

脉冲氙灯及泵浦性能评价

杨海峰

王茂蒲

(华东电子管厂, 南京, 210028) (航空工业总公司 613 研究所, 洛阳, 471009)

摘要: 本文论述了提高脉冲氙灯泵浦性能及可靠性的技术关键, 介绍了评价脉冲氙灯泵浦性能的试验方法及测试装置。

关键词: 氙灯 泵浦性能

Xenon flashlamp and its pumping properties

Yang Haifeng

Wang Maopu

(Huadong Electron Tube Factory, Nanjing, 210028) (613 Institute of AVIC, Luoyang, 471009)

Abstract: In this paper, the key techniques to improve the pumping properties and reliability of Xenon flash lamp are summarized. Especially the paper points out that the main factors effecting the pumping characteristics are selection of lamp tube and welding procedure, and the silicon tube doped with Ce and high-temperature silicon-wolfram diffusing procedure are recommend.

Key words: Xenon flashlamp pumping properties

一、引言

众所周知, 目前 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的泵浦源主要还是脉冲氙灯。随着激光技术的不断发展, $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 激光器的规格品种越来越多, 与此相应, 对脉冲氙灯的性能要求也越来越高, 越来越严格。因此, 如何评价脉冲氙灯的泵浦性能优劣, 这不仅是脉冲氙灯生产制造者关心的问题, 同时也是广大脉冲氙灯用户们关注的问题。

根据多年在研制、生产和使用脉冲氙灯方面的理论探索以及实践经验, 现提出有关提高脉冲氙灯技术性能和可靠性的技术关键以及评价脉冲氙灯泵浦性能的试验方法, 以供参考。

二、提高脉冲氙灯泵浦性能的途径

脉冲氙灯是一种内有高纯氙气的封闭气体放电管, 作为激光器泵浦源而言, 首先要求灯的泵浦性能好, 即脉冲氙灯的电光转换效率高, 其次要求灯的可靠性好。而要提高脉冲氙灯的泵浦性能, 则要控制两个重要环节: 一是脉冲氙灯的结构参数, 二是脉冲氙灯的光谱性能。现分别论述如下:

1. 脉冲氙灯的结构参数

作为激光泵浦源的脉冲氙灯, 少数为螺旋形, 激光晶体放在其中央; 而大多数为直管形, 灯与激光晶体一起平行安装在聚光腔中, 可根据不同的需要作成各种长度和管径。由于灯管内径影响泵浦电能转换成光谱辐射能量的效率, 所以, 对于一定的泵浦能量, 将对应着一个最佳的灯管内径。此外, 脉冲氙灯的内径和电极间距还影响灯的电特性, 如着火电压、爆炸能量等。因此, 对不同规格的激光晶体应选择合适规格尺寸的脉冲氙灯。选型时参考以下几点:

a. 脉冲氙灯的着火电压(即在外加触发电压时, 使脉冲氙灯击穿所需的最小管电压)与极

间距成正比,而且着火电压又随着灯管内径的增大而降低。

b. 脉冲灯的剩余电压(即电容器通过脉冲氙灯放电结束后还留下的电压)与灯内径有关,内径越大,剩余电压越小,放电就越彻底。反之,剩余电压就越高,光谱输出能量将受到影响。

c. 脉冲氙灯的电光转换效率(即泵浦电能转换成光辐射能量的效率)与氙灯的电极间距、灯管内径有关,极间距越长,灯管内径越小,转换效率就越高。但是,对一定的泵浦能量而言,存在一个最佳的灯管内径值,它随能量的增大而增大。

d. 脉冲氙灯的爆炸能量(即可以输入灯内的而不致使灯破坏的最大能量)与灯的内径和极间距成正比。

e. 脉冲氙灯的闪光持续时间与灯的极间距成正比。

2. 脉冲氙灯的光谱性能

脉冲氙灯的光谱分布近似于日光,如图 1。

由图中曲线可以看出,在紫外和可见区域,连续光谱占优势。而在 800nm 附近有较强的

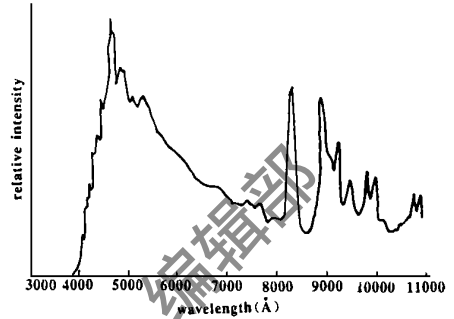


Fig. 1. Xenon flashlamp spectral output curve

光谱射线。图 2 示出 Nd:YAG 激光晶体的吸收谱线,一共有五个吸收峰,因此,我们可以采取某些制作方法,使脉冲氙灯在 Nd:YAG 晶体吸收强的光谱区域辐射光谱能量增强,从而可以提高灯的泵浦效率。

