

LiF:F₂⁻ 色心调 Q 磷酸盐玻璃激光振荡器

Abstract: Using color center LiF as Q switch of Nd³⁺:phosphate-glass laser, a stable high power laser has been obtained. This paper discusses some ways to increase the probability of smooth pulses, to stabilize the smooth pulses and to increase the modulation depth of mode-locking pulses.

一、引言

由于色心晶体用在振荡器调 Q 比染料更为稳定和方便。用于 Nd³⁺:YAG (包括掺钕硅酸盐玻璃) 和红宝石的调 Q 实验都相继获得成功^[1,2], 考虑到掺钕磷酸盐玻璃具有可重复率运转, 我们试用 LiF:F₂⁻ 晶体对 Nd³⁺:磷酸盐玻璃振荡器进行调 Q 实验。结果发现, 该器件不但容易获得稳定的调 Q 脉冲输出, 而且只要实验条件控制得当, 输出脉冲在时间上变得十分光滑, 相应的激光光谱宽度小于振荡器模间隔。此外, 改变工作条件, 还可能获得锁模脉冲序列。

二、实验装置和实验结果

实验装置如图 1 所示。器件使用 $\phi 6 \times 80$ 掺 Nd 磷酸盐激光玻璃棒, 平凹腔, R₁ 全反镜曲率半径 3 m, 平镜 R₂ 透过率 50%, 靠近平镜处置有 $\phi 1.5$ mm 光阑(平凹腔的光腰 $\omega_0 = 1.4$ mm), 光阑前放置 LiF:F₂⁻ 色心晶体, 器件由双灯泵浦。

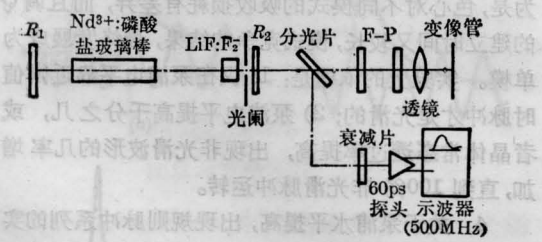


图 1 LiF:F₂⁻ 色心晶体调 Q 的激光实验装置

实验观察到在固定腔形结构的条件下, 输出激光的波形与色心晶体透过率、腔内光阑孔径和泵浦电平关系密切。利用 γ 射线辐照 LiF 晶体获得色心。试验表明, 当单晶块的长度 $l = 7$ mm, 而 $1.05 \mu\text{m}$ 处的常态透过率 $T = 60\%$ 时, 调 Q 输出的激光波形基本上不光滑。改用 $l = 9.5$ mm, $T = 50\%$ 时, 光滑脉冲的几率也很低。当将二块晶体串接放置腔

内, 即总透过率 $T = 30\%$ 时, 即可得到光滑的调 Q 脉冲, 成功的几率达 80% 以上, 其余 20% 的非光滑脉冲中曾观察到调制深度为 30~50% 的尖峰结构。实验中所用的二块色心晶体的常态透过率(指非强光照时透过率其光强远小于饱和光功率密度 $P_s = 10^5 \text{ W/cm}^2$) 曲线参见图 2。虚线表示激光器的工作波长。

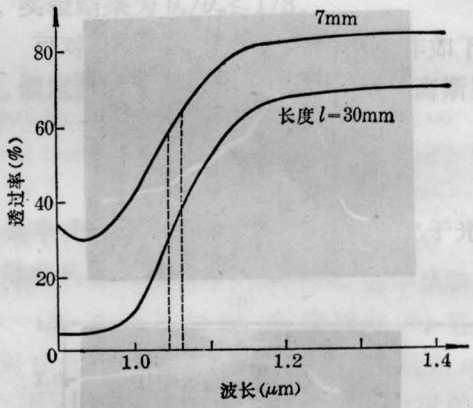
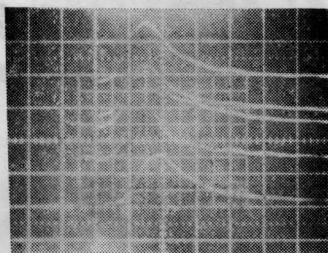


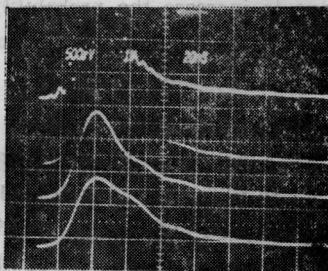
图 2 LiF:F₂⁻ 晶体的常态透过率曲线

实验时还注意到, 靠近 R₂ 腔片的光阑撤除时更容易观察到光滑的波形。

实验中用上升时间为 100 ps 的 PIN 二极管进行探测, 用 500 MHz 储存示波器拍摄到的二组波形如图 3 和图 4 所示。图 3 波形是光滑的, 我们把扫描速度扩展到 1~5 ns/div, 进行观察的结果仍然是光滑的, 而且在重复发射时仍可连续观察到光滑脉冲, 参见图 3(a) 照片, 实验表明获得光滑脉冲的泵浦条件要求很靠近阈值。从阈值电平提高数十伏, 即泵浦能量增加千分之几时, 就可能引起脉冲不光滑, 带有一系列规则的尖峰结构, 尖峰之间的间距约 10 ns, 与光子在腔内的往返时间相一致。但尖峰宽度



