

多段阵列式钕玻璃放大器的漫反射器的研究*

冯国英 吕百达

(四川大学激光物理与化学研究所, 成都, 610064)

摘要: 用光线追迹和蒙特卡罗法建立了含有漫反射器的多段阵列式钕玻璃放大器(MSA)的泵浦模型, 程序中采用了闪光灯辐射谱和钕玻璃的吸收谱实验数据。模拟结果表明, 采用漫反射器可得到高的光传输效率和好的光能量分布均匀性。

关键词: 多段阵列式放大器(MSA) 漫反射 光线追迹和蒙特卡罗法

Study of the multisegment amplifier with diffuse reflector*

Feng Guoying, Lü Baida

(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract A numerical simulation model for the multisegment amplifier (MSA) with diffuse reflector has been built up by using ray-tracing and Monte Carlo methods. In our simulation, experimental data of the flashlamp radiation and Nd: glass absorption spectra have been considered. Numerical calculations have been performed, showing that both high transfer efficiency and good pumping energy distribution uniformity can be obtained in the use of the diffuse reflector.

Key words: multisegment amplifier (MSA) - diffuse reflectance ray-tracing and Monte Carlo methods

* 本工作得到国家高技术 863 青年科学基金和国家高技术惯性约束聚变委员会的资助。

发现激光器中的 4000V 调 Q 高压放电对 8098 单片机的工作有较大的影响, 在进行严格屏蔽后控制器能稳定工作。

五、结 论

采用 8098 单片机作为激光器脉冲时间定位部件后, 以数字信号代替模拟信号来触发激光器, 大幅度地降低了激光脉冲抖动时间, 这对开放式多进制 PPM 调制激光水下通信和地貌探测有较大的实用意义。

参 考 文 献

- 1 朱晓强, 姚志石编著. 8098/8096 单片机原理及应用. 上海: 复旦大学出版社, 1993: 5

作者简介: 黄 涛(附照片), 男, 1970 年出生。现在华中理工大学攻读光电子硕士学位。主要从事固体激光技术及应用、信号检测与控制的研究。

毛少卿, 男, 1936 年出生。教授。从事激光物理、非线性光学和激光器件的研究及教学。编著有《非线性光学》、《激光物理》等教材。

温中一, 男, 1937 年出生。副教授。长期从事固体激光技术及应用的研究, 医用激光手术器的研究。

杨 涛, 男, 1967 年出生。工程师。从事固体激光技术及应用的研究。现在华中理工大学攻读硕士学位。

一、引言

图1所示的多段阵列式放大器(MSA)是新一代惯性约束聚变激光驱动器的关键部件之一。其中,激光增益介质磷酸盐钕玻璃形状为矩形,与激光束传输方向呈布儒斯特角放置,片的排布为 $m \times n \times k$ (m 为水平方向的片数, n 为垂直方向的片数, k 为在激光传输方向的片数),片的两侧被脉冲氙灯列阵泵浦。当片的排布为 $4 \times 4 \times k$ 时,有 $1/2$ 的片面向两侧的反射器。当片的排布为 $8 \times 8 \times k$ 时,有 $1/4$ 的片面向两侧的反射器。在MSA设计中,选择合适特性的反射器使边缘片的储能效率高和增益分布均匀性好是十分重要的。本文主要研究漫反射器的特性,通过成象反射与漫反射泵浦腔的光传输效率和储能效率的比较,说明泵浦腔的反射特性对MSA工作特性的影响,为惯性约束聚变激光驱动器主放大器的设计提供参考。

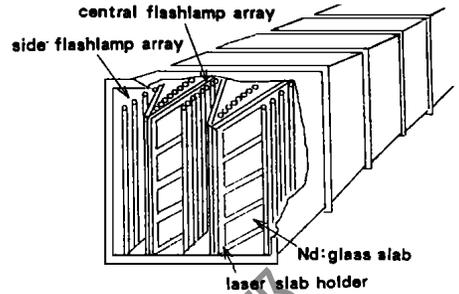


Fig. 1 A schematic illustration of the multisegment amplifier

二、计算模型

光在物体表面的漫反射或散射是非常普遍的现象,其实质是被照明物体将反射的光通量向周围空间内的所有方向传播,而定向的反射基本消失。一切实际的漫反射物体的表面亮度都与照明方向有关,反射光通量在周围空间的分布也随照明条件的变化而改变。本文中,将所用漫反射表面视为理想漫反射面(即反射体表面在 2π 立体角内所有方向的辐射亮度均相同,因其遵循朗伯定律,故称为朗伯体或理想漫射体。),但它与理想漫反射面不同的是考虑到漫反射器引入的损耗,它的总的能量反射率一般不为1,例如设为 $R = 80\%$ 。

