

HgCdTe 红外双稳器件的参数最优化

丁兰英 陈继述 龙爱群 崔成吾 孙德贵

(山东大学光学系)

摘要——本文用直接数值计算定态曲线的方法研究器件参数的最优化问题，得到的结果比较明确，有助于这类器件的设计。

一、定态方程与材料参数

半导体双稳器件在光学信息处理与光学计算中的应用前景已受到人们的广泛重视^[1]。对这类器件的参数最优化问题，有些作者曾给出过近似的解析分析^[2,3]。

本文研究的双稳器件为 77 KN-Hg_{0.77}Cd_{0.23}Te 薄片形成的 F-P 腔，其定态方程^[2~4]可以写成下列形式^[5]

$$x = y[1 + F \sin^2(y^{1/3} + \delta)] \quad (1)$$

其中 x 、 y 、 F 分别定义为

$$F = 4\sqrt{R_F R_B} e^{-\alpha L} / (1 - \sqrt{R_F R_B} e^{-\alpha L})^2, \quad (2)$$

$$x = \frac{(2\pi\gamma L)^3 (1 - R_F) (1 + R_B e^{-\alpha L}) (1 - e^{-\alpha L})}{\lambda^3 \alpha L (1 - \sqrt{R_F R_B} e^{-\alpha L})^2} I_0, \quad (3)$$

$$y = \begin{cases} \frac{(2\pi\gamma L)^3 (1 + R_B e^{-\alpha L}) (1 - e^{-\alpha L})}{\lambda^3 \alpha L (1 - R_B) e^{-\alpha L}} I_T (\text{透射}), & (4) \\ \frac{(2\pi\gamma L)^3 (1 + R_B e^{-\alpha L}) (1 - e^{-\alpha L})}{\lambda^3 \alpha L (1 - R_B e^{-2\alpha L})} (I_0 - I_R) (\text{反射}). & (5) \end{cases}$$

式(1)~(5)中， I_0 、 I_T 与 I_R 分别表示入射、透射与反射的平面波光强； L 为 F-P 腔的厚度； R_F 与 R_B 为 F-P 腔的前后两端面的光强反射率； δ 为谐振腔的失调度，本文中只简单地令 $\delta = 2\pi n_0 L / \lambda$ 或 $\delta = 2N\pi + \delta_0$ ； λ 为入射激光的波长， $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ ； α 为线性吸收系数； n_0 为 HgCdTe 的线性部分折射率，其非线性部分折射率为 $\Delta n = \gamma I^{1/3}$ ^[6]。77KN-Hg_{0.77}Cd_{0.23}Te 的材料参数为： $\alpha = 24 \text{ cm}^{-1}$ ， $n_0 = 4.25$ ， $\Delta n = \gamma I^{1/3} = -5 \times 10^{-3} I^{1/3}$ （其中光强 I 的单位为 W/cm^2 ， γ 的值只准确到 50%^[6]）。

二、透射与反射定态曲线

我们选择定态方程中 L 、 R_F 和 R_B 三个参数作为器件工艺中可以控制的参数。对一些

本文 1986 年 3 月 3 日收到。

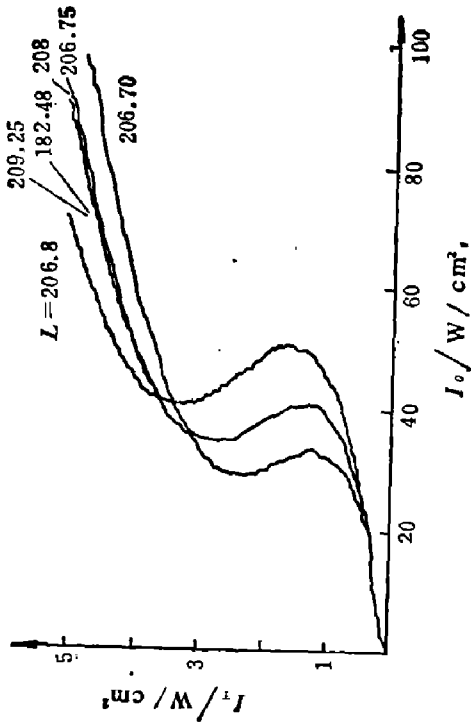


图 2(a) $R_F=0.5$, $R_B=0.9$, L 取不同值时透射定态曲线
Fig. 2(a) The steady state curves for transmission with $R_F=0.5$, $R_B=0.9$ and different L 's.

