

GaAs 激光器激发带球面透镜圆柱套层 光波导纤维的调整误差分析

张志鹏 石守勇

(厦门大学物理系)

提要: 本文分析了调整误差对 GaAs 激光器激发带球面透镜圆柱套层光波导纤维的影响, 结果是横向偏差的影响比轴向偏差大得多, 这使得基模激发效率的下降速率略快于指数函数。

Analysis of errors in regulation of cylindrical step-index optical waveguide fiber with a spherical lens excited with GaAs lasers

Zhang Zhipeng, Shi Shouyong

(Department of Physics, Xiamen University)

Abstract: This paper analyses how the exciting efficiency is influenced by errors in the regulation of cylindrical step-index optical waveguide fiber with a spherical lens excited with GaAs lasers. It shows that the influence of transversal offset is much more than that of axial regulation error, and the former causes the exciting efficiency of fundamental modes to decrease little faster than an exponential function does.

一、引言

我们已详细地讨论了在不存在调整误差的理想情况下, GaAs 激光器对带球面透镜圆柱套层光波导纤维的耦合情况^[1]。在工程上, 由于耦合机构的加工误差及对准精度, 与光纤芯径及 GaAs 激光器的活性区大小同一数量级, 这就使得调整误差的分析显得十分重要。

调整误差可分为两类: 即激发光束与光

波导之间的相对位移和相对倾斜。位移偏差包括光波导轴线相对于光轴的横向位移, 光波导入射端面相对于激光器输出端面沿轴向上的位移, 倾斜偏差是光波导纤维轴线与激发光束轴线之间相互倾斜产生的。在工程上, 倾斜偏差在调整中较易消除, 微小倾斜对耦合状态影响甚微 [正比于 $(1-\phi^2)$, ϕ 为倾斜角]^[2]。因此本文着重讨论位移偏差的影响。

收稿日期: 1984年11月26日。

二、计算公式

我们的分析方法是,假定在调整时只存在单项偏差,然后利用本征模式的正交归一性和一些近似关系得到如下被激发模式的振幅系数表达式:

1) x 方向存在调整误差时,被激发模式的振幅系数表达式为

$$A_{lm} = 2\pi D_{lm} \phi_0 \frac{\sqrt{\alpha\beta}}{W_0} \exp\left(-\frac{x_0^2}{2W_0^2}\right) \times \left[\frac{1}{J_l(u_m)} \int_0^a \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times J_l\left(u_m \frac{r}{a}\right) J_l\left(\frac{x_0 r}{W_0^2}\right) r dr + \frac{1}{K_l(W_m)} \int_a^\infty \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times K_l\left(W_m \frac{r}{a}\right) J_l\left(\frac{x_0 r}{W_0^2}\right) r dr \right] \quad (1)$$

2) y 方向存在调整误差时,被激发模式的振幅系数表达式为

$$A_{lm} = 2\pi D_{lm} \phi_0 \frac{\sqrt{\alpha\beta}}{W_0} \exp\left(-\frac{y_0^2}{2W_0^2}\right) \times \left[\frac{1}{J_l(u_m)} \int_0^a \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times J_l\left(u_m \frac{r}{a}\right) J_l\left(\frac{y_0 r}{W_0^2}\right) r dr + \frac{1}{K_l(W_m)} \int_a^\infty \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times K_l\left(W_m \frac{r}{a}\right) J_l\left(\frac{y_0 r}{W_0^2}\right) r dr \right],$$

当 $l = \text{偶数时}$,
当 $l = \text{奇数时}$

$$A_{lm} = 0, \quad (2)$$

3) 轴向存在调整误差时,被激发模式的振幅系数表达式为

$$A_{lm} = 2\pi D_{lm} \phi_0 \frac{\sqrt{\alpha\beta}}{\sqrt{W_x W_y}} \times \left\{ \frac{1}{J_l(u_m)} \int_0^a \exp\left[-\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_x^2} + \frac{1}{W_y^2}\right)r^2\right] \times J_l\left(u_m \frac{r}{a}\right) J_{\frac{l}{2}}\left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_y^2} - \frac{1}{W_x^2}\right)r^2\right] r dr \right.$$

$$\left. + \frac{1}{K_l(W_m)} \int_a^\infty \exp\left[-\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_x^2} + \frac{1}{W_y^2}\right)r^2\right] \times K_l\left(W_m \frac{r}{a}\right) J_{\frac{l}{2}}\left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_y^2} - \frac{1}{W_x^2}\right)r^2\right] r dr \right\},$$

当 $l = \text{偶数时}$,
当 $l = \text{奇数时}$

$$A_{lm} = 0, \quad (3)$$

定义模式激发功率为

$$I_{lm} = \int E^2 ds = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty A_{lm}^2 E_{lm}^2 r dr d\theta = A_{lm}^2 \quad (4)$$

激发场总入射功率为

$$I_0 = \iint_{-\infty}^{\infty} \phi_0^2 \exp\left(-\frac{x^2}{\alpha^2}\right) \times \exp\left(-\frac{y^2}{\beta^2}\right) dx dy = \alpha\beta\pi\phi_0^2 \quad (5)$$

