+c}{1+bc} \right);$$

$$\tau_{PEM} = \frac{\tau_n + c\tau_p}{1+c}.$$

式中 τ_{PEM} 为光电磁响应时间; $c = n_0/p_0$, $b = \mu_e/\mu_h$, c 和 b 分别为无光照电子、空穴浓度比及电子、空穴迁移率比。

相应的边界条件为

$$x=0: J_{ex} = s_1 \tau_n \left[\frac{dJ_{ex}}{dx} + Q\alpha(e^{-\alpha x} + r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}) \right]_{x=0}; \quad (7)$$

$$x=d: J_{ex} = -s_2 \tau_n \left[\frac{dJ_{ex}}{dx} + Q\alpha(e^{-\alpha x} + r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x}) \right]_{x=d}; \quad (8)$$

式 (7) 及式 (8) 中, s_1 及 s_2 分别为前后两表面的表面复合速度。

式 (6) 满足边界式 (7) 及式 (8) 的解为

$$J_{ex} = J_{ex}^0 \left[\psi_1(d) e^{\frac{x}{L}} + \psi_2(d) e^{-\frac{x}{L}} + e^{-\alpha x} - r_2 e^{-2\alpha d} e^{\alpha x} \right]. \quad (9)$$

这里

$$J_{ex}^0 = \frac{L^2 \alpha}{L^2 \alpha^2 - 1} A(d);$$

$$A(d) = \frac{q\eta}{h\nu} \frac{I_0(1-r_1)}{(1-r_1 r_2 e^{-2\alpha d})};$$

$$\begin{aligned} \psi_1(d) = \frac{1}{F} \left\{ \left[\left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) - \left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) r_2 e^{-2\alpha d} \right] \left(1 - \frac{s_2 \tau_n}{L} \right) e^{-\frac{d}{L}} \right. \\ \left. - \left[(1-r_2) - (1+r_2) \frac{s_2 \tau_n}{L^2 \alpha} \right] \left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L} \right) e^{-\alpha d} \right\}; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \psi_2(d) = \frac{1}{F} \left\{ \left[\left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) r_2 e^{-2\alpha d} - \left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) \right] \left(1 + \frac{s_2 \tau_n}{L} \right) e^{\frac{d}{L}} \right. \\ \left. - \left[(1+r_2) \frac{s_2 \tau_n}{L^2 \alpha} - (1-r_2) \right] \left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L} \right) e^{-\alpha d} \right\}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$F = 2 \left[\left(1 + \frac{s_1 s_2 \tau_n^2}{L^2} \right) \text{sh} \frac{d}{L} + \frac{\tau_n}{L} (s_1 + s_2) \text{ch} \frac{d}{L} \right];$$

式中 h 为普朗克常数, ν 为入射光频率。

若 y 方向所加偏压为 V_0 , 在器件中相应的电场为 E_0 , 则光电导短路电流为

$$I_{pc} = e \mu_e E_0 \int_0^W \int_0^d \left(\Delta n + \frac{\Delta p}{b} \right) dx dz。$$

考虑到式 (4), 可得

$$I_{pc} = I_{pc}^0 \mathcal{E}, \quad (12)$$

式中 $\mathcal{E} = \{ L^2 \alpha^2 [\psi_1(d) (e^{\frac{d}{L}} - 1) + \psi_2(d) (e^{-\frac{d}{L}} - 1)] + (1 - r_2) e^{-\alpha d} + r_2 e^{-2\alpha d} - 1 \};$

$$I_{pc}^0 = \frac{q \eta I_0 (1 - r_1) \mu_e \left(1 + \frac{1}{b} \right) \tau_{pc} E_0 W}{h \nu (L^2 \alpha^2 - 1) (1 - r_1 r_2 e^{-2\alpha d})};$$

$$\tau_{pc} = \frac{\tau_n + \frac{\tau_p}{b}}{1 + \frac{1}{b}}。$$

τ_{pc} 为光电导响应时间。因样品的电阻率 ρ 为

$$\rho = \frac{b}{q \mu_e (b n + p)},$$

因而可得光导器件的响应率

$$\mathcal{R}_\lambda = \frac{V_s}{I_0 W t} = \frac{q \eta (1 - r_1) \mu_e \left(1 + \frac{1}{b} \right) \rho E_0 \tau_{pc} \mathcal{E}}{h \nu_s W d (L^2 \alpha^2 - 1) (1 - r_1 r_2 e^{-2\alpha d})}; \quad (13)$$