氙灯的发光特性主要取决于电流强度,也与氙灯内径和管内充氙气的压强有关。H. T. Powell等人建立了氙灯辐射模型^[1],有效范围为:脉冲持续时间 $10\mu\text{s} \leq \tau \leq 10\text{ms}$,电流强度 $300 \leq J \leq 10^4 \text{A}/\text{cm}^2$,氙灯内径 $0.2 \sim 2\text{cm}$ 。在本文中,所用的氙灯辐射谱和氙灯吸收谱是利用该模型,当氙灯直径 $d = 1.5\text{cm}$,氙灯内压强 $p = 39474\text{Pa}$,输入功率 $P_{\text{in}} = 20.1\text{kW}/\text{cm}^2$ 时进行计算后得到的。氙灯表面的辐射可看成是朗伯辐射光源,我们引入蒙特卡罗法描述氙灯表面向 4π 空间随机发射光线^[3],光线在灯表面的出射方向和携带的能量统计上具有朗伯辐射特性。灯等离子体对泵浦光的吸收与灯穿过等离子体的长度有关,出射的泵浦光由于氙灯等离子体对不同波长的吸收不同,光谱成分发生改变。

氙灯发出的光能中,只有能够进入工作物质并且处于共振吸收带内的一部分光才能被吸收,对增益有贡献。我们用罗仑茨函数拟合了M93-N2F-22型磷酸盐钕玻璃的吸收谱,与实验测得值^[2]符合很好。

MSA中的钕玻璃片是与激光传输方向成布儒斯特角竖直放置的,可在垂直于灯轴线的水平方向截面上和过灯轴线的垂直方向截面上分别用二维光线追迹和蒙特卡罗法进行数值模拟。程序的编制是相当复杂的,应当考虑氙灯辐射光谱和钕玻璃的吸收谱,灯等离子体对泵浦光的吸收谱,光被腔壁反射时的能量损耗,光在片表面的菲涅尔反射损耗,不同光谱成分的光线在钕玻璃片内的行进时能量被吸收以及量子效率等问题。在光线追迹过程中,所追迹的光

线数大于 60 万条,若光遇到的是成像型反射面,则遵从反射定律;若光遇到的是漫反射表面,则服从朗伯定律向 2π 空间随机发射光线,漫反射表面的总能量反射率确定出射光的能量。当光线的反射次数大于 20 次时(由于反射损耗,能量已衰减到很小)或当光线穿过片时,即停止对它的追迹。

三、数值计算结果

在板条水平方向截面上,我们对如图 2a, b 和 c 所示的平板形、柱面和双渐开线形的泵浦腔分别假设反射器为成像型和漫反射型进行了光线追迹研究。设片处于非端头位置,当 MSA 在激光传输方向上片数较多时,可将泵浦腔的顶部和底部的反射率视为 $R = 100\%$ 。令反射器的反射率 $R = 80\%$ 。成像型平板反射器泵浦光的在板条表面的分布如图 3a1 所示,相应的漫反射器的则示于图 3a2。成像型柱面反射器泵浦光的在板条表面的分布如图 4a1 所示,相应的漫反射器的则示于图 4a2。成像型双渐开线反射器泵浦光的在板条表面的分布如图 5a1, b1 所示,相应的漫反射器的则示于图 5a2。

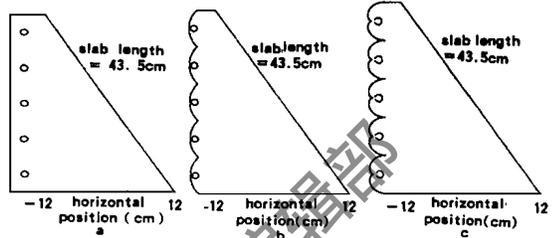


Fig. 2 a—Flat b—cylindrical c—involute pumping cavity

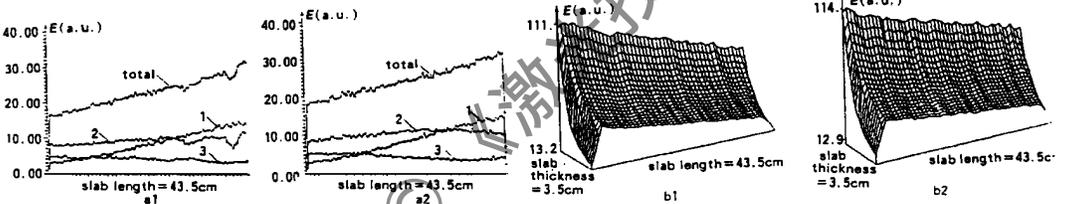


Fig. 3 Calculated relative pumping energy distribution of the direct incidence (1), after one reflection (2), after two reflections (3) and of the total incidence (total) for pumping cavities with (a1) flat reflector, (a2) flat diffuse reflector. Calculated stored energy density distribution at the horizontal section of the pumping cavities with (b1) flat reflector, (b2) flat diffuse reflector

