

激光泵浦平板染料波导的 “被导”和“自导”特性

褚玉喜 饶亦农

(武汉大学物理系, 430072)

提要: 本文实验观测了 N_2 激光泵浦平板染料波导的各种“被导”和“自导”特性, 双程染料池在 x 方向是“被导”的; 在 y 方向是“自导”的。

关键词: 平板染料波导, 双程放大自发辐射, 探针束

Guided and self-guiding characteristics of planar dye waveguide pumped by N_2 laser

Chu Yuxi, Rao Yinong

(Physics Department o, Wuhan University, Wuhan)

Abstract: The various phenomena of both guided and self-guiding [for a planar dye waveguide pumped by N_2 laser are observed experimently. Due to additive refractive-index modulation of the double pass ASE, the dye ASE amplifier present the guided and self-guiding characteristics respectively in the x and y directions.

Key words: planar dye waveguide, ASE of double pass, probe beam

本文采用 N_2 激光泵浦平板染料波导, 实验观测了该波导双程放大自发辐射输出的各种“被导”模式; 沿染料池激活区轴向引入一束探针光观测了单程和双程染料池由热折射率效应在波导池 x 和 y 方向产生的各种偏转现象, 结果表明: 除了泵浦光之外, 双程放大自发辐射也参加了溶液的热折射率调制, 这些结果为激光泵浦平板染料波导的“被导”和“自导”特性提供了最新的图片说明。

一、平板染料波导的漏波导特性

平板染料波导属于低折射率漏波导^[1]。 N_2 泵浦的平板染料波导示于图 1。波导长 76mm, 间距为 0.5mm, 在 N_2 激光的泵浦下, 由波导 W_2 端输出的双程放大自发辐射的模式示于图 2, 其中 2(a) 离波导口的距离 (d) 为 61mm, 属近场模图, 图中模 ②' ①' ① ② 输出角

($\arctan \frac{h}{d}$, h 是各模离波导中心轴距离) 小于 4° , 属平板内表面引导的大角掠射漏模, 在图的

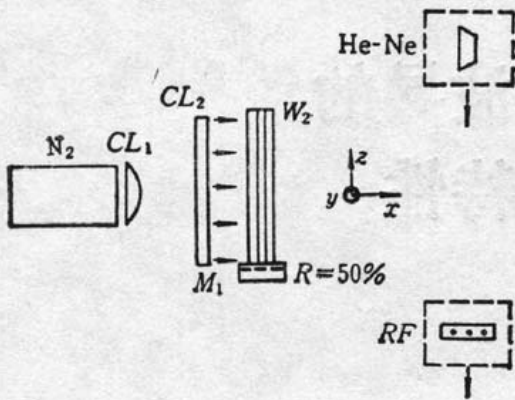


Fig. 1 Experimental setup

两边, 模 ④' ③' 和 ③ ④ 输出角在 $38^\circ \sim 44^\circ$ 之间, 属于由窗口 W_2 输出的平板外表面导模和由平板玻璃体端面射出的泄漏模。

由于对应波动方程标量解的图 2(a) 中的每个模包含有多个矢量模, 因此每个模实际上就是一个模群, 当传播到远场时, 模群简并度破裂, 形成一组 m 线。图 3 是由普通载玻片构成的同类波导池输出的近场、远场模式分布。在 3(a) 中, 平板内表面导模被内表面散射光所掩盖, 外表面导模和端面泄漏模分布在两侧。

