

InSb 吸收型光学双稳态

栾绍金 程瑞华 谭维翰

(中国科学院上海光机所)

Absorptive optical bistability in InSb

Luan Shaolin, Chen Ruihua, Tan Weihan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Absorptive optical bistability in InSb has been observed. The functional relation and graphic analysis of incoherent mirrorless optical bistability are given. The analytical method used here can be extended to other bistable systems. The theory is in good agreement with the experimental results.

前文^[1]报道了 CO 激光通过 12K InSb 晶体的透射率相位型光学双稳态结果。那是在导热条件良好,而且入射激光功率密度也不十分高的情况下得到的。但当导热条件不很好,入射激光功率增高时,透射光强在经过一段线性增长之后,即迅速下降。造成这种现象的原因是 InSb 晶体的带隙随温度升高而减小。当激光波长接近 InSb 晶体的带隙所对应的波长时,InSb 晶体对入射光有较强的共振吸收,吸收的能量又使 InSb 晶体温度升高,带隙进一步减小,使透射光强度发生明显的变化。我们利用这种效应研究了 InSb 吸收型光学双稳态现象。

于 12K 低温致冷机冷头上。和前文^[1]不同之处就是支持 InSb 晶体的紫铜片改用钢片。我们用可变光阑调整激光强度。CaF₂ 晶板的反射光用于监测入射激光强度。透射光用数字激光功率计直接读数。

实验中所用 InSb 晶片经过 100 μm 薄钢片与 12K 致冷机冷端相接。由于钢片的导热性远低于紫铜,同时钢片与 InSb 晶片以及钢片与紫铜冷端是通过接触导热的,也会影响 InSb 晶片的冷却,因此 InSb 晶片是处于不良导热状态。图 2 曲线给出了两组实验结果。当 CO 激光强度由弱到强增大时,InSb 晶片上的激光辐照区温度由低变高,需要较强的激光才能使 InSb 的温度升高到带隙低于入射激光光子能量。反之,当激光强度从强到弱降低时,由于 InSb 晶体最初温度较高,带隙低于激光光子能量,因此就需要较低的入射激光强度才能使 InSb 温度降下来,这时才有透射光,从而产生光学双稳现象。

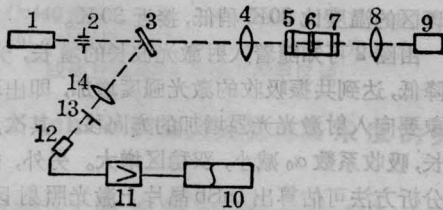


图 1 实验装置原理图

- 1—CO 选支激光器; 2—光强调节器;
- 3—CaF₂ 反射板; 4, 8—BaF₂ 透镜;
- 5, 7—BaF₂ 平板; 6—12K InSb 晶体;
- 9—SD 2490 型数字激光功率计;
- 10—记录仪; 11—1000 Hz 选频放大器;
- 12—InSb 接收器; 13—1000 Hz 调制器; 14—CaF₂ 透镜

实验装置如图 1 所示。CO 选支激光经 BaF₂ 透镜聚焦于 560 μm 厚的 InSb 晶片上。InSb 晶片置

与[2]不同,我们采用了一种更为直观的容易看出结果的方法来分析这一问题。

$$\text{令 } x = L\alpha, x_0 = L\alpha_0, y_0 = \frac{AI_0}{T_0}, y_1 = \frac{AI_1}{BT_0}, \text{得:}$$

$$y_0 = \frac{\ln x - \ln x_0}{1 - e^{-x}} \quad (1)$$

$$y_1 = \frac{\ln x - \ln x_0}{1 - e^{-x}} e^{-x} \quad (2)$$

图 3 给出典型的吸收型双稳态曲线。切线与 y₁ 轴平行的 D、E 点可由(1)式及 δy₀=0 得出

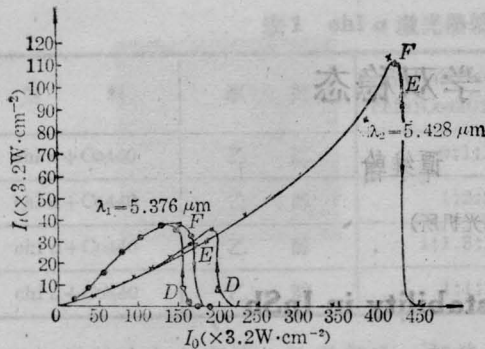


图2 560 μm InSb 晶片在 12 K 低温下波长为 λ_1 和 λ_2 的透射光与入射光的实验曲线

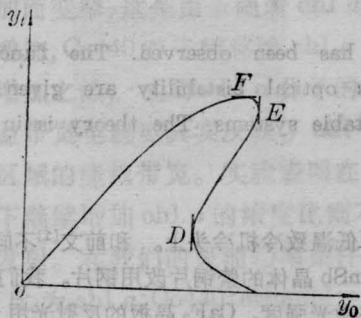


图3 典型的吸收型双稳态曲线

$$\delta y_0 = \frac{1}{1-e^{-x}} \frac{\delta x}{x} - \frac{\ln x - \ln x_0}{(1-e^{-x})^2} e^{-x} \delta x = 0$$

