

激光模式的半色调检测方法

戴建华 张洪钧

(中国科学院物理研究所)

提要: 本文提出了利用半色调处理技术检测激光器模式的新方法。这种方法可以得到激光模式的二维等强度轮廓分布。既适用于连续激光器,也适用于脉冲激光器。

A half-tone method for laser mode detection

Dai Jianhua Zhang Hongjun

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: A new method to detect laser mode by using half-tone processing technique is presented. Using this method, two-dimensional equi-intensity contours of laser mode were obtained. It is not only applicable for the CW lasers, but also for the pulse lasers.

一、引言

激光束的模式分布是激光器的重要参数之一。到目前为止,检测模式分布的方法有五种:扫描针孔法^[1]、扫描 knife edge 法^[2]、扫描狭缝法^[3]、扫描 Ronchi 光栅法^[4]以及用于脉冲激光束的显影相纸吸收能量法。各种扫描方法只能测量一维分布,只有多次位移扫描才能得到二维分布,最后一种方法虽能得到二维分布,但太粗糙,只能用于定性观察。我们在这里介绍一种检测激光束模式分布的新方法——半色调处理方法。大家知道,半色调处理是光学信息处理中完成非线性变换的重要方法^[5]。它已成功地用于图象的密度分割,假色编码和模数转换,本文表明它也能用来检测激光束的模式分布。半色调处理方法分两步:首先让待测激光束 $I(x, y)$ 通过光密度分布为 $D_s(x)$ 的半色调屏,用极

高反差的胶片记录,利用极高反差胶片的硬限幅特性,得到二进制照片。然后经光学处理系统的空间滤波,便可得到激光束模式的二维等强度轮廓分布

二、原理

在图 1 所示的半色调处理方法中, $D_s(x)$ 为所用的一维半色调屏,类似于 Ronchi 光

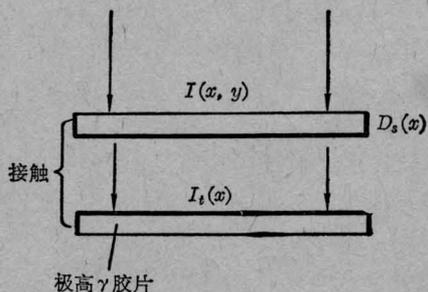


图 1 半色调处理方法

收稿日期: 1980年7月2日。

栅，只是在每个周期内有若干等级的密度分布(如图2所示)。激光光束 $I(x, y)$ 经一维半色调屏 $D_s(x)$ 空间调制后，入射到极高反差胶片上，在胶片上的入射光强为：

$$I_t(x, y) = I(x, y) \cdot 10^{-D_s(x)} \quad (1)$$

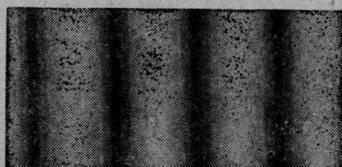


图2 一维半色调屏放大照片
($a=100$ 微米)

极高反差胶片的硬限幅特性(如图3所示)，设限幅曝光量或阈值曝光量为 $I_c T$ 。当 $E = I_t T > I_c T$ 或 $I_t > I_c$ 时，胶片感光；当 $I_t < I_c$ 时，胶片不感光。故胶片的感光条件为：

$$\frac{I(x, y)}{I_c} \geq 10^{D_s(x)} \quad (2)$$

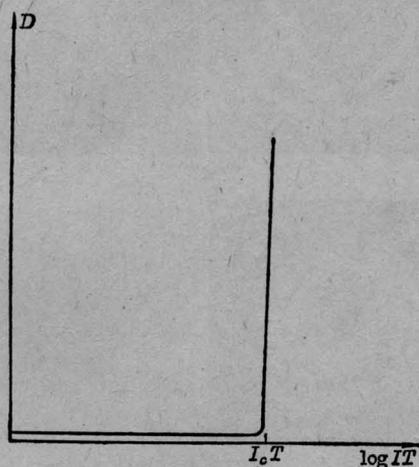


图3 极高反差胶片特性曲线

经显影处理后，极高反差胶片的透过率是二进制的，称为半色调照片，其透过率满足：

$$T(x, y) \begin{cases} = 1 & I_t < I_c \\ = 0 & I_t \geq I_c \end{cases}$$

图4给出了半色调处理的过程。为了方便起见，只考虑一维分布。图4(a)是待测光束的光强分布 $I(x)$ 。图4(b)表示所用半色调屏的一维分布 $D_s(x)$ 。入射光束经半色调

屏 $D_s(x)$ 后，入射到极高反差胶片上的光强为 $I_t(x) = I(x) \cdot 10^{-D_s(x)}$ ，如图4(c)所示。经 I_c 限幅即得到图4(d)所示的透过率为二进制的半色调照片，其中线宽 $b(x)$ 是 x 的函数，它反应了待测激光束的光强分布。然后把上面得到的半色调照片放进图5所示的光学处理系统的输入平面 P_1 上。半色调照片可以看作是宽度为 b 的矩形函数与周期为 a 的梳状函数的卷积。其局部振幅透过率为：

$$t(x) = 1 - \text{rect}\left(\frac{x}{b}\right) \otimes \left[\frac{1}{a} \text{com} b\left(\frac{x}{a}\right)\right] \quad (3)$$

