

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0166-03

# 光学元件小尺度振幅调制点的描述方法

张春玲<sup>1,2</sup>, 景峰<sup>1</sup>, 杨小丽<sup>2</sup>, 胡东霞<sup>1</sup>, 彭志涛<sup>1</sup>, 刘红婕<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900  
<sup>2</sup>电子科技大学物理电子学院, 四川 成都 610054)

**摘要** 对小尺度振幅调制点进行分析, 建立适合光传输计算的小尺度振幅调制点模型——随机振幅调制屏, 其包含小尺度振幅调制点的数目、尺度、位置、形状等特点。并对实际光学元件上小尺度振幅调制点进行统计分析, 对实际光路进行数值模拟, 结果表明模型是实用和合理的。

**关键词** 光学器件; 模型; 统计分布; 尺度; 位置

**中图分类号** TN241 **文献标识码** A

## Descriptive Method of the Optical Component's Small-Scale Amplitude Modulation

ZHANG Chun-ling<sup>1,2</sup>, JING Feng<sup>1</sup>, YANG Xiao-li<sup>2</sup>, HU Dong-xia<sup>1</sup>,  
PENG Zhi-tao<sup>1</sup>, LIU Hong-jie<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China  
<sup>2</sup> School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract** This article analyses the distribution of small-scale amplitude modulation and establishes its model, random amplitude modulation screen. It includes number, scale, position, and shape of small-scale amplitude modulation. Moreover, statistic analysis of the real optical component and the numerical simulation of actual beam validate the correctness of the model.

**Key words** optical devices; model; statistic distribution; scale; position

## 1 引言

在高功率固体激光装置中的光学元件上有很多振幅调制点, 这些振幅调制点在光路中不透光, 只对光路的振幅有影响, 对相位无影响, 并且尺度一般比较小, 大概从几微米到几毫米不等, 所以往往被叫作小尺度振幅调制点。产生原因分析为: 空气中悬浮的灰尘、玻璃本身含有的瑕疵或者是因为擦玻璃时含有的小水珠。

这些小尺度振幅调制点会引起散射, 降低到达靶场的能量及通过在后续元件上产生热像直接引起元件的破坏。这些小尺度振幅调制点的衍射和非线性效应还会影响光束近场分布的均匀性, 增加光学元件破坏的风险, 从而导致频率转换效率和靶面能量可聚焦度的下降<sup>[1,2]</sup>。随着固体激光装置规模的

扩大, 每条光路中的光学元件越来越多, 而且为了避免高能条件下光束对光学元件造成损伤及高功率强度下由于折射率的非线性增大而造成有害影响, 就必须增大光束口径, 使用大口径光学元件。由于大口径光学元件不仅难于加工, 且更易受环境的影响, 这必然会增加光学元件上的小尺度振幅调制点, 因而对光学元件上小尺度振幅调制点的研究具有重大意义。

在对振幅调制点研究的光传输数值模拟计算时, 首先要建模, 由于其分布不确定, 大小不均匀, 不易描述, 因此建模有一定难度。目前很少见这方面的报道。本文的目的在于对振幅调制点的特点进行研究, 建立适合光传输计算的振幅调制点的模型。

**基金项目:** 高技术惯性约束聚变(0345040)资助课题。

**作者简介:** 张春玲(1977—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事激光传输的研究。E-mail: zhang-chunling@126.com

## 2 振幅调制模型特征描述

由文献[3]可知,这些振幅调制点只对光场的振幅有影响,又由文献[4]可知,振幅调制点是全挡的,类似硬边光阑,故设振幅调制点处光场为零,通光处光场为1,其透射率函数可表示为

$$\begin{cases} T(x,y) = 1, & x,y = \text{transparence} \\ T(x,y) = 0, & x,y = \text{obscuration} \end{cases} \quad (1)$$

而振幅调制点的尺度 $\Delta x, \Delta y$ 一般为大尺度的振幅调制点比较少,小尺度的振幅调制点比较多,且在某个尺度附近处的振幅调制最多,因此可认为接近为随机正态分布,引入随机正态分布函数进行描述,其概率密度为

$$\varphi(\Delta x, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Delta x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (2)$$

式中 $\mu, \sigma$ 分别为数学期望值和方差,此处 $\mu$ 代表尺度最多的点, $\sigma$ 代表高斯分布的腰, $\mu, \sigma$ 可根据实际情况变化, $\Delta y$ 为 $\Delta x$ 的 $d$ 倍, $d$ 为 $0 \sim 1$ 之间的随机数。

