

电容倒空式氮分子激光器

张育川 解燕

(北京光电技术研究所)

提要: 本文分析了两种形式的氮激光器的优缺点, 并在电容倒空式激光器中获得了 11.5 毫焦耳的输出。

Capacitor-dumped nitrogen laser

Zhang Yuchuan, Xie Yan

(Beijing Institute of Opto-Electric Technology)

Abstract: The advantages and disadvantages of two types of nitrogen lasers are analysed, and an energy of 11.5 mJ has been obtained from a capacitor-dumped nitrogen laser.

一、脉冲形成线式及电容倒空式电路分析

目前许多氮分子激光器都采用 Blumlein 脉冲形成线式电路(图 1)进行激发, 但这种电路存在一些缺点:

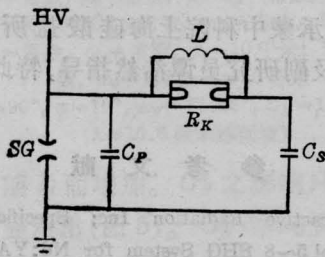


图1 脉冲形成线式电路

1. 储能电容 C_p 要通过传输线 C_p 及火花隙 SG 才能对腔体放电, 于是分布电感 L_{C_p} 和 L_{SG} 将影响放电电流的上升速率。
2. 用高压充氮火花隙可以减小分布电

感, 减小时间常数 $\theta (\theta = 2Pd^2/aU_0^2)^{[1]}$ 。将火花隙按文献[2]那样直接安装在传输线上, 对放电是很有益的, 但比较容易损坏, 所以往往要将火花隙引出。假如用宽 $w=50$ 毫米、厚 $b=0.5$ 毫米、长 $l=100$ 毫米的两铜片将火花隙两端与传输线相连, 铜片间平均间隔 $d=25$ 毫米, 根据平行矩形截面汇流排电感计算公式^[3]:

$$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \left[\ln \frac{d}{b+w} + \frac{r^2-1}{2r^2} \ln(1+r) + \frac{2}{r} \arctg r \right]$$

式中 $r = \frac{w}{d}$, 将数据代入, 计算可得两铜片的分布电感将达 33 毫微亨, 实际上又成为影响快速放电的主要矛盾。

由于上述原因, C_s 的分布电感一定要小, 否则更不可能有较快的放电。

3. 放电时火花隙电阻 R_{SG} (根据 Rompe

收稿日期: 1981年4月6日。

的火花理论 $R_{SG}(t) = Pd^2/2a \int_0^t i^2 dt$ [1] 将消耗能量,使腔体 R_k 得不到最大的电功率。

4. Blumlein 传输线制作工艺复杂,商品化程度低,不易检修。

能不能在电容对腔体的放电回路中排除这些影响呢?

Feldman [4] 报导了另一种电路的实验(图2),高压通过 R_B 、 R_s 对储能电容 C_s 充电,当闸流管触发导通,使 C_s 放电时对卸能电容 C_d 充电,当 C_d 上电压超过激光腔体击穿电压时,它通过腔内气体放电。因为电容 C_d 有将能量倒空给腔体的特征,因此我们称它为电容倒空式电路。

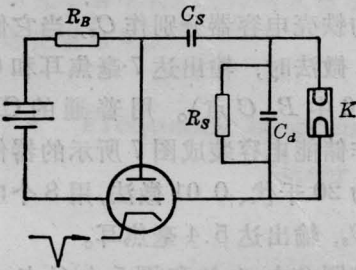


图2 电容倒空式电路

它的最大优点是在 C_d 对腔体的放电回路中不包含闸流管或火花隙等引入电感。如果相应于腔体的放电时间要求不变,那么对电容 C_d 的分布电感的要求可以放宽,使商品化的小型集中参数的陶瓷电容的采用成为可能。

例如对 20 千伏 510 微微法的陶瓷电容进行电感的计算,在两极板引出线重合,极板中电流相反的情况下,两极板的分布电感可用

$$L_1 = \mu_0 \frac{l \cdot d}{b}$$

计算,若极板的宽(b)和长(l)为 2 厘米,极板间距(d)为 2 厘米,可算得其分布电感 $L_1 = 25$ 毫微亨。电容器两端引出线电感可用

$$L_2 = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{4l}{D} - 1 \right)$$

计算,若引出线总长 $l = 22$ 毫米,导线直径

$D = 4$ 毫米,可算得引出线电感为 6 毫微亨,所以一个电容的分布电感为 31 毫微亨。但是如果加长腔体,沿腔长可排列 31 个电容,则总电感只相当于 1 毫微亨。

