

掺杂石英玻璃管脉冲氙灯及滤光套管在激光器中的应用

查贵根 李新娣 钱剑明

(中国科学院上海光机所)

提要: 采用合适厚度, 掺杂合适浓度的铈、铕等稀土元素的石英玻璃管制作的脉冲氙灯和滤光套管, 其 3500 埃以下的紫外辐射基本消除, 因而在固体激光器中能替代滤光溶液和黄色玻璃滤光套管, 防止工作物质着色。

比较了不同滤光材料的滤光特性及其在重复频率钕铝石榴石激光器中的激光效率。在 Nd:YAG 及钕玻璃激光器中, 使用掺杂石英玻璃后, 可使激光器效率提高 25~100%。

Pulsed xenon flashlamps and filter envelopes made of quartz tubes and their use in lasers

Tsa Guigen Li Xindi Qian Jianming

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

Abstract: In pulsed flashlamps and filter envelopes made of quartz tubes with appropriate thickness and proper concentration of doped rare-earth elements, such as cerium, europium etc, UV radiation below 3500 Å is essentially eliminated, thus filter solution and yellow glass filter envelopes in solid state lasers can be replaced and the colouring of laser material prevented.

Comparison has been made among filtering characteristics of different filter materials and their efficiencies in repetitive pulse Nd:YAG lasers. Experimental results show that using doped-quartz in Nd:YAG laser and Nd:glass lasers, laser efficiency can be increased by (25—100)%, or even higher.

一、引言

钕玻璃及钕铝石榴石激光器通常都采用具有良好透光性能的融石英玻璃制作的脉冲氙灯作光泵, 其辐射光谱是连续背景和氙的

特征谱线的叠加, 随着脉冲氙灯电流密度的增加, 辐射光谱中的紫外成分增加更快。氙灯的紫外辐射对固体激光器是十分有害的, 它使氙灯的石英管壁着色, 引起氙灯辐射效率下降和寿命缩短, 同时, 使被辐照的激光工

收稿日期: 1980年10月17日。

作物质着色,激光效率下降。

消除紫外辐照的方法很多,例如在玻璃聚光腔内壁镀介质增透膜,使紫外透射,可见光反射;在工作物质侧面镀介质膜,使紫外光反射,可见光透射;比较常用的是采用对紫外光吸收系数较大的重铬酸钾或亚硝酸钠水溶液,在重复频率较低时,也可采用含硒硫化镉的黄玻璃套管作滤除紫外辐射的滤光材料。

我所于1978年开始,与北京建材研究院及上海石英玻璃厂协作,对掺杂各种稀土元素的石英玻璃与激光有关的各种性能进行了研究,经选择后,作为灯管材料和滤光套管应用于各类激光器。

二、掺杂石英玻璃的物理及光学性能

掺入少量铈、镨、钐、钕等稀土元素的石英玻璃具有不同程度的滤紫外光性能。用双

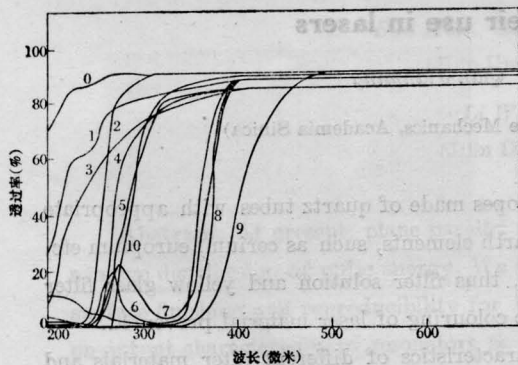


图1 不同掺杂元素的石英玻璃的光谱透过曲线

序号	掺杂元素	含量(%)	试样厚度(毫米)
0		0	1.0
1	MnO ₂	0.1	5.0
2	Pr ₂ O ₃	0.1	5.0
3	Ho ₂ O ₃	0.1	5.0
4	Sm ₂ O ₃	0.5	5.0
5	Pr-Eu	0.01-0.02	5.0
6	Pr-Ce	0.01-0.5	5.0
7	Pr-Ce	0.01-0.3	5.0
8	CeO ₂	0.5	5.0
9	Eu ₂ O ₃	0.05	5.0
10	TiO ₂	7	5.0

光束分光光度计测试了各种掺杂石英玻璃的吸收光谱曲线(见图1)。

1. 掺杂石英玻璃的荧光性能

掺入铈、镨、钐、钕等稀土元素的石英玻璃,不仅能吸收紫外光,而且还能将紫外光转换成400~700毫微米的可见荧光,采用荧光光谱仪测试了不同掺杂元素的荧光光谱曲线(见图2)。