式中 V_s 为信号电压, 脚标 s 表示对应于信号光的量。

根据文献 [4], 光电导器件的噪声电压为

$$V_N = V_0 \left(4kT \frac{1}{P_D} + G^2 \frac{1}{d} \right)^{1/2} \frac{1}{\sqrt{W}} \Delta f^{1/2} \quad (14)$$

上式括号中, 前一项为热噪声, 后一项为产生-复合噪声。 k 为波尔兹曼常数, P_D 为单位面积耗散功率, T 为器件工作温度, G 为与材料的产生-复合噪声有关的量, Δf 为带宽。后一项中应包括背景激发所引起的噪声, 而背景激发的载流子浓度可由式 (4) 及式 (9) 求得。

由式 (13) 及式 (14) 可得光导器件的探测率:

$$D_\lambda^* = \frac{q \eta (1 - r_1) \mu_e \left(1 + \frac{1}{b} \right) \rho \tau_{pc} \mathcal{E}}{h \nu_s d \left(4kT \frac{1}{P_D} + G^2 \frac{1}{d} \right)^{1/2} (L^2 \alpha^2 - 1) (1 - r_1 r_2 e^{-2\alpha d})}。 \quad (15)$$

对上面所得到的公式, 讨论如下:

(1) 若令 $r_2 = 0$, 则 $\psi_1(d)$, $\psi_2(d)$, I_{pc} , \mathcal{R}_λ , D_λ^* 均退化为文献 [4] 中相应的表达式。由此可知, 我们以前得到的公式实际上已包含着后表面无反射的条件。

(2) 若同时令 $r_2 = 0$, $\tau_n = \tau_p$, $\alpha \rightarrow \infty$, 则得到 Kruse 的结果 (见文献 [3])。

(3) 若同时令 $r_2 = 0$, $s_1 = s_2 = 0$, $\alpha \rightarrow \infty$, 则得到 Zitter 的结果 (见文献 [5])。

(4) 若令 $r_1 = r_2$, 则不难写出前、后两表面反射率相等情况下的各表达式。但这种情况是很难遇到的, 所以不再多述。

(5) 若令 $r_2 = 1$, 即假定在采用某种工艺后使后表面对光发生全反射, 则可得

$$\psi'_1(d) = \frac{1}{F} \left\{ \left[\left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) - \left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) e^{-2\alpha d} \right] \left(1 - \frac{s_2 \tau_n}{L} \right) e^{-\frac{d}{L}} + 2 \left(\frac{s_2 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) \left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L} \right) e^{-\alpha d} \right\}; \quad (10)'$$

$$\psi'_2(d) = \frac{1}{F} \left\{ \left[\left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) e^{-2\alpha d} - \left(1 + \frac{s_1 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) \left(1 + \frac{s_2 \tau_n}{L} \right) e^{\frac{d}{L}} - 2 \left(\frac{s_2 \tau_n}{L^2 \alpha} \right) \left(1 - \frac{s_1 \tau_n}{L} \right) e^{-\alpha d} \right] \right\}; \quad (11)'$$

$$\Xi' = \{ L^2 \alpha^2 [\psi'_1(d) (e^{d/L} - 1) + \psi'_2(d) (e^{-d/L} - 1)] + e^{-2\alpha d} - 1 \}; \quad (12)'$$

