

采用 HgCdTe 双稳器件实现 CO₂ 激光脉冲整形

刘玉东 王其明 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 黑龙江, 哈尔滨)

摘要——用 HgCdTe 室温双光子吸收双稳态实现了 100ns(FWHM) 10.6 μm 的 CO₂ 激光脉冲整形器, 整形范围为 425~1000 kW/cm², 允许脉冲波型的子脉冲振荡超过 30MHz.

关键词——HgCdTe 双稳器件, 激光脉冲整形器.

1. 引 言

激光的多模输出可产生尖峰调制的脉冲输出, 曾有报道用吸收器件^[1]及反射镜系统组成的光脉冲整形器^[2]使脉冲波形重新恢复平滑. 我们提出了一种基于双光子吸收双稳性的 HgCdTe 脉冲整形器, 在室温下实现了对脉宽为 100 ns(FWHM)、子脉冲振荡频率高于 30 MHz 的不稳定 TEACO₂ 激光脉冲的整形, 产生与稳定输出非常相似的脉冲信号. 这种方法可用于光计算技术中的逻辑门的级联, 将整形器作为前级门. 当激光器稳定时, 可获得一个光三极管的增益曲线输出; 当激光器不稳定时, 也可获得稳定的脉冲波形输出, 从而, 保证了为后级门提供信号的准确性. 这种方法也可用于不稳定的激光系统或多模激光系统, 以实现脉冲波型随时间变化的平滑性.

2. 原 理

整形机制主要基于器件本身的光学双稳阈值特性和俄歇复合随入射光强大幅度变化的特性.

HgCdTe 的非线性机制可归结为自由载流子等离子体非线性和带填充非线性^[3]. HgCdTe 材料在室温下禁带能量接近 10.6 μm 的双光子吸收, 因而, 其主要载流子产生于双光子吸收. 载流子的复合在输入光强较强的情况下主要是俄歇复合. 其非线性 F-P 标准具方程可表示为^[4]

$$\frac{I_t}{I_i} = \frac{A}{1 + F \sin^2 \delta}, \quad (1)$$

$$\frac{dN_e}{dt} = \frac{\beta I_o^2}{2\hbar\omega} - \frac{N_e}{\tau_A}. \quad (2)$$

方程(1)与一般非线性 F-P 标准具方程类似, I_i 、 I_t 分别代表入射和透射光强. 其它各参数可表示为

$$A = \frac{e^{-\alpha L}(1-R)^2}{(1-Re^{-\alpha L})^2}, \quad (3)$$

$$F = \frac{4Re^{-\alpha L}}{(1-Re^{-\alpha L})^2}, \quad (4)$$

$$\delta = \delta_0 + \frac{2\pi}{\lambda} L\sigma N_e. \quad (5)$$

这里 α 、 β 分别为吸收系数和双光子吸收系数, L 为 F-P 标准具的厚度, R 为样品表面反射率, δ_0 为位相初始失谐量, σ 为非线性折射率截面, N_e 为过剩载流子浓度.

方程(2)是载流子速率方程, 等式右边第一项为载流子产生, 第二项为载流子复合. 其中 N_i 为本征载流子浓度, I_o 为临界光强. τ_A 为俄歇复合时间, 可表示成载流子浓度的函数, 与本征复合时间 τ_i 成正比, 有

$$\tau_A = \frac{2\tau_i}{\left(1 + \frac{N_e}{N_i}\right)\left(2 + \frac{N_e}{N_i}\right)}, \quad (6)$$

$$I_o = I_i \frac{(1 - e^{-\alpha L})(1 + Re^{-\alpha L})}{\alpha L e^{-\alpha L}(1 - R)}. \quad (7)$$

由方程(1)可得到, 当双稳器件处于开启上态时, 在其稳态范围内, 透射光只在上态小范围内变化. 对于含有子脉冲振荡的入射脉冲, 只要尖峰底部高于关闭阈值(一般关闭阈值比开启阈值低), 或尖峰低于关闭阈值但时间间隔小于关闭速度很多, 则器件都不会关闭. 这样, 由于双稳器件本身的延迟作用, 即可达到整形的效果.

