

多模 Ar⁺ 激光时间相干性 与输出功率的关系

印建平 朱士群 孙洪伟
(苏州大学物理系, 苏州 215006)

提 要

本文就多纵模 Ar⁺ 激光时间相干性(即相干长度)与输出功率的关系进行了实验观测,得到了相干长度与输出功率关系近似为双曲线函数的实验结果,并根据简单的 Smith 模型,对多纵模激光的时间相干性与输出功率进行了理论分析与数值计算。研究表明,理论与实验结果基本吻合。

关键词 多模 Ar⁺ 激光, 时间相干性, 输出功率。

1 引 言

多纵模气体激光时间相干性的理论分析与实验研究已有不少文献报道^[1~5]。但迄今为止,有关其时间相干性与输出功率关系的分析与研究尚未见到报道。为了进一步开拓多模 Ar⁺ 激光在全息显示与干涉计量等领域中的应用前景,本文对多纵模 Ar⁺ 激光相干长度与输出功率的关系进行了实验观测,报道了相应的实验结果,并从理论上进行了分析。

2 实验结果

作者采用文献[5]的实验装置与方法,测试了多模 Ar⁺ 激光的时间相干度曲线,即 $|\gamma(\Delta l)| \sim \Delta l$ 曲线。实验所用光源为美国 Spectra-Physics 171 型 Ar⁺ 激光器,实验中输出

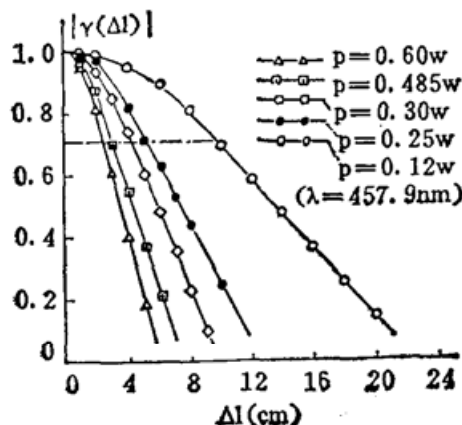


Fig. 1 The temporal coherence as a function of the optical path difference for $\lambda = 457.9 \text{ nm}$

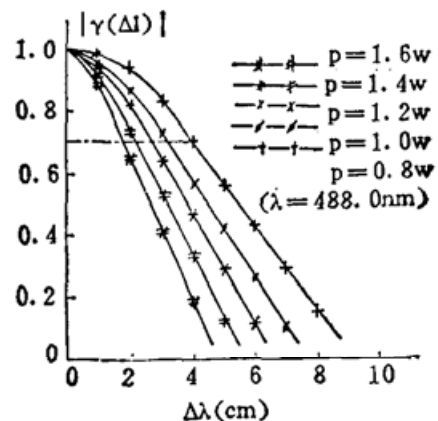


Fig. 2 The temporal coherence as a function of the optical path difference for $\lambda = 488.0 \text{ nm}$

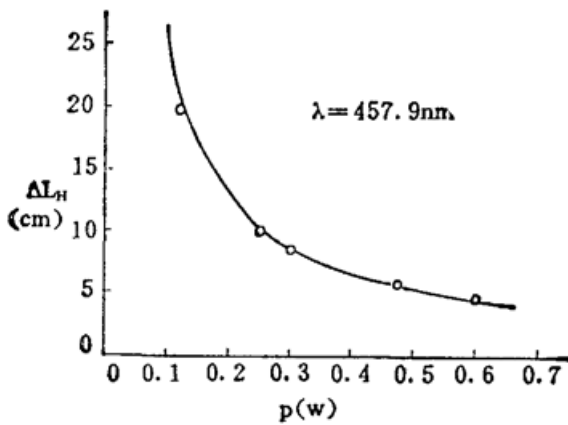


Fig. 3 The relationship between the coherence length and the output power for $\lambda=457.9$ nm

