

全金属结构铜空心阴极激光器的研究*

薛 焕 然

丘 军 林

(华东工学院机械工艺系, 南京)

(华中理工大学激光研究所, 武汉)

提 要

本文提出了一种全金属结构的铜空心阴极激光器, 它具有耐高温烘烤、结构稳固的优点, 大大改进了放电稳定性。该激光器已获得了 Cu II 740.4 和 780.8 nm 两条激光振荡线。通过研究铜空心阴极激光器阈值特性、气体混合比和放电温度对激光输出功率的影响, 给出了一些新的结果。

关键词: 铜, 全金属结构, 空心阴极激光器。

溅射型铜空心阴极激光器是 70 年代中期发展起来的一种新型激光器, 它可以在紫外区 (248.6~272.2 nm) 产生近 1 W 的连续紫外辐射, 并且有可能通过它与红外染料激光器混频发生低于 200 nm 的远紫外可调谐连续辐射, 有着诱人的发展前景。过去的铜空心阴极激光器都为玻璃管结构, 有放电不够稳定, 热耗散性不好, 不能进行高温烘烤、结构不够稳固等缺点, 由于这些缺点的存在以及缺少高质量的反射镜, 目前尚不能实现长寿命紫外运转。文献 [1] 报道了一种全金属结构的实验装置, 其阴极为绕成螺旋状的铜筒, 阳极为与阴极同轴的金属真空容器, 并已获得了 Cu II 780.8 nm 的激光输出, 但因该装置工艺性能不够好, 且放电后阴极极易变形。本文报道一台用不锈钢制作的全金属结构槽型铜空心阴极激光器, 并已获得 Cu II 740.4 nm 和 780.8 nm 两条激光振荡, 通过对这种新型结构激光器的研究, 得到了一些新的结果。

一、实验装置

装置如图 1 所示。激光管由放电管、冷阱和谐振腔三部分组成。放电管外壳为用无磁不锈钢制作的圆柱真空容器, 管内装有高导无氧铜电极, 阴极长 30 cm, 其上开有 $1.5 \times 4.5 \text{ mm}^2$ 的矩形槽, 阴极中间钻孔以通水冷却。电极相对平行放置, 其间距任意可调, 并用耐热冲击、气体清除速率低的可加工陶瓷作为电极与管壳之间的绝缘元件。放电管两端各有一金属冷阱, 用作吸附从放

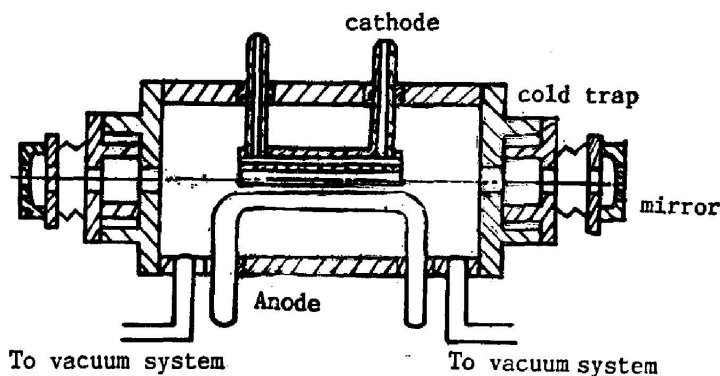


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

收稿日期: 1988年3月7日; 收到修改稿日期: 1988年9月20日

* 中国科学院科学基金资助的课题。

电区漂移过来的铜蒸气等污染物。激光管两端的镜片支架可安放多种规格的镜片,从而构成谐振腔。整个装置除激光管外,还有充、排气的真空系统和放电电源。

工作时,管内抽成高真空以后,再充入 He 和 Ar 或 Ne 和 Ar 混合气体作为工作气体,放电后利用阴极溅射产生激光工作介质——铜离子。

二、全金属结构的特点

1. 可高温烘烤

除了绝缘元件外,整个激光管全是金属元件,因而可高温烘烤,实现彻底的除气,达到充气前的高真空度,保证气体纯度,并且在激光管工作期间,整个容器内壁放气率低,这对提高放电稳定性极为有利。

真空系统采用 2X-4 旋片机械泵和 Turbovac-220 分子泵排气。在分子泵与激光管之间的高真空部分的管道以及充工作气体的管道全部用金属制作,管接头采用金丝圈密封。这样,分子泵以及激光管相连的管道同样可进行高温烘烤,使充入的工作气体纯度高。

2. 良好的热耗散性能

注入铜空心阴极激光器的电能量大部分变为废热,除了水冷电极带走部分热能外,还有相当一部分热量需通过放电管壁散发出去。如果放电管壁散热性能不好,则管内会保持较高的温度,既增加了放电不稳定的几率,又使激光输出功率下降到无实用价值的水平。全金属结构激光管散热迅速,与玻璃结构相比有其独到的优点。