其中 b 为线宽， a 为周期。定义^[6]：

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

$$\text{com} b(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-n) \quad (4)$$

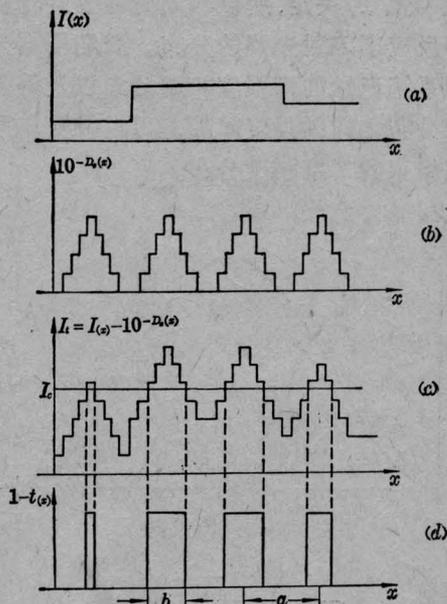


图4 半色调处理过程

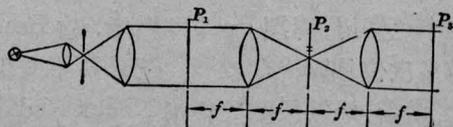


图5 光学处理系统

在 P_2 面上相应的傅里叶变换为:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[t(x)] &= \delta(f_x) - b \operatorname{sinc}(bf_x) \operatorname{com} b(af_x) \\ &= \delta(f_x) - \frac{b}{a} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f_x - \frac{n}{a}\right) \operatorname{sinc}\left(\frac{nb}{a}\right) \quad (5) \end{aligned}$$

其中 f_x 是空间频率, n 是衍射级次,

$$\operatorname{sinc}(x) = \frac{\sin \pi x}{\pi x}.$$

在满足抽样定理的前提下, 各级频谱是分开的, 集中在 $f_x = 0, \pm \frac{1}{a}, \pm \frac{2}{a} \dots \pm \frac{n}{a}$ 的小区域内。我们可以选取其中任一级进行逆傅里叶变换, 最后在 P_3 面上得到的输出光强为:

$$I_n(b) = \left(\frac{1}{n\pi}\right)^2 \sin^2\left(\frac{n\pi b}{a}\right) \quad (6)$$

根据 (6) 式可以画出各衍射级的输出强度与线宽 b 之间的关系 (如图 6 所示)。由此可见, 第 n 级衍射有 n 条等强度线。对给定半色调屏 $D_s(x)$ 和强度阈值 I_0 , 线宽 b 由输入光强 $I(x, y)$ 决定, 所以输出的等强度轮廓分布即反应了入射光强的分布。我们根据光学处理系统记录的等强度轮廓分布以及等强度轮廓分布之间的强度间隔, 可以推算出原入射激光束的二维强度分布。

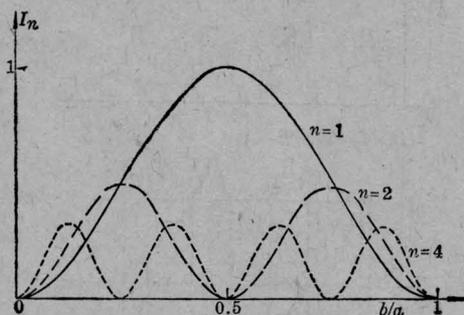


图 6 I_n 与 b 的关系

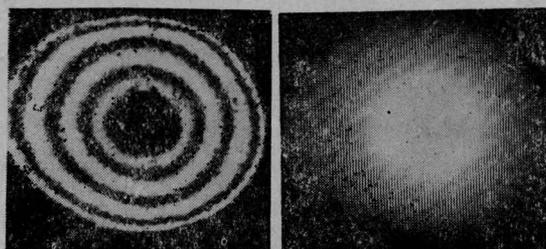
三、实验与结果

实验所用半色调屏如图 2 所示, 是五阶一维半色调屏, 周期 $a = 100$ 微米, 由 Ronchi 光栅多次位移曝光制成^[5]。记录所用高反差胶片, 对蓝、绿波段激光使用 Kodak Kodalith type 3 有间隔 2556。对红光波段, 则用

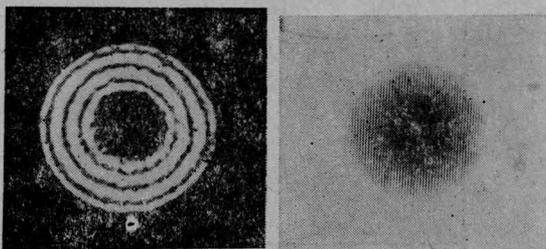
Kodak 649-F 记录, 然后再用 Kodalith 2556 翻拍, 以得到较高反差。

