

栅网耦合的光泵腔式亚毫米波激光器的工作参数优化*

冉 勇^{a, b} 秦家银^a

(^a中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室, 广州, 510275)

(^b荆州师范学院物理系, 荆州, 434104)

摘要: 采用半经典密度矩阵理论并运用迭代法对小型光泵腔式 NH_3 分子亚毫米波激光器的工作气压、输入输出网栅的功率反射系数等工作参数优化问题进行了深入的理论研究; 同时, 进行了相关的实验研究, 实验结果与理论计算符合得较好。

关键词: 光泵亚毫米波激光 参数优化 NH_3 分子

Optimization of the operating parameters of optically pumped cavity SMMW laser with meshes coupling

Ran Yong^{a, b}, Qin Jiayin^a

(^a Department of Electronics, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

(^b Department of Physics, Jingzhou Teacher College, Jingzhou, 434104)

Abstract Based on the density matrix equations and by means of the iteration method, the optimization of operating parameters including operating gas pressure, reflection coefficients of input and output meshes of the laser was studied theoretically. The measurement showed that the theoretical calculation were in agreement with experimental results.

Key words: optically pumped submillimeter wave (SMMW) laser operating parameters optimization NH_3 molecules

引 言

光泵亚毫米波激光器目前仍是该波段主要的相干信号源之一。而常规的光泵亚毫米波激光器体积庞大且笨重, 使用非常不便。林贻丞等发现增加工作气压可以使激光管长缩短^[1], 并研制成功长度仅有数厘米的小型超辐射式亚毫米波激光器^[2], 这一工作对亚毫米波激光器的实用化具有重要意义。然而, 超辐射式亚毫米波激光器输出功率较低, 波束的方向性较差, 腔式激光器在调谐性和方向性上都比较好, 对提高输出光强也有一定作用。而如何进一步改善腔式毫米波激光器的性能以及如何提高其输出功率是一个重要的研究课题。我们从理论和实验上深入地研究小型光泵腔式 NH_3 分子亚毫米波激光器的工作参数优化问题, 对指导研制小型高效亚毫米波激光器具有一定的意义。

1 理论计算

用 TEA CO_2 激光器 10R(8) 谱线泵浦 NH_3 分子激光器, 可得波长为 $281\mu\text{m}$ 的亚毫米波激光。 NH_3 分子系统与 CO_2 -10R(8) 谱线(967.70719cm^{-1}) 相近的振动跃迁为 $s \rightarrow aQ(2, 2)$, 对应

* 国家自然科学基金资助。

的泵频偏为 -0.0327cm^{-1} ，这一光泵亚毫米波激光过程可以用量子系统的密度矩阵方程来描述和计算^[3]。

1.1 最佳工作气压

在实验上最容易控制和改变的工作参数是工作气压。在其它参数一定的情况下，适当调整工作气压可以使激光器的输出光强最大，相应的工作气压称为该条件

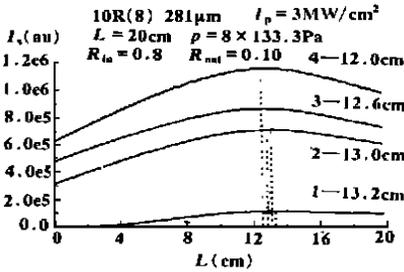


Fig. 2 Activated length of each propagation path

们计算了亚毫米波信号在腔中来回反射时各次的激活长度，如图 2 所示。计算表明工作气体压强的增大，将导致激活长度的减小。

1.2 输出网栅的最佳功率反射系数

我们计算了不同工作参数下的输出光强与输出网栅的功率反射系数之间的关系曲线，结果如图 3 所示。计算表明，输出网栅存在一个使输出光强达到最大的最佳反射系数，其最佳值一般在 0.05 到 0.18 之间，取决于不同的其它工作参数，如泵浦功率密度、谐振腔腔长等。随着腔长的增加，输出网栅的最佳反射系数也略微增大；而随着泵浦功率密度的增加，其最佳反射系数将有所下降。另外，随着输入网栅反射系数 R_{in} 的增大，总输出光强 I_s 也随之增大。

1.3 工作参数间的制约关系

在其它工作参数一定时，我们计算了总输出光强、输出网栅的功率反射系数和工作气压之

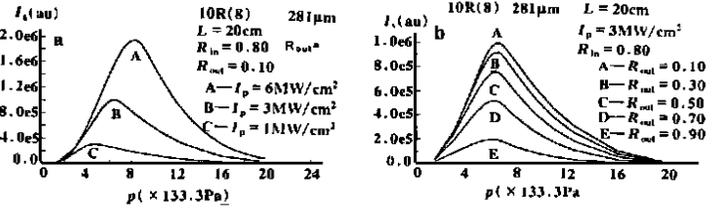


Fig. 1 The relation curves between the output power I_s and the operating gas pressure P

