

一种连续改变激光脉冲宽度的电光技术

本文描述了一种使用电光调制器连续地改变激光脉冲持续时间的新技术的原理；用红宝石激光器的实验证实了这一概念的正确性。

现在已知许多适合于不同的应用、改变脉冲激光器的脉宽^[1-4]的电光技术。在所有这些方法中，都是由改变电缆的长度来改变激光脉冲的持续时间。我们另外提出一种更方便的方法，它利用一个电光(eo)调制器，通过一个螺钉或测微计只改变电光元件和反射镜之间的距离，就能够改变激光脉冲的持续时间。完成了用红宝石激光器的实验和数字模拟，以证实这一概念的正确性。

工 作 原 理

一强度均匀线偏振激光脉冲全部透过一正确取向的 Glam-Thompson 棱镜或任何其它适当的偏振或双折射元件(图1a)；然后它通过一未激活的电光元件(即普克尔盒)入射在一个全反射镜M上，并沿同一光路返回。如果 $T_p > 2l/c$ ，其中 T_p 是脉冲持续时间， l 是电光元件和反射镜之间的距离， c 是光的速度；当脉冲一半已经反射回来与它本身相遇时，则两列反向传播的电磁波将同时充满电光元件和反射镜之间的空间。那时一个 V_π 大小的“阶”跃高压(或一很宽高压“矩形”脉冲)骤加在电光元件的两表面上，其中 V_π 是偏振旋转 $\frac{\pi}{2}$ 角所需要的延迟电压。

令 T 为高压脉冲的上升时间，图1a 表示当高压刚加上时两列反向传播的电磁波在 $t=0$ 时的情况。为清楚起见，假定电光元件的厚度为零。现在，由于取有限的时间 T 为高压上升到 V_π 的时间，在电光元件左边A区的距离 $c \times T$ 内所包含的辐射，在穿过电光元件后，使其偏振有效地旋转 $\theta(t)$ 角，($0 \leq \theta(t) \leq \pi/2$ ， $0 \leq t \leq T$)，然后它将经 Glam-Thompson 棱镜部分地反射。随着高压从 0 升到 V_π ，反射强度也从 0 ($\theta(0) = 0$) 升到最大 ($\theta(t) = \frac{\pi}{2}$)。这个用图示法由图1b中脉冲的上升部分(A区)来表示。在电光元件和反射镜M之间的往返行程距离中剩下的电磁波将接着穿过电光元件，它的偏振将旋转 $\frac{\pi}{2}$ 且将由棱镜全部反射，这由图1b的平坦(因假定强度是均匀的)部分(B区)表示，持续为 $(2l/c) - T$ 秒。在电光元件右边，在距离 $c \times T$ 内所包含的向左传播的电磁波，在两次穿过电光元件后将使它的偏振有效地旋转 $\theta'(t) + \frac{\pi}{2}$ ($0 \leq \theta'(t) \leq \theta/2$ ， $0 \leq t \leq T$)，并且将由棱镜部分地反射。它由图1bC 区表示，

在那里脉冲振幅在 $t = T$ ($\theta'(T) = \frac{\pi}{2}$ ， $V(T) = V_\pi$) 减小到零，在右边最后区域剩下的向左传播的辐射只是在 $V(t)$ 达到 V_π 后才到达电光元件。它的偏振在两次穿过电光元件中将旋转 π ，而且将无反射地通过棱镜。这样我们有一个如图1b中图解法所示的反射脉冲，这个脉冲的宽

