

氢闸流管触发的紫外氮分子激光器

欧震亚 杨立明

宋占侠

(清华大学)

(国家标准局)

提要:报道一种紫外氮分子激光器,采用国产氢闸流管作触发器,同位素作预电离源。激光脉冲能量最大值为5mJ,延时抖动为 ± 1 ns,单脉冲激光能量稳定性为5%。

UV nitrogen laser using hydrogen thyatron as switch

Ou Zhenya, Yang Liming

(Qinghua University)

Song Zhanxia

(National Standard Bureau)

Abstract: An UV nitrogen laser, which uses domestic hydrogen thyatron as switch and isotope as preionizer, is reported. The maximum pulse energy is 5mJ the time delay jitter is ± 1 ns, and energy stability for single laser pulse is 5%.

目前国产的氮分子激光器,都采用火花隙触发。火花隙结构简便,制造较易,价格低廉。但也存在一些问题:如触发不稳定,有时产生连击或者不触发,致使脉冲激光能量上下漂动很大,在低重复频率时尤为严重;激光脉冲的延时抖动较大,难于同步;电磁干扰较强。改用氢闸流管,同时加上其他措施,则可以克服上述缺点。

在国外,1973年开始有用氢闸流管触发的氮分子激光器的报道^[1],1977年有某些高性能的产品出现。我们采用国产氢闸流管作触发,陶瓷电容作储能和传输,同位素作预电离,金属外壳作屏蔽。对它的性能进行了实验研究。同时提出一种等效线路来计算电路参数。

一、电路原理

我们采用电容传输电路,如图1所示。有关激光腔的光电特性,文献[2]已论及,这里从略,只分析电容 C_1 对电容 C_2 充电时的能量传输效率,闸流管的峰值电流以及电容比值的影响等。在此过程中,激光腔没有达到击穿发光,据计算^[2],其导电率很低,可以近似地看作开路,不影响下面的计算结果。

等效电路如图2。 L 和 R 为氢闸流管的电感和导电时的电阻。初值条件:时间 t 、电流 i 和电容 C_2 上的电压 V_2 都为零。电容 C_1 上的电压为 V_0 。

收稿日期:1985年4月3日。

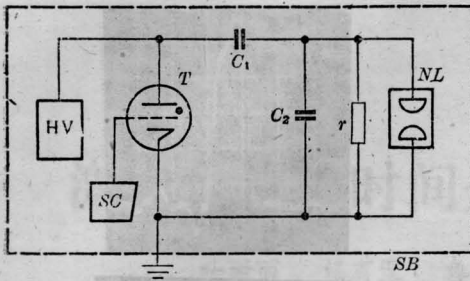


图1 氮分子激光器电路

HV—直流高压电源 0~25 kV
 r—电阻 1 kΩ T—陶瓷氢闸流管
 NL—激光腔, 电极长 800 mm, 放电截面 10×25 mm
 C₁—储能电容(陶瓷) 30 nF
 C₂—传输电容(陶瓷) 22 nF SB—屏蔽壳

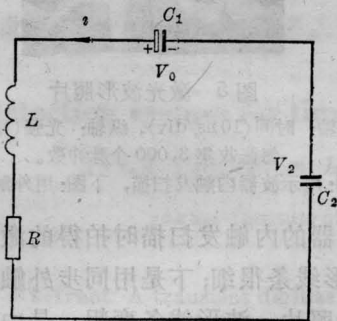


图2 电容间能量传输时等效电路

电路方程:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = V_0 - \frac{1}{C_1} \int_0^t i dt \quad (1)$$

其解为:

$$i = \frac{C\omega_0^2}{\omega} V_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \sin \omega t \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{C\omega_0}{C_2\omega} V_0 \left[\frac{\omega}{\omega_0} - e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t - \theta) \right] \quad (3)$$

式中:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad \tau = \frac{2L}{R},$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{1}{\omega_0 \tau}, \quad \omega^2 = \omega_0^2 - \frac{1}{\tau^2}.$$

所用 R 值甚小, 且 $0 \leq t \leq \frac{\pi}{\omega}$, 故满足:

$$\omega_0 \gg \frac{1}{\tau}, \quad \omega \approx \omega_0, \quad t/\tau \approx 0 \quad \text{和} \quad \theta \approx 0.$$

上两式可简化为:

$$i = C\omega_0 V_0 \sin \omega_0 t \quad (4)$$

$$V_2 = \frac{C}{C_2} V_0 (1 - \cos \omega_0 t) \quad (5)$$

(1) C₁ 对 C₂ 充电时的能量传输效率 η

激光脉冲的能量强弱主要取决于在 C₂ 充电的电能多少。按公式(5), 当 $t = \pi/\omega_0$ 时电容 C₂ 上的电能最大。调节激光腔内氮气压强, 使在此时放电, 发出的激光最强。

$$\eta = \frac{1}{2} C_2 V_{2\max}^2 / \left(\frac{1}{2} C_1 V_0^2 \right) = \frac{4n}{(1+n)^2}$$