如图 3(b), 当模群传播到远场时, 近场简并度破裂, 形成一组 m 线^[2]。

当后平板内表面被磨毛时, 除了前平板内表面最低阶导模还可分辨之外, 其高阶模全部消失或被毛面的散射光所模糊, 见图 4。

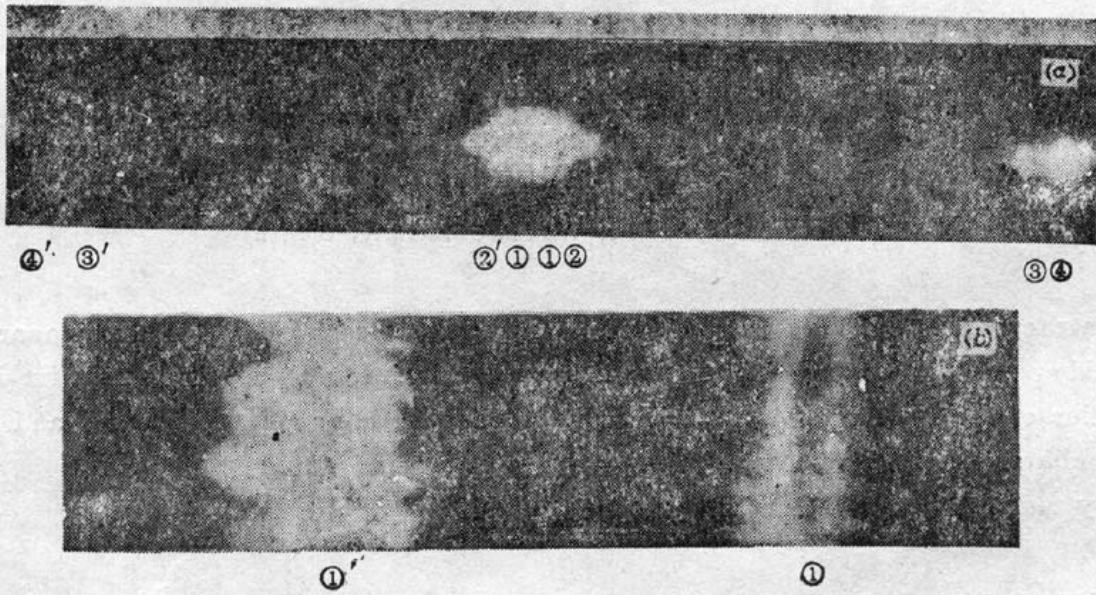


Fig. 2 Mode pattern of ASE from a planar waveguide dye cell
The cell is made of polished slab K_9 glass

(a) Near-field ($d=61\text{mm}$) pattern; (b) Far-field ($d=1874\text{mm}$) pattern of mode groups ①' and ①

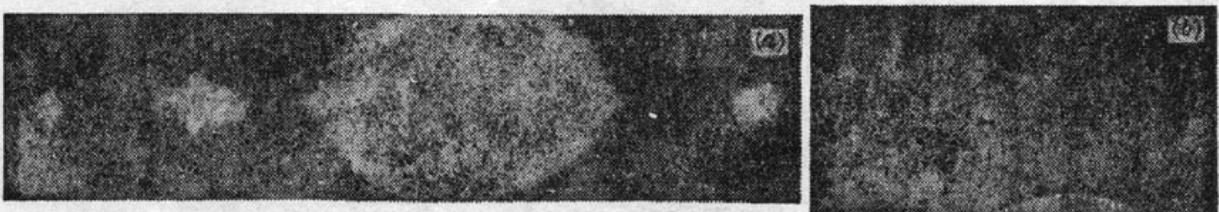


Fig. 3 Same as Fig. 2 except the cell is made of commercial slide glass

(a) Near-field ($d=45\text{mm}$) pattern; (b) m -lines of lower order modes in far-field ($d=1100\text{mm}$).
These lines are guided by inner surface of the cell

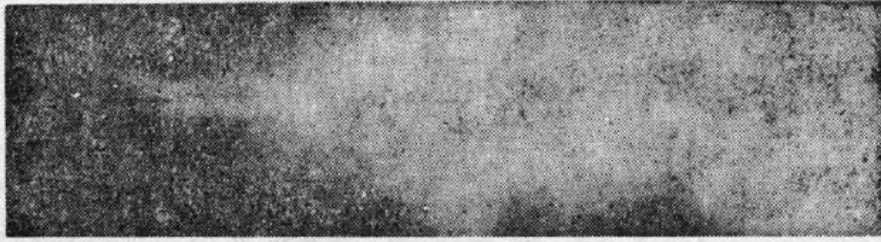


Fig. 4 Far-field ($d=950$ mm) pattern of lower order modes
(inner surface of the cell is ground)

二、溶液的“自导”效应

若在窗口 W_2 端射入一束与泵浦光共线的 He-Ne 光, 用以监视溶液折射率的变化, 就会看到: 在 N_2 激光泵浦下, 透过干涉滤光片 RF 的探针束同时向上、向下一分为二, 在水平方向光斑没有明显的移动; 泵浦过后, 分裂光束又合二为一。图 5(a)、(b) 对照示出了双程池泵浦前和泵浦时整个分裂、恢复过程的光强积分分布。分裂的间距与 N_2 激光的聚焦状况、探针束与焦线的相对位置有关, 典型值 $\Delta y=10$ mm (光屏 $d=332$ cm), 这种 y 方向探针束分裂的现象即是溶液的“类透镜”效应。

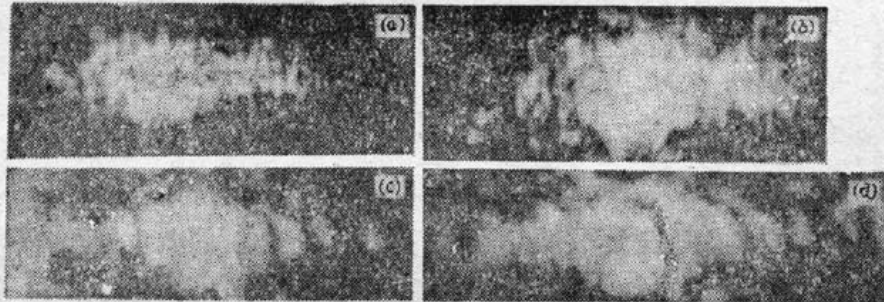


Fig. 5 Self-guiding effects for double pass cell (DPC) and single pass cell (SPC).
The pumping light is in focus.

