

非稳对撞锁模系统的优点。稳腔与非稳腔结构的激光脉冲宽度用非共线二次谐波法测量的曲线如图 3 所示, 从图中看出两者脉宽基本一致。非稳腔的可聚焦能量较稳腔有显著提高, 其输出的发散光束经一个  $f=45\text{mm}$  的透镜聚焦, 即使衰减 10 倍也能击穿空气。从图 3 示出稳腔与非稳腔对撞锁模脉冲半功率点的全宽  $\sim 10\text{ps}$ 。

### 三、结 论

我们的实验结果表明, 压窄脉宽的主要作用是用抗共振环引起的, 而脉冲能量的提高则主要是非稳腔结构引起的。两个作用结合起来可使峰功率比通常采用的驻波式稳腔锁模结构提高一个数量级。

采用本文的腔结构, 缩短了基模脉冲建立时间, 使各纵模来不及竞争, 也能减少非线性效应对脉冲相位和幅度的影响, 等效地提高了 Nd:YAG 的  $\sigma_a$ , 易于在饱和状态下工作, 又有利于压缩脉宽。因此适当地选择锁模染料的初始透过率  $T_0$ , 可使锁模质量和稳定性大为提高。

我们采用的非稳腔有利于采用抗共振环结构, 运行时损耗小, 因为工作物质的作用等效于凸面镜曲率变大, 从而减少增益阈值, 利于多纵模振荡。因此我们认为, 这里提出的非稳对撞锁模腔结构对于其它中等大小发射截面  $\sigma_a$ 、荧光寿命短的均匀展宽晶体也会得以运用。

作者感谢上海光机所吴兆庆、赵世诚等同志在实验中的帮助。

### 参 考 文 献

- 1 A. E. Siegman, *Opt. Lett.*, **6**, 334 (1981)
- 2 H. Vanherzeeck *et al.*, *Appl. Opt.*, **20** (20), 3434 (1981)
- 3 林 星 *et al.*, *光学学报*, **5** (9), 794 (1985)
- 4 R. T. Dewhurst *et al.*, *Opt. Commun.*, **23** (1), 107 (1979)
- 5 O. P. Varnavsky *et al.*, *Opt. Commun.*, **45** (5), 342 (1988)
- 6 Yu. A. Anan'ev, *Sov. J. Quant. Electr.*, **1**, 565 (1972)

(收稿日期: 1987年10月9日)

## 用 SiC 作预电离电极的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器

方 晓

(中国计量学院, 杭州)

### A TEA CO<sub>2</sub> laser with SiC preionization electrodes

Fang Xiao

(China Institute of Metrology, Hangzhou)

提要: 设计了用 SiC 作预电离电极的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器并运行成功。实验研究了该激光器系统参数对激光输出特性的影响, 获得了激光单脉冲能量约 274 mJ、峰值功率密度约 780 MW/L。在无气体循环、无催化剂的条件下, 器件以 0.5 Hz 的重复频率运行 10<sup>5</sup> 脉冲, 以 3 Hz 的重复频率无弧运行 10<sup>4</sup> 脉冲。

关键词: SiC, 预电离器

#### 一、器件及原理

用 SiC 作预电离电极的 TEA CO<sub>2</sub> 激光器系统如图 1 所示。R、R<sub>2</sub> 分别为限流、充放电电阻; C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub> 分别为储能、峰值电容; 激光谐振腔为平凹稳定腔, 输出腔镜为反射率 53% 的铝平镜, 全反射镜是曲率半径 8 m、反射率 99% 的镀金凹镜; 电极为铝制张氏电极, 极间距 9 mm, 放电体积 8 × 9 × 160 mm<sup>3</sup>; 预电离

器由两片 SiC 薄片构成, 将一定尺寸的两 SiC 片固定于主放电区一侧, 两电极间, 沿光轴方向与电极平行, 两 SiC 片及 SiC 片与电极间保持一定间隙, 电极、预电离器用有机玻璃支架固定后, 密封在有机玻璃放电管内, 工作气体是气压为 1.0132 × 10<sup>5</sup> Pa 的 CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:1:4 的混合气体。

