

连续调节激光脉宽的新方法

兰光 赵素薇* 范滇元

(中国科学院上海光机所)

提要: 从理论上预言并在实验上证实,用改变三束入射光之间相对延迟的方法,可以连续地缩短后向波的脉冲宽度。并对影响这一过程的诸因素作了分析、讨论。

A novel method to adjust pulse duration continuously

Lan Guang, Zhao Suwei, Fan Dianyuan

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

Abstract: Continuously shortening of backward pulse duration can be achieved by changing the relative delay time of three incident pulses is predicted theoretically and verified experimentally. Some factors affecting the experiment have been analysed and discussed.

一、引言

在简并四波混频(DFWM)领域中,对后向波位相复共轭特性及其可能应用已有许多研究。这里着重研究瞬态条件下后向波脉冲形状和宽度的变化规律。我们从严格的瞬态DFWM耦合波方程组出发,在非抽空(non-depletion)近似、准稳态(光脉冲空间长度远大于介质的厚度)和弱耦合条件下,得到下列关系式(Bloom等人也有类似关系式^[1]):

$$A_4(t) \propto A_1(t) \cdot A_2(t) \cdot A_3^*(t) \quad (1)$$

式中 A_1 、 A_2 、 A_3^* 、 A_4 分别是三个入射波场强和后向波场强的慢变复振幅。这个关系式与文献 [2] 在稳态条件下得到的结果形式上一致,但在内涵上有所发展,它允许四个波都是时间函数,因而,可以用来研究后向波形状和

宽度的变化。在这基础上,我们有意识地使三束入射光到达介质的时间有一定的相对延时,预计会更加有效地改变后向波的时间特性。此时 (1) 式可改写为:

$$A_4(t) \propto A_1(t-\tau_1) \cdot A_2(t-\tau_2) \cdot A_3^*(t-\tau_3) \quad (2)$$

τ_1 、 τ_2 、 τ_3 分别是三束入射光的延迟时间。由 (2) 式可见,只有当 A_1 、 A_2 、 A_3^* 三束光同时不为零时,后向波 A_4 才有值,当然,这是对不考虑弛豫而言的。假如我们逐渐地增加三束入射光的相对延时,很显然,由于它们在介质中的相互作用时间变小,从而可以使后向波的脉宽得以逐渐缩短。利用此原理,预计可以制成脉宽连续调节器。

收稿日期: 1986年8月2日。

* 厦门大学物理系。

二、实验装置和结果

实验装置如图 1 所示。由 Nd:YAG 振荡器输出的调 Q 脉冲, 半宽度约为 60ns。为了得到近矩形的脉冲, 将调 Q 脉冲经过一个电光削波开关, 可以获得前后沿小于 1 ns、宽度约为 13 ns 接近矩形的脉冲。它经过一级 Nd:YAG 放大后, 能量约 3 mJ, 且为垂直偏振光。实验中用的混频介质是 CS₂, 染料盒的有效厚度为 5 mm。BS₁、BS₂、BS₃ 都是分束镜, 它们的反射率 (对 1.06 μm) 分别为 43%、50%、95%。图中的 L₁ 是 M₂ 到染料盒的距离; OPD 是光学延时器; L₂ 是 BS₂ 到 BS₃ 的距离; 在此实验中 L₂ = 10 cm 保持不变。D₁、D₂ 分别是 PIN 和强流管, 用于探测入射波和后向波的脉冲波形。

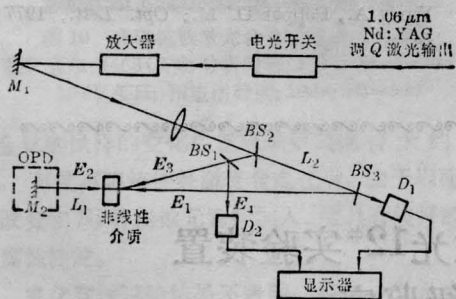


图 1 脉冲缩短实验装置

图 2 到图 4 的三张照片是在不同的延时条件下得到的实验结果。图 2 是当 L₁ = 7 cm 时, 即三束光的相对延时较小时的结果。图 3 和图 4 分别是 E₂ 相对 E₁ 的延时约为 5.5 ns 和 9 ns 时的实验结果。由这些结果可以看到, 当三束光的相对延时增加时, 后向波的

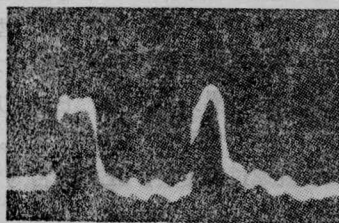


图 2



图 3

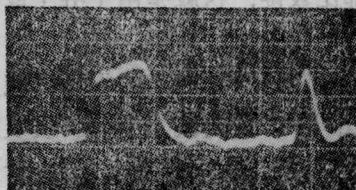


图 4

脉宽逐渐变窄; 当延时为 9 ns 时, 后向波的脉宽已被缩短到 3 ns 左右, 这和理论结果一致。照片中的扫描基线抖动, 已查明是削波开关高压驱动器工作时造成的电干扰。