$$\mathcal{D}'_\lambda = \frac{q\eta(1-r_1)\mu_e \left(1 + \frac{1}{b} \right) \rho E_0 \tau_{p0} \Xi'}{h\nu_s W d (L^2 \alpha^2 - 1) (1 - r_1 e^{-2\alpha d})}; \quad (13)'$$

$$D_\lambda^* = \frac{q\eta(1-r_1)\mu_e \left(1 + \frac{1}{b} \right) \rho \tau_{p0} \Xi'}{h\nu_s d \left(4kT \frac{1}{P_D} + G^2 \frac{1}{d} \right)^{1/2} (L^2 \alpha^2 - 1) (1 - r_1 e^{-2\alpha d})}. \quad (15)'$$

三、实例计算

用本文得到的公式,我们计算了在 300 K 工作时 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 及 77 K 工作时 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光导器件的性能。其中 x 值由文献[6]中的公式确定。着重讨论具有不同 r_2 及 s_2 的后表面对器件性能的影响。下面先讨论 300 K、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 光导器件。

在文献[9]的计算中,我们曾取 $\alpha = 1 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ [10,11]; 但根据文献[6]的报道,在本征光导吸收区内,吸收系数应高于上述值,因此,本文计算中,取 $\alpha = 5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ [6]。其它材料参量取值与文献[9]相同,即文献[12]中的介电常数值,当前表面之上为空气时,取 $r_1 = 0.36$; 取 $n_0 = p_0 = n_i = 8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ [13~15], n_i 为本征浓度; 取 $\mu_e = 1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ [13,15]; 取 $b = 100$ [10]; 取 $\tau_n = \tau_p = \tau = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ [13]; 取 $P_D = 0.5 \text{ W/cm}^2$ [9]; l 及 W 均取 0.05 cm [9]。当前表面采用增透技术后,则取 $r_1 = 0$, r_2 取 $0 \sim 1$, 这由器件的基底材料及所采用的工艺决定。对于 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 的光导器件,300 K 背景激发的影响是可以略去的。我们的入射信号光波长 $5 \mu\text{m}$ 为例进行了计算,所得的结果见图 1~3。

为表明 r_2 的影响,图 1 中的四条曲线均为前、后表面的表面复合速度取作零的特殊情况。图中四条曲线 1、2、3、4 反射率分别为 $(r_1 = 0.36, r_2 = 0)$; $(r_1 = 0.36, r_2 = 1)$; $(r_1 = 0, r_2 = 0)$; $(r_1 = 0, r_2 = 1)$ 。四条曲线表明,最佳厚度不仅如文献[9]及本文图 2 表明的与表面复合速度有关,而且与反射率有关。在前后两表面的表面复合速度趋于零的情况下,若又采用增透技术使前表面的反射率 $r_1 = 0$, 则当后表面的反射率 r_2 由 0 增至 1 时,最佳厚度由 $2.5 \mu\text{m}$ 减小为 $1.3 \mu\text{m}$ 。曲线还表明,在厚度小的情况下,为提高 D_λ^* 值,不仅可采用增透技术减小前表面的反射率 r_1 , 也可采用其它技术增高后表面的反射率 r_2 来达到其目的。曲线也表明,在表面复合速度趋于零的情况下,当器件厚度小于 $2 \mu\text{m}$ 时,增加 r_2 对提高 D_λ^* 更有效。曲线还表明,当器件厚度 $d > 6 \mu\text{m}$ 时,则 $r_2 = 0$ 及 $r_2 = 1$ 的曲线重合,因而图中四条曲线重合为 $r_1 = 0.36$ 及 $r_1 = 0$ 的两条,并在对数图上成同斜率的直线,这表明当 $d > 10 \mu\text{m}$ 后,探测率的不同只受增透影响。我们的计算结果不仅与 F. Szmulowicz 的结果 [1,2] 不同,也与 Kruse [9] 的结果(见图 1 中虚线)不同。