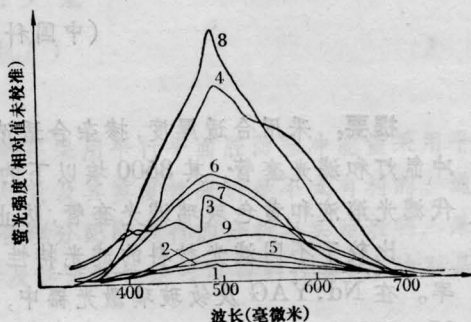


图2 不同掺杂元素的石英玻璃在汞灯紫外光激发下的荧光光谱曲线

序号	掺杂元素	试样尺寸(毫米)
1	MnO ₂	8×5×9
2	Pr ₂ O ₃	8×5×9
3	Ho ₂ O ₃	8×5×9
4	Sm ₂ O ₃	8×5×9
5	Pr-Eu	8×5×9
6	Pr-Ce	8×5×9
7	Pr-Ce	8×5×9
8	CeO ₂	8×5×9
9	Eu ₂ O ₃	8×5×9

掺铈石英玻璃在汞灯紫外光激发下的荧光对钽玻璃及钷铝石榴石晶体工作物质吸收带的贡献见图3和图4,显然荧光强度的大小将直接影响激光器的激光效率。

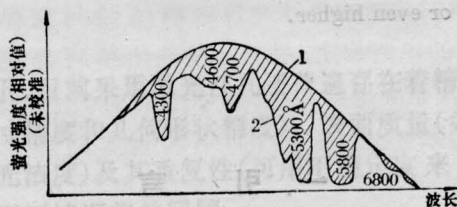


图3 掺铈石英玻璃在紫外光激发下的荧光供钽玻璃吸收的光谱曲线

1—掺铈石英玻璃在紫外光激发下的荧光光谱曲线;
2—掺铈石英玻璃的荧光通过钽玻璃试样后的光谱曲线

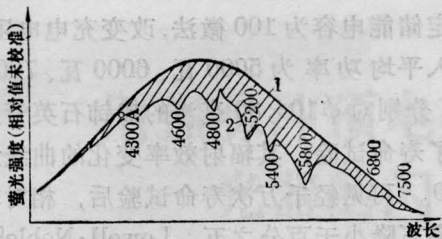


图4 掺铈石英玻璃在紫外光激发下的荧光
供 Nd:YAG 吸收的光谱曲线

1—掺铈石英玻璃在紫外光激发下的荧光光谱曲线；
2—掺铈石英玻璃的荧光通过 Nd:YAG 试样后的低
分辨光谱曲线

2. 掺杂石英管灯的荧光寿命

掺铈石英玻璃和掺铈石英玻璃在紫外
354.7 毫微米激发下的荧光寿命曲线示于图
5、图6和图7。

由荧光寿命波形计算可得，掺 0.5% 铈

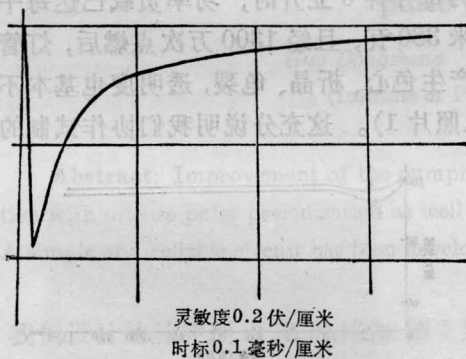


图5 掺 0.5% 铈石英玻璃在紫外 3547 埃
激励下的荧光寿命曲线

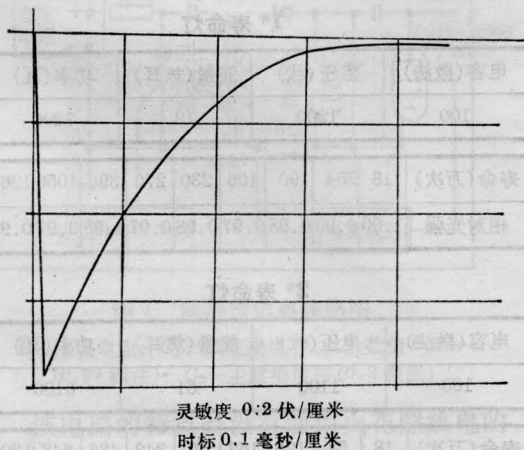


图6 掺 1% 铈石英玻璃在紫外 3547 埃
激励下的荧光寿命曲线

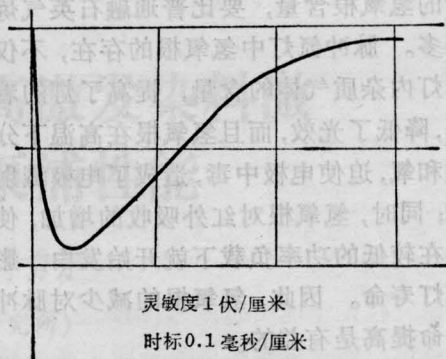


图7 掺铈石英玻璃在紫外 3547 埃激励
下的荧光寿命曲线

石英玻璃的荧光寿命约为 130 微秒；掺 1%