当双稳器件不处于上态时, 由方程(2)、(6)可以看到, 俄歇复合寿命受到载流子浓度的影响很大. 当入射光强增加时, 由于双光子吸收, 载流子浓度迅速增加, 这样, HgOdtTe 的载流子复合时间也应相应地大大减小. HgOdtTe 的本征载流子复合时间为 90ns^[4], 而当入射光较强时, 甚至可达 10 ns. 这就使得在器件的脉冲尖峰顶部呈少量吸收的透射状态, 且反应快; 而在尖峰底部反应变慢, 透射光强也不降低, 而且, 在透射脉冲未跟上变化以前, 后一个尖峰已经到达. 在一般入射状态下, 复合时间大于 30 ns, 所以, 这种效应可覆盖所有大于 30 MHz 振荡的子脉冲. 这种取决于复合特点的效应, 在器件处于双稳态上态时, 也同样适用. 此外, 脉冲中的子脉冲振荡对于器件相当于一列脉冲串. 考虑到临界减慢效应^[5, 6], 各子脉冲在透射时都将被延迟. 根据文献[5, 6], 其延迟为

$$\tau_s = K(I - I_o)^{-1/2}, \quad (8)$$

式中 I 为某点对应的光强, I_o 为开关的临界光强, K 为实验中确定的与各种材料有关的比例系数, 在我们的实验中, τ_s 值可达 30 ns, 即可覆盖 30 MHz 以上的脉冲振荡.

综合以上分析, 用 HgOdtTe 双稳器件可实现子脉冲振荡频率大于 30 MHz 的不稳定脉冲的整形.

3. 实验与结果分析

实验采用 TEACO₂ 激光器, 脉冲宽度为 100 ns, 实验装置如图 1 所示. 当激光器有波形不规整的不稳定输出时, 其脉冲宽度明显大于 100 ns. 激光器输出的脉冲经过衰减器被

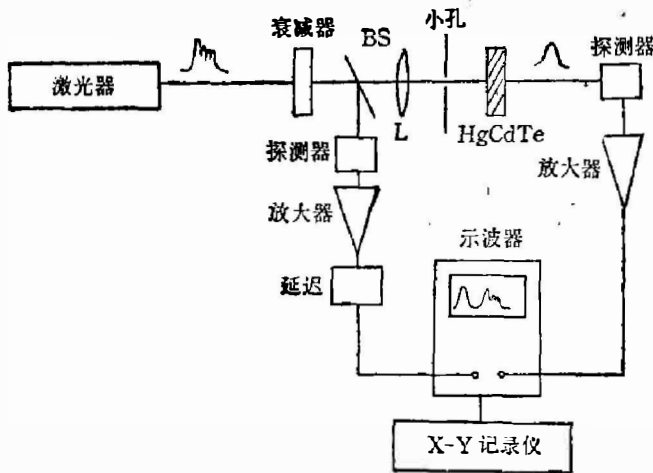


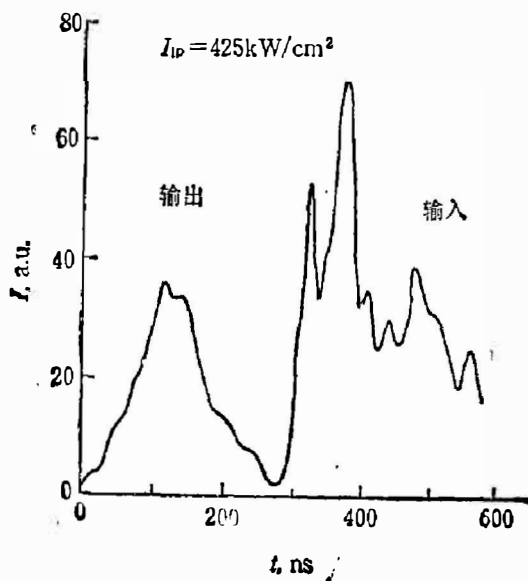
图 1 实验装置图

Fig. 1 Experimental set-up.