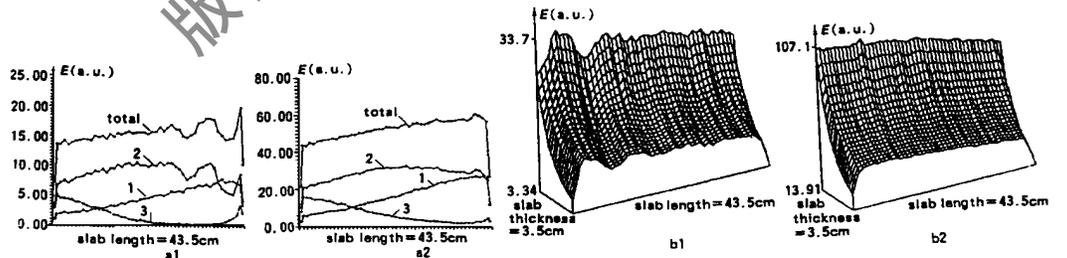


Fig. 4 Calculated relative pumping energy distribution of the direct incidence (1), after one reflection (2), after two reflections (3) and of the total incidence (total) for pumping cavities with (a1) cylindrical reflector, (a2) cylindrical diffuse reflector. Calculated stored energy density distribution at the horizontal section of the pumping cavities with (b1) cylindrical reflector, (b2) cylindrical diffuse reflector

比较图 3a1, a2 可以看到,由于灯列阵与片在水平方向上是不平行的,氙灯光直接照射在板条上的分布是不均匀的,离灯近的部分直接照射的光能量较强,离灯远的部分较弱。成像型

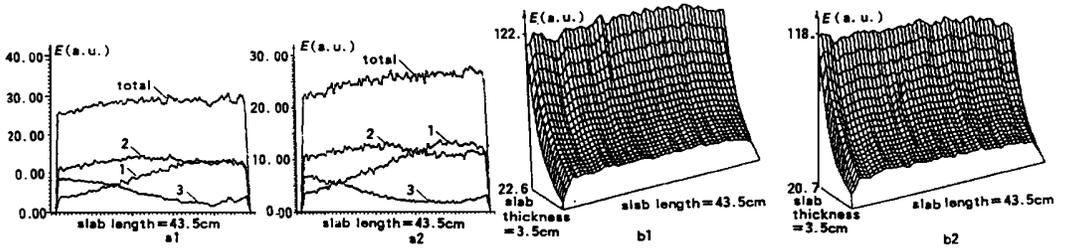


Fig. 5 Calculated relative pumping energy distribution of the direct incidence (1), after one reflection (2), after two reflections(3) and of the total incidence(total) for pumping cavities with (a1) involute reflector and (a2) involute diffuse reflector. Calculated stored energy density distribution at the horizontal section of the pumping cavities with (b1) involute reflector and (b2) involute diffuse reflector

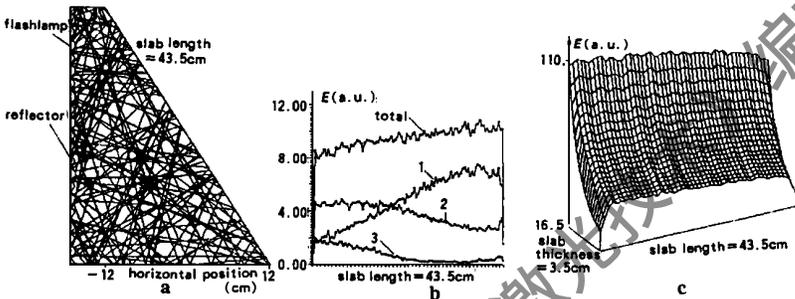


Fig. 6 a—Ray-tracing diagram b—calculated relative energy distribution of the direct incidence (1), after one reflection(2), after two reflections(3) and of the total incidence(total) c—calculated stored energy density distribution at the horizontal section for the cavity with internal diffuse diamond-shaped reflector

的平板反射器将泵浦光反射回片时光强分布略不均匀,采用理想漫反射器的平板后反射光的分布变得均匀了。两者的光传输效率基本相等。若漫反射器能将入射光向 4π 空间随机漫反射时总的