铈石英玻璃的荧光寿命约为 105 微秒；掺
0.05% 铈石英玻璃的荧光寿命约为 90 微秒；
其中荧光寿命定义为荧光强度下降到 $\frac{1}{e}$ 所
需的时间。荧光寿命还随掺杂工艺不同而有
所不同。

3. 掺杂石英玻璃的其它物理性能

使用差动热膨胀仪测试了掺铈石英玻璃
的热膨胀系数，在 $0 \sim 350^\circ\text{C}$ 范围内，与普通
石英玻璃完全一致，为 $(5.4 \pm 0.1) \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ 。

使用“V”棱镜测试掺铈及掺铈石英玻
璃的折射系数，掺入 1% 二氧化铈的掺铈石
英玻璃的折射系数为 1.45890 ± 0.00002
(5893 Å)。掺入 1% 二氧化铈的掺铈石英玻
璃的折射系数为 1.45889 ± 0.00002 (5893 Å)。

掺铈石英玻璃的比重为 2.1911 ± 0.0011
(克/厘米³)。

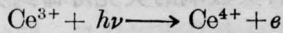
掺杂石英玻璃的各种性能还与 SiO₂ 原
料的纯度有关。

石英玻璃掺入各种杂质后，析晶性能会
有所下降。掺铈石英玻璃管在 1250°C 管型高
温炉中的析晶性能的实验证实，在 1160°C 高
温下，保温一小时，掺铈石英玻璃管仍然清
晰，不析晶。因此，采用掺铈石英玻璃管作
的脉冲氙灯是完全能满足激光器光泵的需要
的。

用气炼-电炉两次法拉制的掺杂石英玻

玻璃管的氢氧根含量，要比普通融石英气炼管低得多。脉冲氙灯中氢氧根的存在，不仅增加了灯内杂质气体的含量，提高了灯的着火电压，降低了光效，而且氢氧根在高温下分解的氢和氧，迫使电极中毒，造成了电极溅射的增加；同时，氢氧根对红外吸收的增加，使灯管壁在较低的功率负载下就开始发白，影响了氙灯寿命。因此，氢氧根的减少对脉冲氙灯寿命提高是有益的。

掺铈石英玻璃在氙灯强紫外辐照下，经千万次照射后，其滤紫外光的性能基本不变，甚至有所改善(见图8)。这是由于长期紫外辐照，使掺铈石英玻璃中的三价铈离子，在光量子的作用下放出电子，氧化成了四价铈：