式中 $n = C_2/C_1$ 。当 $n=1$, η 为 100%, $n=0.7$, η=97%。

(2) 氢闸流管的峰值电流 i_{\max}

据公式(4), $t = \pi/2\omega_0$ 时电流最大:

$$i_{\max} = \left[\frac{nC_1}{(1+n)L} \right]^{1/2} V_0$$

当 n 从 1 向 0 变小时, i_{\max} 也变小。小的 n 值对闸流管有利, 但对传输效率不利。综合权衡, 我们选 $n=0.7$ 。L 已知为 0.5 μH。再选定 $C_1=0.03 \mu\text{F}$, $V_0=20 \text{ kV}$, 得 $i_{\max}=3 \text{ kA}$ 。

国产氢闸流管可以满足上述要求: 即阳极峰值电流为 20~30 kA; 阳极电压大于 20 kV。

应当指出, 有时出于经济上或其他因素的考虑, 让峰值电流超载运行, 也是允许的。但要小心控制, 因为过大的超载电流, 有损闸流管的使用寿命, 也是不经济的。

二、实验结果

所有元件都安装在一个金属屏蔽壳中, 防止对外界的电磁干扰。在气路系统中, 装有同位素预电离器, 用来增强激光脉冲能量的稳定性。采用 RK-3230(探头 336)热电式能量计进行测量。采用单次手动触发, 连续测量 50 次激光脉冲能量分布如图 3。图中实线为平均能量值 5.56 mJ。两条虚线之间的能量上下浮动值小于或等于 ±5% 的平均值。只有三个数据浮动稍大, 超出此范围。因

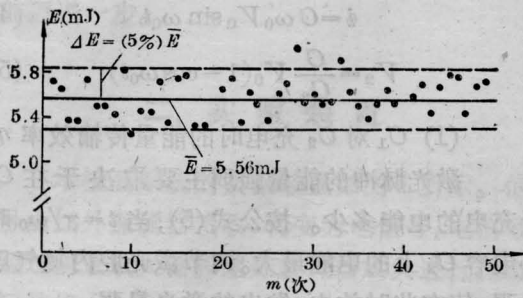


图3 脉冲激光能量的分布

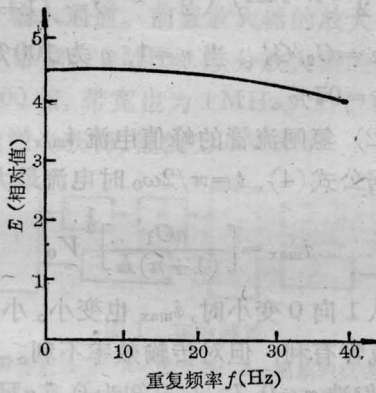


图4 激光能量 E 随重复频率 f 的变化

此可以认为：激光能量的稳定度（90% 脉冲数） $= \pm 5\%$ ，这是国际上氮分子激光器可能达到的最佳稳定值^[8]。

采用光电二极管作接收器，电脉冲经过积分后在示波器上显示，其峰值代表激光脉冲能量，结果如图4。当重复频率小于10 Hz时，能量不受影响。此后随重复频率的增加，能量有所下降。重复频率为20 Hz时，能量下降10%。

氮分子激光器或其泵浦的染料激光器，激光脉冲宽度只有几个 ns。如需要几台激光器同时工作，就得同步，其延时抖动不得超过一两个 ns。

我们对延时抖动进行了测量。实验是在一台小型氮分子激光器上进行。电容 C_1 和 C_2 较小，氢闸流管额定峰值电流略低。

用 TF1850 型强流管作光电接收器，陡沿可达 1 ns。用 SS-5321 S 型示波器观察激光波形，频率响应可达 250 MHz。图5上是

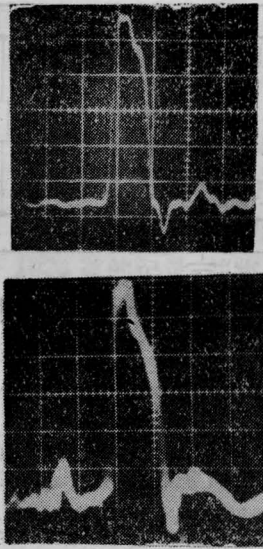


图5 激光波形照片

横轴：时间(10 ns/div)，纵轴：光强(相对值)
每张收集 3,000 个脉冲数。

上图：用示波器内触发扫描，下图：用外触发扫描

用示波器的内触发扫描时拍得的激光波形照片，波形线条很细；下是用同步外触发扫描时拍得的照片，波形线条变粗，是由氢闸流管（包括激光腔）的延时抖动所产生。取线条的半宽度作为本激光器的延时抖动 $\Delta\tau$ ，得：

$$\Delta\tau = \pm 1 \text{ ns}$$

可见用国产氢闸流管作触发的氮分子激光器的延时抖动可以是小的，宜于同步。

应当指出，影响延时抖动增加的因素很多，例如闸流管触发电压的上升陡度和高度、灯丝电压的稳定、闸流管的质量以及激光腔内气压等等。实验时要仔细调节和加以选择。

氮分子激光器放电时，在周围产生强的电磁干扰，影响电子仪器的正常工作，或者引起大的测量偏差。采用金属外壳将全部元件屏蔽，干扰就大为减小。用闸流管代替火花隙，干扰最小。