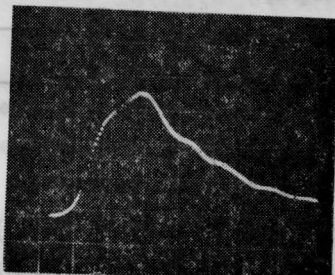
(a)



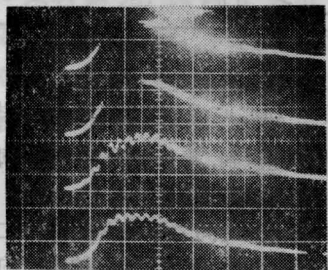
(b)

图3 LiF:F₂ 调Q的光滑脉冲激光波形(扫速 20 ns/div)

(a) 连续拍摄光滑脉冲; (b) 单次拍摄光滑脉冲



(a)



(b)

图4 LiF:F₂ 调Q的非光滑脉冲波形

(a) 多毛刺波形; (b) 50% 调制深度 10 ns 脉冲序列

为 ns 量级这种情况和激光腔加标准具时出现的低调制度锁模脉冲序列很相似。如果泵浦水平更高一些就会出现如图 4(a) 的多尖峰结构, 甚至还可能更乱的多毛刺结构。

使用 $l=30\text{ mm}$, $T=23\%$ 的 LiF:F₂ 晶体在

腔长 $L=54\text{ cm}$, 工作物质为 $\phi 5 \times 65$ 的 Nd³⁺:YAG 棒, 输出反射镜的透过率 $T=45\%$ 的激光器中调 Q 实验时观察到 20 ns (全半宽) 的光滑脉冲, 泵浦条件同样是靠近阈值, 其中约有 10% 的几率出现锁模脉冲结构。

采用与色心晶体相同透过率的染料片在同一器件做实验, 以 100% 的几率观察到带杂乱波纹的非光滑调 Q 脉冲, 这些纹波是杂乱的。

用 10 cm 间距、反射率 90% 的标准具测得光谱线宽 $\Delta\lambda < 0.0003\text{ nm}$ (该器件模间隔: $\Delta\lambda \approx 0.0003\text{ nm}$), 标准具自由谱宽 $|\Delta\lambda| \approx \lambda^2/2L = 0.005\text{ nm}$, 分辨率 10^{-4} 。

三、讨论

1. 选择合适透过率的色心晶体和控制泵浦电平靠近于阈值, 掺钕磷酸盐玻璃激光器可以得到几率较高的光滑调 Q 脉冲。但由于玻璃棒的热导率低, 在重复工作时, 随热积累过程, 其阈值电平将从 1.6 kV 提高到 1.8 kV (即泵浦阈值功率提高约 1%) 的变化, 这样对于要求把泵浦水平控制在千分之几范围内才能实现稳定光滑脉冲调 Q 的条件不能被满足, 所以, 为了获得稳定的光滑调 Q 脉冲, 需要降低运转频率, 提高散热速度。

2. 适当提高色心晶体透过率, 或提高泵浦水平, 钕玻璃激光器可获得锁模脉冲序列, 但尚需寻找最佳工作条件使调制深度进一步增加。选择适当的色心晶体透过率可能获得理想的锁模脉冲序列。

3. 关于色心晶体用于调 Q 获得光滑脉冲的机理问题, 我们通过标准具测量表明, 与光滑脉冲相应的激光输出是单纵模的 (因为线宽小于模间隔)。色心晶体置于腔内容易获得单模运转的原因, 我们认为是, 色心对不同模式的吸收损耗有差异, 而且调 Q 的建立时间又较长, 模式竞争的结果, 最终发展成为单模。实验上的依据是: 1) 仅在泵浦电平靠近阈值时脉冲才是光滑的; 2) 泵浦电平提高千分之几, 或者晶体常态透过率提高, 出现非光滑波形的几率增加, 直到 100% 非光滑脉冲运转。

4. 关于泵浦水平提高, 出现规则脉冲系列的实验结果分析, 我们认为如图 4(a) 和 (b) 所示脉冲序列是二个相邻纵模之间拍频结果。因为只要实验条件固定, 该器件可以重复出现这种稳定的拍频输出, 这种现象实际上也可理解为 $N=2$ 模锁定的特例, 所以, 证明该器件已能进行模锁定运转, 只是因为双模幅度差异较大, 故使调制深度不够, 因此, 当我们提高泵浦水平, 双模幅度相接近时, 便获得更大调制深度的脉冲序列。

