

## 激光技术將以何种形态与薄膜技术相结合

〔日〕 稻場文男

### 激光巨脉冲的产生

红宝石和钽玻璃以及各种用来做固体光激励器的材料，其脉冲振荡的持续时间通常约为 0.1 到几个毫秒的数量级。在这段期间内产生多个振荡尖峰，最大值是 10 瓦数量级。因此，为改变这样的振荡波形，使得到单一的锐脉冲、获得最大峰值功率，进行了种种尝试。

为了抑制最初的激光振荡，先让谐振腔处于低  $Q$  值态，保持泵光的作用。结果在激光跃迁的高能态上储备起足够的能量，达到高度集居数反转。这时利用开关元件把  $Q$  值急速增大，处于高能态的粒子就在极短的时间内返回低能态，放出巨大的能量。根据这个原理把这个方法称之为  $Q$  开关法或  $Q$  突变法。

图 1 表示伴随着急剧  $Q$  开关，反转集居数随时间的变化关系以及巨脉冲激光输出的波形图。

这样的巨脉冲，最初是用红宝石光激励器实现的，目前仍以红宝石为主。产生巨脉冲的时间宽度由 10 到 50 毫微秒。在这样的时间间隔下，峰值功率输出较通常情况提高了几个数量级，最近已从 10 兆瓦提高到  $10^3$  兆瓦。

巨脉冲激光工艺极引人注目，人们积极进行着这方面的研究工作。这是因为它可以获得迄今电磁波和微波从未达到的巨大能量，而且它是一个极为陡峭的锐脉冲。例如，峰值功率 100 兆瓦数量级的巨脉冲聚焦后的能量密度是  $10^{16}$  瓦/厘米<sup>2</sup>，而且光频的高频电场约  $10^9$  伏/厘米，磁场达到  $10^7$  奥斯特。由于物质中原子核对周围电子所造成的电场约为  $10^8$  伏/厘米，故这样强大的电磁场可以用来探知各种物质从来没有观测到的新奇效应。

巨脉冲不仅可用于物性研究和非线性光学的实验，同样也能用于激光雷达、物质加工、熔接、医学研究等许多方面。

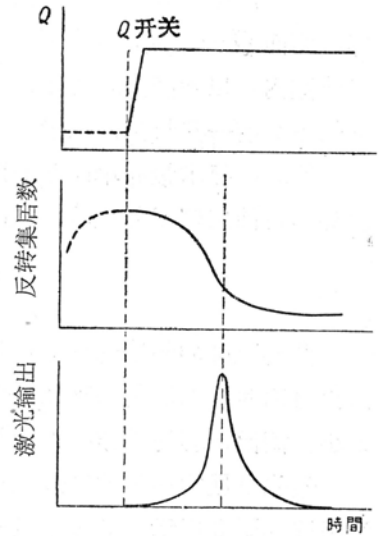


图 1 固体光激励器产生巨脉冲的原理

产生具有这样特性的巨脉冲,如前所述,如果不利用  $Q$  开关元件是不可能的。例如第一个红宝石光激光器的巨脉冲实验,就是用硝基苯克尔盒做  $Q$  开关的。迄今在实验中所采用的  $Q$  开关若以其利用的效应(或方法)来区分,可归类如下:

- (1) 电-光效应(克尔盒、普克尔盒);
- (2) 磁-光效应(法拉弟圆筒);
- (3) 超声波-光效应(超声波盒);
- (4) 机械开关(旋转圆板、旋转镜、旋转棱镜);
- (5) 薄膜元件;
- (6) 饱和性吸收物质(液氧、特殊玻璃等)。

利用这些效应时,均需将  $Q$  开关元件置于与固体激光材料本身相分离的谐振腔之内。此外在固体材料本身上直接加入电场与磁场或者超声波振动,以改变物质的  $Q$  值和材料自身形成的谐振腔的  $Q$  值的方法也曾发表过。后者对激光内调制技术的意义是深远的。

上述分类中(1)、(2)的效应均由偏光元件组合而成,它的调  $Q$  作用是由于激光谐振腔内光的偏光方向被急速改变所致。第(3)种方法是利用光在传播着超声波的媒质中进行时产生的折射和衍射效应来控制光通路,达到开关的目的。其次,在激光谐振腔一端置一高速旋转反射镜或旋转全反射棱镜,或者将一个旋转的带孔圆板插入谐振腔以实现第四种  $Q$  开关。所用的转子和马达旋转速率高达每分钟数万转。