度可通过改变长度 l 来改变。

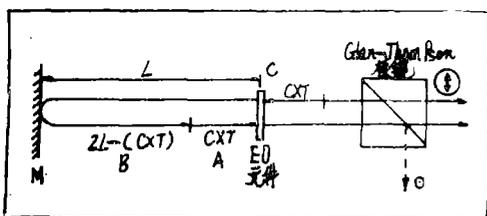


图1a 在时间 $t=0$ 刚加上高压时萃取脉冲装置略图

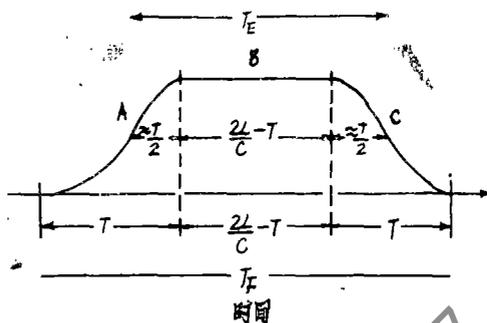


图1b 萃取的脉冲形状

从图1b我们看到脉冲全宽 T_F 由 $T_F = T + 2l/c$ 给出，而脉宽（fwhm） T_E 为：

$$T_E \approx 2l/c \quad (T \leq 2l/c) \quad (1)$$

随着 l 减小，萃取脉冲的B区也变小，当 $2l/c = T$ 时变为零，在这点A区和C区连接在一起。当 l 进一步减小时（即 $T > 2l/c$ ）A区从右边开始减小，因为在图1a中对应的A区的长度已不再是 $c \times T$ 而是 $c \times 2l/c$ ，它小于 $c \times T$ 。C区的宽是不变的，但是萃取的强度不从最大开始，然后减小，代之它将从A区的两端的萃取开始，接着增加经过一极大值，然后减小到零。这是因为C区的前部（图1a）在 $V(t)$ 达到 V_π 以前已通过电光元件两次。当 l 接近零时，A区减小到零，C区保持，而且萃取脉冲在 $t=0$ 时从零增加经过一极大值，然后在 $t=T$ 时返回到零。这样在 $l=0$ 时获得一个最小脉冲宽度（fwhm）：

$$T_{min} \approx T/2 \quad (l=0) \quad (2)$$

上升时间 T 可短至约100微微秒^[2, 3, 5, 6]。这样原则上用现代快速上升高压技术，得到的最小脉宽可窄至约50微微秒。

原则上我们也注意激光脉冲的峰值功率（图1b），由于假定激光强度均匀，因此当 l 变化时它将不改变。对于随时间变化的激光脉冲只要萃取了它的峰值区域，激光脉冲的峰值功率也将不随时间而改变。

实验验证

我们用一个被动Q开关的红宝石激光器证明这一概念。电光元件（一个KDP晶体）和Glam-Thompson棱镜是放置在激光腔内部（图2），图1a中的反射镜M由激光腔的部分反射输出镜M代替。现在让我们按照过程的顺序来叙述，首先用闪光灯泵浦红宝石超过光激射阈值，当染料Q开关（在甲醇中的DDI）饱和后，一个线偏振驻波在 S_1 和全反射镜之间的Fabry-Perot激光腔内形成。从M泄漏的能量触发火花隙，在KDP的截面 S_2 和 S_3 上施加一个约62毫微秒的高压脉冲（ $V_\pi = 20.8$ 千伏）。它的上升时间 T 如图3所示约2毫微秒。

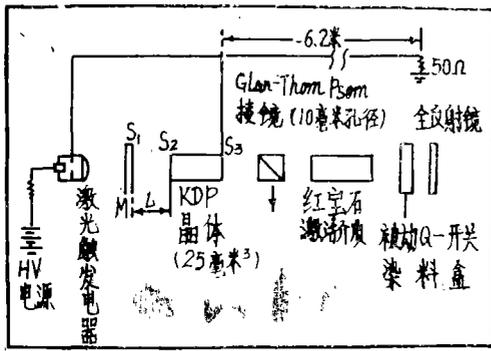


图2 萃取和变化激光脉冲的实验装置

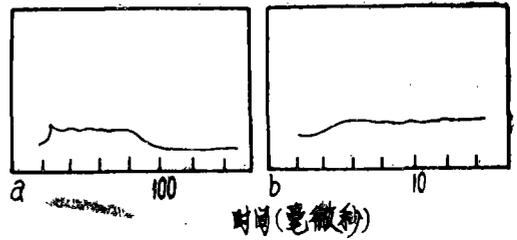


图3 用一个亚毫微秒上升时间(参考8)的高压探头测得实验中的20.8千伏脉冲波形: a——全脉冲波形; b——脉冲上升部分的扩展波形

在KDP和M之间的距离 l 内的电磁波能量,经棱镜沿粗箭头(图2)的方向通过反射来萃取。通过改变 l 获得不同的脉冲宽度。图4显示出对于不同长度 l 的典型脉冲;图5显示作为 l (实点)的函数的萃取脉冲宽度 T_E (fwhm)从1毫微秒到5毫微秒的准连续变化——这些脉冲是由一个快速的光二极管和一个快速的示波器(Tektronix591)以约0.5毫微秒的总上升时间测量的。和预期的一样,脉冲宽度 T_E 随 l 变化而变化。例如,在 $l=30$ 厘米时,正如方程(1)所预测 $T_E=2$ 毫微秒。同样,如由方程(2)(上升时间 $T \approx 2$ 毫微秒)预测的一样, T_E 达到约1毫微秒的最小值。图5中的实线是理论模拟的结果,在2.5毫微秒以下它非常好地与实验点相符。在较大 T_E 处偏差归因于在计算中使用了强度均匀的假设(参看下面)。