(a) Spot pattern emerging from a DPC before pumping; (b) Spot distribution from the DPC in pumping. As the pumping probe beam goes through splitting along y direction and then restores; (c) Same as Fig. 5 (a) except for SPC; (d) Same as [Fig. 5 (b) except for SPC and probe beam goes through deflecting along x direction and then restores

若将波导池的部分反射镜 M_1 换成未镀膜的玻璃片 W_1 , 则当激光泵浦时, 探针束产生沿 x 正向的脉冲偏移和恢复过程。如图 5(c)、(d) 所示, 在聚焦泵浦时, 光斑在沿 x 正方向明显偏移的同时, 照片中还存在 y 方向的发散; 然而在散焦(“焦线”宽 3 mm) 泵浦时, 则探针束只存在沿 x 正方向的脉冲偏移和恢复, 溶液折射率表现出“类棱镜”效应, 类似于闪光灯均匀照明、单边泵浦平板染料波导的情况。

三、“自导”和“被导”的产生机制

设 N_2 激光经 OL_2 聚焦后光强在 z 方向是均匀的, 若溶液中存在离焦量 Δf , 则溶液中的泵浦光强为椭圆高斯分布^[3]:

$$I(x, y) = \frac{i_0}{\pi \omega_x \omega_y} \exp\left(-\frac{x^2}{\omega_x^2} - \frac{y^2}{\omega_y^2}\right) \quad (1)$$

束半径 ω_y 与聚焦状况有关, 对于焦距 $f=30 \text{ mm}$ 的石英柱透镜, 有

$$\omega_y|_{\Delta f=0} = 0.1 \text{ mm}; \quad \omega_y|_{\Delta f=3 \text{ mm}} = 3 \text{ mm} \quad (2)$$

在激光非均匀照明下, 溶液中 y 点的积分强度为

$$I(y) = \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) dx \quad (3)$$

设溶液服从指数吸收律, 则 x 处的吸收强度为

$$I_a(x, y) = -\frac{\alpha(\lambda) i_0}{\sqrt{\pi} \omega_y} \left\{ \exp\left[-\left[\alpha(\lambda)x + \frac{y^2}{\omega_y^2}\right]\right] \right\} \quad (4)$$

泵浦光在溶液内造成的折射率分布^[4]为

$$n(x, y) = n_1 - n'_2 I_a(x, y) \quad (5)$$

$\alpha(\lambda)$ 是溶液吸收系数, n'_2 与溶液非线性光学系数有关。令

$$\Delta n = n'_2 \alpha(\lambda) \frac{i_0}{\sqrt{\pi} \omega_x},$$

对于单程染料池, 由(4), (5)式, 激活区折射率有如图6的三维分布。折射率在 x, y 方向的梯度

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} n(x, y) &= \Delta n \frac{\omega_x}{\omega_y} \alpha(\lambda) \exp\left\{-\left[\alpha(\lambda)x + \frac{y^2}{\omega_y^2}\right]\right\} \\ \frac{\partial}{\partial y} n(x, y) &= \Delta n \frac{\omega_x}{\omega_y} \cdot \frac{2y}{\omega_y^2} \exp\left\{-\left[\alpha(\lambda)x + \frac{y^2}{\omega_y^2}\right]\right\} \end{aligned}$$

对于浓度为 $\sim 10^{-3} \text{ m/l}$ 的 R6G 乙醇溶液, $\alpha(\lambda) \simeq 100 \text{ cm}^{-1}$, 聚焦泵浦下, $\omega_x = \omega_y = 0.1 \text{ mm}$ 。在 $y=0$ 附近, y 方向梯度接近 x 方向的大小, 因而光斑在沿 x 正向偏转时, 还有 y 方向的发散。然而在散焦泵浦时, 在 $y=0$ 附近 y 方向梯度比 x 方向约小 2 个量级, 致使光斑只有沿 x 正向的偏移。

此外, 从(6)式可见, 激活区不同 x 处, 折射率梯度大小不同, 因此实验中还观察到光束沿 x 正向偏移的同时, 还存在光斑沿 x 正向的压缩。对于双程染料池, 因为池内的自发辐射得到了双程放大, 强度的增长足以对溶液折射率产生附加调制。设双程放大自发辐射的强度为

$$I_d(x, y) = \frac{i_d}{\sqrt{\pi} \omega_d} \exp\left\{-\left[\left(\frac{W}{2} - x\right)^2 + y^2\right] / \omega_d^2\right\} \quad (7)$$