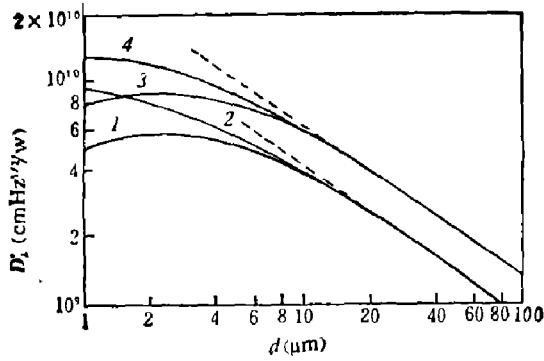


图 1

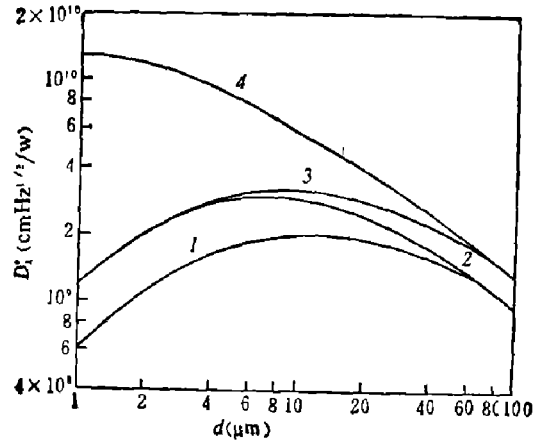


图 2

图 2 中的四条曲线均为 $r_1=0, r_2=1$ 时的情况, 图中四条曲线 1、2、3、4 的表面复合速度分别为 $(s_1=s_2=1 \times 10^3 \text{ cm/s})$; $(s_1=1 \times 10^3 \text{ cm/s}, s_2=0)$; $(s_1=0, s_2=1 \times 10^3 \text{ cm/s})$; $(s_1=s_2=0)$ 。将图 2 与图 1 相比可知, s_1 和 s_2 的增加不仅使 D_λ^* 明显下降, 而且使最佳厚度明显增大。我们知道 Kruse^[3] 曾分别讨论过前表面和后表面的表面复合速度对探测率的影响。在 Kruse 的讨论中, 曾设 $m=d/L$, Kruse 的计算结果表明, s_2 对 D_λ^* 的影响小于 s_1 , 只当 $m=0.1$, 即 $d=0.1L$ 时, s_2 对 D_λ^* 的影响才与 s_1 接近相同。我们的计算结果表明, 当器件厚度小于 $50 \mu\text{m}$ 时, s_2 的影响均不可忽视。该例中取 $L=20 \mu\text{m}$, 计算表明, 在 $m < 2.5$ 以下的范围内, 后表面的表面复合速度均不容忽视; 在 $m \approx 1$, 即 $d \approx 20 \mu\text{m}$ 以下的范围内, s_2 的影响与 s_1 相近, 我们的结果与 Kruse 的结果有明显差别, 这是由于 Kruse 在计算中作了无限吸收的假定, 因而减弱了 s_2 的影响。在图 2 中, 除曲线 1 的最佳厚度约为 $14 \mu\text{m}$ 外, 曲线 2、3、4 的最佳厚度均小于 $10 \mu\text{m}$ 。文献[10~12]均已指明, 对 HgCdTe 光导器件, 必须使表面复合速度降到 $1 \times 10^3 \text{ cm/s}$ 以下, 否则 D_λ^* 值将明显下降, 这结果与本文一致; 所以, $d < 10 \mu\text{m}$ 正是我们所需要的器件厚度。由以上原因可知, 在器件工艺过程中, 不仅必须注意降低前表面的表面复合速度, 而且必须注意降低后表面的表面复合速度。