三、理论分析与讨论

1. 入射波脉冲形状的影响

仔细地考查 (2) 式, 可以看到脉冲形状对后向波脉宽压缩效果有很大影响。例如, 对严格的高斯脉冲

$$\begin{cases} A_1(t) \propto e^{-t^2/\tau_0^2} \\ A_2(t) \propto e^{-(t-\tau_2)^2/\tau_0^2} \\ A_3(t) \propto e^{-(t-\tau_3)^2/\tau_0^2} \end{cases}$$

式中 τ_2 、 τ_3 是 A_2 、 A_3 相对 A_1 的延时; τ_0 是常数。代入 (2) 式, 有

$$A_4(t) \propto \exp \left\{ - \left[\frac{t^2}{\tau_0^2} + \frac{(t-\tau_2)^2}{\tau_0^2} + \frac{(t-\tau_3)^2}{\tau_0^2} \right] \right\}$$

可以由此式算出 A_4 (后向波) 的半宽度为:

$$\tau = 2\sqrt{\ln 2} \cdot \tau_0 / \sqrt{3}$$

可见, τ 比原来的入射波的脉宽窄 $\sqrt{3}$ 倍, 但与延迟时间 τ_2 、 τ_3 无关。所以, 对高斯波来说, 延时不能进一步缩短后向波的脉宽。

如果三个入射的脉冲都是矩形脉冲, 则

不延时脉宽不变；而有延迟时后向波的脉宽直接等于三个入射脉冲在介质中的重叠时间。这时的脉冲缩短效果显著。

对其它的脉冲波形，后向脉冲压缩的效果将介于上述两种极端情况之间。

2. 光栅弛豫的影响

由图2至图4可以看到，后向波脉冲的前后沿都比较陡，这就是由于分子取向光栅的贡献占主要地位的结果。但 CS_2 中长时间弛豫光栅机制将会随时间的增加而积累它的影响。图2中，后向波的上升斜顶及三个图中后向波脉冲的尾部隆起，都是由于介质的长时间弛豫光栅机制造成的。

我们曾用对 $1.06\mu m$ 光吸收的BDN介质做前面的实验，结果发现，后向波的脉宽几乎没有连续缩短的效果。这是由于介质中的光栅是以长时间（与输入脉宽相当）弛豫光栅为主。所以，若想得到较好的脉宽缩短效果，所用介质的弛豫时间应尽可能地短。

3. 激光相干时间的影响

在图1的实验装置中，我们原想调 \bar{E}_3 的延迟来缩短后向波的脉宽，这样可以消除我们前面说的光栅弛豫的影响。但是，我们发现当延时调至 $5ns$ 左右时，就基本上得不到后向波信号了，这是由于对 \bar{E}_3 的延时已超过了激光的相干时间，从而两束光不能在介质中产生体光栅，这样也就不会有后向波信号了。这个问题在激光相干时间长时可不考虑，但如果激光相干时间短，则要加以重视。

感谢本所301组的同志在实验方面所给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Bloom D. M., (1978) Sub-picosecond optical grating and wavefront conjugation by four-wave mixing in "Picosecond Phenomena" (C. V. Shank E. P. Ippen and S. L. Shapiro, eds.), p. 96, Springer-Verlag, Berlin and New York.
- [2] Yariv A., Pepper D. M.; *Opt. Lett.*, 1977, 1, 16.

输出功率10亿千瓦的激光 $12^{\#}$ 实验装置 在沪通过国家级鉴定

1987年6月26~27日，国家科委在上海召开“激光 $12^{\#}$ 实验装置”鉴定会。

该实验装置的研制任务是根据中国科学院上海光机所和核工业部第九研究院共同签订的协议，由中国科学院和核工业部批准，于1981年底下达给上海光机所的。经过三年半的努力，到1985年7月初装置基本建成。

$12^{\#}$ 装置采用掺钕磷酸盐玻璃为工作物质，输出激光波长为 $1.053\mu m$ ，输出激光功率达 $10^{12}W$ ，发光时间仅十亿分之一到百亿分之一秒。光束聚焦在物质表面可产生 $10^{17}W/cm^2$ 的功率密度，千万度的高温，并由此产生强大的冲击波和反冲压力。

该装置建成后经过近一年的试运行，由国内同行专家15人组成测试小组，进入现场，前后进行了

近八个月的测试工作，对装置的22项指标进行了实际考核。结果证明全部指标均达到设计要求。与此同时，还利用该装置对含有氘、氚的玻璃微球靶丸进行了打靶实验。取得了有价值的结果，达到了预期物理目标。

激光 $12^{\#}$ 装置是目前世界上为数不多的大型激光装置之一。目前只有美国、日本等少数技术发达的国家能够立足于自己的力量建造这种大型激光系统。它的建成标志着我国的高功率激光技术和激光核聚变研究进入了世界先进行列。它的建成对我国国民经济和国防建设也有相当重大的意义。

该实验装置通过鉴定后，正式命名为“神光装置”。

(纪钟 肖林)