Kodalith 胶片在 Kodalith(A+B) 显影液中按规定显影; 649-F 在 D-8 或 D-19 中显影。将制成的半色调照片放进图 5 所示的光学处理系统的输入平面 P_1 上, 光学系统可用相干光源 He-Ne 激光器, 也可用非相干光源 (白炽灯加干涉滤光片 6328\AA) 经准直后用平面波照明, 在谱平面 P_2 上用小孔选取所需的衍射级, 小孔孔径应小于衍射级的间距, 最后在输出平面 P_3 上, 可得到待测激光束的二维等强度轮廓分布。

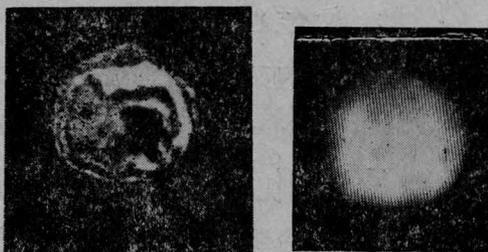
由于半色调照片中, 不同宽度的数目不会超过半色调屏所含密度等级的数目, 因而我们采用五个密度等级的半色调屏, 选取第五衍射级时, 最多形成五条等强度线。图 7



氩激光器



He-Ne 激光器



YAG 倍频激光器

图 7 各类激光器的等强度轮廓输出及相应的半色调照片

为各类激光器光束模式的半色调照片和相应的等强度轮廓线分布。我们以光谱物理公司的氩激光器为例,使用的半色调屏密度等级分别为:

$$D_1=0.13; D_2=0.28; D_3=0.56;$$

$$D_4=1.17; D_5=1.63$$

根据(2)式,可求出激光束光强分别为:

$$I_1=I_0 \cdot 10^{D_1}=I_0 \cdot 10^{0.13}=1.35I_0;$$

$$I_2=1.91I_0; I_3=3.63I_0;$$

$$I_4=14.79I_0; I_5=42.66I_0.$$

其中 I_0 为胶片的限幅密度,是由胶片特性决定的常数。 $I_1 \sim I_5$ 为氩激光器等强度轮廓分布的强度间隔。根据图 7 示出的氩激光器的

等强度轮廓分布和强度间隔,可以得到氩激光束模式的二维强度分布。

参 考 文 献

- [1] L. D. Dickson; Tech. Report, AFAL-TR68-141.
- [2] Y. Suzuki, A. Tachibana; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 12, 2809.
- [3] J. E. Pearson *et al.*; *JOSA*, 1969, **59**, No. 11, 1440.
- [4] R. J. Anderson, C. Larson; *Appl. Opt.*, 1971, **10**, No. 7, 1605.
- [5] H. K. Liu *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 10, 2394.
- [6] J. W. Goodman;《傅里叶光学导论》,科学出版社。

简 讯

上海光机所召开第四届科学报告会

上海光机所于 1981 年 3 月 25 日至 27 日召开了第四届科学报告会。本届会议在预选论文报告方面,较以前又有改进。所学术委员会按下列原则对申请参加报告会的 167 篇报告的摘要进行审定,录用了 130 篇。凡在国内外各种学术刊物发表过的报告不再录用,在国内外各种学术会议或鉴定会上报告过的也不再录用;录用的报告应具有一定的学术水平或应用价值,每个报告人限宣读一篇报告。

在会上宣读交流了 121 篇学术报告,包括气体激光、固气激光、半导体激光、染料激光、激光与物质相互作用、激光材料、光源、薄膜技术、电子学技术、测试技术和信息处理技术等方面。

这些报告反映了上海光机所近年来科研工作的进展。例如,“亚毫秒磷酸盐钨玻璃激光系统”等文章,为今后建立高功率大型磷酸盐玻璃激光系统提供了重要的数据和经验;“AlGaAs/GaAs 多层液相外延系统的改进”和“平面条形激光器的选择扩 Zn 掩蔽”等文章,是我所研制砷化镓双异质结激光器的工艺技术新成果,使激光器制备的成品率达到 60%

以上,器件寿命超过万小时,具有推广生产的价值;“高阶相干反斯托克斯和相干斯托克斯喇曼散射”,用方解石样品 1086 厘米^{-1} 喇曼模在平行于光轴方向同时观察到方解石的 1 至 5 阶 CARS 谱和 1、2 阶 CSRS 谱;“高速流动大体积刀板放电研究”,为研制使用空气介质代替氦气扩大放电体积增加高功率 CO_2 激光器的输出功率提供了可能性;“无机玻璃的色散”,讨论了现代光学仪器超全消色差对玻璃的相对部分色散的要求,运用电子计算机和玻璃色散数据计算了一批无机玻璃的紫外本征吸收、红外振动频率及其振子力,论证了它们和玻璃成分、结构的关系,提出了按照玻璃成分计算玻璃相对部分色散的方法;“五磷酸钨小型激光器”,无论从激光器总重量和激光性能都取得了好的进展;“ n 阶孤立波理论”,从相空间的矢量出发,得出了 n 阶孤立波方程的一般表达式及其通解,改进了已有的结果,可应用于多波相互作用的研究。

(张泽纯)