预电离器被施加快速高电压脉冲时, 将产生放电现象, 同时产生光的辐射。为了研究预电离机理,

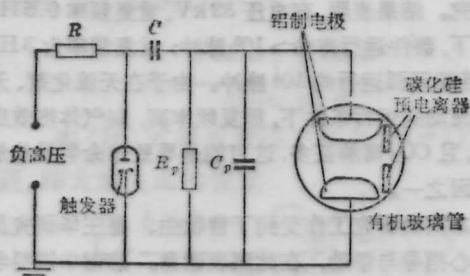


图1 激光器系统简图

本实验用1m紫外摄谱仪拍摄了SiC放电光谱,结果发现在257至118nm波段内有较强的SiC放电连续光谱和分立谱。特别是在120nm波长附近也有较多的强线,而CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、He混合气体的光传输窗口大约在115< $\lambda$ <124nm、 $\lambda$ >160nm波段<sup>[1]</sup>,因此, SiC放电产生的紫外光在工作气体中具有一定的穿透深度,对主放电区域产生较强且横向(垂直光轴、平行于电极面的方向)均匀的光电离;在光轴方向,紫外光源沿SiC长度方向均匀且近似连续分布,保证了光轴方向主放电区光电离的均匀性。

## 二、电路系统参数对激光输出的影响

作者在不同的 $C$ 、 $C_p$ 值下,分别对激光输出能量进行了测量。在各 $C_p$ 值,对输出的激光脉冲半宽度进行了测量,结果如图2、3所示。由图2可知,当 $C$ 由11000pf变至12000pf时,输出脉冲能量上升到最大值,然后随 $C$ 的增大能量下降。这是因为 $C$ 值由初始值增到12000pf时,注入工作气体的能量增加,输出脉冲能量随之增加,而随电容 $C$ 值的继续增加,则过高的能量注入使气体加热,导致增益下降<sup>[2]</sup>。由图3知输出能量开始随 $C_p$ 值较大幅度增加,在 $C_p$ 值约为4000pf处达最大值,然后,随 $C_p$ 的增加而减小。同时,输出光脉宽随 $C_p$ 的增加而迅速变窄,在4000pf处脉宽最窄,随 $C_p$ 的继续增加,脉宽变宽。这一实验现象表明,电极两端并联峰值电

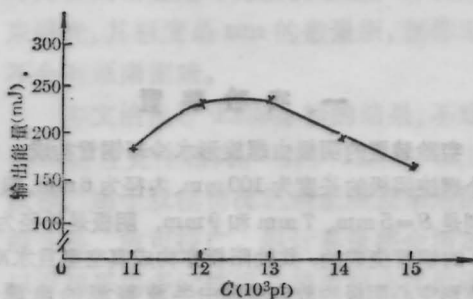


图2 激光输出能量随电容 $C$ 的变化

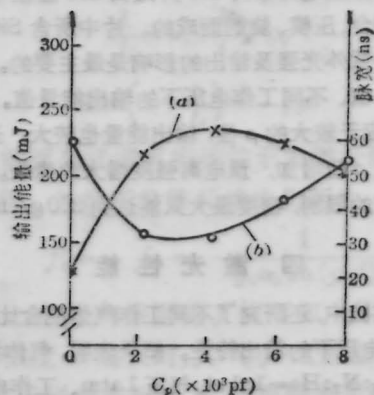


图3

- (a) 激光输出能量随电容 $C_p$ 的变化;  
(b) 输出脉宽随 $C_p$ 的变化

容 $C_p$ ,将明显提高输出能量,缩短脉宽,提高峰值功率。

## 三、预电离系统参数对激光输出的影响

设器件中, SiC片之间及SiC片与主电极之间的放电间隙分别为 $a$ 、 $b$ , SiC片厚度为 $c$ 、含SiC晶粒密度 $\rho$ 。预电离系统的这四个参量将直接影响预电离强度,从而影响输出特性,

在预电离器中, $a$ 、 $b$ 值过大, $c$ 值过小则等效阻抗 $R_0(t=0)$ 过高,注入预电离回路的能量过少,导致预电离不充分;反之,则 $R_0(t=0)$ 过低,预电离能量 $E_0$ 过大,导致主放电能量 $E_d$ 减小,且 $a$ 、 $b$ 的减小会影响预电离紫外光对主放电区域及阴极的照射,降低预电离效率。因此, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 应有一最佳值使输出能量最大。本实验对 $\rho=2.0\text{g/cm}^3$ 及各不同的 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 值情况下的输出能量进行了测量,其结果表明,当 $a=1.5\text{mm}$ 、 $b=1.0\text{mm}$ 、 $c=2.6\text{mm}$ 时,激光输出能量为最大。