必须指出, 由已知色心能态寿命($\tau \approx 10^{-7}$ s)大于光在腔内往返时间 t_{rt} (约 10^{-8} s), 看来, 并不满足 $\tau < t_{rt}$ 的锁模条件。也许可以用局部弛豫时间的概念来解释, 但应该说, 色心晶体的锁模效应还不十分清楚, 有待今后去研究。此外关于取消光阑更易获得光滑脉冲的问题(可能与横模的增加加剧损耗有关)也有待深究。

感谢余文炎同志对本工作的有益指导。

参 考 文 献

- [1] V. A. Arkhangel'skaya, P. P. Feofilov; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1980, **10**, 657.
 [2] 张贵芬;《光学学报》, 1982, **2**, No. 10, 657.

(中国科学院上海光机所 庄斗南

张贵芬 林伟平

1985年3月26日收稿)

长脉冲 Xe^{IV} 364.5 nm 激光器特性的研究

Abstract: In this paper we report a long pulse Xenon ion laser at 3645 nm. The FWHM of laser beam is 10 μ s, the output of each pulse at 3645 nm is about 3 mJ.

一、引言

高价电离的脉冲氙离子激光器已经有不少作者作过报道^[1-3], 他们的工作大部份集中在波长的可见部分。然而脉冲氙离子激光器也是输出紫外激光的重要激光器之一, 它在 220 nm 到 400 nm 范围内有强弱不等的十余条谱线输出^[4], 其中以近紫外的 364.5 nm 的输出为最强, 单线输出功率可达千瓦数量级。一般的氙离子激光器的光脉冲时间约 0.6 μ s, 这对泵浦锁模染料激光器来说就显得太短了。

要得到比较长的光脉冲一般有两种方法: 一是和放电电容串联电感和电阻, 利用 RLC 放电常数比较大的放电回路; 另一种办法是用由电容和电感组成的多级脉冲形成线, 使放电电流输出呈方波。本文采用后一种形式。然而方波形式的放电电流并不一定使激光脉冲的输出也呈方波形式。本文报道我们使放电电流时间延长并呈方波形式, 又使激光脉冲的输出延长并呈方波形式的研究结果, 并进一步探讨了这种激光器的激发机理。

二、实验装置

激光管长 170 cm, 毛细管内径 4.5 mm, 管子做成全外腔, 两端布氏角石英窗片用环氧粘合。电极材料采用金属钨并用钨棒作为引线引出。

放电回路采用五级脉冲形成线, 每级电容 $c = 0.35 \mu$ F, $L = 226 \mu$ H, 重复频率是 5 次/s。利用 Rogowski 线圈测量放电电流, 高速光敏二极管测量激光光脉冲的输出波形。电流和光讯号都分成两路, 一路输入示波器作为监视, 另一路输入 BF₃ 高速波形记录仪(复旦大学科学仪器厂生产)存储起来, 由函数记录仪将电流、光脉冲波形画出, 并和示波器

观察的结果相比较。BF₃ 高速波形记录仪的最高采样速度是每点 0.1 μ s, 共可取 512 点。

实验及测量装置示于图 1。

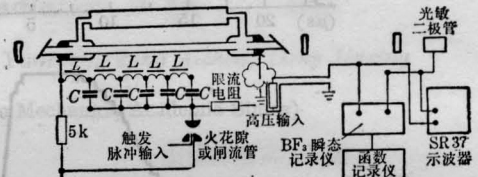


图 1 实验装置图

三、实验结果及讨论

未采用脉冲形成线时的放电波形是典型的 RC 放电波形, 半宽度 0.6 μ s (见图 2)。用了五级脉冲形成线后, 也不一定能获得长的方波放电电流。这依赖于放电回路的特征阻抗是否和激光管的特征阻抗相匹配。

在选择了合适的 L 值 ($L = 226 \mu$ H) 以后, 电流的波形是比较理想了。但实验测量到的激光脉冲并不呈现和电流相同的形式。光脉冲的输出波形和停留时间强烈地随气压而变化, 具体示于图 3。从图 3 可以看出, 在气压比较高时激光脉冲呈方波输出, 周期比较长, 脉冲能量也比较大, 我们测得的 364.5 nm 的单脉冲能量达 3 mJ。随着气压降低, 方的光脉冲先变成双峰脉冲, 再逐步成为两个分离的光脉冲。第一个光脉冲出现在放电电流开始后, 它的峰值功率随放电电流的增加而增加。经过一段时间以后, 出现第二个比较宽的光脉冲, 它也随着放电电流的增加而增加。在两个光脉冲之间, 激光熄灭, 称“死时间”, 它也随着压强的增加而显著地减少。在固定氙