

芯飞睿技术参数十问 系列

初始透过率 T_0

初始透过率 T_0

一、什么是初始透过率

初始透过率（初始透射率），是被动调Q激光器中一项非常重要的参数，对激光器性能起关键作用。初始透过率，是饱和吸收体特有的，在初始吸收率条件下的透过率。对于常见的人工饱和吸收体，例如Cr:YAG晶体，吸收率会随着泵浦激光的光强改变而改变，而在微弱信号，也就是光功率很低的情况下，Cr:YAG晶体对激光的透过率即为其初始透过率，一般用 T_0 表示。透过率的改变，可以看作是材料的内透射率发生改变的结果。



图1. 常见饱和吸收体 Cr:YAG晶体

二、什么是饱和吸收体

要充分了解初始透过率，首先介绍一下饱和吸收体。饱和吸收体，也称可饱和吸收体，是对光具有一定吸收损耗的光学元件，在高光强度下，吸收损耗会降低。当入射光强超过可饱和吸收体的阈值时，光学损耗变小，透过率增大。其比较重要的参数是：波长范围、调制深度、恢复时间、饱和通量、饱和强度阈值和损伤阈值。其原理是：饱和吸收体被光激发，基态的载流子被激发到激发态，若光强较大，基态离子被耗尽，激发态被部分离子占据，因此吸收达到饱和。

其作用主要是对激光器进行被动调Q或被动锁模。

一般对饱和吸收体有以下要求：

- 对泵浦光波长有吸收峰；
- 吸收截面远大于工作物质的吸收截面，使饱和光强较小，容易“漂白”；
- 优异的理化特性；
- 辐射稳定性；

常见的饱和吸收体主要有Co:Spinel, Cr:YAG, V:YAG, Cr:YSO, Cr:GSGG等。



图2. 常见饱和吸收体 Co:Spinel晶体

三、什么是内透射率

前面提到，材料（饱和吸收体）透过率的改变，可以看作是材料的内透射率发生改变的结果。内部透射率描述的是关于吸收造成的能量损失，而（总）透射率描述的是由于吸收、散射、反射等造成的能量损失。

四、初始透过率和透过率的区别

那么初始透过率和我们常说的透过率或透射率，有何区别？拿Cr:YAG晶体举例，初始时透过率较低，腔内阈值较大。随着腔内光强增大，Cr:YAG被“漂白”，相当于透过率接近100%，这时腔内阈值变低，故输出脉冲激光。通俗来讲，刚开始的透过率就是初始透过率，而透过率应该包含初始透过率和饱和后的透过率。实际测量中，用普通光谱仪测得的透射率一般都是初始透过率。

五、材料的初始透射率受什么因素的影响

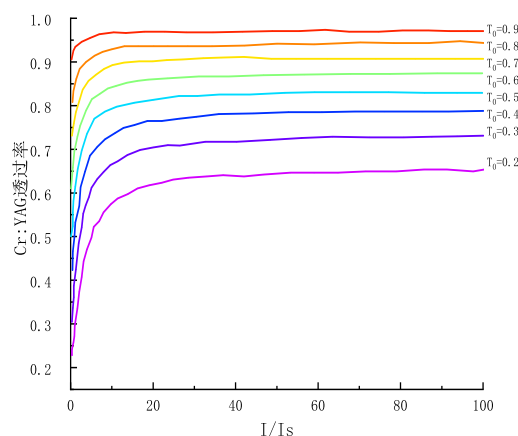


图3. Cr:YAG透射率的变化

饱和吸收体的透过率随腔内的功率密度变化。还是拿Cr:YAG晶体举例，上图为其透过率随着归一化的激发功率密度的变化情况。可以看出，透射率的变化趋势相同，且饱和的透射率随着初始透射率的增大而增大。而饱和吸收体的初始透射率主要由材料的初始吸收系数和材料厚度决定，而材料的吸收系数受材料的掺杂浓度影响。简单由公式表达即为：

$$T = e^{-a \cdot L} = \begin{cases} \lim_{I \rightarrow 0} a = \alpha_0, T = T_0 = e^{-\alpha_0 \cdot L} \\ \lim_{I \rightarrow \infty} a = 0, T = 1 \end{cases} \quad \text{方程 (1)}$$

其中T表示材料透射率， α 表示材料吸收系数，I表示泵光强度，L表示材料厚度。

六、材料的初始透射率对激光的输出有什么影响

初始透射率对被动调Q激光器的输出性能有显著的影响。概括来说，其对被动调Q激光器的斜率效率、脉冲宽度、重复频率、远场光斑、平均功率、单脉冲能量，峰值功率产生影响。下面来详细举例：