采用氢闸流管的某些优点如上述。但闸流管价格较贵，使用寿命长短如何直接关系到经济效益。我们前后研制了五台这样的

(下转第 372 页)

表3 反射HOE三级象差的OTF

$\frac{f_x}{2f_0}$	球 差			彗 差			象 散		
	$W_{\max}(\Delta S)$			$W_{\max}(\Delta C)$			$W_{\max}(\Delta A)$		
	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	λ	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	λ	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	λ
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.9	0.0995	0.0982	0.0930	0.027	-0.059	-0.099	0.099	0.099	0.099
0.8	0.1972	0.1890	0.1579	0.017	-0.036	-0.079	-0.111	-0.195	0.181
0.7	0.2927	0.2720	0.1966	0.207	0.027	-0.058	0.122	-0.244	-0.114
0.6	0.1873	0.3517	0.2263	-0.311	0.114	-0.244	-0.328	0.158	-0.320
0.5	0.4828	0.4347	0.2674	-0.192	-0.392	0.150	-0.279	-0.487	0.450
0.4	0.5811	0.5275	0.3394	0.467	0.172	-0.366	-0.492	0.237	-0.480
0.3	0.6830	0.6347	0.4588	0.482	0.0642	-0.136	0.286	-0.570	-0.267
0.2	0.7887	0.7562	0.6319	0.068	-0.146	-0.316	-0.446	-0.781	0.726
0.1	0.8959	0.8842	0.8373	0.249	-0.532	-0.892	0.899	0.899	0.899
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

HOE在不同再现角 α_0 时的总象差 $|\Delta G|$ 和象差斑尺寸^[5]见表2和图4。

5. 光学传递函数(OTF)

为评价该反射HOE的成像特性^[6],我们还计算了方形瞳孔 $l=l_x=l_y=200\text{ mm}$, $f'_H=211\text{ mm}$, $\lambda_0=514.5\text{ nm}$, $\lambda_C=546.1\text{ nm}$ 的HOE的OTF。用于计算OTF的最大孔径的球差、彗差和象散的最大波象差分别为

$$W_{\max}(\Delta S) = 2.31\lambda_C,$$

$$W_{\max}(\Delta C) = 123\lambda_C$$

和 $W_{\max}(\Delta A) = 889\lambda_C$ (表2)。

表3列出了该HOE在单一象差(球差、彗差和象散)的最大波象差 $W_{\max}=\lambda$ 、 $\frac{\lambda}{2}$ 和 $\frac{\lambda}{4}$

时的OTF值。图5表示各单一象差的OTF曲线族。图中 $f_0=l/2\lambda f_H$ 为相干照明的光学系统的最大空间频率。

全息透镜的OTF分析,对于所要求的HOE的象质观点来评价HOE的性能和选择全息光学元件的最佳记录参数有着重要的意义。

参 考 文 献

- [1] Close D. H.; *Opt. Eng.*, 1975, **14**, 408.
- [2] Chen C. W.; *Opt. Eng.*, 1980, **19**, 649.
- [3] Weingartner I., Rosenbruch K. J.; *Proc. SPIE*, 1979, **163**, 73.
- [4] Fantone S. D.; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 8, 1121
- [5] 徐昆贤;《中国激光》,1983, **10**, No. 6, 362.
- [6] 徐昆贤;《中国激光》,1984, **11**, No. 3, 92.

(上接第340页)

激光器, 闸流管一直运行正常。其中一台已使用了三年, 另一台用微处理机控制数据采样和处理, 进行铈酰离子激光感生荧光光谱测量, 也较成功。显然, 从经济看也是好的。

部分测量承北京大学张合义同志指导监测, 实验部分得到张培林同志的支持, 同位素

预电离器由赵朔嫣同志提供方案, 在此致谢。

参 考 文 献

- [1] Woodward B. W. *et al.*; *Rev. Sci. Instrum.*, 1973, **44**, 882.
- [2] Fitzimmons W. A. *et al.*; *IEEE J. Quant. Elect.*, 1976, **QE-12**, No. 10, 624.
- [3] Molecron UV Series II Nitrogen Lasers, Molecron Corporation, California, 1980, 1~4.