

双面预电离 N₂ 激光器

崔大复 张治国 王联治

(中国科学院物理研究所)

提 要

在双层平板电容 Blumlein 系统激发的 N₂ 激光器中, 采用简易的双面预电离方法(四电极激光器)提高了 N₂ 激光器的输出稳定度与输出功率。

A N₂ laser with double layer preionization

Chui Dafu Zhang Zhiguo Wang Liangzhi

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

A simple method of double layer preionization was employed in a N₂ laser (with four electrodes) excited by a double plate condenser Blumlein system, the output stability has been improved and output power increased.

自从 1963 年 Heard 首次获得 N₂ 激光作用后的十多年里, 为了提高 N₂ 激光器的输出稳定性和输出功率, 人们对供电电源^[1]、放电开关^[2,3]、激发方式^[4]、储能方法^[5,6]、预电离技术^[7]等方面, 不论是理论还是实验都做了很多工作, 并取得了一定进展^[8,9]。

N₂ 激光器的平板 Blumlein 系统的等效电路如图 1 所示, 其中 L₁ 与 R₁ 分别是火花隙触发开关电感和电阻, L₂ 与 R₂ 分别是放

通道两放电电极间的电压可表示为^[2]:

$$V'(t) = -2V_0(1 - e^{-t/\tau_1}) \quad (1)$$

其中 $\tau_1 \approx (\tau_{01} + L_1)/(Z_0 + R_1)$, τ_{01} 为火花隙开关放电的形成时间。设放电电极的击穿电压为 V_d , 则放电管击穿后管中电压与电流为:

$$V(t) = \frac{V_d}{R_2 + 2Z_0} [R_2 + 2Z_0 e^{-(t-t_0)/\tau_2}] \quad (2)$$

$$i(t) = \frac{V_d}{R_2 + 2Z_0} (1 - e^{-(t-t_0)/\tau_2}) \quad (3)$$

其中 $\tau_2 = (\tau_{02} + L_2)/(R_2 + 2Z_0)$, τ_{02} 是放电管放电的形成时间。

放电开始的电流上升率为:

$$\left. \frac{di(t)}{dt} \right|_{t=t_0} = \frac{V_d}{L_2} \quad (4)$$

放电电流的持续时间大致是

$$T \sim \frac{2l}{v} \quad (5)$$

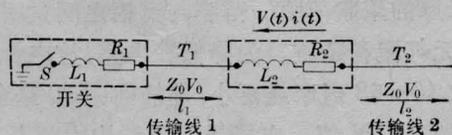


图 1 平板 Blumlein 系统等效电路

电管腔电感和电阻, Z_0 是长度为 l 的传输线 T_1 和 T_2 的特性阻抗, V_0 是传输线的初始电压。开关 S 短路, 回路开始工作。按图 1 计算表明, 放电管未击穿时 $R_2 \sim \infty$, 达到激光

收稿日期: 1979 年 2 月 26 日。

以上公式用图 2 曲线的数值来表示, 可以清楚说明各种参数的关系。

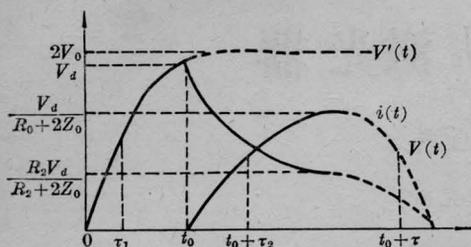


图 2 从(1)~(5)式计算通过放电管的电压与电流波形

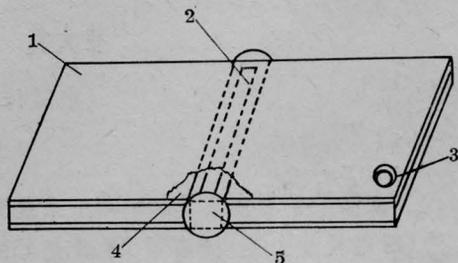
t_0 与 V_d 是放电管击穿时间与击穿电压, τ_1 是开关击穿的形时间成时间与开关时间常数之和, τ_2 是放电管的时间常数, T 是放电电流脉冲持续时间