1. 激光输出脉冲宽度与饱和吸收体Cr:YAG的初始透射率的关系：

如下图所示为实验测得的激光输出脉冲宽度与饱和吸收体Cr:YAG的初始透射率的关系。

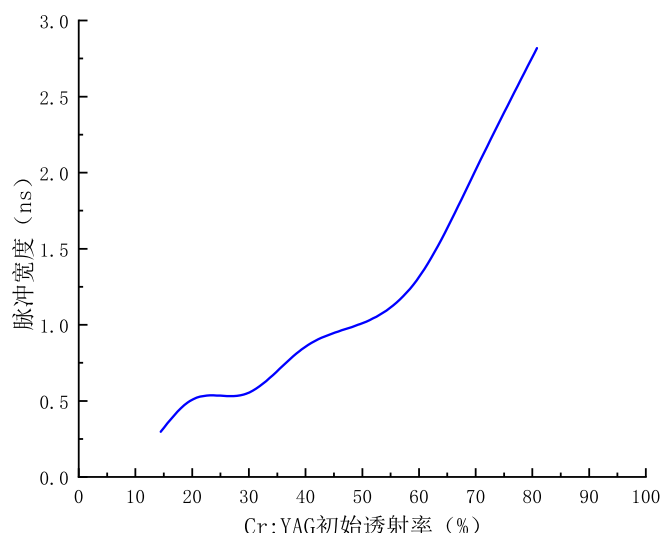


图4. 脉冲宽度随Cr:YAG初始透射率的变化

从图4可以看出，输出激光的脉冲宽度随着Cr:YAG初始透射率的增加而增加，在初始透射率较小时，脉冲宽度缓慢增加；在初始透射率较大时，脉冲宽度增加较快。

2. 激光输出能量与饱和吸收体Cr:YAG的初始透射率的关系：如下图所示为实验测得的激光总输出能量、单脉冲能量与饱和吸收体Cr:YAG的初始透射率的关系。

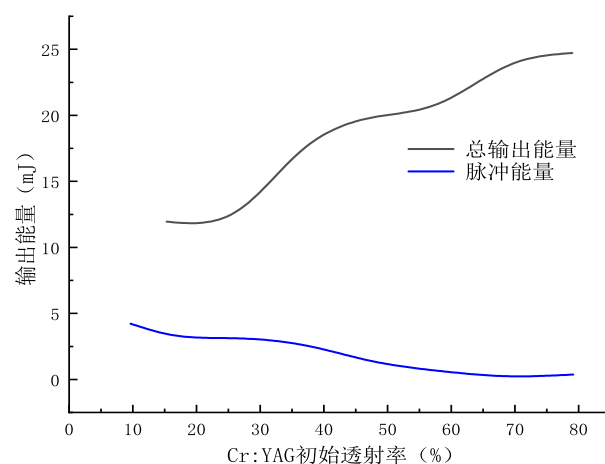


图5. 总输出能量和单脉冲能量随Cr:YAG初始透射率变化

从图5可以看出，总输出能量随着初始透射率的增加而增加，而单脉冲能量则随着初始透射率的增加而减少。

3. 其他影响

如下图所示为饱和吸收体Cr:YAG的各向异性与其初始透射率的关系。

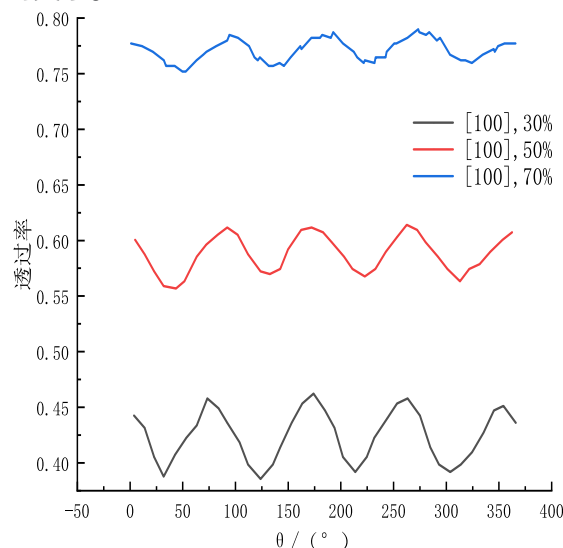


图6. 不同初始透射率Cr:YAG的各向异性

从图6可以看出，Cr:YAG晶体的各向异性随着其初始透射率的增加而越来越不明显。而更加明显的各向异性能得到相对稳定的偏振输出激光。

七、为什么要测量和选择材料的初始透射率

从上文的初始透射率与激光输出特性的关系不难看出，初始透射率的选择对被动调Q激光器的输出性能有显著的影响，因此测量材料的初始透射率和选择适当的初始透射率，是至关重要的。下图是一些具有不同初始透射率的Cr:YAG晶体展示。