3. 极好的放电稳定性与防镜片污染性能

由于实现了高温烘烤,在烘烤期间吸附在容器内壁和电极上的杂质气体绝大部分出气而被抽走。另外,系统漏气率很低,保证了放电十分稳定。精心设计的挡板与冷阱组合的防镜片污染系统,基本上消除了激光镜片的污染。

三、实验结果与讨论

为了考察我们设计的全金属结构铜空心阴极激光器的性能,研究了 Cu II 740.4 nm 激光振荡的输出特性,得到了一些有意义的结果。

1. 气体混合比

用混合的 He、Ar 作为工作气体,通过研究发现,输出功率最大时的最佳充气压为 16 kPa,而 He 与 Ar 的混合比变化对输出功率的影响十分明显。图 2 是在最佳充气压 16 kPa 情况下,气体混合比对激光输出功率的影响,在混合比为 4:1 时有最大的输出功率。

本文得到的结果与前人报道的结果有较大的差别。如 Collins 等报道,在槽型和圆柱型阴极情况下,He-Ar-Cu 放电时,最佳充气压 20 kPa,He:Ar 的最佳混合比 8:1^[2]。作者认为存在这种差别的主要原因是 He-Ar-Cu 放电稳定性问题。据 Eichler 等人的研究,He-Ar-Cu 放电中 He:Ar 大于 5:1 就发生放电不稳定现象^[3],这是由于掺 Ar 量过大,极易形成弧光放电,从而得不到掺 Ar 比例大时的激光输出特性。本实验在 He:Ar 达 3:1 时放电仍十分稳定。在气体中充入少量 Ar 以后,电子温度明显下降,但掺 Ar 比例增大到一

定时候,电子温度反而增高,从而增加了每个电子的激发能量,加剧了空心阴极效应,这时提高激光输出功率是有利的。另一方面, Ar 分压太高则过度降低 He⁺ 的生成速度,降低输出功率,所以存在一最佳气体混合比,这一比例与放电稳定性有密切关系。

2. 放电温度对输出功率的影响

在放电开始后,真空容器内气体温度迅速上升,在管壁自然冷却和阴极通水冷却的联合作用下,温度达到一平衡值,激光输出功率趋于稳定。通过强迫风冷放电管壁可显著提高激光输出功率,图 3 是实验测得的风冷前后功率的变化,风冷后功率上升 30% 左右,而在玻璃结构的激光器工作时未观察到此现象,这是由于:增益系数与谱线宽度 $\Delta\nu$ 成反比,而在铜空心阴极放电中都普勒(Doppler)增宽占优,所以 $\Delta\nu$ 正比于 \sqrt{T} 。因此,放电温度上升,都普勒增宽加大,从而导致增益下降,功率下降,另一方面,温度上升,气压升高,激光器偏离最佳工作气压,引起激光输出功率下降。但玻璃是热的不良导体,所以风冷后输出功率并没显著提高。

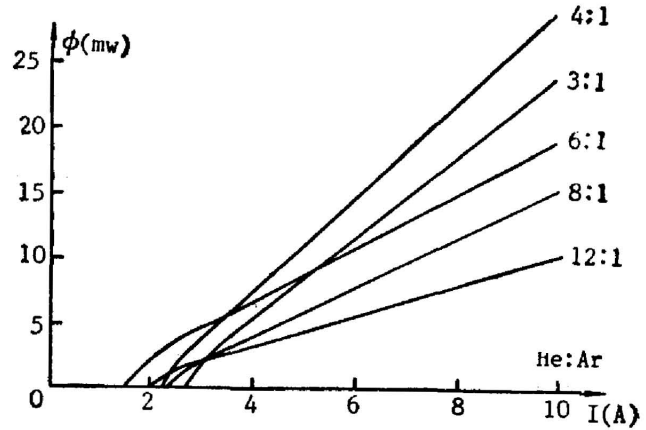


Fig. 2 Relation between laser power ϕ and gas composition ratio ($\lambda=740.4\text{ nm}$)