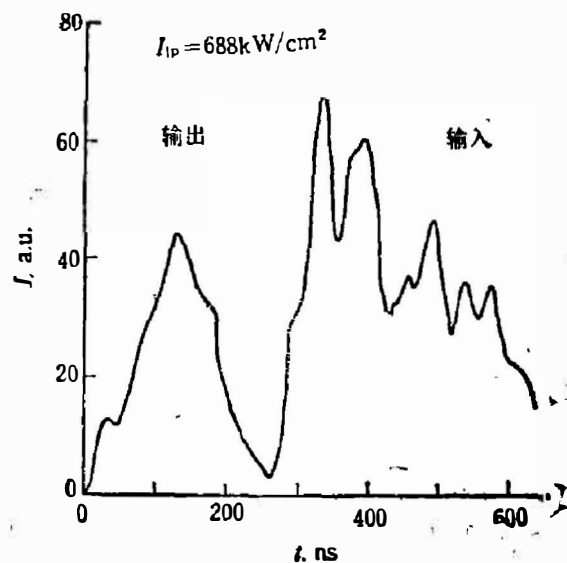
分束, 一束经直径为 500 μm 的小孔到达样品, 样品为 $\alpha=0.223$ 的 200 μm 厚的 HgCdTe 标准具. 用响应时间为 1 ns 的光子牵引探测器测量入射和出射脉冲信号, 测得的信号被放大后接入 Tektronix 7904 示波器, 示波器的最大扫描频率为 500 MHz. 为了同时观察两个脉冲信号, 我们设计了延迟系统延迟入射信号, 使透射脉冲显示在前, 这样做可以使透射脉冲的信息比入射脉冲丰富^[7]. 整形效果可通过示波器直接观察, 也可以经延迟后由 X-Y 记录仪或计算机记录.

当激光器输出的波形规整时, 调解激光器的波长使之接近 HgCdTe 器件禁带能量的二分之一, 可获得稳定的透射及光学双稳态输出^[8]. 当激光脉冲出现不稳定波形时, 若光强较低, 整形器本身未达到光双稳阈值. 此时由于双光子吸收和俄歇复合效应, 仍具有整形效果. 当光强达到器件的光双稳阈值时, 可出现较好的整形效果, 参看图 2, 图中 I_{ip} 为入射脉冲峰值功率.

图 2 中入射脉冲与透射脉冲的单位不同, 为便于显示, 取适当高度. 当入射脉冲的峰值功率正好超过 HgCdTe 材料的双稳态阈值时, 整形效果如图 2(a) 所示. 入射脉冲的尾部较



(a)



(b)

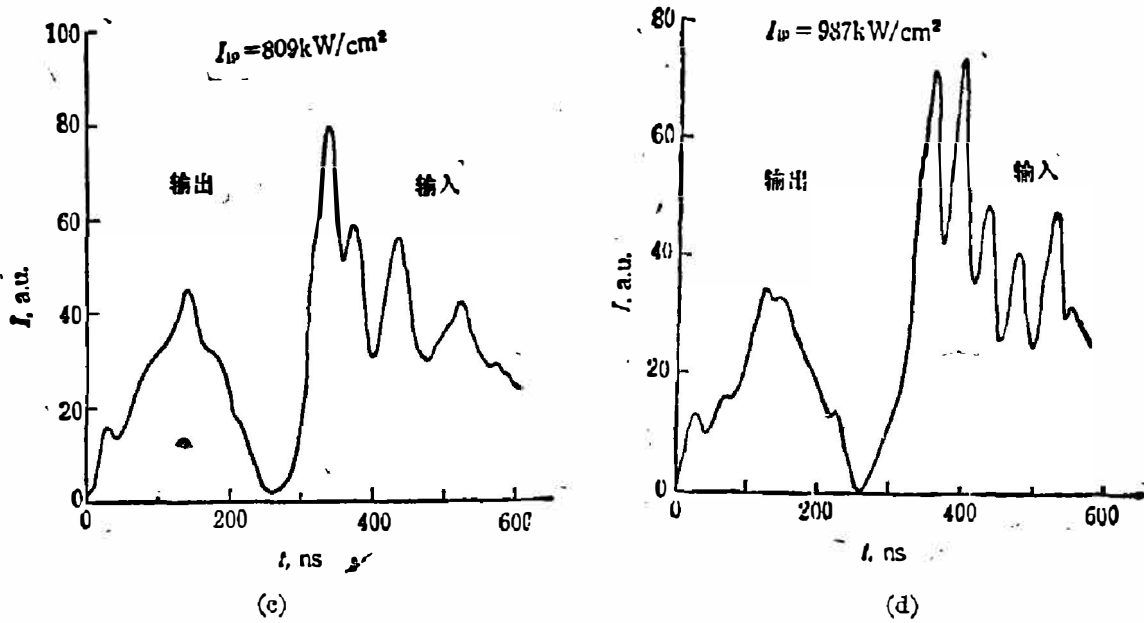


图 2 脉冲整形实验结果

Fig. 2 Experimental results for pulse shaping.