其次是在主放电回路中,对 C_d 的充电时间要求不很苛刻,因此在这一回路中即使闸流管或火花隙等引入电感较大,仍可得到较高的振荡频率。例如回路中电容为 0.1 微法,分布电感为 1 微亨,根据回路电阻可以忽略时振荡频率的计算公式:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

可算得振荡频率仍可达到 0.5 兆周。这就使得商品化的脉冲电容器作为储能电容 C_s 成为可能。

二、实验器件的研究

一年多来,我们用 20 千伏、510 微微法的陶瓷电容器作为 C_d ,在不同的电极长度上,用不同的储能电容进行了实验研究。

80-3 号器件(图3)电极长 800 毫米, C_s 为 20 千伏, 0.54 微法,当 C_d 由 16 个电容增加到 30 个,最后沿 800 毫米长度上排满达 46 个时,得到图 4 所示的激光输出关系曲线,在储能电容足够大时,增加 C_d 可以提高输出,在这一器件上,当 $C_s = 0.54$ 微法, $C_d = 23.5$ 毫微法, $U = 18.4$ 千伏,火花隙气压

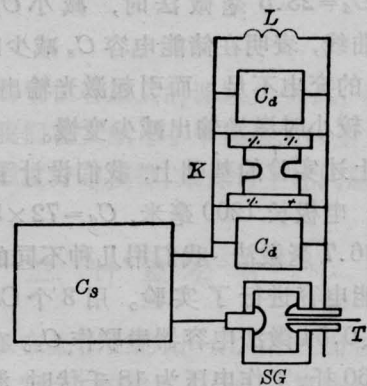


图3 80-3号器件结构示意图

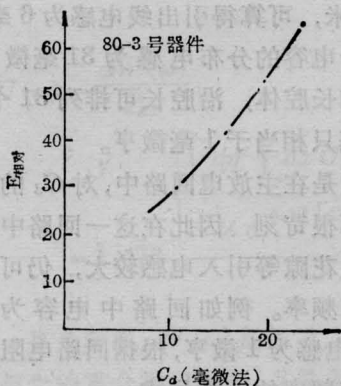


图4 变化 C_s 的曲线

$l=800$ 毫米 $C_a=0.54$ 微法 $P=60$ 托 $U=18$ 千伏

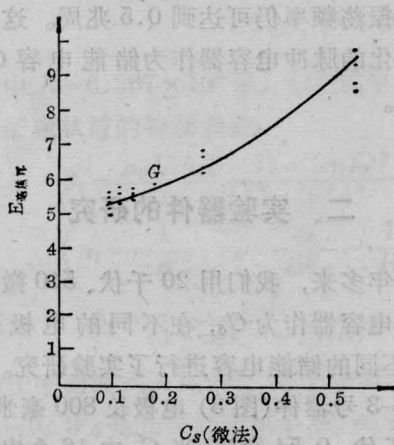


图5 变化 C_s 的实验(80-3号器件)

$l=800$ 毫米 $C_a=23.5$ 毫微法 $P=60$ 托 $U=17$ 千伏

2.4大气压,腔内气压 60 托时,用英国激光仪器制造有限公司 172 型指示器和 17AN 型接收器测量,平均单脉冲输出达 9.5 毫焦耳。

当 $C_a=23.5$ 毫微法时,减小 C_s 可得图 5 的曲线,表明在储能电容 C_s 减少时,由于对 C_a 的充电不足,而引起激光输出减少,但当 C_s 较小时激光输出减少变慢。

在上述实验的基础上,我们设计了 80-6 号器件,电极长 1200 毫米, $C_a=72 \times 510$ 微微法 = 36.7 毫微法。我们用几种不同的电容器作储能电容进行了实验。用 3 个 CZY 型 20 千伏、0.54 微法电容器串联作 C_s 。在腔内气压为 60 托,工作电压为 18 千伏时,激光单脉冲平均输出达 11.5 毫焦耳(图 6 中 A 点)。

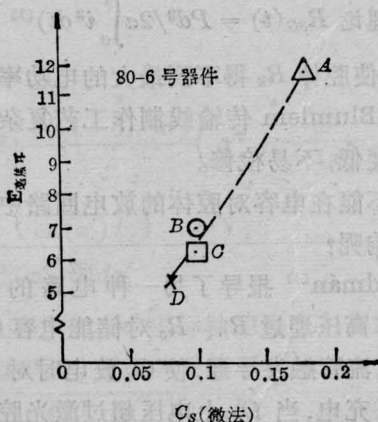


图6 几种不同的储能电容的实验

$l=1200$ 毫米, $C_a=36.7$ 毫微法, $P=60$ 托, $U=18$ 千伏

用一种无感绕法的 CH_{81} 型电容器和一种两端抽头的铁壳电容器分别作 C_s , 当它们的容量为 0.1 微法时,输出达 7 毫焦耳和 6.2 毫焦耳(图 6 中 B、C 点)。用普通的 CH_{81} 型电容器作储能电容装成图 7 所示的器件。这种电容为 20 千伏、0.01 微法,用 8 个电容并联作为 C_s , 输出达 5.4 毫焦耳。