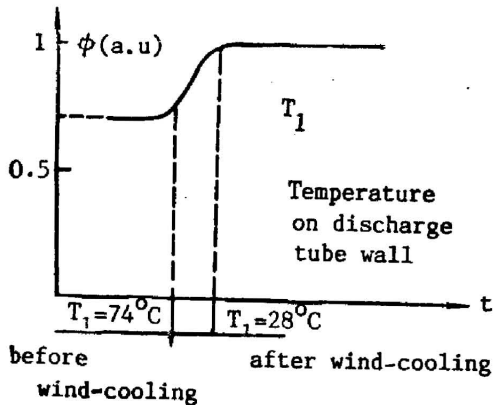


Fig. 3 Change of laser power after wind-cooling of discharge tube wall

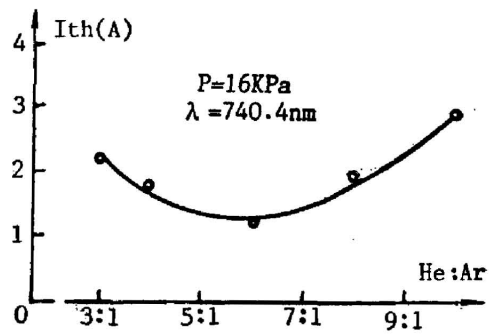


Fig. 4 Dependence of threshold current I_{th} on gas composition ratio

3. 阈值特性

我们研究了不同条件下 740.4nm 谱线的阈值特性。图 4 是阈值电流 I_{th} 与气体混合比的关系,图 5 为 I_{th} 与总气压 P 的关系。

在 He:Ar=6:1、 $P=16\text{ kPa}$ 时,阈值电流最低, $I_{th}=1.3\text{ A}$ 。据我们所知,这是迄今为止所获得的 Cu II 740.4nm 谱线最低的阈值电流。

4. 阴极与阳极间距的影响

一些研究者认为,在槽型阴极结构情况下,电极间距对激光工作条件无多大影响,我们对此作了较系统的研究,认为电极间距对激光器工作条件有明显影响。这主要表现在:当充

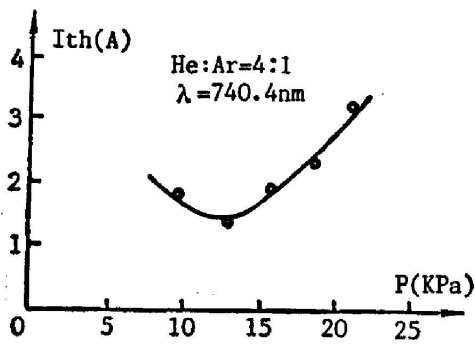


Fig. 5 Dependence of threshold current I_{th} on total pressure P

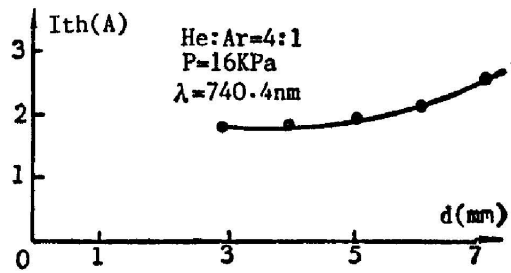


Fig. 6 Curve of I_{th} vs d

气成分、总气压和气体混合比相同时,电极间距越大,着火电压,放电电压越高,激光阈值电流越大,而出现空心阴极效应的最低气压就越低。图6是实验测得的阈值电流与电极间距的关系, d 代表电极间距。电极间距对激光输出功率的影响复杂一些,在放电电流密度较低时,3mm间距比7mm间距输出功率高,而在大电流密度下($j > 0.1 \text{ A/cm}^2$)情况则相反。此外,电极间距过小,阴极因溅射造成的蚀损特别明显,影响阴极使用寿命。所以,选定电极间距要综合考虑放电电压、阈值电流、输出功率、使用寿命等因素的影响。通常,取电极间距为4~6mm较合适。

四、结 论

我们研制的全金属结构铜空心阴极激光器可高温烘烤,具有真空性能高、放电稳定好、镜片污染轻等优点。放电管壁热耗散能力是影响放电稳定性和激光输出功率的重要因素,由于全金属放电管热传导性能优于玻璃结构的放电管,所以放电稳定。同时作者还获得了掺Ar比例大情况下:对Cu II 740.4nm激光输出功率的最佳气体混合比为He:Ar=4:1,总气压16kPa。

铜空心阴极激光器在真空紫外区有较高的连续输出功率,在激光光谱学、大规模集成电路、生物学等许多方面有着潜在应用。因此,研究实用、稳定的远紫外铜空心阴极激光器应当是努力的方向。本文提出的激光器在解决紫外激光长时间运行的先决条件方面取得了一些进展,可以预期,随着高质量紫外镜片的获得,紫外铜空心阴极激光器将会得到更快的发展。

参 考 文 献

- [1] H. Koch; *J. Phys E: Sci. Instrum.*, 1984, **16**, No. 2 (Feb), 122~123.
- [2] G. J. Collints *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **27**, No. 11 (Nov), 595~597.
- [3] H. J. Eichler *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, No. 1 (Jan), 80~88.

A study of the copper hollow cathode laser with all metal construction

XUE HUANRAN

(Department of Electronic, East China Institute of Technology, Nanjing)

QIU JUNLIN

(Laser Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan)

(Received 7 March 1988; revised 20 September 1988)

Abstract

In this paper, a copper hollow cathode laser with all metal construction is presented. The laser has advantages of high resistance to high temperature roast and stable structure. Discharge stability is greatly improved. Two laser oscillations of Cu II 740.4nm and 780.8nm are obtained. Some new results are given through investigation on threshold feature of the laser, effect of gas mixture ratio and discharge temperature on the laser output power etc.

Key words: Copper; All metal construction; Hollow cathode laser.