

InSb 的光学双稳态

程瑞华 栾绍金 沈红卫 谭维翰

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

1984年8月14日收到

提 要

本文报道了在 12K 情况下,对 InSb 的非线性透过及双稳态现象进行的测量,并用 F-P 腔双稳态理论作了分析.

一、引 言

由于光学双稳态在激光波形整形,光开关及光记忆元件等方面的应用可能性,已经进行了很多材料的光学双稳态实验^[1-3]和理论研究^[4-6].

当入射激光频率与 InSb 晶体带隙共振时,InSb 晶体具有很大的三阶非线性极化率^[7] $\chi^{(3)} \sim 10^{-2} - 1 \text{esu}$,易于在低温下演示光学双稳态效应,但是,InSb 晶体的光学吸收系数随温度变化很大^[7]. 在 5K 时,对于激光强度 $10^2 - 10^3 \text{W/cm}^2$,激光波数从 1850cm^{-1} 到 1886cm^{-1} ,线性吸收系数变化范围为 $0.2 - 0.1 \text{cm}^{-1}$. 在 77K 时,激光波数为 1852cm^{-1} 时,线性吸收系数为 80cm^{-1} . 在 InSb 晶体的光学双稳态实验中,薄 InSb 晶片靠浸没于液氮或安装在致冷机的冷端的冷头经热传导而冷却的,因此当激光聚焦于入射表面时,InSb 晶片焦斑处因激光加热而导致局部温度增高. 这种现象在液晶的光学双稳态实验中已经被注意到^[3]. 这样就导致了较强的表面吸收.

我们用 $560 \mu\text{m}$ 厚的 n 型 InSb 晶体在 12 K 低温下进行光学双稳态实验. 并考虑到 InSb 表面吸收和体内吸收,计算了透射光随入射光而变化的曲线,对实验中观察到的光学双稳态现象进行了分析.

二、含有非线性折射率介质 F-P 腔的透过率

参照文献[6,7],如图 1 所示, I_i 为入射光强,经表面吸收后,光强为 $I'_i = \tau_2 I_i$,将腔内场强表示为向前传播的波和向后传播的波之和,振幅、位相分别为 $\epsilon_F e^{i\phi_F}$, $\epsilon_B e^{i\phi_B}$. 又设腔内的反射系数为 R ,则有

$$\begin{aligned} [n\epsilon_F^2 + n\epsilon_B^2]_{z=l} &= (1+R)n\epsilon_F^2 = \frac{1+R}{1-R} I_i, \\ [n\epsilon_F^2 + n\epsilon_B^2]_{z=0} &= \frac{1+R}{1-R} I'_i \tau_1 = \frac{1+R}{1-R} I_i \tau_1 \tau_2. \end{aligned} \quad (1)$$

式中 τ_1 为不计非线性折射时 F-P 的透射率, $\tau = \tau_1 \tau_2$ 为包括表面吸收在内不计非线性折射 F-P 的透射率, 另一方面, I_i 当考虑到非线性折射后的透射率^[8]

$$t = \frac{I_t}{I_i} = \frac{\tau}{1 + F \sin^2 \frac{\phi_F - \phi_B}{2}},$$

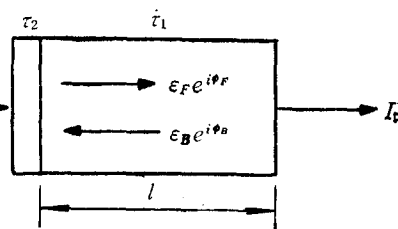


图1 F-P 腔示意图

$$F = \frac{4R e^{-\alpha l}}{(1 - R e^{-\alpha l})^2}. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\phi_F - \phi_B}{2} &= \frac{2\pi n_2}{\lambda} \int_0^l n(\epsilon_F^2 + \epsilon_B^2) dz = \frac{2\pi n_2 l}{\lambda} \frac{1}{2} [n(\epsilon_F^2 + \epsilon_B^2)|_{z=0} \\ &+ n(\epsilon_F^2 + \epsilon_B^2)|_{z=l}] = \frac{2\pi n_2 l}{\lambda} \frac{1+R}{1-R} (0.5 I_i \tau + 0.5 I_t). \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式的得到是在积分时将腔内光强 $n(\epsilon_F^2 + \epsilon_B^2)$ 用端面 $z=0$, $z=l$ 的光强的算术平均来近似, 可看成 F-P 腔的平均场近似, 文献[6]将腔内光强表示为 $z=l$ 端面光强, 相应于(3)式 Marburger 得出

$$\frac{\phi_F - \phi_B}{2} = \frac{2\pi n_2 l}{\lambda} \frac{1+R}{1-R} I_i. \quad (4)$$

下面实验结果表明(3)式与实验基本相符, 而(4)式是不符的。

三、实验结果

实验装置如图2所示。选支 CO 激光给出波长 $\lambda = 5.3648 \mu\text{m}$ 的红外激光, 经 CaF_2 晶板后聚焦于 $560 \mu\text{m}$ 厚的 InSb 晶片上。InSb 晶片置于 12K 低温致冷机冷头上。我们可用可变光阑调整激光强度。 CaF_2 晶板的反射光用于监视入射激光强度。透射光与入射光强度同时由双笔记录仪记录。

