

# 高压螺旋形空心阴极UVCu<sup>+</sup>激光器

陈钰清

(浙江大学光仪系, 杭州)

H.J.Eichler

(西柏林工业大学光学研究所, 西柏林)

**摘要:** 本文研究了高压螺旋形空心阴极紫外(UV)铜离子激光器的工作特性, 测定不同螺旋结构激光器的紫外输出功率。在放电长度1.2m, 内径6mm, 螺距9mm的分段放电管中, 在波长260nm时获得最大峰值功率660mW。

The study of helical hollow cathode UV copper ion laser

Chen Yuqing

(Department of Optical Instrument Engineering, Zhejiang University)

H.J.Eichler

(Technische Universität Berlin, Optisches Institut, 1000 Berlin 12,  
Federal Republic of Germany)

**Abstract:** Operating characteristics of UV Cu<sup>+</sup> ion lasers with helical hollow cathodes have been investigated. The UV outputs of the lasers with different helical structures have been measured. A maximum peak power of 660mW at 260.0nm was obtained with a helical hollow cathode of 1.2m length, 6mm inner diameter and 9mm coil pitch.

## 一、引 言

铜离子激光器已在 IR780nm和UV260nm波长上产生人们感兴趣的激光辐射<sup>[1~4]</sup>。本文主要介绍高压螺旋形空心阴极UV铜离子激光器的放电特性、输出特性和阴极结构的关系。在阴极长度1.2m, 内径6mm, 螺距9mm的分段放电管中, 获得多谱线(240~270nm)最大峰值功率660mW。

铜离子激光器的铜蒸气是由螺旋阴极溅射产生的, 实验证明螺旋阴极的工作电压决定于阴极的几何结构和氖压<sup>[4]</sup>, 大的螺距引起高的电压, 从而有利于产生快速电子, 激励处于高能级的原子和电子。当然任何其它因素的改变也会影响工作电压。应当指出, 由于螺旋阴

极的对称结构,故放电稳定性比槽形空心阴极好得多,激光束的光斑也很好,这种结构在惰性气体及金属蒸气惰性气体混合放电中也是很有有效的<sup>[3]</sup>。

## 二、实验装置

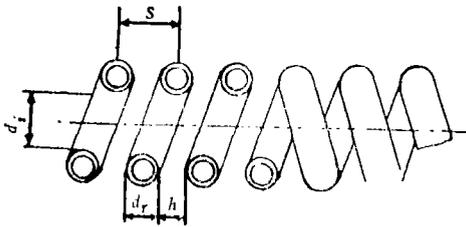


图1 螺旋形空心阴极

$d_i$ —螺旋内直径  $d_o$ —铜管外径  
 $s$ —螺距  $h$ —放电耦合间隙

螺旋形空心阴极 UV 铜离子激光器的结构如图1所示,阴极由无氧铜管绕成,外径4mm,内径2mm,采用水冷却,阳极是由共轴铝制成并水冷。螺旋阴极放电激励是由半波整流电源供电,脉冲重复率为50Hz,其占空系数为5~12。放电长度由12个螺旋阴极组成总长1.2m,谐振腔长度为310cm。用石英棱镜光谱仪测定自发辐射强度,光电倍增管接收信号并在示波器上观察。

## 三、实验结果

### 1. 螺旋形空心阴极放电的电压和电流特性

图2表示在不同的氖气压下,电压和电流放电特性。从图上可以看到,放电电压随螺距的增加和气压的降低而增加。放电电压随电流的增加变化较快。

在螺旋形空心阴极放电中,电荷的损失是比较大的,因为部分离子和电子能够通过阴极螺距缝隙扩散出去并复合。为了补偿离子、电子的损失,必须提高放电电压,亦即电子必须有高的能量,产生一定数量的离子轰击阴极表面。所以,阴极的螺距增加,工作电压必然增加<sup>[6]</sup>。

螺旋形空心阴极的电压和电流特性受到异常辉光放电的显著影响。所以由光子产生的光电效应小于槽形空心阴极放电,这样空心阴极效应在高压螺旋形空心阴极中是不显著的<sup>[6]</sup>。