高也较长,经整形后,两个主要尖峰被压缩成一个尖峰,其间隔小于 40 ns. 而脉冲尾部则被压低,这样使透射脉冲宽度为 100 ns,接近标准的稳定脉冲. 当入射脉冲的峰值功率增加时,整形效果仍然很好,图 2(b)和(c)分别是 $I_{wp} = 688 \text{ kW/cm}^2$ 和 $I_{wp} = 809 \text{ kW/cm}^2$ 时结果,它们的透射脉冲波型较为接近,脉冲宽度也与图 2(a)类似. 但入射脉冲差别较大. 与各自的主尖峰比,(b)中的尾部明显高于(c)中脉冲的尾部,但透射脉冲仍然有一个被压低了尾部. 当光强进一步增加,直到 $I_{wp} = 987 \text{ kW/cm}^2$ 时,输出脉冲出现尾部尖峰. 这可以解释为当峰值功率高到一定程度时,器件的响应速度提高较大,脉冲尾部的尖峰未被压掉,发生了透射,也就是随着入射脉冲功率的增加,整形作用降低. 若脉冲峰值功率超过 1 MW/cm^2 ,则器件本身也会由于自散焦而出现不稳定性^[9].

4. 结论与讨论

我们采用 HgCdTe 室温双光子双稳器件实现了对 $10.6 \mu\text{m}$ 脉冲波形的整形,对于含有超过 30 MHz 子脉冲振荡的不稳定脉冲获得了稳定的波型输出,整形范围在 $40 \sim 1000 \text{ kW/cm}^2$. 在入射脉冲峰值功率低于 987 kW/cm^2 时整形效果较好,此范围内的脉冲尾部可被压低. 被整形的脉宽较入射脉冲窄,接近激光器稳定输出时的脉冲宽度,其波形也较为规整.

由图 2 可以看出,当 $I_{wp} = 688 \text{ kW/cm}^2$ 时整形效果最好,在这一入射脉冲功率下,所得到的双稳态效果也较好(参看(b)),此外,(a)、(c)的效果也尚好,但(c)的效果已明显不及(b). 因而,若想得到较为标准的脉冲,入射脉冲峰值功率应在 $400 \sim 700 \text{ kW/cm}^2$ 之间. 图 2 中(c)、(d)的整形效果也十分明显,尖峰振荡消失,只是(d)中出现了一个小尖峰. 由于这时入射脉冲的峰值功率已经很高,这一现象很可能是材料本身的非线性 F-P 效果造成的再生脉冲的影响.

本实验所讨论的整形方法也适用于 InSb 样品,但由于 InSb 响应速度较 HgCdTe 快^[7],入射脉冲的子脉冲频率应更高些,但 InSb 的阈值功率可能比 HgCdTe 的要低。

若采用整形后的脉冲作为下一级双稳器件的入射光,则可得到较好的双稳态,可为用于光计算的光双稳器件的级联提供稳定的脉冲波型,这在光计算技术中有相当重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Li Z. W., Redzewicz C. R. and Raymer M. G., *Opt. Lett.*, **V12**(1987), 416.
- [2] Bruno R. J. and Liv K. C., *Laser and applications*, April, 1987, p. 91.
- [3] Miller A., Miller D. A. B. and Smith S. D., *Adv. Phys.*, **V30**(1981), 607.
- [4] Kar A. K., et al., *Appl. Phys. Lett.*, **V42**(1983), 334
- [5] Grynberg G., Biraben F. and Giacobina E., *Appl. Phys.*, **B26**(1981), 155.
- [6] Al-Attar H. A., Mackenzie H. A. and Firth W. J., *J. Opt. Soc. Am.*, **B3** (1986), 265.
- [7] 王其明等,哈尔滨工业大学学报, (1988), 5: 1.
- [8] 刘玉东等,中国激光, **15**(1988), 4: 253.
- [9] 刘玉东等,哈尔滨工业大学学报, (1987), 1: 130.

TEA CO₂ LASER PULSE SHAPING USING HgCdTe OPTICAL BISTABLE DEVICE

LIU YUDONG, WANG QIMING, LI CHUNFEI

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjian, China)

ABSTRACT

100 ns width(FWHM) CO₂ laser pulse shaping using HgCdTe optical bistable device at room temperature is reported. The unstable pulses which have subpulse oscillation with a frequency over 30MHz are shaped into smooth pulses temporally.