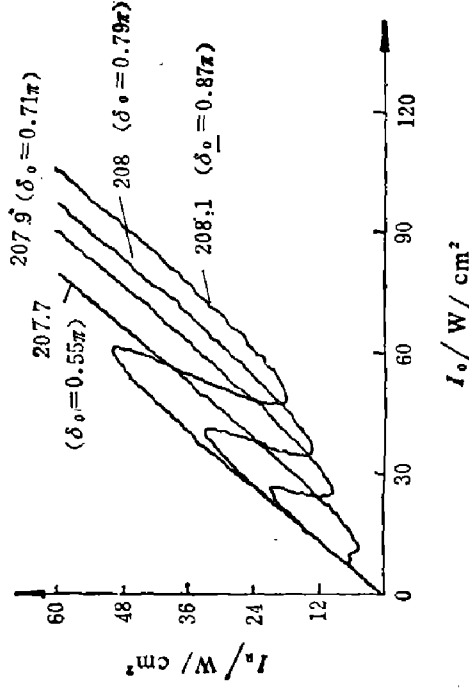


图 2(b) $R_F=0.5$, $R_B=0.9$, $\delta_0(L)$ 取不同值时反射定态曲线
Fig. 2(b) The steady state curves for reflection with $R_F=0.5$, $R_B=0.9$ and different $\delta_0(L)$'s.

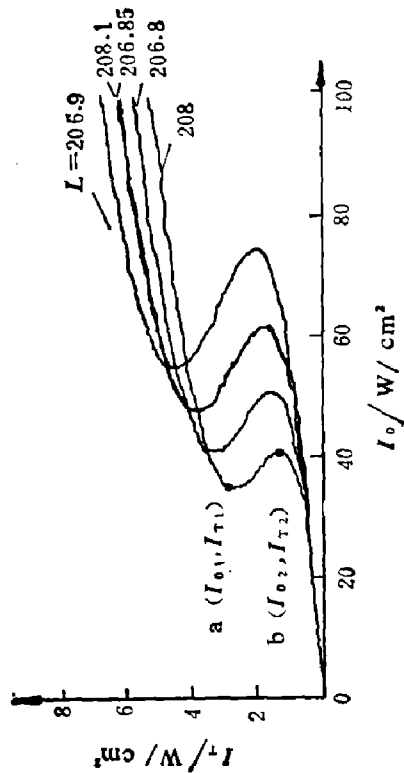


图 1(a) $R_F=0.5$, $R_B=0.9$, L 取不同值时--组透射定态曲线
Fig. 1(a) The steady state curves for transmission with $R_F=0.5$, $R_B=0.9$ and different L 's.

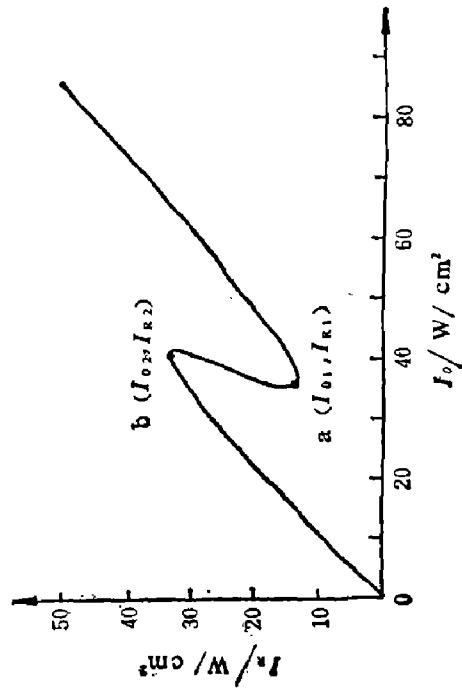


图 1(b) $R_F=0.5$, $R_B=0.9$, $L=208\mu\text{m}$ 时反射定态曲线
Fig. 1(b) The steady state curve for reflection with $R_F=0.5$, $R_B=0.9$ and $L=208\mu\text{m}$.