下的最佳工作气压 P_{opt} 。由于光泵亚毫米波激光的最佳工作气压值 P_{opt} 与泵浦功率密度 I_p 、谐振腔腔长 L 、腔的输入输出耦合系数 R_{in} , R_{out} 以及亚毫米波信号波长 λ 有关，即 $P_{opt} = f(I_p, L, R_{in}, R_{out}, \lambda)$ 。为此，我们计算了激光器在不同条件下的 $I_s \sim P$ 曲线，结果如图 1 所示。计算结果表明，在其它条件一定的情况下，最佳气压值 P_{opt} 随着谐振腔长度 L 的增加而减小，随泵浦功率密度 I_p 的增大而增大。另外，输出网栅的功率反射系数对最佳气压值也有一定的影响。同时，我

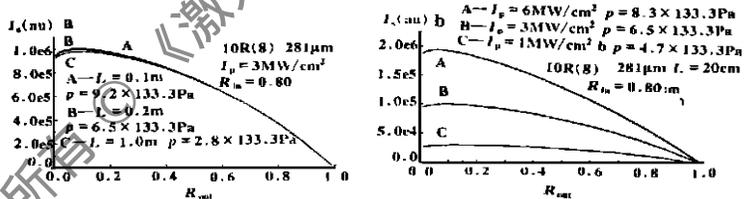


Fig. 3 The relation between the output mesh reflection coefficient R_{out} and the output power I_s

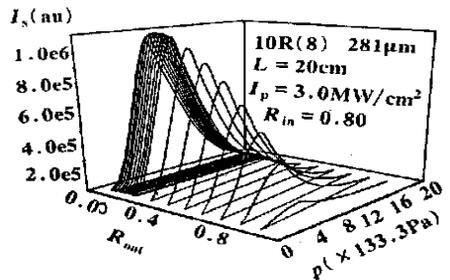


Fig. 4 The relation among the total output power I_s , the output mesh reflection coefficient R_{out} and the gas pressure P

间的相互制约关系,如图 4 所示。由图可知,当泵浦功率密度为 $3.0 \times 10^6 \text{W/cm}^2$ 、腔长为 20cm、输入网栅反射系数为 0.8 时,综合最佳值 R_{out} 为 0.09, P 为 $6.5 \times 133.3 \text{Pa}$ 。

2 实 验

F-P 亚毫米波激光器由样品管、输入输出窗口和反射耦合器件三部分组成。样品管选取内径为 32mm、长度为 20cm 的硬质玻璃管。输入窗口为对中红外激光透过率高的 ZnSe 晶片,输出窗口为对亚毫米波激光透过率高同时对中红外激光完全不透明的 Teflon。在管内靠近两块窗口的地方装上一对由电铸形成的感性金属网栅,它对泵信号有较高的透过率。这一对网栅必须严格地保持平行以形成一个良好的谐振腔^[4]。

实验系统由 TEACO₂ 激光器、网栅耦合的 F-P

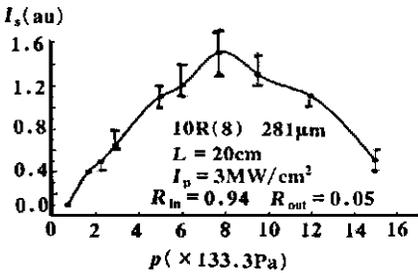


Fig. 6 The experimental curves of optimum operating gas pressure

腔式 NH₃ 分子亚毫米波激光器、测量系统以及真空系统组成。为了提高测量精度,测量系统采用双路检测方法,其中 FIR 激光波长的测量采用特制的亚毫米波 F-P 干涉仪^[5]。用 TEACO₂ 激光器的 10R(8) 线作泵浦源,测出了相应的 F-P 干涉图及最佳工作参数实验曲线,如图 5~ 图 8 所示。