由电光源原理知道,脉冲氙灯的光谱能量分布与下述因素有关:

a. 脉冲氙灯的光谱能量分布与放电电流密度

有关。随着电流密度的增加,脉冲氙灯的连续光谱增加得更快,并且逐渐遮盖了线光谱。同时,它的光谱能量分布向短波长方向移动。

b. 脉冲氙灯的光谱能量分布与储能电容上的电压有关。当电容上的电压增高时,辐射光谱的峰值波长将向短波方向移动;电压减少时,辐射光谱的峰值波长将向长波方向移动。

c. 脉冲氙灯的光谱能量分布与储能电容容量的关系。脉冲氙灯的光谱能量分布受电容容量变化的影响不大,容量的改变只影响脉冲氙灯的输出光谱强度。因此,可以通过改变电容容量来获得不同输出光强但具有相同光谱能量分布的荧光输出。于是可以通过调整放电电流密度、储能电容容量及充电电压来得到最佳的光谱能量分布。同时,还可以采用掺铈石英管或滤紫外石英管制作脉冲氙灯,以减少紫外区域的光谱输出强度或者将其转换成有用光谱,从而可避免紫外光使激光晶体产生色心,而影响激光转换效率和稳定性。

三、提高脉冲氙灯可靠性的途径

提高脉冲氙灯可靠性(含寿命)的重要途径是解决电极与石英管的封接工艺。目前国内采用的氙灯封接方式有三种,下面分别介绍这三种封接方式及其特点。

1. 过渡封接

一般从石英过渡到钨杆需要多种膨胀系数不同的玻璃料,有的用十一到十二种材料;有的

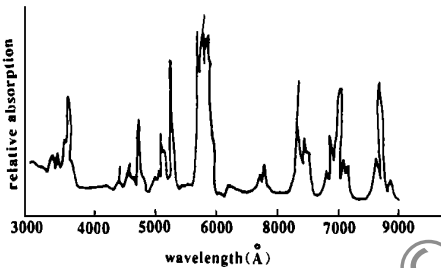


Fig. 2 Absorption spectrum curve for Nd:YAG

用五至六种材料进行过渡。这种封接方式适合于小能量、低重复频率状态下工作,其热稳定性较差,对单次输入能量大、重复频率频高的情况不太适合。这种封接方式制成的脉冲氙灯仅能承受 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的温度冲击,自然冷却状态下管壁负载仅为 $0.5\sim 1\text{ W/cm}^2$ 。这种灯可应用于小型手持式激光测距机中。

2. 钼箔封接

钼箔封接方式与过渡封接方式相比,耐温度冲击性能有所增加。但不能承受大电流的冲击,可以在低电流密度、较高重复频率状态下工作,多数情况下需要进行液体冷却。此外,由于采用钼箔封接,会增加灯管的总长,这不利于产品的小型化。

3. 高温石英钨扩散封接

高温石英钨扩散封接方式是目前最可靠的封接方式。用这种方式做的脉冲氙灯不仅可以在较高的重复频率和较大的单次输入能量下工作,而且可耐大电流冲击和温度冲击。一般脉冲氙灯放电时可产生强大的冲击波,波的前峰速度可达 16000 m/s 。高温石英钨扩散封接的脉冲氙灯表面可承受 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温,因此,在自然冷却状态下,管壁负载可达 $10\sim 15\text{ W/cm}^2$;若采用强迫风冷,管壁负载最高可达 40 W/cm^2 ,但应根据使用情况需采用间隙方式工作;在液体冷却时,其管壁负载可达 $150\sim 300\text{ W/cm}^2$ (但在聚光腔内则应适当降低管壁负载)。另外,该种脉冲氙灯可以在较苛刻的环境下工作。如:华东电子管厂采用高温石英钨扩散封接方式生产的 S3020 型脉冲氙灯,曾在 613 所按国家军用标准 GJB150 中规定的方法进行了高温、低温、振动、冲击、加速度等项环境试验,试验结果表明这种氙灯的可靠性比较高,性能比较稳定。

四、脉冲氙灯的泵浦性能评价

通常情况下,对脉冲氙灯泵浦性能的检查,都是将灯装入 YAG 激光器的聚光腔中,在相同的试验条件下,通过测量激光器的输出能量及能量稳定性间接来比较考查灯的泵浦性能。这种方法操作起来比较繁琐、复杂,有时生产厂还不完全具备这种试验条件。因此,寻求一种比较简单而快捷判别脉冲氙灯泵浦性能的方法是很有必要的。