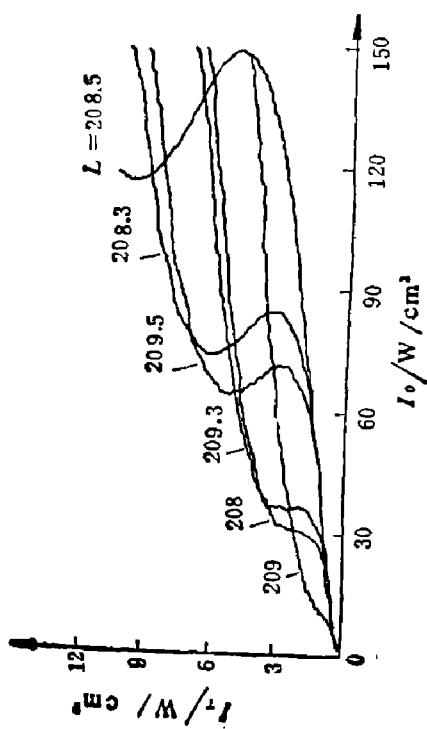


图 3(a) $R_F=0.32$, $R_B=0.9$, L 取不同值时透射定态曲线
Fig. 3(a) The steady state curves for transmission with $R_F=0.32$, $R_B=0.9$ and different L 's.

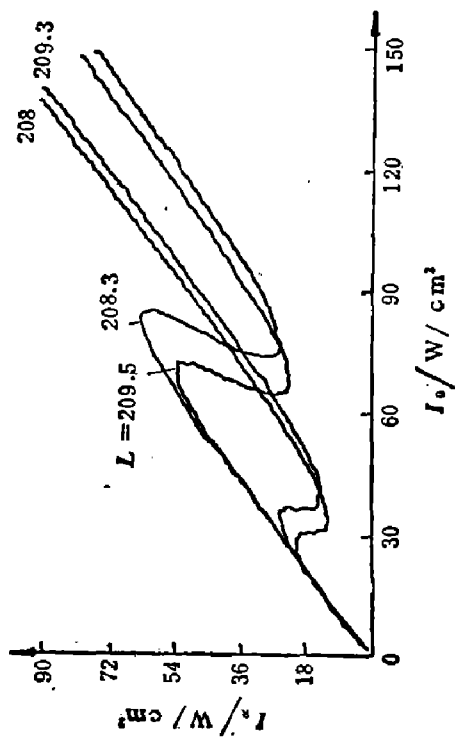


图 3(b) $R_F=0.32$, $R_B=0.9$, L 取不同值时反射定态曲线
Fig. 3(b) The steady state curves for reflection with $R_F=0.32$, $R_B=0.9$ and different L 's.

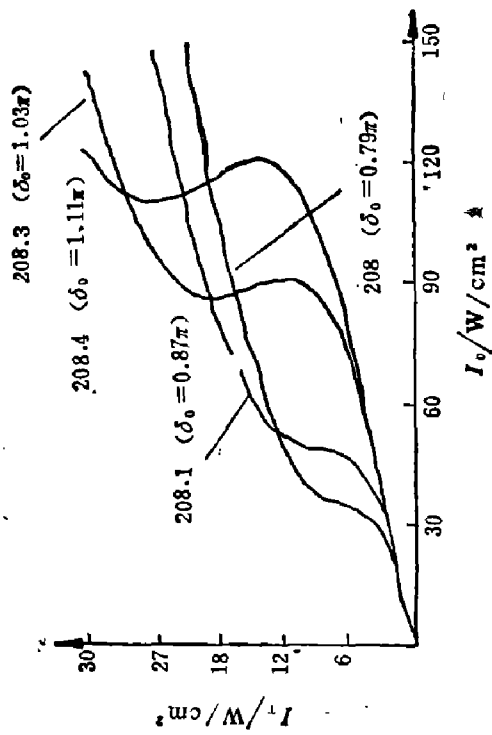


图 4(a) $R_F=0.32$, $R_B=0.7$, δ_0 为不同值时透射定态曲线
Fig. 4(a) The steady state curves for transmission with $R_F=0.32$, $R_B=0.7$ and different δ_0 's.

