

金属蒸气激光器冷凝区结构的优化

吴 平 王欲知

(西南交通大学应用物理系, 成都, 610031)

摘要: 用蒙特卡罗方法模拟了镉原子在 He-Cd 激光器冷凝区内的凝结, 得到了不同结构下镉原子沉积量的分布。比较这些沉积量的分布, 结果表明, 合理地选择冷凝区的结构, 可以提高冷凝区的效率, 有效地防止镉原子对 He-Cd 激光器窗口的污染, 克服光路堵塞。

关键词: 蒙特卡罗方法 沉积数分布 冷凝区 窗口污染 光路堵塞

Improving on structure of the condenser of metal vapor laser

Wu Ping, Wang Yuzhi

(Dept. of Appl. Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

Abstract: This paper presents Monte Carlo method to simulate the condensation of Cd atoms in He-Cd laser. For the different structures of condensers, the distribution of condensate of Cd atom was obtained. The simulated results indicated the condensation efficiency and the ability of anti-pollution of the condenser. This is useful for design of the metal vapor laser.

Key words: Monte Carlo method condensation number distribution condenser metal vapor pollution block phenomenon of light

引 言

对于激光器, 它的寿命是评价激光器质量的一个指标。在外腔式金属蒸气激光器中, 金属原子在窗口上的沉积所造成的窗口污染直接影响了激光器的功率和寿命。为克服金属粒子对窗口的污染, 人们采用了各种各样的方法, 如: 辅助阳极法^[1], 活动挡光板法^[2]。但是, 在激光器正常工作时, 这些方法对金属原子污染窗口的防止作用欠佳。我们用蒙特卡罗方法模拟了镉原子在不同结构的冷凝区中的运动和沉积情况, 得到了不同结构下沉积量的分布。比较各种结构的沉积量分布, 结果表明, 合理地选择冷凝区的结构, 可有效地防止金属原子对窗口的污染。实验验证了上述结论。

1 镉原子运动和沉积的蒙特卡罗模拟

1.1 模型

我们用蒙特卡罗方法模拟了镉原子在从放电管口出来, 到窗口这一段冷凝区的运动和沉

5 Thomas C L. Software for Numerical Mathematics. Academic Loughborough, England, 1974: 315

6 Capjack C E, Antoniuk D M, Seguin H J J. J A P, 1981; 52(7): 4517~ 4522

作者简介: 孙海斌, 男, 1972 年 7 月出生。现在武汉华中理工大学激光技术与工程研究院攻读硕士学位。

积情况。镉原子从放电管口按余弦分布发射出来,在冷凝区中做随机运动。它可能同氦原子(或离子)发生碰撞,也可能与另一个镉原子(或离子)碰撞;它可能碰到冷凝区的内表面,也可能与窗口相碰,但镉原子最终将在冷凝区内表面或窗口上沉积。由于在 He-Cd 白光激光器中,氦气的工作气压一般在 1333.2Pa~ 2399.8Pa 的范围内,镉的蒸气压在 13.332Pa~ 1.3332Pa 之间。在我们的模拟计算中,假设镉原子从放电管口发射出来,只在氦气的本底中做随机运动,因此,镉原子在冷凝区的运动可简化为只与氦原子、冷凝区内表面、窗口碰撞。碰撞后,镉原子以一定的几率沉积在冷凝区的内表面和窗口上。

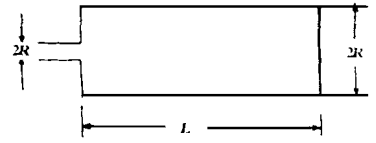


Fig. 1 Schematic diagram of 1# condenser

1.2 冷凝区结构

1# 冷凝区的结构示意图如图 1 所示。它是常用的冷凝区的结构,全用玻璃制作。其中, $R = 12.0\text{mm}$, $R_1 = 5.0\text{mm}$, $L = 40.0\text{mm}$ 。

2# 冷凝区的结构示意图如图 2 所示。它是我们提出的一种新结构的冷凝区。它的外壳用玻璃制成,在壳内安装了间距 $\Delta L = 6.0\text{mm}$ 的六片紫铜片。其中玻璃外壳半径 $R = 12.0\text{mm}$, $R_1 = 5.0\text{mm}$, $L = 40.0\text{mm}$, 铜片中心开有半径 $R_2 = 3.0\text{mm}$ 的圆孔。

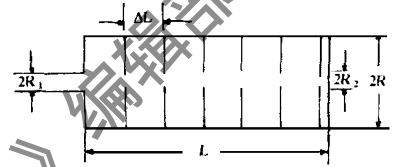


Fig. 2 Schematic diagram of 2# condenser

3# 冷凝区的结构示意图如图 3 所示。它是我们提出的另一种新结构的冷凝区。它的外壳用玻璃制成,在壳内安装了一内半径为 $R_3 = 6.0\text{mm}$ 的铜管,铜管与外壳同轴,铜管长 $L = 38.0\text{mm}$ 。