### 2. 阴极的几何结构和输出功率

低电流时,不同氖气压下,输出功率随放电电流近似成线性增加,如图3和图4所示。当充气气压一定时,大的螺距空心阴极输出功率随放电电流的增加较快。螺距5mm,电流增加到80A,输出功率出现饱和现象。而在螺距7mm和9mm时,尚观察不到饱和特性。图中还可看到,在相同的氖压14mbar和相同的放电电流120A,螺距7mm的输出功率为螺距5mm的4倍。

激光输出功率随螺距增加而增加的原因,

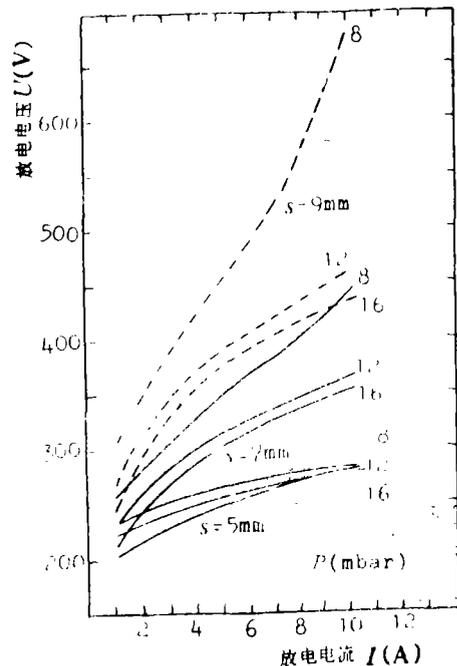


图2 不同螺距的放电电流与电压特性

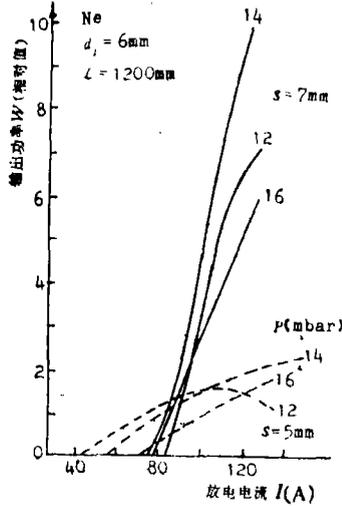


图3 在不同的螺距时UV输出功率随放电电流的变化 (以Ne压为参数)

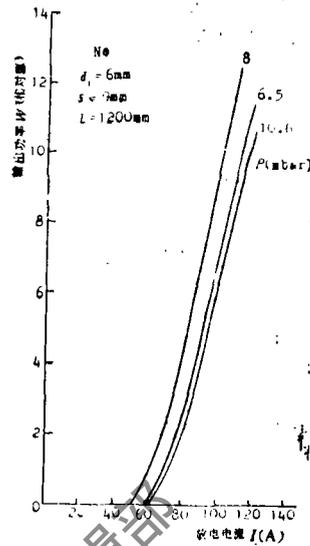


图4 不同Ne压时UV输出功率随放电电流的变化

是因为螺距的增加导致放电电压的明显增加。高工作电压对形成更多的高能电子并激励高能级的离子是需要的,所以在螺旋形空心阴极中能产生更多高能级的Ne<sup>+</sup>,这样铜蒸气密度亦显著增加。铜蒸气是由Ne<sup>+</sup>和Ar<sup>+</sup>离子轰击阴极引起溅射而产生的。表1给出Cu的产生率<sup>[7]</sup>。

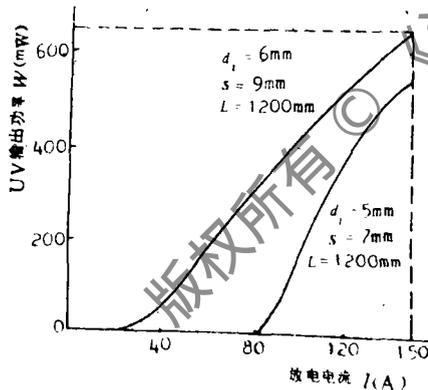


图5 UV输出功率随放电电流变化

表1 Ne<sup>+</sup>和Ar<sup>+</sup>轰击下Cu的产生率

离子	离子能量 (eV)	100 (eV)	200 (eV)	300 (eV)	600 (eV)
Ne <sup>+</sup>		0.26	0.84	1.20	2.00
Ar <sup>+</sup>		0.48	1.10	1.59	2.30