由此得到传导模式的激发效率 η_{lm} 为

$$\eta_{lm} = \frac{I_{lm}}{I_0} = \frac{1}{\alpha\beta\pi} \left(\frac{A_{lm}}{\phi_0}\right)^2 \quad (6)$$

上面是所有可能被激发的传导模式的结果。在实用中,对基模特别感兴趣,所以专门取出基模振幅系数表达式并进行数值计算。

当横向存在调整误差时,基模振幅系数为

$$A_{01} = 2\pi D_{01} \frac{\sqrt{\alpha\beta}}{W_0} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2W_0^2}\right) \times \left[\frac{1}{J_0(u_1)} \int_0^a \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times J_0\left(u_1 \frac{r}{a}\right) J_0\left(\frac{\Delta r}{W_0^2}\right) r dr + \frac{1}{K_0(W_1)} \int_a^\infty \exp\left(-\frac{r^2}{2W_0^2}\right) \times K_0\left(W_1 \frac{r}{a}\right) J_0\left(\frac{\Delta r}{W_0^2}\right) r dr \right], \quad (7)$$

式中归一化常数 D_{01} 为

$$D_{01}^{-2} = a^2\pi [J_1^2(u_1)/J_0^2(u_1) + K_1^2(W_1)/K_0^2(W_1)] \quad (8)$$

而 Δ 表示 x_0 或 y_0 , 因为基模的场分布具有圆柱对称性,所以横向调整偏差只要用 Δ 表示即可。

当存在轴向调整误差时,基模的振幅系数为

$$\begin{aligned}
 A_{01} = & 2\pi D_{01} \phi_0 \frac{\sqrt{\alpha\beta}}{\sqrt{W_x W_y}} \left\{ J_0(u_1) \right. \\
 & \times \int_0^a \exp\left[-\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_x^2} + \frac{1}{W_y^2}\right)r^2\right] \\
 & \times J_0\left(\psi_1 \frac{r}{a}\right) J_0\left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_y^2} - \frac{1}{W_x^2}\right)r^2\right] r dr \\
 & + \frac{1}{K_0(W_1)} \int_a^\infty \exp\left[-\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_x^2} \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{1}{W_y^2}\right)r^2\right] K_0\left(W_1 \frac{r}{a}\right) \\
 & \left. \times J_0\left[\frac{1}{4}\left(\frac{1}{W_y^2} - \frac{1}{W_x^2}\right)r^2\right] r dr \right\}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

基模激发效率为

$$\eta_{01} = \frac{1}{\alpha\beta\pi} \left(\frac{A_{01}}{\phi_0}\right)^2 \quad (10)$$

三、数值计算结果

我们已经计算了在最佳耦合条件下基模激发效率随波导芯半径 a 的变化曲线^[1], 得出在 $a=15 \mu\text{m}$ 时, 基模具有最佳激发效率 98.8%; 在 $a=1.04 \mu\text{m}$ 时, 近截止态基模具有最大激发效率 92.2%。我们取这两个特定的 a 值, 计算了在耦合机构存在调整偏差时, 基模激发效率随调整偏差的变化曲线, 结果见图 1、图 2。鉴于工程应用上波导芯半径不会正好是上述两个值, 我们又计算了基模激

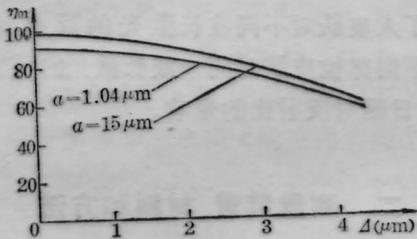


图 1 基模激发效率随横向偏差量 Δ 的变化曲线

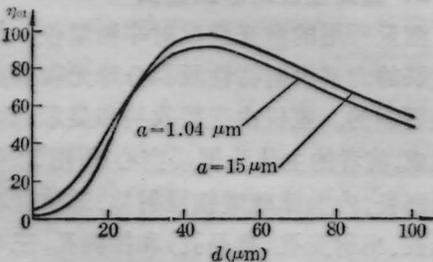


图 2 轴向偏差对基模激发效率的影响

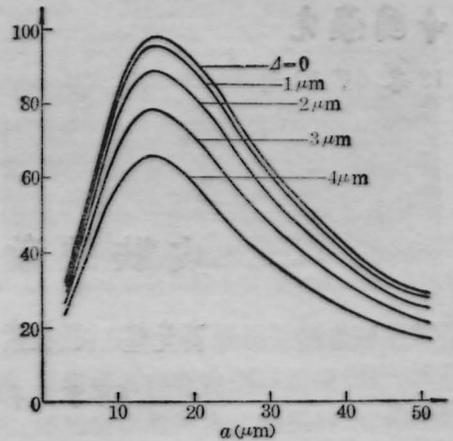


图 3 横向偏差存在时基模激发效率随波导半径 a 的变化曲线

发效率随波导芯半径的变化曲线, 而把横向调整偏差 Δ 作为参变量(见图 3)。在实际应用中, 一般是选择在远截止态区域工作, 因此, 我们只给出远截止态的计算结果。