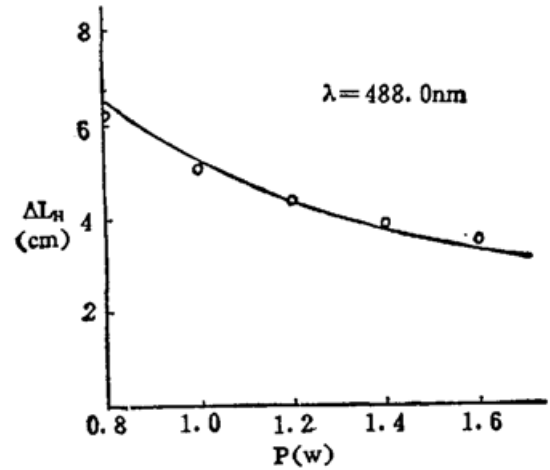


Fig. 4 The relationship between the coherence length and the output power for $\lambda=488.0$ nm

功率的改变是通过调节 Ar^+ 激光器的工作电流进行的. 实验结果如图 1~图 4 所示. 其中图 1、图 2 分别为 457.9 nm 线和 488.0 nm 线在不同输出功率下的时间相干度曲线; 图 3、图 4 分别为多模 Ar^+ 激光 457.9 nm 线和 488.0 nm 线的相干长度与输出功率关系的实验曲线.

由上述实验结果可知, 随着多模 Ar^+ 激光输出功率的降低, 激光时间相干性将有显著的改善(即其相干长度将有成倍的提高), 但其相干长度与输出功率的乘积近似不变.

3 理论模型与分析

3.1 理论模型

由于本文所研究的 Ar^+ 激光器腔长较长($L=1.71$ m), 阈值电流较大(当 $\lambda=488$ nm 时, $I_{\text{th}}=16$ A)使得纵模数 N 很大, 多普勒宽度 $\Delta\nu_D$ 很大, 因而其纵模频谱可采用 Smith 的等幅功率谱模型^[3]. 考虑到 Ar^+ 激光器在阈值电流附近工作时, 输出功率谱稳定, 振荡模之间相隔若干个共振腔模间隔(即腔模间距 $\Delta\nu_q$), 其中许多共振腔模不发生振荡^[6]. 设激光输出的空间模式为 TEM_{00} 模, 振荡纵模间距为 $\Delta\nu'_q (=k\Delta\nu_q)$, 每个纵模具有相同的输出功率, 即

$$P_1 = P_2 = \dots = P_N = P_0, \quad (1)$$

则在激光振荡带宽内具有 N 个纵模的激光光源的功率谱密度为

$$W_N(\nu) = P_0 \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \delta[\nu - (\nu_0 + n + \Delta\nu'_q)]. \quad (2)$$

式中 ν_0 为激光中心频率, N 为奇数时, 取 $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1)/2$; N 为偶数时, 取 $n=\pm 1/2, \pm 3/2, \dots, \pm(N-1)/2$;

根据 Wiener-Khintchine 定理和复时间相干度的定义

$$\left. \begin{aligned} \gamma_N(\tau) &= \Gamma_N(\tau) / \Gamma_N(0), \\ \Gamma_N(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} W_N(\nu) \exp(-i2\pi\nu\tau) d\nu. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

得到等幅功率谱模型下多纵模激光时间相干度的模为^[3,4]

$$|\gamma_N(\Delta l)| = \left| \frac{\sin(kN\pi\Delta l/2l)}{N \sin(k\pi\Delta l/2L)} \right| \quad (4)$$

式中 $k=2, 3, 4, \dots$, 对于给定的 Ar⁺ 激光器, k 为一常数. 鉴于较大阈值电流、低气压下工作的 Ar⁺ 激光器, 虽然均匀展宽度变得较为可观, 甚至使增益曲线上拉姆凹陷的宽度(烧孔宽度)比两个共振腔模间隔还要大, 但其真正参与振荡的纵模间隔 $\Delta\nu'_q$ 仍比共振腔膜间距 $\Delta\nu$ 大得多, 因而每个振荡纵模在增益曲线上独立烧孔. 根据简单的 Smith 等幅功率谱模型得到多纵模 Ar⁺ 激光器输出的总功率为

$$P(N) = \sum_{i=1}^M P_i = NP_0, \quad (5)$$

式中 P_0 为一个振荡纵模的平均输出功率.