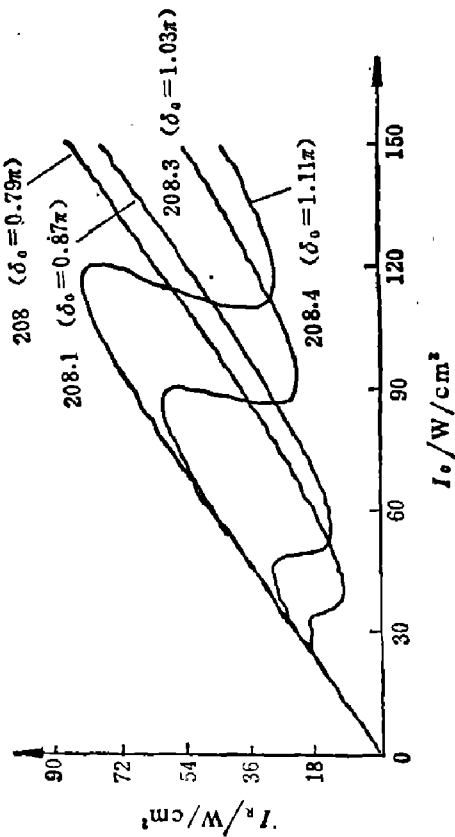


图 4(b) $R_F=0.32$, $R_B=0.7$, δ_0 为不同值时反射定态曲线
Fig. 4(b) The steady state curves for reflection with $R_F=0.32$, $R_B=0.7$ and different δ_0 's.

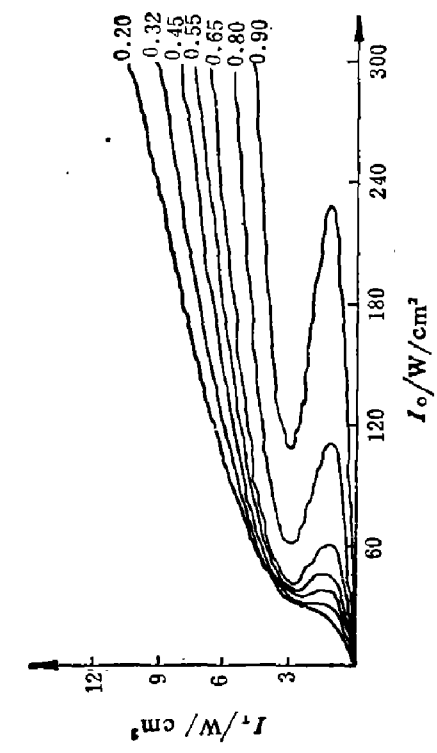


图 5(a) $R_B=0.9$, $L=208 \mu m$, R_F 取不同值时透射定态曲线
Fig. 5(a) The steady state curves for transmission with $R_B=0.9$, $L=208 \mu m$ and different R_F 's.

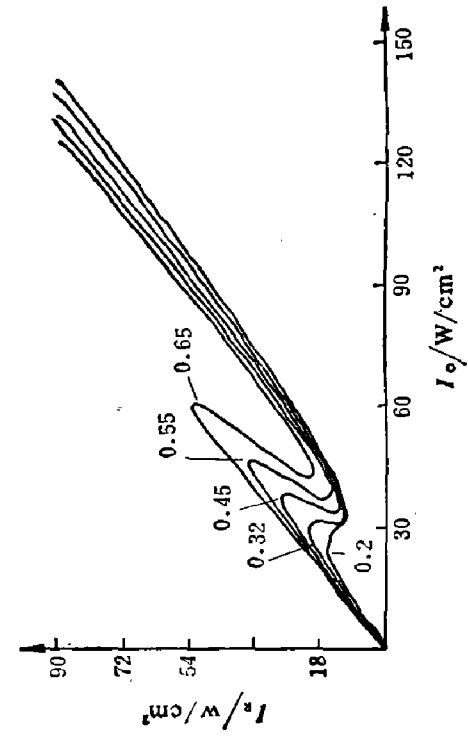


图 5(b) $R_B=0.9$, $L=208 \mu m$, R_F 取不同值时反射定态曲线
Fig. 5(b) The steady state curves for reflection with $R_B=0.9$, $L=208 \mu m$ and different R_F 's.