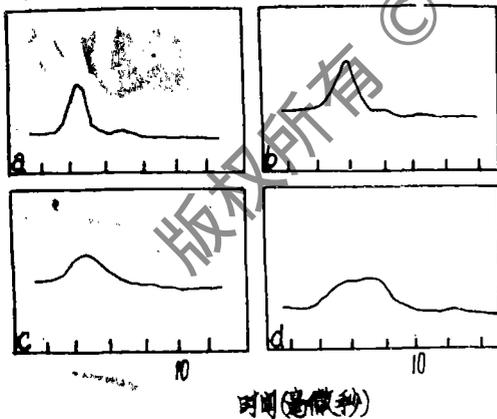


图4 在不同的 l 长度下萃取的激光脉冲: a——1.75厘米; b——2.25厘米; c——30厘米; d——62.5厘米

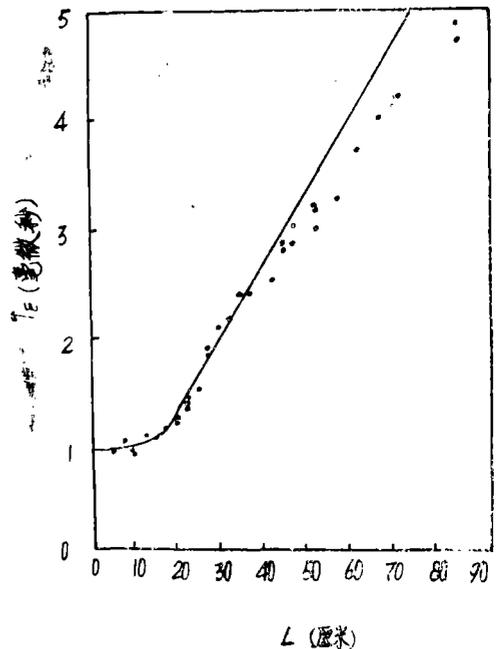


图5 萃取脉冲宽度 T_E (fwhm)与距离 l 的关系图。点——实验的点;线——理论的计算

如图4a和图6中所示次脉冲的偶然出现也是值得注意的，每当在高压脉冲（图3）的上升末尾有一个过冲时这种情况就发生。定性地讲（图1）如果一个阶跃高压有过冲，则上升时间 T 可被认为是从 $V = 0$ 到过冲下降返回到 $V = V_{\pi}$ 的时间。这样，在萃取脉冲中，上升部分（图1b的A区）在达到最大值以后经过一个极小值，因为在过冲的区内是偏振旋转大于 $\pi/2$ ，因此减小了萃取。B区受影响，在C区中，这脉冲在它减小到零以后将又通过一个次峰值。次峰由偏振旋转超过 π 以后而引起的。这样，在脉冲已降到零以后，获得一个与过冲一样宽的额外的峰。这显示在图7的图解中。随着 l 减小，最后在 $\frac{2l}{c} = T$ 时萃取脉冲的B区消失。按接近上节的尾部分给出的讨论，我们可以看出A区（图7）从右收缩，当 $\frac{2l}{c}$ 小于 T 时下降消失。留下的是主脉冲和C区的次峰，这是图4a和图6即 $\frac{2l}{c} < T$ 的情况，并将在下一节内证明。

数字模拟

进行了一个简化的脉冲萃取数字模拟。在时间 $t = 0$ ，假设两列反向传播的同强度和均匀的电磁波同时充满激光腔，如图2所示。

这两列波各自被分为相同的份数，并且每个萃取部分的强度 $I_c(t)$ 是使用下列方程计算的〔7〕：

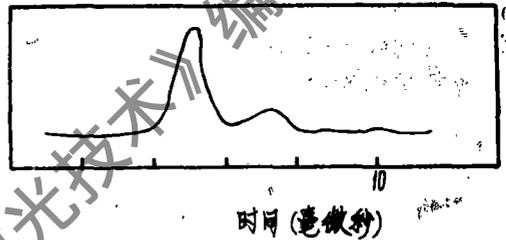


图6 当高压脉冲有一过冲时萃取脉冲包含一个次峰的例子

$$I_E(t) = I_i(t) \sin^2(\pi V(t)/2V_{\pi}) \quad (3)$$

$$I_i(t) = \text{常数}$$

$$V(t) = \begin{cases} V_{\pi} t / T & t < T \\ V_{\pi} & t \geq T \end{cases} \quad (4)$$