能量反射率高于 90%, 则光传输效率还可进一步提高。由图 4a1, a2 可明显看到, 圆柱形表面采用漫反射后, 克服了这种成像器件带来的光分布不均匀的缺点, 且光传输效率保持不变。图 5a1 中采用的是双渐开线形成象反射器, 可将灯表面发射的光能量避开灯等离子体传输到片表面, 光传输效率最高。采用漫反射表面后, 漫反射光可射入灯等离子体, 光传输效率降低, 经过一次反射到达的片光能量与直射光能量的比值变小, 而均匀性变化不大(见图 5a2)。

在放大自发辐射(ASE)可忽略的情况下, 用光线追迹程序计算得到的单边灯列阵提供的储能密度在片水平方向的分布如图 3b1, b2, 图 4b1, b2, 图 5b1, b2。可见, 泵浦光分布的不均匀性影响介质内部吸收能量分布的不均匀性。

边缘片的反射器还应考虑片的对称泵浦问题, 这对片增益的均匀分布是很重要的。增益的均匀分布可保证激光放大时的光束质量。为了减小中间灯列阵的灯之间的直接辐射, 我们在灯之间加上一些小的菱形漫反射器。对非端头的情形进行光线追迹如图 6a 所示。片表面的

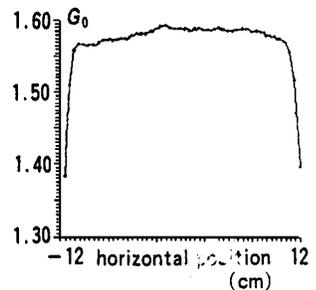


Fig. 7 Calculated horizontal gain distribution of the middle slab

泵浦光分布如图 6b 所示,有中间灯列阵对片提供的相对储能密度分布如图 6c 所示。适当调整片两面灯列阵的能量比,可使边缘片达到较对称的泵浦。在计算中,令边缘灯列阵与中间灯列阵单灯能量比为 1.0:1.07,设最大储能密度为 $0.79\text{J}/\text{cm}^3$,则在不考虑放大的自发辐射的前提下此片在水平方向上提供的增益分布如图 7 所示。

四、结 论

1. 经参数优化合理设计的漫反射腔可在光传输效率较高的同时达到较高的光分布均匀性,可以较容易地实现 MSA 边缘片的两面对称泵浦,对增益的均匀分布有利。

2. 比较图 3a1 和 a2 可见,平板漫反射腔内片表面的泵浦光分布较平板成象腔的较为均匀,沿平行片表面方向的储能密度分布也略为均匀(参见图 3b1 和 b2)。若漫反射表面总的能量反射率高于成象表面反射率,则平板漫反射腔的光传输效率可高于平板成象腔。

3. 比较图 4a1 和 a2 可见,柱面反射器采用漫反射表面后,泵浦光在片表面分布均匀性明显变好,在平行片表面的方向上储能密度分布变得较为均匀(比较图 4b1 和 b2),而光传输效率变化不大。为了减小灯之间的直接辐射,采用非平板形的漫反射器是合适的,例如参数合理设计的柱面漫反射器可以兼顾光传输效率和光分布均匀性。

4. 形状复杂的漫反射器不一定带来好的光分布均匀性,而且还可能降低光传输效率。如图 6 所示,成象型双渐开线形反射器能够将发自氙灯的能量避开灯等离子体导向钨玻璃片,光传输效率高,均匀性也较好(如图 5a1 所示),在平行片表面方向上储能密度分布也较均匀(见图 5b1);而采用漫反射表面后,经渐开线形状的优点没有得到体现,光传输效率降低,泵浦光在片表面的分布(见图 5a2)和水平方向截面内储能密度的分布(见图 5b2)未见明显变化。

为了减小灯之间的直接辐射,采用非平板形的漫反射器是合适的,例如参数合理设计的柱面漫反射器可以兼顾光传输效率和光分布均匀性。

在我们已建立的二维光线追迹程序基础上,可进一步用于研究 ASE 对漫反射泵浦腔的影响等问题。

感谢中国科学院上海光机所范滇元院士和丘悦博士与作者对有关问题所进行的有益讨论。

参 考 文 献

- 1 Powell H T, Relandson A C, Jancaitis K S *et al.* SPIE, 1990; 1277: 103
- 2 Campbell J H, Wallerstein E P, Hayden J S *et al.* Elimination of platinum inclusions on phosphate laser glass, Lawrence Livermore National Laboratory, U CR L-53932, Livermore, CA: 1990

3 Bafile U, M azzinghi P. SPIE, 1988; 1021: 120

4 Siegrist M R. Appl Opt, 1976; 15(9): 2167

* * *

作者简介:冯国英,女,1970 年出生。博士研究生。主要研究方向为新型和高功率固体激光器、光束传输变换和光学设计等。

收稿日期:1996-05-28