由激光原理知道,当激光晶体吸收脉冲氙灯辐射出的光谱能量后,激活离子被激发,然后通过无辐射跃迁迅速转移到亚稳态,并辐射荧光谱线。对一定的晶体而言,若脉冲氙灯辐射的光谱强,则晶体吸收的泵浦光亦产生较强的荧光谱线。因此,我们就可以通过测试激光晶体吸收脉冲氙灯的光谱能量后所辐射出的荧光谱线的相对强度来检查脉冲氙灯的泵浦性能。

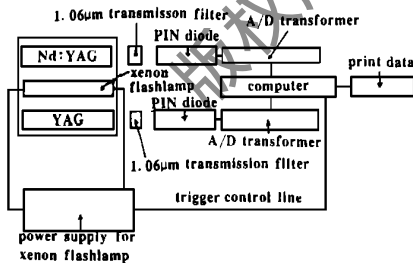


Fig. 3 The automatic test device for pumping properties

根据上述原理,参照国外有关资料,华东电子管厂研制了一套用于评价脉冲氙灯泵浦性能的自动测试装置,其原理如图 3 所示。

在一个柱形积分腔体中心,放置脉冲氙灯,在其两侧对称位置分别放置一支掺钕离子 YAG 晶体和一支与其外形尽可能一致的不掺钕离子 YAG 晶体,灯与晶体之间放置一窄长形光屏,以使辐射在晶体上的光均匀分布。两晶体的端面依次放置性能一致的 $1.06\mu\text{m}$ 的窄通滤光片(因 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 晶体在吸收光谱能量后往往只产生 $1.06\mu\text{m}$ 附近的一组荧光谱线)、光电转换器、放大器、A/D 转换器,最后将两路信号转入计算机,由计算机进行处理,输出结果。

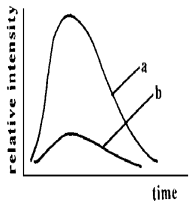


Fig. 4 Fluorescence curves of doped and undoped laser materials
a- doped laser material
b- undoped laser materials

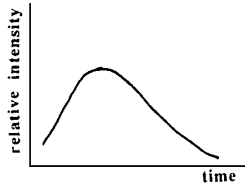


Fig. 5 Net fluorescence output curve

这是一个比较理想的双光路系统,由掺杂和不掺杂晶体同时接受脉冲氙灯的辐射后分别产生杂散光与荧光叠加信号和杂散光信号,由 A/D 转换器变为数字信号输入计算机,消除杂散光后便可得一条净荧光输出强度随时间变化的曲线,如图 4 所示,为掺杂晶体和不掺杂晶体产生的信号随时间变化的曲线;图 5 为净荧光强度随时间变化的曲线。依据曲线,针对带调 Q 和不带调 Q 的激光器进行不同的处理(如前

者取荧光强度的峰值,后者对荧光强度进行积分)来相对比较脉冲氙灯的泵浦性能。

华东电子管厂采用石英钨高温封接工艺制造了一批 S3020 型脉冲氙灯,首先在上述试验装置上测试了每只氙灯的相对荧光输出,而后由 613 研究所在其 Nd³⁺:YAG 激光器上测试了每只灯的激光输出能量,其测量结果由附表示出。

从表中数据可以看出,上述两种方法测试结果的趋势基本上是一致的,这说明通过测试脉冲氙灯的荧光强度完全可以评价脉冲氙灯的泵浦性能。实际上这种方法对评价用于泵浦其他激光晶体的脉冲氙灯或氩弧灯等的性能同样有效,只需将圆柱腔体中的晶体换成相应的掺杂晶体和外形一致的不掺杂晶体就可以了。此外,亦可通过泵浦源不变,而改变掺杂晶体的方法,使用该装置来评价晶体性能的优劣。

Table Results

No.	lamp number	laser output (relative energy)	fluorescent output (relative intensity)
1	238	383	377.0
2	216	377	365.8
3	210	372	351.6
4	214	370	346.9
5	211	368	345.4
6	222	366	337.0
7	220	355	332.7
8	203	353	324.2
9	218	348	314.3

五、结 论

在设计和试制固体激光器时,若能全面考虑泵浦源——脉冲氙灯的各项性能,选择合适的泵浦源,并通过本文介绍的测试装置对脉冲氙灯和掺杂晶体进行综合评价,选择高性能的泵浦源-晶体组合,便可进一步提高固体激光器的品质。

参 考 文 献

- 1 复旦大学电光源实验室编. 电光源原理. 上海: 上海人民出版社, 1977: 306~ 370
- 2 伍长征, 王兆永, 陈凌冰 *et al.* 编著. 激光物理学. 上海: 复旦大学出版社, 1989: 214~ 224
- 3 Noble L. Optical Pumps for Erbium Laser. Triannual Report No. 1. Appendix A. TR ECOM-0296-1. April 1971

* * *

作者简介: 杨海峰,男,1967年11月出生。工程师。现从事电光源研究及特种照明设计工作。

收稿日期: 1995-09-11 收到修改稿日期: 1996-04-04