3.2 理论分析

根据相干长度的定义^[7], 由(4)式通过数值计算即可求得不同纵模数 N 时的相干长度 Δl_H , 即 $\Delta l_H \sim N$ 曲线, 计算结果如图 5 所示. 由于同一理论模型下多纵模激光输出功率 $P(N)$ 与纵模数 N 成正比(见(5)式), 所以图 5 中的横坐标可改用激光输出功率 $P(N)$ 表示. 从图 5 不难看出, 在 Smith 的等幅功率谱模型下, 多纵模激光相干长度 Δl_H 与纵模数 N 之乘积十分接近于一常数(当 $N \geq 10$ 时), 即

$$N \cdot \Delta l_H = 303. \quad (6)$$

将(5)式代入(6)式, 即可得到多纵模激光相干长度与输出功率的理论关系式

$$P(N) \cdot \Delta l_H = 303P_0 (\text{mW} \cdot \text{cm}) \quad (7)$$

当每个纵模的输出功率 P_0 分别取 8.58 mW ($\lambda=457.9$ nm 线) 与 17.36 mW ($\lambda=488.0$ nm 线) 时, 上述(7)式即与图 3 和图 4 中拟合的理论曲线(实线)吻合. 由此可见, 上述理论分析与实验结果基本一致.

此外, 从上述理论分析可知, 当 Ar⁺ 激光器输出功率递减时, 其时间相干性的显著提高, 主要是参与激光振荡的(有效)纵模数 N 减少所致, (这是因为激光工作电流减小, 输出功率降低, 导致气体温度降低, 多普勒宽度 $\Delta\nu_D$ 减小, 而共振腔膜间距 $\Delta\nu_q = (c/2L)$ 不变, 因而参与振荡的纵模数减少), 而相干长度与输出功率之积近似为一常数的实验规律主要是输出功率与相应的激光振荡纵模数 N 近似成正比关系的缘故.

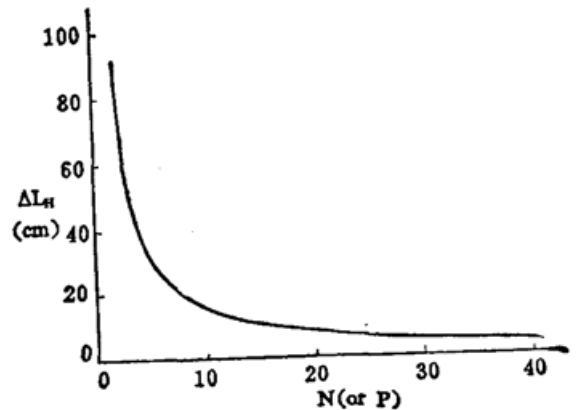


Fig. 5 The coherence length as a function of mode number (or output power)

参 考 文 献

- [1] T. Morokuma *et al.*, *J. O. S. A.*, 1963, **53** (3): 394
- [2] H. M. Smith *Principles of Holography*, 2nd edition, New York: John Wiley & Sons, 1975: Chapter 6
- [3] 吕可诚等. 量子电子学, 1987, **4** (1): 24
- [4] 陆同兴等. 量子电子学, 1988, **5** (1): 25
- [5] 印建平. 量子电子学, 1988, **5**, (1): 42
- [6] 气体激光编写组. 气体激光(下册), 上海: 上海人民出版社, 1976: 209
- [7] R. J. Collier *et al.*, *Optical Holography*, London; Academic press, 1971: 143

Study on the relationship between temporal coherence and output power of Ar⁺ laser with multi-longitudinal modes

YIN JIANPING ZHU SHIQUN SUN HONGWEI
(Department of Physics, Suzhou University, Suzhou 215006)

(Received 21 June 1991; revised 23 October 1991)

Abstract

The relationship between the temporal coherence (i.e. the coherence length) and the output power of a multi-longitudinal mode Ar⁺ laser is studied. The experimental measurements show that the coherence length behaves a hyperbola as a function of the output power. A simple model of multimode equal amplitude power spectrum is employed in the theoretical analysis. Good agreement between theory and experiment is obtained. It is shown that for a multi-longitudinal mode Ar⁺ laser, the product of the coherence length and the output power is almost a constant.

Key words multimode Ar⁺ laser, temporal coherence, output power.