得

$$f_1(x) = \frac{e^x - 1}{x} - \ln x = -\ln x_0 \quad (3)$$

同样极大点 F 可由(5)式及 $\delta y_i = 0$ 得出

$$\delta y_i = \frac{1}{e^x - 1} \frac{\delta x}{x} - \frac{\ln x - \ln x_0}{(e^x - 1)^2} e^x \delta x = 0$$

$$f_2(x) = \frac{1 - e^{-x}}{x} - \ln x = -\ln x_0 \quad (4)$$

我们称 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 为双稳特性函数。图4给出 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 随 x 的变化曲线，它们与 $f = -\ln x_0$ 的交点便是 D 、 E 、 F 的解。由图看出 D 、 E 有解的条件为 $-\ln x_0 \geq 1.70$ ， $x_0 \leq 0.18$ 。由实验曲线图2便可定出 D 、 E 、 F 点的输入输出光强 I_0 和 I_i (单位为 $\frac{10^{-3}}{\pi(0.02)^2/4} = 3.2 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$)。考虑到 $y_0/y_i = e^x = \frac{I_0 B}{I_i}$ ，便得出 $x_{实}$ 。又因 x_0 已定，由 $f = -\ln x_0$ 与 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ 的交点，便可得到 $x_{理}$ 的值。计算结果表明， $x_{实}$ 与 $x_{理}$ 符合很好。

当波长为 λ_1 时， D 点的

$$y_0 = A I_0 / T_0 = \frac{\ln 1.54 - \ln 0.15}{1 - e^{-1.54}} = 2.96,$$

得 $A/T_0 = \frac{2.96}{155 \times 3.2} = 5.96 \times 10^{-3} \text{ W}^{-1} \text{ cm}^2$ ；同样当

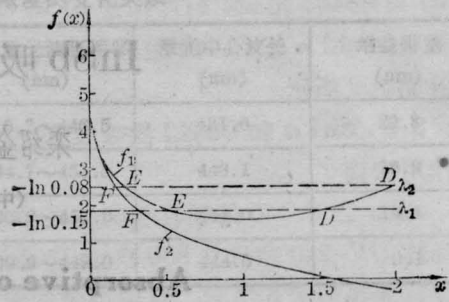


图4 双稳特性函数 f_1 、 f_2 随 x 的变化曲线

波长为 λ_2 时， $A/T_0 = 5.88 \times 10^{-3} \text{ W}^{-1} \text{ cm}^2$ 。它们比文献[2]按 77 K 估算的 $A/T_0 = 10^{-3} \text{ W}^{-1} \text{ cm}^2$ 要大。这说明我们的导热条件比文献[2]为好。当然文献[2]的几何尺寸也与我们实验中 InSb 晶片的几何尺寸有差别。文献[2]的吸收型双稳态，由于样品碎裂，热导下降得很多，以致在出现吸收型光学双稳态时，入射激光功率密度的实验值 $60 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，要比理论估算值低两个量级。我们的 InSb 样品主要是因为钢片传热不良，样品升温，吸收增加出现双稳现象。对于波长 λ_1 和 λ_2 ，入射激光功率密度分别为 $155 \times 3.2 = 496 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 和 $198 \times 3.2 = 634 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 未受激光加热时的吸收系数 α_0 ，对波长 λ_1 来说， $\alpha_0 = 0.15/560 \mu\text{m} = 2.67 \text{ cm}^{-1}$ ，这个吸收系数比 30 K 的 $\alpha_0 = 1.7 \text{ cm}^{-1}$ 大一点[3]，但又远小于 77 K 的 α_0 [4]，这条线的光子能量为 230.9 meV，故可判明样品 InSb 晶片在激光焦斑区的温度比 30 K 稍高，但靠近 30 K；对于波长 λ_2 来说， $\alpha_0 = 1.43 \text{ cm}^{-1}$ ，其光子能量为 228.7 meV，这个 α_0 值比 30 K 的 $\alpha_0 = 1.6 \text{ cm}^{-1}$ 小一点。因此也可判明在这种情况下，InSb 晶片焦斑区的温度比 30 K 稍低，接近 30 K。

由图2可知随着入射激光波长的增长，光子能量降低，达到共振吸收的激光强度增加，即出现双稳现象要向入射激光光强增加的方向移。其次，波长增长，吸收系数 α_0 减小，双稳区增大。另外，由本文的分析方法可估算出 InSb 晶片上激光照射区的工作温度，这正是很难直接测量到的。

参 考 文 献

- 1 程瑞华 *et al.* 物理学报, 1985; 34(9): 1212
- 2 Wherrett B S *et al.* *Opt. Commun.*, 1984; 52: 301
- 3 Smith S D *et al.* *Prog. Quant. Electr.*, 1977; 5 (Part 4): 236
- 4 Miller D A B *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1981; 47(3): 197

(收稿日期: 1986年11月1日)