而四价铈吸收紫外光的性能优于三价铈。这与 И. М. Бужинский 的实验结果^[3]也完全一致。

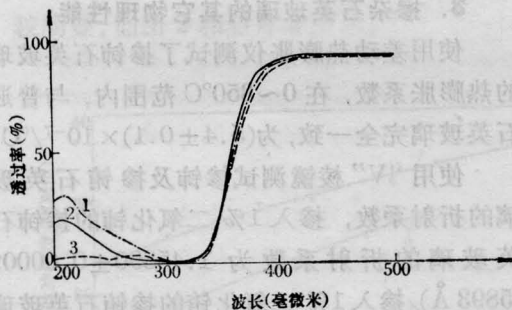


图8 掺铈石英氙灯管壁寿命实验前后的光谱曲线

1—尚未点燃的新灯管光谱曲线；2—已点燃250万次的灯管光谱曲线；3—已点燃1300万次的灯管光谱曲线

三、掺铈石英玻璃管脉冲氙灯的基本性能和不同滤光材料的性能比较

1. 掺铈石英玻璃管脉冲氙灯的基本性能

掺铈石英玻璃管脉冲氙灯的电、光特性与普通融石英氙灯完全一样。在每秒100次，

固定储能电容为100微法，改变充电电压时，输入平均功率为5000瓦、6000瓦、7000瓦时，分别对 $\phi 10 \times 80$ 毫米的掺铈石英管灯进行了寿命试验，其辐射效率变化的曲线示于图9。可见经千万次寿命试验后，相对辐射效率下降小于百分之五。Lowell·Noble^[4]作氙灯寿命试验表明，普通石英管壁氙灯在百万次点燃时，有用光输出下降15%，这是由于氙灯管壁经紫外辐照产生色心之故，以后九百万次光输出基本不变；掺铈石英管氙灯在寿命试验期间，光输出下降约6.4%左右。这与我们的实验结果基本一致。据 ILC 公司报导，水冷却、吸收紫外的石英管脉冲氙灯，功率负载上限为每平方厘米160瓦，而我们实验的掺铈石英管脉冲氙灯在冷却水流量为每分钟6立升时，功率负载已达每平方厘米380瓦，且经1300万次点燃后，灯管仍未产生色心、析晶、龟裂，透明度也基本不变(见照片1)。这充分说明我们协作试制的掺

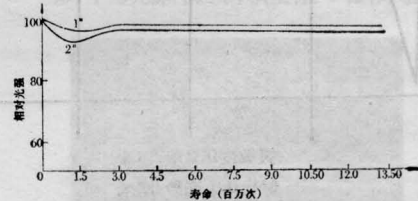


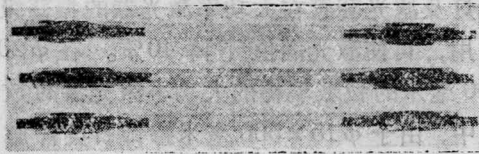
图9 掺铈石英管灯的辐射效率随点燃寿命变化的试验曲线

1# 寿命灯

电容(微法)	电压(伏)	能量(焦耳)	功率(瓦)						
100	1200	72	7200						
寿命(万次)	18	54	90	106	230	270	396	1050	1260
相对光强	1.00	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97	0.98	0.97	0.97

2# 寿命灯

电容(微法)	电压(伏)	能量(焦耳)	功率(瓦)						
100	1100	61	6100						
寿命(万次)	18	54	126	162	270	342	486	648	1300
相对光强	1.00	0.96	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.98



照片1 在不同平均功率条件下经千万次点燃后的脉冲氙灯在高频火花检漏器激发下的荧光照片
(上: 5000 瓦; 中: 6000 瓦; 下: 7000 瓦)

掺石英玻璃管的平均面功率负载强度是足够高的,性能是稳定的。

用平面光栅摄谱仪分别拍摄普通石英玻璃管、掺铈石英玻璃管、掺钨石英玻璃管制作的脉冲氙灯及不同材料的滤光套管时的紫外相对辐射光谱,用测微光度计描绘黑度曲线示于图 10。显然普通石英氙灯加掺钨滤光套管后,紫外辐射明显地减少了。采用掺铈石英管脉冲氙灯加掺钨滤光套管后,辐射光谱在紫外区 370 毫微米处已基本截住了,最理想的是掺钨石英管作的脉冲氙灯加掺钨滤光套管,其辐射光谱在紫外区 380 毫微米就截止了。

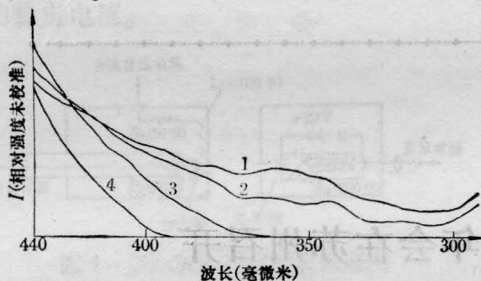


图 10 普通石英管壁和掺杂石英管壁的脉冲氙灯在使用不同材料的滤光套管时的紫外区相对辐射光谱图

序号	氙灯管壁材料	冷却套管材料
1	普通石英玻璃	普通石英玻璃
2	普通石英玻璃	掺钨石英玻璃
3	掺铈石英玻璃	掺钨石英玻璃
4	掺钨石英玻璃	掺钨石英玻璃

2. 不同滤光材料的性能比较

我们分别对 GG-17 玻璃、重铬酸钾水溶液、亚硝酸钠水溶液、硒硫化镉黄玻璃套管、

1# 滤光玻璃套管、自来水等滤光材料进行了吸收谱的测试,见图 11。重铬酸钾水溶液的截止波长随浓度的变化而变化,一般在 550 毫微米左右,这就可能把钨离子的 430 毫微米、480 毫微米、520 毫微米等的吸收峰滤除,因此激光器的激光效率就会明显下降。掺铈及掺钨石英玻璃不仅与 1# 滤光玻璃具有相似的滤光特性,它们都能滤除导致工作物质产生色心的紫外辐射,而且掺杂石英玻璃还能吸收紫外辐射,经荧光转换为钨工作物质有用的可见辐射(见图 3 和图 4),可见区的损失也比重铬酸钾水溶液、亚硝酸钠水溶液及硒硫化镉黄玻璃管要小,另外由于石英玻璃的良好热稳定性和高破坏强度,使掺杂石英玻璃比 1# 滤光玻璃等其它滤光材料更适合于激光器的应用。