图7. 不同初始透射率 (To) 的Cr:YAG晶体

八、如何测量计算材料的初始透射率

在这里，我们给出了饱和吸收体初始透射率的近似计算公式，如下：

如方程 (2) 所示，材料的第一面与第二面透射的总透射率 T_{total} 为：

$$T_{total} = \frac{T^2 e^{-\alpha l}}{1 - R^2 e^{-2\alpha l}} \quad \text{方程 (2)}$$

如方程 (3) 所示，材料的第一面与第二面反射的总反射率 R_{total} 为：

$$R_{total} = R + \frac{RT^2 e^{-\alpha l}}{1 - R^2 e^{-2\alpha l}} \quad \text{方程 (3)}$$

如方程 (4) 所示，材料的初始透射率 T_0 为方程 (2) 与方程 (3) 相加：

$$T_0 = T_{total} + R_{total} = \frac{T^2 e^{-\alpha l}}{1 - R^2 e^{-2\alpha l}} + R + \frac{RT^2 e^{-\alpha l}}{1 - R^2 e^{-2\alpha l}} \quad \text{方程 (4)}$$

如方程 (5) 所示，材料的吸收系数 α 为：

$$\alpha = -\frac{\ln\left(\frac{-T^2 + \sqrt{T^4 + 4T_{total}^2 R^2}}{2T_{total} R^2}\right)}{l} \quad \text{方程 (5)}$$

其中， l 为材料厚度， T 和 R 分别为材料端面的透射率和反射率。

九、材料的初始透射率在什么范围

通过改变材料的掺杂浓度和材料厚度，能生产不同初始透射率的材料，主要限制于工艺难度和成本。一般来说，常见的饱和吸收体，例如Cr:YAG晶体，初始透射率 T_0 的范围在20%-95%；例如V:YAG晶体，初始透射率 T_0 的

范围在30%-97%；而Co:Spinel晶体初始透射率 T_0 的范围在30%-90%。

十、用户如何匹配应用需求选择合适系数的材料

上文我们分析了饱和吸收体的初始透过率如何对被动调Q激光器的输出造成影响，以及哪些参数决定了材料的初始透过率，可见如何匹配应用需求，选择合适相关系数的材料是至关重要的。

例如，为了降低脉冲宽度、增加单脉冲能量，往往选择通过改变材料的长度或掺杂浓度来降低其初始透过率。但是当其初始透过率较低的时候，激光总输出能量会降低，输出激光的脉冲波形恶化的较快，为了得到优良的输出波形，只能限制输出的重复频率。

因此，在实际应用中需要选择合适系数的材料才能匹配需求。比如应用于激光打孔、激光打标、激光焊接等的1064nm Nd:YAG激光器，饱和吸收体Cr:YAG的初始透射率应该在合理范围内选择较小的值，并配合激光器其他组成部分，如激发光源、谐振腔、输出镜等的合理选择，才能达到理想的输出。

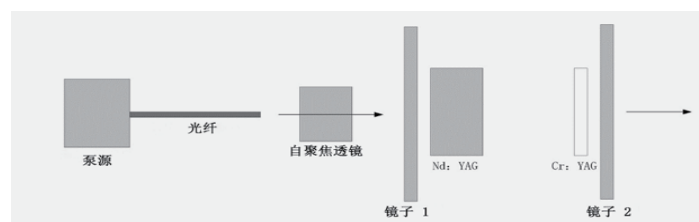


图8. 1064nm Nd:YAG激光器

参考文献

- [1] Chen, Zaijun, et al. "Comparison of passively Q-switched LD side-pumped green laser by using Nd^{3+} : YAG/ Cr^{4+} : YAG/YAG composite crystals of different initial transmissions." Optics & Laser Technology 54 (2013): 362-366.
- [2] https://www.rp-photonics.com/saturable_absorbers.html
- [3] 王雷. 亚纳秒被动调 Q1064nm 激光器的研究. MS thesis. 长春理工大学, 2015.
- [4] 张思, et al. "利用 Cr^{4+} : YAG 晶体的各向异性提高输出激光消光比的实验研究." 激光与光电子学进展 56.16 (2019): 161401.

相关推荐



有什么问题请联系我们的
技术工程师，在线为
您解答



了解更多资讯，请关
注我们的公众号--上海
芯飞睿科技有限公司