在我们的实验中,在Ne放电中附加少量的Ar,虽然降低了一些输出功率,但增加了放电的稳定性。由表1可以看到,离子的能量越高,铜的产生率越大,就可以使输出功率增加,

所以阴极螺距增大,放电电压升高,能产生更多的铜原子,有利于提高UV输出功率。但螺距再增加时,离子和电子的扩散损失也增加,Cu<sup>+</sup>密度增加不多,不利于输出功率的提高,故导致效率下降。所以,阴极应有一个合理的结构。

图5表示UV Cu<sup>+</sup>激光器峰值输出功率和放电电流的实验曲线,工作气压8mbar,一对反射镜的反射率分别为99.8%和98%,波长范围为240~270nm,工作电流150A时,获得最大紫外多谱线(240~270nm)峰值功率660mW。此时功率尚未出现饱和现象。

我们研究了三种不同结构的螺旋形空心阴极,其结果给出在表2中。实验中,由于冷却和绝缘问题而不能测得更高的功率。如果上述问题获得解决,并选择最佳耦合,可望获得更高的

表2 三种结构的螺旋形空心阴极UVCu<sup>+</sup>  
激光器参数

结构参数 (mm)	放电长度 (mm)	放电电流 (A)	反射镜中心波长 (mm)	最大峰值功率 (mW)	最大平均功率 (mW)	阈值电流 (A)
$d_i = 5$ $s = 7$	1200	134	260	535	75	57
$d_i = 6$ $s = 7$	1200	165	260	580	70	74
$d_i = 6$ $s = 9$	1200	150	260	660	110	20

紫外输出功率。实验测得离输出镜10cm处的圆形光斑直径约10mm。

#### 四、讨论

由上述结果可知,螺旋形空心阴极较好的几何结构为内径6mm,螺距为7mm,9mm两种,太大的螺距使放电电压增加很高,反而影响效率和放电稳定性。为了延长寿命和提高输出功率,必须改进馈电结构,提高阴极的冷却性能,防止阴极由于溅射而引起短路,选择最佳耦合,防止油蒸气污染镜片。

由实验可知,阴极几何形状变化很小,和其它槽形空心阴极装置相比放电稳定性很好。

#### 参 考 文 献

- [1] Grozeva M, Sabotinov N, Coil hollow cathode for metal vapour laser, Opt. Commun., 1982; 41: 57~58
- [2] Chen Yuqing, Eichler H J, Macdonald R, Helical hollow cathode IR copper ion laser, Chinese Physics Laser, 1989; 16(5): 306~308
- [3] Koch H J, Cu II laser with a helical hollow cathode discharge, J. Phys. E, 1983; 16: 122~123
- [4] Eichler H J, Hamisch J, Macdonald R et al., UV-Cu II laser helical hollow cathodes, J. A. P., 1987; 61(5): 2069
- [5] Karoly Rozsa, Hollow cathode discharge for gas laser, Z. Naturforsch., 1980; 35a: 649~664
- [6] Tetsuo Iijima, He-Zn<sup>+</sup> ion laser using hollow-cathode discharge with-high-voltage operation, Japan. J. A. P., 1982; 21(12): 1732~1735
- [7] Nils Laegreid, Wehner G K, Sputtering yields of metals for Ar<sup>+</sup> and Ne<sup>+</sup> ions with energies from 50~600 eV, J. A. P., 1961; 32(3): 365~369

\* \* \*

作者简介: 陈钰清, 男, 1936年出生。教授。长期从事激光原理、激光器件教学和光电学领域的科研工作。

收稿日期: 1990年2月5日。