图 3 表示后表面反射率 r_2 对探测率 D_λ^* 的影响。图中三条曲线均为 $r_1=0$ 时的情况, 曲线 1、2、3 的 s_1, s_2, d 值分别为 $(s_1=s_2=0, d=2 \mu\text{m})$; $(s_1=s_2=0, d=4 \mu\text{m})$; $(s_1=s_2=500 \text{ cm/s}, d=10 \mu\text{m})$ 。三条曲线均几乎为直线, 表明探测率与后表面的反射率几乎成正比。三条直线的斜率不同。由直线 1 和直线 2 相比可知, 器件厚度 d 增加, 则斜率减小; 即 D_λ^* 随 r_2 的增长减慢。图 3 也表明, 随着表面复合速度的增加, 曲线 3 不仅其 D_λ^* 值明显下降, 而且几乎成为与横轴平行的直线, 这表明随着表面复合速度的增加, r_2 对 D_λ^* 的影响减小更甚。

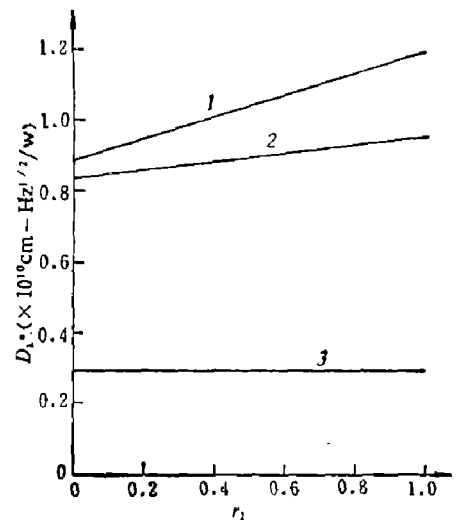


图 3

用本文得到的公式对 77 K 工作, 2π 视场, 300 K 背景, $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 光导器件进行了计算。计算中取 $\alpha=5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ ^[6], 其它材料参量均与文献[9]一样取文献[11]中的值, 即取 $\mu_e=1.5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sv}$; $\mu_h=6.0 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{sv}$; $n_i=3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$;

$n_0 = 4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; $\tau_n = \tau_p = 1.35 \times 10^{-6} \text{ s}$; $P_D = 10 \text{ W/cm}^2$; 2π 视场、300 K 背景的背景光子流 $J_B = 1.15 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$; 此外, 我们取 $l = W = 0.01 \text{ cm}$, $r = 0$, 则对于 $\lambda_c = 12.4 \mu\text{m}$ 的光导器件, 计算结果如表 1 所示。

表 1 77 K、 2π 视场, 300 K 背景 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 光导器件 D_λ^* 与 d 的关系

$d(\mu\text{m})$	$D_\lambda^* = 1 \times 10^{10} \text{ cm-Hz}^{1/2}/\text{W}$			
	$s_1 = s_2 = 1 \times 10^2 \text{ cm/s}$		$s_1 = s_2 = 5 \times 10^2 \text{ cm/s}$	
	$r_2 = 0$	$r_2 = 1$	$r_2 = 0$	$r_2 = 1$
2	1.76	2.13	0.73	0.94
4	2.43	2.63	1.21	1.34
6	2.67	2.75	1.47	1.53
8	2.73	2.77	1.60	1.63
10	2.72	2.74	1.68	1.69
15	2.60	2.60	1.73	1.73
20	2.44	2.44	1.71	1.71
30	2.14	2.14	1.59	1.59
50	1.69	1.69	1.32	1.32

由表 1 可知, 不论是 $s_1 = s_2 = 1 \times 10^2 \text{ cm/s}$, 或者 $s_1 = s_2 = 5 \times 10^2 \text{ cm/s}$ 的情况, 当 $d > 6 \mu\text{m}$ 时, $r_2 = 0$ 及 $r_2 = 1$ 的两组数据几乎完全相等, 而前者的最佳厚度约为 $8 \mu\text{m}$, 后者的最佳厚度为 $15 \sim 20 \mu\text{m}$, 这表明, 增加 r_2 对该器件 D_λ^* 的提高无明显作用, 这不仅由于其最佳厚度较大, 而且由于该器件的背景激发的产生-复合噪声起主要作用, 因而 r_2 的增大也增加了背景的影响。所以, 对 2π 视场, 300 K 背景的 77 K, $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 光导器件, 不必采用增高 r_2 的工艺。