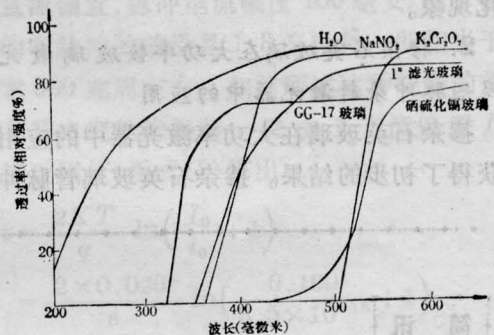


图 11 各种滤光材料的光谱曲线

四、不同滤光材料的灯和套管在固体激光器中的性能比较

1. 在 Nd:YAG 激光器中的应用

在 Nd:YAG 重复频率激光器中,用 $\phi 10 \times 80$ 毫米的氙灯,泵浦 $\phi 6 \times 70$ 毫米的 Nd:YAG 棒,在输入能量为 50 焦耳及其它条件不变时,对下述三类滤光方法进行激光效率的比较:第一类用普通石英玻璃管脉冲氙灯,配上 GG-17 玻璃套管,通百分之一重铬酸钾水溶液冷却;第二类用硒硫化镉黄色玻璃套管,通自来水冷却;第三类用掺杂石英管脉冲氙灯及滤光套管,通自来水冷却。实验结果

表明,采用掺杂石英玻璃管脉冲氙灯及滤光套管的激光器比采用重铬酸钾滤光溶液的激光器件,激光效率提高50~100%,比使用硒硫化镉黄色玻璃套管作滤光材料的激光器件高50%,而且随着输入工作能量的降低,效率的提高还将更加显著。Lowell·Noble^[4]在Nd:YAG激光器件中,采用吸收紫外的石英玻璃管脉冲氙灯,选用预电离的方法,在10焦耳输入时,激光效率约提高50%。

掺杂石英玻璃管制作的脉冲氙灯及滤光套管在重复频率(40次/秒)Nd:YAG激光器中的寿命试验已进行了240万次,未发现激光输出有明显下降。

采用掺铈石英管脉冲氙灯和掺铈滤光套管后的固体激光器,在每秒100次点燃条件下,经一小时连续使用,未发现银腔有明显的氧化现象。

2. 掺杂石英玻璃在大功率钨玻璃激光器及短脉冲染料激光器中的应用

掺杂石英玻璃在大功率激光器中的应用也获得了初步的结果。掺杂石英玻璃管脉

氙灯及滤光套管在大功率激光器的振荡级中应用,可使激光阈值下降40%。在 $\phi 20 \times 500$ 毫米的钨玻璃棒的大功率激光器的放大级中,由于 $\phi 15 \times 500$ 毫米掺铈石英管脉冲氙灯的应用,当输入能量为7200焦耳,闪光脉宽小于500微秒时,可使放大器增益提高25%。且经上千次工作后,增益仍相当稳定。

在氙灯泵浦的染料激光器中,仅仅把染料管改用掺铈石英管就使染料激光器的输出增加17%。

实验得到了兄弟所室组的大力帮助,文章曾与张基林、朱宝铃、吴光照等同志进行了有益的讨论,仅表感谢。上海激光技术研究所王胜利、金杏娣、蒋明华同志曾参加部分研究工作。

参 考 文 献

- [1] UCRL-50021-74, California University, 1975.
- [2] G.J. B. Willis, M. Dixon; *J. Crystal Growth*, 1968, 3-4, 236-240.
- [3] И. М. Бужинский; *ОМП*, 1968, №11, 50.
- [4] AD-775400; AD-751212; AD-742734.

简 讯

江苏省激光学会第二届年会在苏州召开

1981年6月3日至6日,江苏省激光学会在苏州召开第二届年会,来自科研机构、大专院校、工厂等六十多个单位的一百多名代表参加了会议。本届年会共收到有关激光新器件、新工艺、新应用等方面的论文报告50多篇,有40多篇在全体会议或分组会议上进行了交流。

本届年会还发展了江苏省第一批激光学会会

员,确定了正、副理事长、理事及正、副秘书长人选,并对今后一、两年内的重大学术活动进行了适当安排。

会议期间,代表们还参观了江苏师范学院的激光实验室,对该校的白光再现全息照相、超声全息及全息彩虹滤色镜等留下了深刻的印象。

(吉 禾)