比较图 6 中 A 点和图 5 中 G 点,两个器件的储能电容量是一样的, $C_s=0.18$ 微法,

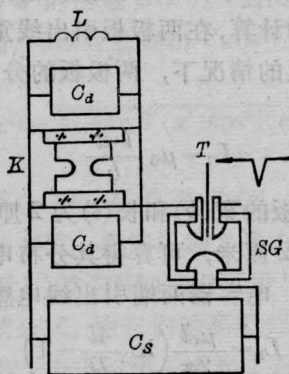
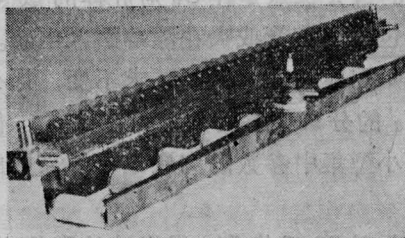


图7 80-6D 器件照片和结构示意图

但激光输出却相差较大，一个是 11.5 毫焦耳，另一个是 5.8 毫焦耳。造成这种差异的原因主要是由于 80-6 号器件陶瓷电容排列的个数增多，增加了 C_a 的容量，同时进一步减小了总的分布电感；电极的增长还增加了激活体积，所以使激光输出有较大的提高。

在 80-4 号器件的实验中，电极长 800 毫米，用 45 千伏、5600 微微法的 CBY 型电容器作为储能电容，装成类似于 80-6D 号器件形式。 C_a 为 23.5 毫微法，改变 CBY 型电容的并联个数进行实验，得到图 8 的曲线，激光输出也较好，但 CBY 型电容寿命较短。

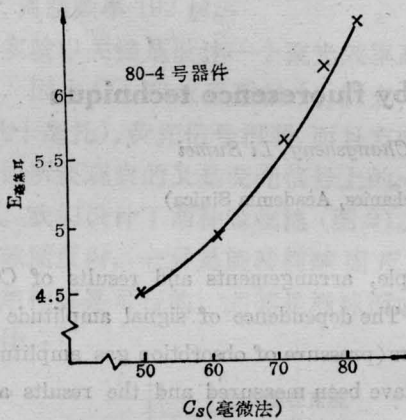


图 8 80-4 号器件的实验曲线

$l=800$ 毫米; $C_a=23.5$ 毫微法;
 $P=60$ 托; $V=17.5$ 千伏

三、结 论

Blumlein 平板传输线制作的氮激光器寿命较短。影响寿命的主要原因不是激光腔体的损坏，而是平板传输线的高压击穿。因为修理或更换平板传输线较困难，所以影响了器件的寿命。上述电容倒空式电路的器件实验，不仅在激光输出上收到较好效果，而且电容的击穿已不再是影响器件寿命的主要原因，因为很容易对损坏的电容器进行更换。用这一结构我们所已研制了 QJD-5B 型整机推广使用。

在器件实验中得到王环铭、饶德义、阎志斌、李长贵等同志的协助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Г. А. Месяц; Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения, «Энергия», Москва, 1970.
- [2] A. J. Schwab; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976, QE-12, No. 3, 183~188.
- [3] 西安电力电容器研究室; «电容器的设计与计算», 1971.
- [4] M. Feldman; *Appl. Opt.*, 1978, 17, No. 5, 774~777.

(上接第 34 页)

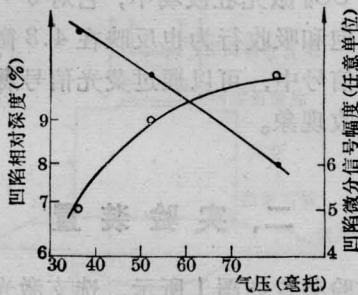


图 7 凹陷微分信号幅度(O)、凹陷相对深度(●)和吸收气体气压的关系

凹陷宽度也达 2 兆赫，比文献上报导的要宽^[2,3]，经分析认为原因是：(1) 入射激光功

率过大，引起功率加宽；(2) 线宽窄时测量的精度不够，需进一步改进。

王世尧同志协助制作了吸收池和激光器；刘玉璞、王德林等同志都给过我们许多有益的帮助，谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] C. Freed, A. Javan; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, 17, No. 2, 53.
- [2] P. T. Woods et al.; *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1976, 9, No. 5, 395.
- [3] Ю. С. Домнин и др.; *Измерительная техника*, 1979, № 10, 18.