其中 I_i 是入射在KDP晶体上那部份的激光强度， $V(t)$ 是加在KDP晶体的高压，假设它从 $t = 0$ 到 $t = T$ 线性地上升，在 $V(T) = V_{\pi}$ 变平。考虑到KDP晶体的有限尺寸，在KDP晶体里某一部分电磁波所经历的电势差取其进入

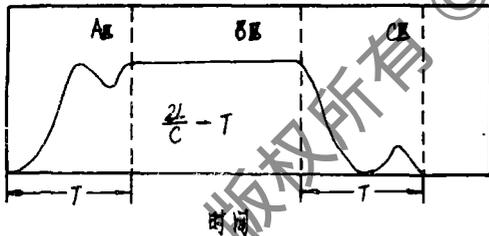


图7 当在高压脉冲 ($2l/c > T$) 上升部分的末端过冲发生时萃取脉冲形状的简图

和离开晶体时电势差的平均值，利用实验确定的 $T = 1.95$ 毫微秒的值，逐点地绘制出萃取脉冲。脉宽 (T_E) 是对不同的 l 值测定的。图5中实线显示的是 T_E 随 l 的变化，在大的 l 值时，它偏离实验点是由于在计算中假设 $I_i(t) = \text{常数}$ 所引起的。在实际实验中，激光脉冲有一个约10毫微秒的有限持续时间，这样，如果 l 变为足够大，萃取脉冲复盖激光脉冲的下降（和上升）部分。这使真实宽度比使用均匀激光脉冲所获得的小。

次峰 (图 6) 也能用假设阶跃高压的高斯过冲来模拟 (图 8) ; 即高斯函数是叠加在它变平之前高压线性上升的末端上, 从图 8 我们有:

$$\begin{aligned}
 V(t) &= V_{\pi} t / (T - T'), & 0 \leq t < T - T' \\
 &= (1 + OV) V_{\pi} \exp \left[- \left(\frac{t - T}{b} \right)^2 \right] & T - T' < t < T + T' \\
 &= V_{\pi} & t \geq T + T'
 \end{aligned}$$

其中: $b^2 = \frac{T'^2}{\ln(1 + OV)}$

利用实验的条件 $l = 15$ 厘米, $T = 2.0$ 毫微秒, $OV = 0.17$, $T' = 0.4$ 毫微秒, 我们获得了一个如预测一样的带有次峰的萃取脉冲 (图 9 a)。为了比较, 图 9 b 给出当 OV 调到等于零时的萃取脉冲, 即没有过冲, 确实次峰消失。