同时由于溶液-平板界面对辐射场的表面增强, 致使双程染料池内溶液在 x 方向的折射率均匀性明显改善, 其分布呈准阶跃型^[5], 而 y 方向的折射率梯度被加剧, 结果使得双程池在 y 方向表现为“自导”出现两个光斑; 在 x 方向表现为“被导”出现多个光斑, 图7记录了这种 x, y 方向不同的导波特性的。

实验中, 测得光束分裂的半张角 $\Delta\varepsilon = 1.1 \text{ mrad}$, 设泵浦前探针束入射角 $\theta_i = \frac{\pi}{2}$, 泵浦时变为 $\theta_i = \frac{\pi}{2} - \Delta\varepsilon$, 按广义 Snell 定律

$$(n_1 - \Delta n) \sin \theta_i = n_1 \sin \theta'_i = \text{const} \quad (8)$$

解得 $\Delta n = 1.6 \times 10^{-6}$ 。这个值比闪光灯泵浦造成的折射率变化量^[5]小 2 个量级。与此同时, 实

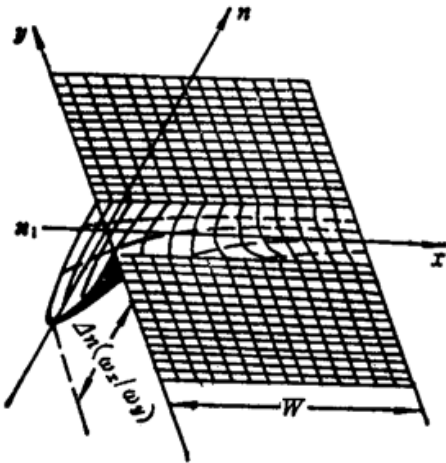


Fig. 6 3-D distribution of refractive index in SPC

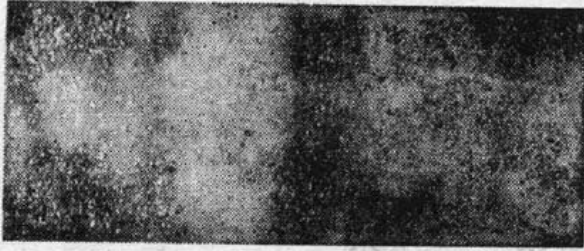


Fig. 7 Guided and self-guiding characteristics for DPC in the x and y directions

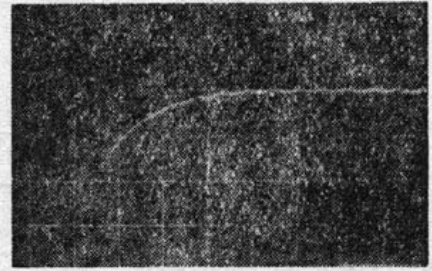


Fig. 8 Oscillogram of relaxation process for split probe beam (time scale: 10 ms/div)

验记录的溶液折射率扰动弛豫过程如图 8, 测得扰动的恢复时间 $\tau = 12 \text{ ms}$, 这也比文献 [5] 的恢复时间 ($\sim 1 \text{ s}$) 小 2 个量级。实验中, 泵浦光功率密度为 5 MW/cm^2 , 由 $\Delta n = n_2 |E|^2$, 得到溶液的非线性光学系数 $n_2 = 4.2 \times 10^{-22} \text{ m}^2/\text{V}^2$ ($4.8 \times 10^{-11} \text{ esu}$), 这个值为 CS_2 非线性克尔系数 n_{2B} 的两倍。

参 考 文 献

- 1 褚玉喜, 曾立新, 第三届全国纤维光学与集成光学学术交流会论文集, 1988, 212
- 2 黄贺超, 范俊清, 中国激光, 11 (11), 691 (1981)
- 3 A. Yariv, Quantum Electronics, John & Sons' Inc., New York, London, Second Edi., 1975, 123~126
- 4 P. Burlamacchi *et al.*, *Appl. Opt.*, 14 (1), 79 (1975)
- 5 P. Burlamacchi *et al.*, *Opt. commun.*, 9 (1), 31 (1973)

第六届全国集成光学学术讨论会在烟台召开

中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会于 1991 年 8 月 27 日至 30 日在烟台大学召开了第六届全国集成光学学术讨论会。大会共收到来自高校和研究所 130 多篇论文, 选出 121 篇出版了该次会议论文集。会议设五个专题分会场进行交流, 它们是光波导理论及计算、光波导制造工艺及评价、光波导器件、激光探测器及光电子集成、光双稳光计算和光通讯光电传感等。

本届讨论会具体由清华大学与烟台大学联合经办。

(赵梅村)