这里列举的(1)到(4)的  $Q$  开关元件,都是从外部供给电讯号使之动作的主动元件,在激光操作过程中,其开关时间和速度可由外部送入信号作适当的控制。

但是,主动元件因需要高压脉冲电源和大电流磁场,或要求比较大的液体盒及旋转部分等,因而  $Q$  开关整体装置较大,调整和使用起来困难较多。这就是说主动式  $Q$  开关元件在实验室内可以较满意地使用,而对于某些实用器件,例如激光雷达和加工熔接装置等来讲,它们虽具有一些特长,但看来还不能满足在不同使用条件下提出的所有要求。

因此,寻求最简单而又能产生上升极快的巨脉冲的元件,成为  $Q$  开关技术最近的新发展趋势,目前出现了如(5)、(6)所记载的新的被动式  $Q$  开关元件。

### 用作 $Q$ 开关的薄膜元件

获得巨脉冲的被动式元件是利用透过率随光强变化的材料构成的,其开关时间和速度一般由材料对激光波长的吸收特性决定,在激光操作过程中虽不能由外部加以控制,但由于它形小、简便、容易操作,因而具有一定的实用价值。

最先发展的一种被动式元件是利用吸收光后容易蒸发的薄膜材料制成的,这种巨脉冲光激光器如图2所示,其操作极简单。把对激光振荡波长具有大吸收系数的薄膜状材料插入谐振腔中,在低  $Q$  值状态下进行泵浦,当反转集居数达到极大程度而开始振荡时,其输出光将膜的一部分蒸发成一个孔洞,导致  $Q$  开关作用的急速进行。对这样的  $Q$  开关薄膜元件一般有下列要求:

- (1) 对激光的吸收系数大,反射系数小;

- (2) 蒸发或者分解温度较低;
- (3) 蒸发后薄膜的残留物对激光没有强烈吸收作用, 而且产生的蒸气应能迅速散掉。

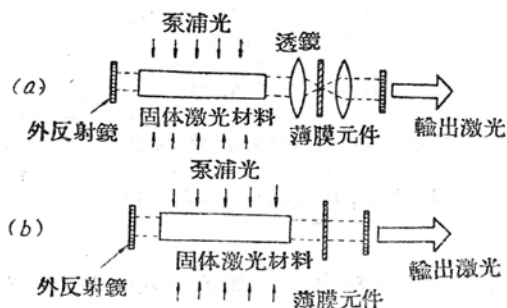


图 2 使用薄膜元件作 Q 开关, 形成巨脉冲激光

至今已在红宝石激光实验中进行了尝试。在聚酯薄膜上镀约 0.025 毫米厚的铝薄膜, 或在其上贴一厚约 0.75 微米的金箔。因后者容易蒸发, 故可象图 2 (b) 那样, 无需使用透镜聚焦。而前者则要求采用图 2 (a) 的系统, 在加上必要的泵浦能量数微秒后, 铝膜上即产生小孔而开始振荡, 所产生的巨脉冲甚至也能在聚酯薄膜上打出小孔。这个实验一般易于获得峰值功率约 1 兆瓦、振荡时间 1 微秒的巨脉冲。

此外, 还用青色染料的三苯甲烷-丙酮溶液, 在光学玻璃表面上镀以半个波长厚的薄膜。该实验结果已发表。在 0.6 微米波长处的发光情况和激光输出随时间的变化分别示于图 3 (a)、(b) 中。所得的巨脉冲时间宽度由 20 到 40 毫微秒, 与克尔盒调 Q 的方法同数量级。

上述的 Q 开关薄膜元件, 美国贝克曼和惠特利公司均已制成商品出售。对于所产生的巨脉冲的输出能量来说, 上述的薄膜虽然不存在可以使用的上限问题, 但由于元件上被蒸发出小孔, 每次均需移动或更换, 故使用极不方便。

饱和性吸收物质与薄膜一样, 同样可以用作被动式开关元件, 但它却有能长期使用的优点。这种元件对激光波长的吸收率与光强呈非线性关系。当吸收强光的基态与激励态间的跃迁出现饱和时, 光的透过率就急剧增长, 用这一特性作成 Q 开关。随后由于弛豫机构的作用, 处在高能态的粒子在极短的时间内回到基态, 故自动恢复到可以做为 Q 开关的初始状态。