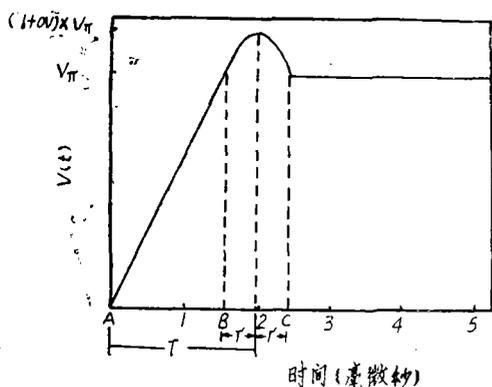


图 8 为了证明萃取脉冲含有次峰, 在计算中所用具有高斯过冲的高压脉冲的解析波形

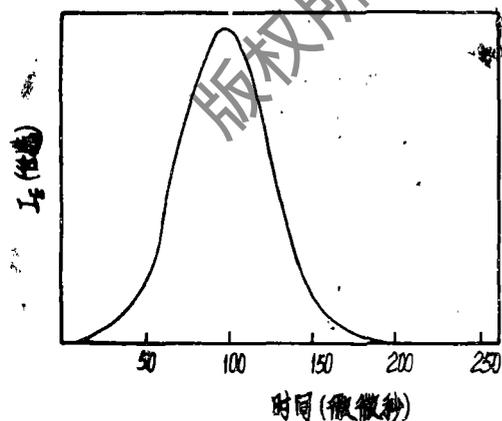


图 10 最小宽度的理论脉冲波形

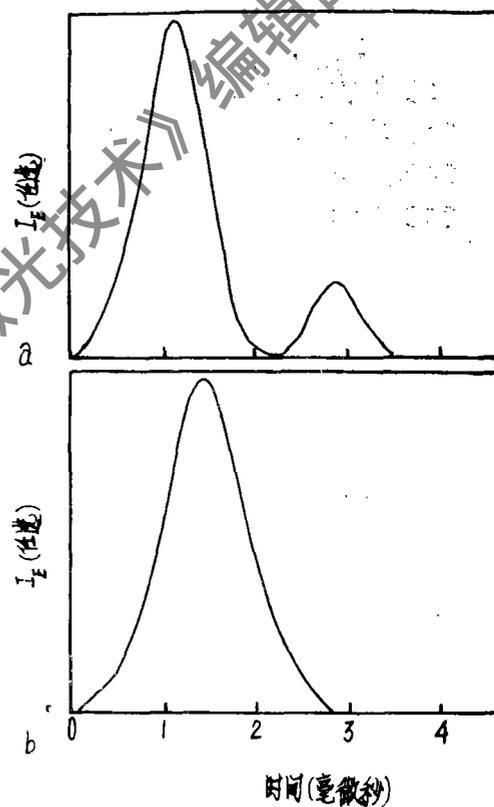


图 9 数字模拟的萃取脉冲:
a——在高压脉冲有高斯过冲情况;
b——高压脉冲没有过冲。

• 原文可能有误。——译注

图10显示一个假设高压具有最短上升时间 $T = 100$ 微微秒, $l = 1$ 厘米所模拟的最短萃取脉冲, 没有过冲用于高压。和在前边定性讨论中所预测的一样, 这最小脉冲的脉宽约为62微微秒。

结 论

我们提出了一种新的电光技术, 用于在电光元件和反射镜之间的激光脉冲电磁能量的萃取, 萃取脉冲的持续时间能用简单地改变电光元件和反射镜之间的间隔来变化。用一个红宝石激光器和数字模拟进行了实验, 证明了原理的正确性。最小宽度 (fwhm) 大约是施加于电光元件上的阶跃高压上升时间的一半。原则上, 只要能找到适用于特定波长的调制器, 这一技术就能用于任何激光系统, 调制元件可以放在激光腔内部或在激光腔外部。

参 考 文 献

- [1] Alcock, A.J., Richardson, M.C. Opt. Comm., 1970, No. 2, P.65.
- [2] Scott, J.C., Palmer, A.W. Jphys E.Sci. Insty., 1978, No. 11, P.901.
- [3] Ireland, C.L.M. J. Phys E. Sci. Instr., 1975, No. 8, P.1007.
- [4] Machewirth, J.P. Laser Focus, 1977.3, P.81.
- [5] Antonetti, A., Malley, M.N., Mourou, G., Orszag, A. Opt. Comm., 1977, No. 23, P.435.
- [6] Platte, W. Optics and Laser Technol., 1978, Vol. 10, No. 1, P.40.
- [7] Yariv, A. 'Quantum Electronics' (J. Wiley and Sons, New York, 1975) Chapter 14.
- [8] Sargent, W.J., Alcock, A.J. Rev. Sci. Instr., 1976, No. 47, P.1283.

译自《Optics and Laser Technol.》, 1981, Vol. 13, No. 2, P. 79~82.

308厂 尹江河 译 209所 华森 校

苏联激光武器的研究和发展似乎处于领先地位

美国国防部最近出版的“苏联军事力量”一书指出: “在过去的十年内, 估计苏联在发展高能激光器一类直接能量武器方面已处于领先地位。”报告直截地承认: 美国“失去了它在一些要害技术上的领先地位, 其中包括电光传感器。”报告认为: “苏联的高能激光器计划比美国力争的水平要高三至五倍, ” “到80年代中期, 苏联在战术空间防御和杀伤性武器一类短程地面应用的中能武器的发展方面, 离现场使用还相当远。在80年代的后五年中, 苏联有可能试验成功在地面、船舶和空间应用的各类激光武器。”

摘译自 Laser Report, 1981, Vol. 17, No. 18, P.1.

(本刊摘译)