图 5 是 281 μm 亚毫米波激光输出的 F-P 干涉图。可以看出,干涉图有两个干涉峰,两峰间距为 $139.5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$,则该谱线波长为 $279 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$ 。由图 6 知,在输入网栅反射系数为 0.94,输出网栅反射系数为 0.06 时,实验得到的最佳气压值是 $7.8 \times 133.3 \text{Pa}$,而该条件下的计算结果是 $7.7 \times 133.3 \text{Pa}$,两者符合得很好。进一步比较理论计算与实验结果可发现,不仅最佳工作气压的理论计算值与实验值相差较小,而且从理论和实验上分别得到的最佳工作气压随其它工作参数变化的规律完全一致。说明理论计算的最佳工作气压值有较好的参考价值,其变化规律对于设计最佳工作状态的光泵腔式亚毫米波激光器具有一定的指导意义。理论值与实验值的差异主要是计算中忽略了样品管缺陷以及窗口等引起的损耗,同时,实验测量中存在一定的误差。

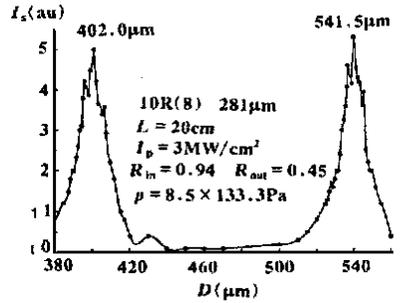


Fig. 5 The F-P interferogram of 281 μm FIR laser

图 7 表明最佳气压值 P_{opt} 随输出网栅的反射系数 R_{out} 增大而减小,但变化不是很大。图 8 表明在其它

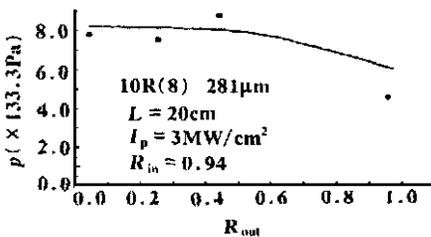


Fig. 7 The relation between the output mesh reflection coefficient R_{out} and the optimum operating gas pressure P_{opt}

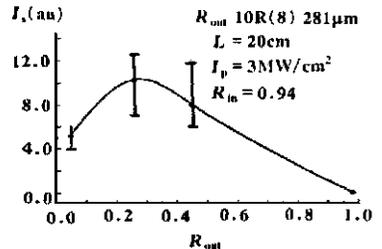


Fig. 8 The relation between the output mesh reflection coefficient R_{out} and the total output power I_s

工作参数一定的条件下,腔式 NH₃ 分子亚毫米波激光器的输出网栅存在一个最佳的亚毫米波功率反射系数,在该功率反射系数下,激光器的输出光强最大,与前面理论计算的结果相符。

光波导光束传输法数值分析新进展*

李安英 杨亚培
(电子科技大学, 成都, 610054)

摘要: 介绍了用于光波导数值分析的光束传输法(BPM)的新进展,并对这些方法的优缺点、适用场合作了分析比较。

关键词: 光波导 光束传输法 数值分析

Review of the new development of beam propagation method for analysis of optical waveguide

Li Anying, Yang Yapei

(The University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054)

Abstract The new development of beam propagation methods (BPM) for analysis of optical waveguide is introduced. Advantage, disadvantage and applicable condition of these methods are discussed. The comparison between them is described.

Key words: optical waveguide beam propagation method (BPM) numerical analysis

* 四川省青年科技基金资助。

由于各种规格的网栅品种所限,没有功率反射系数为 0.1 的网栅,因此,无法更精确地验证理论计算结果。

3 结 论

理论计算和实验结果表明:(1)腔式光泵亚毫米波激光器的最佳气压 P_{op} 随谐振腔腔长的增大而降低,最佳气压也随泵浦功率密度、输入网栅和输出网栅的反射系数的变化而变化。由于亚毫米波激光的输出由多种因素制约,为了得到最大的输出光强,需要对诸工作参数进行综合优化。(2)金属网栅具有长波反射率高,短波透射率高的特性,即对亚毫米波信号有较高的反射系数而对中红外泵浦信号有较高的透过率,适合作小型腔式光泵亚毫米波激光器的输入输出耦合器。其中,输出网栅的最佳反射系数应在 0.1~0.3 范围内选取。

参 考 文 献

- 1 Lin Y K, Qiu B Sh. Int J IR& MMW, 1987; 8(6): 673~ 689
- 2 罗锡璋,林贻莹. 电子学报, 1992; 20(11): 39~ 44
- 3 Qin J Y, Zheng X Sh, Luo X Zh *et al.* IEEE J Q E, 1998; 32(1): 32~ 39
- 4 秦家银,郑兴世,罗锡璋 *et al.* 电子学报, 1998; 26(11): 42~ 45
- 5 郑兴世,黎 耀,林贻莹. 红外与毫米波学报, 1993; 12(3): 229~ 232

作者简介:冉勇,男,1946年6月生。副教授。长期从事基础物理和激光物理等方面的教学和科研工作。