具有上述特性的材料, 有酞花青染料的有机溶液、隐花青染料的甲醇或乙醇溶液等, 以及含有 CaS 和 Se 的有色玻璃和氧化铈玻璃等。

例如, 用 CaS、Se 玻璃 Q 开关和克尔盒 Q 开关在同样条件下进行红宝石激光实验, 所得巨脉冲的总输出和宽度分别是 1 焦耳 30 毫微秒和 0.7 焦耳 30 毫微秒。又对同一红宝石用贝克曼和惠特利公司制作的薄膜元件和隐花青染料的甲醇溶液盒进行巨脉冲实验, 其输出特性的比较示于表 1。

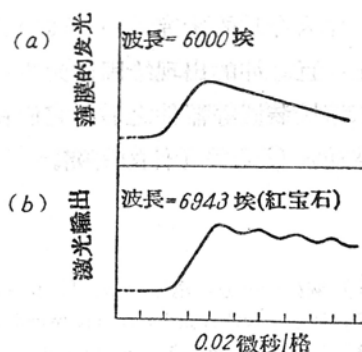


图 3 使用薄膜元件的红宝石巨脉冲激光振荡的特性

表 1 用被动式元件作 Q 开关红宝石激光巨脉冲输出特性的比较

Q 开关元件	输 出 特 性	
	L = 20 厘米	L = 45 厘米
薄 膜	17 兆瓦, 10 毫微秒	8 兆瓦, 20 毫微秒
隐花青溶液(盒厚 1 毫米)	10 兆瓦, 10 毫微秒(总输出 0.13 焦耳)	2 兆瓦, 30 毫微秒 (0.06 焦耳)
隐花青溶液(盒厚 5 毫米)	10 兆瓦, 10 毫微秒 (0.12 焦耳)	1 兆瓦, 30 毫微秒 (0.05 焦耳)

其中所有这些 Q 开关元件对 6,943 埃的弱光的插入损失约为 3 分贝。

如上所述, 薄膜元件和饱和性吸收物质这两种 Q 开关用作被动元件是有实用价值的, 但看起来, 前者的使用次数和后者的大小、机械强度以及热强度方面都还有改良的余地。

因此, 作者等人正从事于把两者的优点结合起来的研究工作, 也就是说设法寻求将后者薄膜化或者同一薄膜可多次使用的新器件。首先被考虑的较为简单的方法, 是采用饱和吸收染料的膜, 即将各种青色染料溶于有机液体中, 并设法使其在形成膜状时具有较大的表面张力。这方面正在实验之中。

作为今后的研究动向, 薄膜工艺的目标是微型化和可靠性, 并应向被动式方向发展。事实上, 巨脉冲的出现给固体光激光器带来了极大实用价值。反过来, 用它制成的激光雷达、加工熔接装置等器件之后, 它们在工业实践上的急剧进展, 必然促使人们更加致力于高性能的被动式 Q 开关元件的研究。

### 参 考 文 献

- [1] 例如金弼铉: 电子科学, 15, p. 42, 1965 年 1 月。
- [2] F. J. McClung, R. W. Hellwarth: *Appl. Phys.*, 33, p. 828, 1962; *Proc. IEEE*, 51, p. 46, 1963.
- [3] E. K. Pamon: *Microwaves*, 3, p. 40, 1964.
- [4] W. Kaiser, H. Lessing: *Appl. Phys. Lett.*, 2, p. 206, 1963.
- [5] H. C. Nedderman et al.: *Proc. IRE*, 50, p. 1687, 1962.
- [6] 稻場、津屋、海沼: 应用物理, 32, p. 508, 1963; N. Tsuya, H. Inaba et al.: *Bull. Am. Phys. Soc., Ser. II*, 9, p. 281, 1964.
- [7] D. G. Grant: *Proc. IEEE*, 51, p. 604, 1963.
- [8] J. I. Masters et al.: *Rev. Sci. Inst.*, 34, p. 365, 1963.
- [9] P. P. Sorokin et al.: *IBM Jour.*, 8, p. 182, 1964.
- [10] P. Kafalas et al.: *J. Appl. Phys.*, 35, p. 2349, 1964; B. H. Soffer; J. *Appl. Phys.*, 35, p. 2551, 1964.
- [11] 市村、小林、伊藤、稻場: 昭和 40 年, 电气四学会連合大会論文集, 1928, 1955 年 4 月。
- [12] G. Bret, F. Gires: *Appl. Phys. Lett.*, 4, p. 175, 1964.
- [13] J. I. Masters, E. M. E. Murray: *Proc. IEEE*, 53, p. 76, 1965.
- [14] 稻場、伊澤、福田: 日本物理学会および应用物理学关系学会合同講演會論文予稿集, 10p-L-3, 1965 年 4 月。

原载《电子科学》, 1965, 15, №7, 105~108 (郑秀云摘译、屠世谷校)