四、结果与讨论

第一, x 方向的调整偏差会激发 HE 和 EH 的所有模式, 而 y 方向和轴向的调整偏差只能激发 l 为偶数的模式, 而 l 为奇数的模式, 如 HE_{21} 、 EH_{21} 等等, 是不会被激发的。

第二, 横向调整偏差对基模激发效率的影响最严重, 随着横向调整偏差的增大, 基模激发效率下降的速率比指数函数下降得还要快。因此在工程上对横向调整精度要求很高。按照现有水平, 在工程上可以确保横向调整偏差为 $\Delta \leq 3 \mu\text{m}$ 。在这种调整精度下, 基模激发效率最大下降到最佳值的 85% 左右。

第三, 图 2 给出, 基模激发效率随轴向偏差量 $(d-d_0)$ 的变化没有象随横向偏差量 Δ 变化那样灵敏。若同样要求基模激发效率至多只降到无调整偏差的理想情形的 85%, d 变化范围可达 $37 \mu\text{m}$ (从 32 至 69 μm), 而 Δ 的变化范围只有 $6 \mu\text{m}$ 。

(下转第 741 页)

伤发生率的回归线见图4。

三、损伤的病理组织学观察

23只兔眼的病理组织学观察表明,在此照射剂量范围内,基本病变为角膜上皮凝固、水肿及坏死,典型病灶可划分为三个区带:

1. 中央坏死区:角膜灼伤中央,细胞发生凝固坏死,脱落而形成局部上皮缺损。缺损的大小、部位不定,多位于病灶中央,但也有偏于一侧,这可能与CO₂激光“热点”分布并非恒定有关。坏死较重者,全上皮层脱落形成平底或锥形凹陷,轻者仅表层上皮细胞剥脱形成蚕食状或残留上皮如岛状。基质层都无明显改变。

2. 周围凝固带:随着光束周围部分光强的减弱,损伤逐渐减轻。坏死区周围病变以细胞凝固为主,出现核固缩、浓染或核破碎。

3. 边缘水肿、凝固带:病灶边缘角膜上皮浅层扁平或翼状细胞发生肿胀或凝固,出现核皱缩。

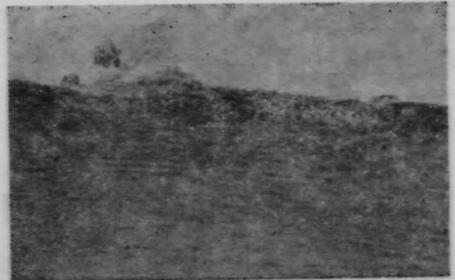


图4 CO₂激光照射角膜上皮细胞核固缩,表层剥脱

以上为典型病灶表现,随着照射剂量的不同,损伤程度亦有差别。稍重病灶,损伤面积大、坏死组织脱落多。轻型病灶,都无坏死病变,而仅发生上皮层凝固如图5所示。极轻病灶,损伤小而浅,仅波及浅层细胞发生肿胀凝固,有的病灶形似一小浅盘,径长200~300 μ m。阈值附近照射剂量的损伤多表现为轻型或极轻型。

本文数据的计算机统计处理由汤仲明同志协助,特此致谢。

参考文献(略)

(上接第731页)

第四,基模激发效率对轴向偏差的分布并不对称。在 d 偏小时,基模耦合效率随 d 的减小急剧下降。尤其是在 $d=0$ 时,激发效率特别低,比最佳耦合条件下的激发效率下降了50倍之多。因此在实用中,我们宁愿把 d 调整得比 d_0 大,也不愿让它比 d_0 小。

第五,图3给出,横向偏差存在时基模激发效率随波导芯半径 a 的变化有两个明显的

(上接第734页)

激光类型不同时,皮肤的漫反射比不一样,其原因有待进一步分析研究,可能与能量转换速率有关,即激光照射时间短,因光能不能充分地转换成组织的热能,使皮肤对激光的反射量相对增加,所以,测得1060nm波长巨脉冲的反射比最高,连续光最小,长脉冲居中。

以上分析讨论看出,本文所测数据基本

特点:一个是随着横向偏差量 Δ 增大,其激发效率下降,并且使曲线变得较为平坦;另一个特点是最佳激发效率所对应的 a 值,随着 Δ 增大,有一个朝着 a 减小的方向的小移动。

参 考 文 献

- [1] 张志鹏,石守勇;《中国激光》,1984,11, No. 10, 602.
- [2] D. Marcuse; *Bell Syst. Tech. J.*, 1977, 56, 703.

可靠,可为皮肤激光损伤阈值研究和安全防护标准的制订提供参考。

参 考 文 献

- [1] J. P. G. Williams; 1971, AD-735794.
- [2] L. Goldman *et al*; "Laser in Medicine", New York, 1971, p. 163~172.
- [3] R. J. Reckwell *et al*; 1974, AD-A012703.
- [4] J. Jacquez *et al*; *J. Appl. Physiol.*, 1955, No. 8, 212~214.