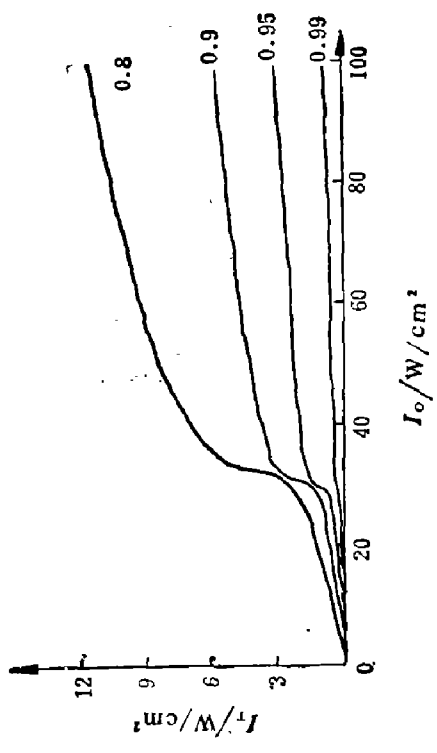


图 6(a) $R_F=0.32$, $L=208 \mu m$, R_B 取不同值时透射定态曲线
Fig. 6(a) The steady state curves for transmission with $R_F=0.32$, $L=208 \mu m$ and different R_B 's.

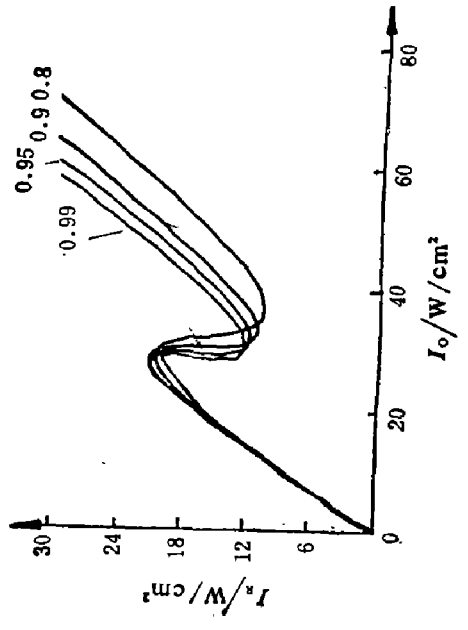


图 6(b) $R_F=0.32$, $L=208 \mu m$, R_B 取不同值时反射定态曲线
Fig. 6(b) The steady state curves for reflection with $R_F=0.32$, $L=208 \mu m$ and different R_B 's.

不同的 L 、 R_F 和 R_B 的值,用计算机根据定态方程描绘出透射定态曲线与反射定态曲线。

先取前端面的反射率 $R_F=0.5$, 后端面的反射率 $R_B=0.9$, 对一系列不同厚度 L (即一系列不同腔失调度 δ) 的器件, 算出它们的透射定态曲线和反射定态曲线, 分别如图 1(a)、2(a) 和图 1(b)、2(b) 所示。本文中 L 的单位均为 μm 。

如果使 R_F 减小到 0.32, R_B 仍维持为 0.9, 则不同 L 的透射与反射定态曲线便如图 3(a) 和 3(b) 所示。

R_F 维持为 0.32, 把 R_B 减小到 0.7, 不同 L 的器件的透射与反射定态曲线如图 4(a) 与图 4(b) 所示。

如果厚度 L 固定为 $208\mu\text{m}$, R_B 固定为 0.9, 则 R_F 对透射与反射定态曲线的影响分别如图 5(a) 与 5(b) 所示。

最后, 固定 L 与 R_F , 后端面反射率 R_B 对透射与反射定态曲线的影响分别如图 6(a) 与 6(b) 所示。

三、几点结论

分析比较所有定态曲线, 我们可以得到双稳器件参数 L 、 R_F 与 R_B 对器件性能影响的几点结论:

1. 无论改变 L 或 R_F 或 R_B , 都可使定态曲线有时具有双稳区 (透射定态曲线有 S 形区), 有时没有双稳区 (透射定态曲线只有台阶形区), 分别参看图 4、图 3 和图 5。前种器件可用于制作记忆元件等, 后种器件则可用于制作光三极管和逻辑元件等。

