

镉蒸气等离子体的复合发光特性

王玉芝 楚振生

(中国科学院上海光机所)

提要:研究了镉蒸气等离子体的复合发光特性,各种不同的缓冲气体气压对镉蒸气等离子体的影响。

Characteristics of recombination and emission of light in Cd vapor plasma

Wang Yuzhi, Chu Zhensheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The characteristics of recombination and emission of light in Cd vapor plasma are studied. The influence of various buffer gases and the gas pressures on the Cd vapor plasma are investigated.

一种新型激发机理的激光器——等离子体复合激光器,在红外、可见、紫外光谱区域中已经产生了50多条谱线^[1]。对于光泵型器件,已经有了较多的研究^[2~4],但对于直接放电式器件的工作特性,尚在研究中^[5]。本文的主要目的,即是研究直接放电镉蒸气等离子体的复合发光特性。

一、工作原理

把一些又薄又窄的镉条,首尾相接地摆在绝缘板上,中间留有空隙,以便在空隙中产生火花。当一个高电压、强电流脉冲,加到这些镉片上后,瞬间产生强烈的弧光放电,激发出大量的镉蒸气。当这些蒸气向缓冲气体膨

胀时,由于粒子间的相互作用,发生了与电离相反的过程——复合,同时伴随产生发光。激发复合过程如图1所示。

由于镉原子在真空中164°C就可升华,在注入的电场作用下在镉片端面就有大量的镉被气化,形成镉蒸气等离子体。当这一团团等离子体向缓冲气体膨胀时,被冷却而产生电子复合。

在等离子体激发过程中,由于注入了大量的能量,因而不但产生了镉的一级电离,同时也有二级、三级和更高级的电离。于是在电子复合的过程中,可产生紫外、可见、红外各个波段的辐射。

从图2中可以看出,高价离子首先复合,

收稿日期:1985年7月27日

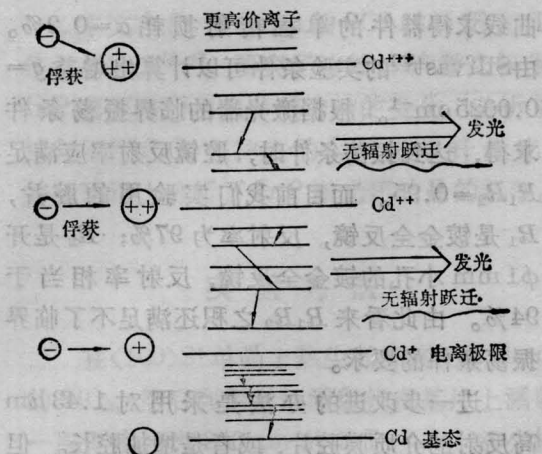


图1 复合过程示意图

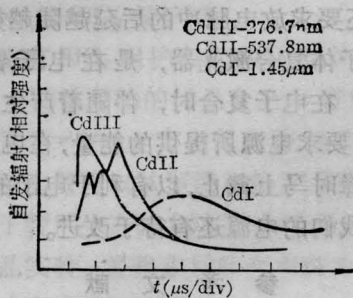


图2 中性原子、单离子、双离子复合发光的相互关系

CdIII—二价镉离子；CdII—一价镉离子
CdI—中性镉原子

而且很快达到极小值。而高价离子的复合发光是在粒子密度达到最大值的同时产生的。发光的持续时间为 $2\sim 3\mu s$ ，而当CdIII发光强度衰减到很弱时，CdII达到峰值，发光持续时间为 $3\sim 4\mu s$ 。中性原子的发光强度是随着CdII的发光强度下降而上升，当CdII达到极小时，达到峰值，时间延迟约十余微秒。

二、器件和电源

将40片长10mm、宽2mm、厚1mm的镉片，首尾相接摆在厚为0.5mm的绝缘板上。然后将其固定在长95cm、直径15mm、有布氏窗口的放电管中。管内充有低气压缓冲气体。腔长105cm，腔镜为镀金全反射镜，曲率半径10m，输出端开 $\phi 1\text{mm}$ 小

孔。经过滤光片后的红外输出，由锗二极管接收，由示波器显示复合发光波形。

放电电压20kV，放电电流 $500\sim 1000\text{A}$ 。主放电部分采用二级、三级马克斯发生器。放电电容 $0.047\mu F$ ，电流脉宽 $1.1\mu s$ 。

三、实验结果分析

镉等离子体的激发复合发光过程受许多因素影响，其中最重要的是缓冲气体的影响。不同种类的缓冲气体影响着激发复合的时间延迟，及随时间变化的规律，缓冲气体的气压影响着复合电子密度及各种不同波长的发光特性。