激光气体开始击穿后, 激光器仅由 Blumlein 传输线供电, 在激光通道中发生了主要的放电激励过程, 激光器的特性主要受传输线特性阻抗 Z_0 、击穿电压 V_d 及激光通道里腔电感 L_2 的限制。从公式(2)可知, 为了使 N_2 激光器峰值功率最大, 要求馈给激光气体的能量最大, 为此则应使传输线特性阻抗和腔电感尽可能减至最小。放电管等离子体的电阻是随时间变化的, 它是充气气压、电极间隔、击穿电压、空间电荷分布以及电子温度的函数, 它可以由电子在 N_2 气中的迁移率数据得到^[10]。但在 τ_2 短时间内, 放电管中电子能量与电子密度达不到平衡态, $R_2(t)$ 变动非常大。在给定的条件下, 如何使 $R_2(t)$ 在每次脉冲放电过程中都具有相似的变化规律, 是获得 N_2 激光稳定输出的关键性问题。

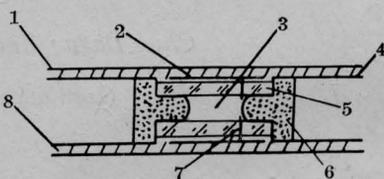
我们知道, 引起激光输出起伏的一个重要原因是放电不均匀性, 也就是 $R_2(t)$ 的变化是无规的, 而导致这种现象的直接原因是放电管中空间电荷分布不均匀和气体的局部过热。具体来说, 放电管中由于工作气压高或电极的表面条件、形状等原因, 在放电过程中有可能使放电电流在局部集中, 从而产生弧光放电。弧光放电是使输出功率下降, 输出起伏增大的直接原因。

为了使放电均匀, 减少弧光, 每次放电相

对稳定和提高输出, 采用预电离技术是有效的方法。我们在 Blumlein 系统中用双面预电离技术取得了一定的效果。激光器结构如图 3 所示。预电离平板电容量 400 微微法。



(a) 1—接地; 2—双面预电离电容; 3—同轴火花隙; 4—平板传输电容; 5—放电管



(b) 1—接地; 2—双面预电离电容; 3—放电室; 4—平板电容; 5—钢玻璃片; 6—主放电电极; 7—双面预电离电极; 8—聚脂薄膜

图 3 双面预电离 N_2 激光器结构图

为了降低放电开关引入的电感和提高输出稳定度, 采用同轴型三电极充气火花隙开关, 开关主放电电极为 $\phi 20$ 毫米的黄铜材料, 触发电极为 $\phi 2$ 毫米钨针, 火花隙充 2~3 个大气压的氮气, 击穿电压可通过改变开关电极间距粗调, 通过改变气压细调。为使线路特性阻抗减半并使放电对称, 采用双层平板传输线。为保证有大的击穿强度, 又使介质厚度小以提高电容量, 介质材料用单张 125 微米厚的聚脂薄膜, 薄膜与铜箔之间紧密相接, 无气泡和杂质。为降低腔电感, 放电管高度取 10~13 毫米或更小, 电极间距 10 毫米, 为提高 E/N 值, 电极呈刃型结构或圆柱型结构, 电极材料为黄铜, 表面抛光。放电管封接时, 电极间距用定位块定位, 以保证电极对称放置。为增强绝缘壁承受电子轰击能力, 并改善电场均匀性, 放电管上下盖板用 2 毫米厚内壁磨砂的钢玻璃。放电管一端为可调

节的镀铝全反射,一端为石英窗口,放电长度500毫米,氮气纵向流动,流速可调,最佳气压60托左右。在上述实验装置上,获得了比较均匀的辉光放电,输出稳定度比不用预电离提高一倍左右,如图4所示。