四、结 论

在一般情况下, 后表面的反射率 r_2 和表面复合速度 s_2 与前表面的反射率 r_1 和表面复合速度 s_1 一样, 均对光导器件的探测率有影响, 其相互关系较复杂, 应给以综合考虑。

对表面复合速度不大, 不以背景激发的产生-复合噪声为主, 最佳厚度较小的光导器件, 增加 r_2 对 D_λ^* 的提高很有利。对这类器件, 后表面的表面复合速度对 D_λ^* 的影响不亚于前表面的表面复合速度, 因而必须加以注意, 如 300 K、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 的 $\text{Hg}_{0.74}\text{Cd}_{0.26}\text{Te}$ 光导器件。

对最佳厚度较大, 且以背景激发引起的产生-复合噪声为主的光导器件, 增加后表面的反射率对 D_λ^* 的提高无明显作用, 对这类器件, 后表面的表面复合速度对 D_λ^* 的影响也不大, 如 2π 视场, 300 K 背景的 77 K、 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 光导器件。

本文定稿后, 见到褚君浩、王戎兴、汤定元发表的计算 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ n_i 的公式^[16], 用该公式算得的 n_i 进行计算, 使本文计算的 D_λ^* 值略有下降, 但并不影响本文所作的讨论。

参 考 文 献

- [1] Szmulowicz F. and Baron R., *Infrared phys.*, **20**, (1980), 6: 385.
- [2] Szmulowicz F., *Infrared phys.*, **20** (1980), 6: 393.
- [3] Kruse P. W., McLaughlin L. D., McQuistan R. B., *Elements of Infrared technology*, John Wiley & Sons, Inc., New York. London (1962).

- [4] 胡燮荣, 电子学报, **9**(1981), 2: 49.
- [5] Zitter R. N., *phys. Rev.*, **112** (1958), 852.
- [6] 褚君浩, 徐世秋, 汤定元, 科学通报, **27** (1982), 7: 403.
Junhao Chu, Shichou Xu, and Dingyuan Tang, *Appl. phys. Lett.* **43** (1983), 11: 1064.
- [7] Finkman E., *J. Appl. phys.*, **54** (1983), 4: 1883.
- [8] Mroczkowski J. A. and Nelson D. A., *J. Appl. phys.*, **54** (1983), 4: 2041.
- [9] 胡燮荣, 刘兆鹏, 刘雪兰, 尹红, 王诚庆, 红外研究, **2** (1983), 3: 167.
- [10] 汤定元, 红外物理与技术, (1974), 6: 345.
- [11] Kinch M. A. and Borrello S. R., *Infrared phys.*, **15** (1975), 2: 111.
- [12] Long D., Schmit J. L., *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 5, New York: Academic Press (1970).
- [13] 徐国森, 红外物理与技术, (1974), 1: 1.
- [14] 徐国琴, 唐文国, 凌仲赓, 红外物理与技术, (1976), 4~5: 46.
- [15] 谢茂碧, 郭惠芬, 激光与红外, (1981), 5: 18.
- [16] 褚君浩, 王戎兴, 汤定元, 红外研究, **2** (1983), 4: 241.

THE EFFECT OF BACK SURFACE ON PERFORMANCES OF PHOTOCONDUCTORS*

HU XIERONG, WANG KANG, LIU ZHAOPENG

(Department of Optics, Shandong University)

ABSTRACT

A more general formula of photoconductors is derived. In deriving the formula, the conditions of $\alpha \rightarrow \infty$ and $\tau_n = \tau_p$ are removed, and a reflective effect of the back surface is considered. By using the formula obtained in this paper, the effect of the back surface on performances of HgCdTe photoconductors is calculated. The results are different from those published by Szmulowicz and Kruse.

* Projects supported by the Science Fund of the Chinese Academy of Sciences.