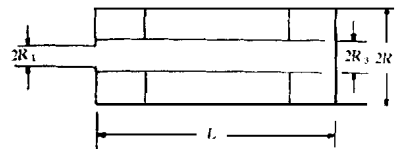


Fig. 3 Schematic diagram of 3# condenser

1.3 镉原子的运动过程

建立如图 4 所示的坐标系。镉原子从放电管口出

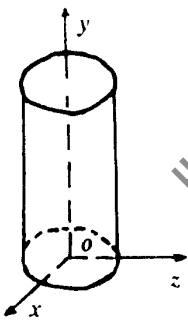


Fig. 4 Coordinate system

来,按余弦分布,从 $z = 0, x^2 + y^2 < R_1^2$ 的圆孔发射。通过抽样产生一组随机数,确定镉原子在发射面上的位置 (x_0, y_0, z_0) 和发射的角度(方向余弦 $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$)。

镉原子离开发射面。进入冷凝区后,有四种可能的运动情况:(1)与氦原子碰撞,可得到镉原子与氦原子碰撞前的运动距离 l ; (2)与冷凝区的侧壁碰撞,可得到镉原子与侧壁碰撞前在空间运动的距离 d_1 ; (3)与铜片碰撞,可得到镉原子与铜片碰撞前的运动距离 d_2 ; (4)与窗口碰撞,可得到镉原子与窗口碰撞前的运动距离 d_3 。比较 l, d_1, d_2, d_3 的大小,可以确定镉原子的运动情况。四个量中的最小者,为镉原子的真正运动过程。

镉原子与侧壁或窗口碰撞后,以一定的几率沉积其上。未沉积的原子按余弦分布重新发射。镉原子在铜表面的沉积率为 0.6,在玻璃表面的沉积率为 $0.01^{[3]}$ 。

2 模拟结果与讨论

我们模拟了 10000 个镉原子在三种不同结构的冷凝区中的运动和沉积情况,得到了如表

Table 1 Distribution of particles condensated in No. 1 condenser

returned	window	glass wall
6352	294	3354

1、表 2、表 3 所示的沉积数分布。

Table 2 Distribution of particles condensated in No. 2 condenser

order of pieces	1	2	3	4	5	6	returned	window	glass wall
number of particles condensated	3950	657	263	66	0	0	6407	0	457

比较 1[#], 2[#], 3[#] 冷凝区的镉原子沉积数分布, 可以清楚地看到: 我们提出的两种新结构的冷凝区(2[#], 3[#] 冷凝区)对镉原子的沉积效率较高, 在所模拟的 10000 个镉原子的沉积中, 2[#], 3[#] 冷凝区的窗口没有镉原子沉积, 说明这两种结构的冷凝区都可有效地保护窗口, 使之不受镉原子的污染。

比较 2[#], 3[#] 冷凝区镉原子返回放电管的数目, 可以看出 3[#] 冷凝区的镉原子返回数较少。镉原子返回放电管数目的大小直接影响了镉原子在管口的沉积(受饱和蒸气压和温度等条件的影响)。返回数目的减少有利于克服激光器在放电管口出现光路堵塞现象。从这个角度而言, 3[#] 冷凝区的结构更有利于激光器的工作。

Table 3 Distribution of particles condensated in No. 3 condenser

returned	window	Cu tube	glass wall
4353	0	5599	48

3 实验装置及结果

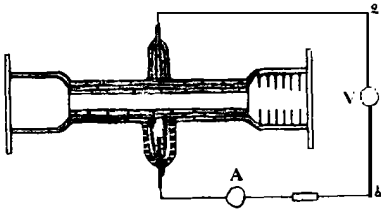


Fig. 5 Schematic diagram of the test tube

实验采用了如图 5 所示的实验装置进行比较实验。两个冷凝区的结构和尺寸与模拟计算中的 1[#] 冷凝区和 2[#] 冷凝区的结构和尺寸完全相同。工作 60h 后, 2[#] 冷凝区的窗口, 在强光照射下, 没有肉眼可观察到的镉膜, 用干涉显微镜测量, 测不出任何膜厚。

将 2[#] 冷凝区拆开, 取出防护铜片, 发现第一片(放电管口)铜片上有面积较大的镉膜, 在第二、第三片铜片上有少量的镉沉积, 而其余的铜片上没有肉眼可观察到的镉膜。

工作 60h 后, 1[#] 冷凝区的窗口上, 有直径大约为 16.0mm 的镉膜沉积于窗口中央, 用干涉显微镜测量窗口上的镉膜, 平均膜厚为 124.25nm, 在侧壁玻璃上, 距放电管口 20mm 的范围内有明显的镉沉积。通过以上的对比实验, 证明了改进冷凝区的结构, 可以提高冷凝区的效率, 有效地防止金属原子对窗口的污染。

4 结 论

我们从蒙特卡罗数值模拟和实验两方面, 证明了优化冷凝区的结构可有效地提高冷凝区对金属原子的凝结效率, 保护窗口不受金属原子的污染。在保护窗口的同时, 合理地选择冷凝区的结构还可以减少金属原子在放电管口的堆积, 减少激光器光路堵塞的可能性。

参 考 文 献

- 1 Fujii K I. Japan J A P, 1975; 14: 1339
- 2 曲世浦, 王兴图. 应用激光, 1984; 3(4): 15
- 3 高本辉, 崔素言. 真空物理. 北京: 科学出版社, 1983: 318.

作者简介: 吴 平, 女, 1965 年 4 月出生。副教授。现从事气体激光器的研究工作。