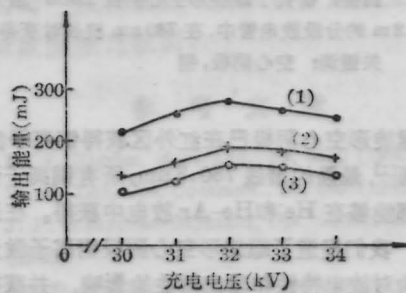


图4

- (1)  $\rho=2.00\text{g/cm}^3$ ; (2)  $\rho=1.96\text{g/cm}^3$ ;  
(3)  $\rho=1.94\text{g/cm}^3$

半导体预电离器的 SiC 片是由 SiC 晶粒与少许结合剂混合、压模、烧制而成的。片中所含 SiC 晶粒密度  $\rho$  对紫外光强及输出的影响是最主要的。图 4 是不同  $\rho$  值、不同工作电压下的输出能量值。该图表明,对应于较大的  $\rho$  值,输出能量也较大。这是因为随密度  $\rho$  值增加,预电离强度增大的缘故。由于压模工艺的限制,密度最大只能达到  $2.0 \text{ g/cm}^3$ 。

#### 四、激光性能

在实验中,还研究了不同工作气体混合比例、气压、不同电压下的输出特性。结果表明,气体混合比例为  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:4$ 、气压  $1 \text{ atm}$ 、工作电压  $32 \text{ kV}$  条件下,单脉冲输出能量为最大,其值为  $274 \text{ mJ}$ ,峰值功率为最大,其值为  $9 \text{ MW}$ ;输出最大能量密度  $24 \text{ J/L}$ ;峰值功率密度  $780 \text{ MW/L}$ ;效率  $4.5\%$ 。

对器件运行的寿命及脉冲重复频率也进行了实

验研究。结果表明,在电压  $32 \text{ kV}$ 、重复频率  $0.5 \text{ Hz}$  条件下,器件运行寿命  $>10^6$  脉冲;重复频率为  $3 \text{ Hz}$  时,连续无弧运行约  $10^4$  脉冲。由于在无催化剂、无气体流动的运行条件下,重复频率高,则气体热效应严重,且  $\text{CO}_2$  离解甚多,这可能是导致寿命明显缩短的原因之一。

本实验研究工作受到了曹秋生、蹇庄华研究员的精心指导与帮助,在此深表谢意。感谢中国科学院电子所 5034 组的同志和浦伯伟工程师的大力支持。

#### 参 考 文 献

- 1 R. V. Babcock *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-12** (1), 29 (1976)
- 2 A. M. Robinson, *Canad. J. Phys.*, **50**, 2138 (1972)

(收稿日期: 1987 年 10 月 12 日)

## 螺旋形空心阴极 IR $\text{Cu}^+$ 激光器

陈钰清

(浙江大学光仪系)

H. J. Eichler, R. MacDonald

(西柏林工业大学光学研究所)

### Helical hollow cathode IR copper ion laser

Chen Yuqing

(Department of Optical Instrument, Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)

H. J. Eichler, R. MacDonald

(Technische Universität Berlin, Optisches Institut Strasse Des 17, Juni 135, 1000 Berlin 12, Germany)

提要:研究了螺旋形空心阴极  $\text{IRCu}^+$  激光器的性能,测量了不同螺旋结构激光器的输出功率。在放电长度  $1.2 \text{ m}$  的分段放电管中,在  $780 \text{ nm}$  波长时获得最大输出功率为  $1.3 \text{ W}$ 。

关键词:空心阴极,铜

螺旋形空心阴极已在红外区获得铜离子激光谱线振荡<sup>[1]</sup>,最强的谱线  $780.8 \text{ nm}$ ,所有铜离子谱线的振荡都能够在 He 和 He-Ar 放电中获得。在这篇文章中,我们报道了螺旋形空心阴极铜离子激光四阴极结构对放电特性和输出特性的影响,并获得合理的结构尺寸,实验使用 He 作为缓冲气体,放电长度  $120 \text{ cm}$ ,在  $780.8 \text{ nm}$  获得峰值输出功率  $1.3 \text{ W}$  铜离子谱线。

#### 一、实验装置

实验装置的阴极由螺旋形水冷却铜管构成,每一个螺旋阴极的长度为  $100 \text{ mm}$ 、内径为  $6 \text{ mm}$ ,螺距分别是  $S=5 \text{ mm}$ 、 $7 \text{ mm}$  和  $9 \text{ mm}$ ,阴极是外径为  $4 \text{ mm}$  的铜管绕成的,共轴阳极亦构成真空室且水冷。螺旋形空心阴极的放电激励由半波整流的电源供电,脉冲重复率为  $50 \text{ Hz}$ ,占空系数约  $5\sim 12$ 。