图3为测得的透射光与入射光的变化曲线。在低强度时已经能分辨出一阶双稳态效应, 在高光强下的二阶双稳态效应就更明显了。

图3中的虚线为根据(2)式所计算的透过光随入射光变化的曲线。计算中取自文献[7]: $n_0 = 4$, $n_2 = -6.6 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{W}$, $\alpha = 2.67$, 于是 $\tau_1 = 0.741$, $F = 2.6$, 激光焦斑半径估计约为 $200 \mu\text{m}$ 。对于因激光加热而产生的 InSb 晶片表面透射率 τ_2 , 由于目前还没有这方面的数据。我们根据实验结果取 $\tau_2 = 0.208$ 。

四、讨论

1. 我们考虑了激光加热所导致的表面吸收及体内线性吸收, 由图3的计算曲线可以说明光学双稳态效应的产生, 但跟实验曲线有差别, 这可能是晶片内的吸收系数跟激光强度有关, 而在我们的计算中取为常数。

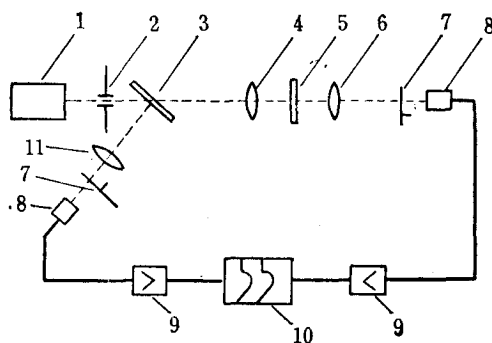


图 2

1 为 CO 选支激光; 2 为光强调节器; 3 为 CaF_2 反射板; 4, 6 为 BaF_2 透镜; 5 为 12K InSb 晶体; 7 为调制器; 8 为 InSb 探测器; 9 为 1000Hz 选频放大器; 10 为双笔记录仪; 11 为 CaF_2 透镜

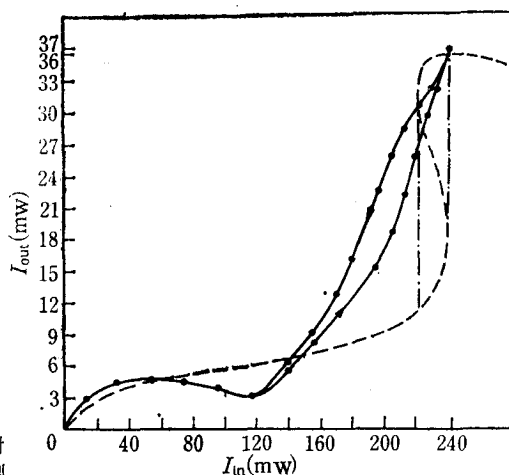


图 3

——为实验结果; ----为理论计算

2. 图 3 中当 I_i 在 20—120 mW 间变化时有一平台, I_t 几乎不变或略有下降, 按 Marburger 的(4)式, $\frac{\phi_F - \phi_B}{2}$ 仅依赖于透过光强 I_t , 故 $(\phi_F - \phi_B)/2$ 也近乎不变, 由(2)式透过率 τ 也不变, $I_t = \tau I_i$ 随 I_i 线性增大, 与 I_t 近乎不变相抵触, 实际上 $(\phi_F - \phi_B)/2$ 是按我们得出的(3)式变化的, 它依赖于 $I_i \tau$ 与 I_t , 故 I_i 的增大, 导致 $(\phi_F - \phi_B)/2$ 增大, τ 下降, $I_t = \tau I_i$ 近乎不变。

参 考 文 献

- [1] D. A. B. Miller, S. D. Smith, C. T. Seaton, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, OE-17 (1981), 312.
- [2] H. M. Gibbs, S. L. McCall, *Appl. Phys. Lett.*, 35(1979), 451.
- [3] Mi-Mee Cheng, S. D. Durbin, Y. R. Shen, *Opt. Lett.*, 8(1983), 39.
- [4] R. Bonifacio, L. A. Lugiato, *Opt. Comm.*, 19(1976), 172.
- [5] D. A. B. Miller, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, QE-17(1981), 306.
- [6] J. H. Marburger, F. S. Felber, *Phys. Rev. A* 17(1978), 335.
- [7] E. Abraham, S. D. Smith, *Rep. on Progress in Physics*, 45(8) (1982), 815.
- [8] Max-Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, Oxford Pergaman, (1964), p. 324.

OPTICAL BISTABILITY OF InSb

CHENG RUI-HUA LUAN SHAO-JIN SHEN HONG-WEI TAN WEI-HAN

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

ABSTRACT

In this paper, the measurement on optical bistability and non-linear transmission of InSb at 12 K is described and an analysis based on theory of optical bistability of Fabry-Perot cavity is given.