L 或 R_F 或 R_B 的变化, 除了能引起定态曲线中双稳区的出现和消失之外, 还能使定态曲线双稳区的形状大小起变化, 我们把透射定态曲线 S 形双稳区左右两个拐弯转折点的坐标定为 (I_{01}, I_{T1}) 与 (I_{02}, I_{T2}) (参看图 1(a) 中的注记)。 I_{02} 、 I_{01} 和 $\Delta I_0 \equiv I_{02} - I_{01}$ 可以依次叫做透射型 HgCdTe 双稳器件的上跃变光强、下跃变光强和双稳区 (输入光强) 范围, $\Delta I_T \equiv I_{T1} - I_{T2}$ 则可以叫做双稳 (输出光强) 调制幅度, 这些量都可以作为表征双稳器件性能优劣的指标。在研制透射型 HgCdTe 双稳器件时, 通常希望选择适当的 L 、 R_F 和 R_B 的值, 使得 I_{02} 较小, ΔI_0 保持适当大小, 而 ΔI_T 尽可能较大。

从定态曲线的分析比较, 可以看出双稳器件性能指标 I_{02} 、 ΔI_0 、 ΔI_T 等如何随着器件参数 L 、 R_F 和 R_B 发生变化, 从而有助于进行这些器件参数的最优化。

2. 在前后两端面的反射率 R_F 、 R_B 固定的情况下, 稍微改变器件厚度 L 会使定态曲线发生显著的变化。事实上, 在 $L=208\mu\text{m}$ 附近每改变 $1.25\mu\text{m}$ 左右, 定态曲线便经历双稳区从有到无、从大到小的一系列变化而恢复到原状。换言之, 定态曲线随 L 的改变具有近似的周期性。在 $L=208\mu\text{m}$ 附近, 定态曲线随 L 变化的周期只有 $1.25\mu\text{m}$, 参看图 2。由此可见, 欲制成性能较好 (例如跃变开关光强 I_{02} 、 I_{01} 较小) 的双稳器件, 其厚度控制的精确度须在 $1\mu\text{m}$ 以内, 否则一个器件的开关光强将是该器件各部分不同厚度所对应的不同开关光强的一个平均值。制造器件阵列时, 阵列中不同器件的厚度如果在微米数量级变化上参差不齐, 它们的开关光强也将参差不齐。

3. 固定 L 与 R_F , 增大后端面反射率 R_B 会使输出光强 I_{T1} 、 I_{T2} 逐渐减小, 最多能减小十几个 W/cm^2 。同时能减小输入光强 I_{01} 、 I_{02} , 最多减小不到 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 。适当减小 R_B 对

器件有时是有利的,特别是能使双稳区消失,使器件能用于制作光三极管和逻辑元件,参看图6。

4. 固定 L 与 R_B , 增大前端面反射率 R_F 对输出 I_{T1} 、 I_{T2} 影响不大,但却使 I_{O2} 和 ΔI_0 很快地增大几十到一百以上 W/cm^2 。故欲使器件的开关光强(特别是上跃变光强 I_{O2})较小,必须适当降低 R_F 。

5. 本文提出的直接从定态曲线分析器件参数对器件性能的影响,不限于分析 L 、 R_F 和 R_B 三个参数。其他参数,例如 HgCdTe 化学配比和工作温度的改变引起的材料参数的改变以及激光波长 λ 的改变等因素对器件性能的影响,也可以采用类似的数值计算分析方法。

参 考 文 献

- [1] Peyghambarian N. and Gibbs H. M., *Opt. Eng.*, **24**(1985), 68.
- [2] Miller D. A. B., *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-17**(1981), 312.
- [3] Wherrett B. S., *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-20**(1984), 646.
- [4] Miller A., Parry G. and Daley R., *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-20**(1984), 710.
- [5] 陈继述, 1985 年中国光学学会年会论文摘要汇编, p.192.
- [6] Hill J. R., Parry G. and Miller A., *Opt. Commun.*, **43**(1982), 151.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF HgCdTe INFRARED BISTABLE DEVICE

DING LANYING, CHEN JISHU, LONG AIQUN, CUI CHENGWU, SUN DEGUI
(*Optics Department, Shandong University*)

ABSTRACT

The problem of parameter optimization of transmissive and reflective HgCdTe infrared bistable devices is studied directly by steady-state curves obtained numerically with a microcomputer.