(1) 在空气、氦气和真空中的复合发光在固定的放电电压、放电电容、气压下，在放电管中分别充以空气、氦气和在真空中所拍摄的示踪波形如图3。

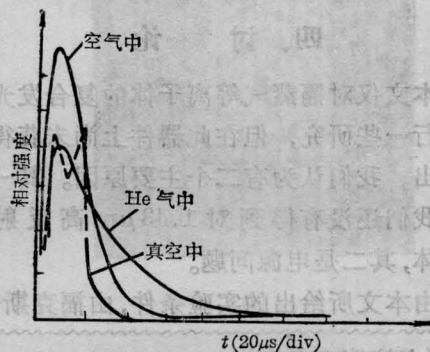


图3 在空气、氦气和真空中的复合发光

从图3中可以看出，在空气中的复合发光很强，但很快就下降为零。而在氦气中，发光的峰值虽然较小，但发光时间长。实验中我们观察到，在空气中放电时，光呈白色，而在氦气中放电时，光呈红色。从发光的时间及发光的颜色看，以氦作为缓冲气体有利于产生长波长的光，而以空气为缓冲气体有利于产生短波长发光。

(2) 缓冲气体气压对复合发光的影响

在放电管中分别充以100、50、30、10、5、2Torr氦气，在放电电压为25kV，放电电流

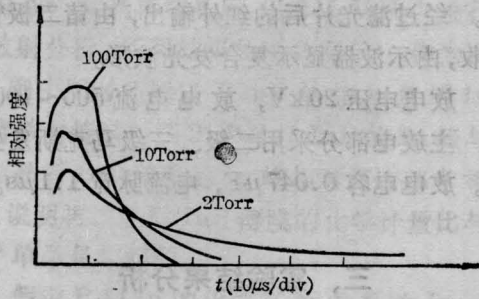


图4 缓冲气体气压对复合发光的影响

1000 A 时,所拍摄的示踪波形,如图4。

从图4中可以看出,从光强的峰值来看,气压越高,峰值越大。但光强并不随气压的增加而无限地增加,到50 Torr 时出现饱和,100 Torr 与50 Torr 时的峰值几乎相等。从发光的时间特性来看,当气压为100 Torr 时,光强延迟时间约28 μs,以后随着气压的降低,延迟时间依次拉长。在气压为2 Torr 时,延迟时间拉长至140 μs 时,光强才下降为零,

四、讨论

本文仅对镉蒸气等离子体的复合发光特性进行一些研究,但在此器件上尚未获得激光输出。我们认为有二个主要原因。其一是目前我们还没有得到对1.43 μm 高反射率的腔体,其二是电源问题。

由本文所给出的实验条件,由福克斯-李

(上接第627页)

(2) 子午面内腰斑和弧矢面内腰斑不重合

$$2\theta_{\text{子午}} \neq 2\theta_{\text{弧矢}} \quad (4-2)$$

(3) 因为此时在子午面和弧矢面内稳定区的交叉部分才是系统的稳定区,即两个不等式联立的解,故象散使稳定区缩小,且

$$A + D_{\text{子午}} \neq A + D_{\text{弧矢}} \quad (4-3)$$

附带说明的是,实际测量 $\angle M_1$ 的值比以上计算取值要小 ($\angle M_1 \cong \angle M_4 \cong 3^\circ$, $\angle M_2 \cong \angle M_3 \cong 7^\circ$), 故象散影响比计算结果要小,并且在设计中利用染料喷流和腔内插入光学元件对象散已作了补偿,从而使象散影响已

曲线求得器件的单程衍射损耗 $\alpha = 0.2\%$ 。由 Silfvast^[5] 的实验条件可以计算出增益 $g = 0.0025 \text{ cm}^{-1}$ 。根据激光器的临界振荡条件求得,达到振荡条件时,腔镜反射率应满足 $R_1 R_2 = 0.95$ 。而目前我们实验用的腔片, R_1 是镀金全反镜,反射率为97%; R_2 是开 $\phi 1 \text{ mm}$ 小孔的镀金全反镜,反射率相当于94%。由此看来 $R_1 R_2$ 之积还满足不了临界振荡条件的要求。

进一步改进的办法是采用对 $1.43 \mu\text{m}$ 高反射的介质膜腔片,或者是增加腔长。但由于腔长的增加,除了要求电源能提供高能量外,还要求放电脉冲的后延越陡越好。因为等离子体复合激光器,是在电子密度达到高峰,在电子复合时,伴随着产生各种跃迁,因此要求电源所提供的能量,在电子密度达到高峰时马上截止,以有利于电子的复合。而目前我们的电源还有待于改进。

参考文献

- [1] W. T. Silfvast, O. R. Wood II; *Opt. Lett.* 1982, **7**, No. 1, 34.
- [2] W. T. Silfvast; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, No. 9, 271.
- [3] W. T. Silfvast; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **31**, 334.
- [4] J. M. Green; *Japan. Appl. Phys.*, 1977, **48**, No. 7, 2752.
- [5] W. T. Silfvast; *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**, No. 8, 615.

大为减小。

作者曾就文中某些问题与西德 W. Demtröder 教授进行过十分有益的讨论,谨此致谢。

参考文献

- [1] M. Sargent III *et al.*; "Laser Physics", Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1974.
- [2] S. Singh; *Physical Review A*, 1981, **23**, No. 2, 837.
- [3] 廖复中;《激光》, 1982, **9**, No. 2, 112.
- [4] 方洪烈;《光学学报》, 1984, **4**, No. 5, 335.
- [5] K. Kenneth; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No 3, 407.
- [6] H. Weber; "Optische Resonatoren" ("激光谐振腔"), 华中工学院出版社, 1983.
- [7] H. Kogelnik; *BSTJ*, 1965, **44**, 455.