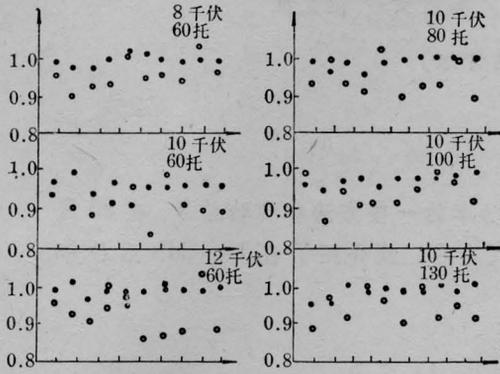


图4 用激光能量计测量10次, N₂激光器每次输出能量的起伏

图中共6组数据, ●表示加上预电离的输出能量, ○表示未加入。横坐标表示测量次数序列, 纵坐标表示归一化能量, 可见双面预电离使稳定度提高一倍以上

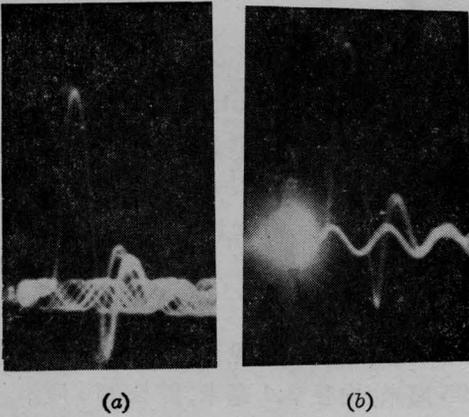


图5

- (a) 未加双面预电离, N₂激光用强流管接收, QK-19示波器显示, 图为10个脉冲输出波形迭加轨迹;
 (b) 加上双面预电离后的波形迭加轨迹, 显示波形稳定。示波器时标为20毫微秒

为了限制放电电流密度局部过大, 造成放电时产生电弧, 我们加大了放电截面。一般来说激光输出与放电截面是成正比的, 加大放电截面和提高气压有利于功率输出。

显然, 这是 E/N 值较小的情况。在这种情况下, 为了在两电极间形成均匀放电, 采用双面预电离是很有效的。激光器截面如图3所示, 圆柱形黄铜电极的放电截面分别为 6×500 、 8×500 、 10×500 毫米, 预电离电极距阳极 $2 \sim 3$ 毫米左右。为了使预电离放电满足超前主放电 0.1 微秒左右, 预电离片是与主储能平板电容分离开的。在最佳放电条件下, 输出能量与功率约提高一倍, 如图6所示。

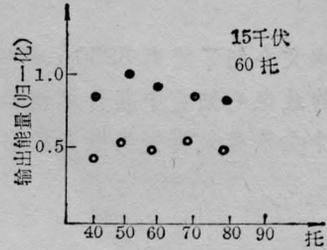


图6

- 图中 ●表示加入预电离后的输出能量
 ○表示未加入预电离时的输出能量
 (放电截面为 8×500 毫米)

实验表明, 双面预电离 N₂ 激光器, 结构简单; 预电离电极在放电管中对称放置, 使预电离均匀, 预电离不消耗主电容储能, 因此有利于提高输出能量和稳定度。

参 考 文 献

- [1] W. A. Fitzsimmons *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-12** (1976), 624.
- [2] 村上英信, 小林乔郎, 稻场文男; 《应用物理》, **46**, No. 7(1977), 695.
- [3] E. E. Bergmann; *Appl. Phys. Lett.*, **28**(1976), 84.
- [4] E. E. Bergmann; *Appl. Phys. Lett.*, **31**(1977), 661.
- [5] A. J. Schwab *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-12**(1976), 183.
- [6] C. L. Sam; *Appl. Phys. Lett.*, **29**(1976), 505.
- [7] V. Hasson *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, **28**(1976), 17.
- [8] 张绮香, 王庭鸾, 张治国; 《物理学报》, **28**(1979), 126.
- [9] J. P. Girardeau; *Compt. Rend. Acad. Sci.*, **27413**, No. 9(1972), 607.
- [10] S. C. Broum; *Basic Data of Plasma Physics*(New York, 1959).