因为振幅调制点由空气的洁净度引起,对同样面积的光学元件,洁净度高的环境,振幅调制点数目较少,反之对洁净度较差的环境,振幅调制点数目较多。光学元件上的振幅调制点只考虑 $>5 \mu\text{m}$ 的振幅调制,在模拟时,根据实际的环境情况,可给定一个特定

的数目。一般情况对于非常干净的元件为 $10 \text{ 个}/\text{cm}^2$ ,对于比较肮脏的元件为 $1000 \text{ 个}/\text{cm}^2$ [5]。

又由于振幅调制点处于某个位置的几率不确定,其位置分布为离散随机分布,可引入离散随机分布函数rand进行描述,模拟时可将每个振幅调制点的位置设为变量 $x, y$ ,然后取 $x, y$ 为随机数。

振幅调制点的形状一般是不规则的,考虑到计算网格和计算时间,振幅调制点形状简化为矩形,而其他形状的振幅调制点可认为是许多小矩形的叠加。

综合振幅调制点的位置、形状、尺度和数目等特征得到了随机振幅调制屏。其函数表达式为

$$f(x_i : x_i + \Delta x, y_i : y_i + \Delta y) = 0, \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

式中 $x, y$ 分别为坐标值,其值为离散随机数, $\Delta x, \Delta y$ 满足随机正态分布, $n$ 为振幅调制点的数目。

通过程序可模拟出随机振幅调制屏,如图1(a)所示。其振幅调制点个数、尺度、数目、形状如前述。

进一步对图1(a)中振幅调制点进行统计分析,得到振幅调制点尺度与位置的分布情况,如图1(b)和(c)所示。由图1(b)可看出振幅调制点尺度是一种正态随机分布函数;由图1(c)可看出振幅调制点的位置分布为离散随机分布函数。

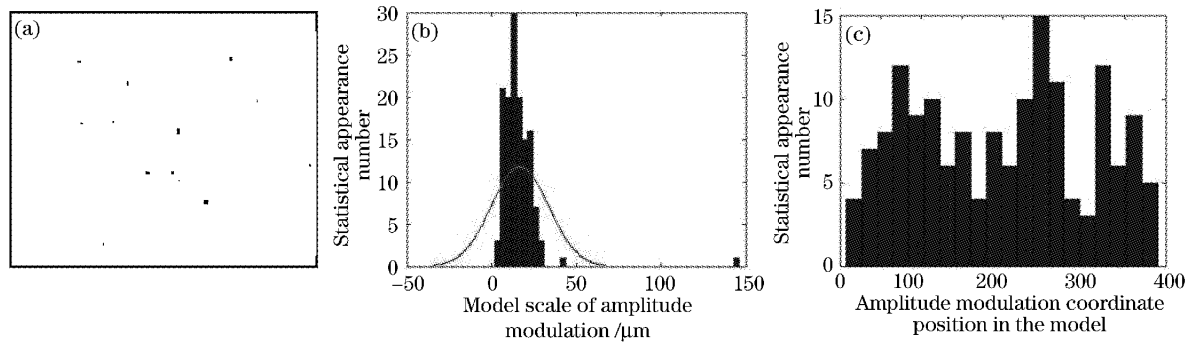


图1 随机振幅调制屏(a)及尺度(b)和位置(c)的统计分布

Fig.1 Random obscuration screen (a) and statistical distribution of scale (b) and position (c)

## 3 实际光学元件的特征统计

为了验证模型的正确性,在中国工程物理研究院激光聚变研究中心对实际的光学元件上的振幅调制点进行了特征统计。通过对多片曾在神光III原型装置上使用的光学元件进行观测后,得到其表面振幅调制点分布,如图2所示。所用显微镜为尼康显微镜,其中图2(a),图2(b)放大倍数为 $5 \times 36$ 倍,图2(c)放大倍数为 $10 \times 36$ 倍。

对图2进行处理得到其统计结果,如图3所示。

图3(a)为振幅调制点的大小分布,图3(b)为振幅调制点的位置分布。从图3可看出:振幅调制点的尺度在几微米到几毫米大小之间变化,且振幅调制点较大的数目较少,而振幅调制点尺寸比较小的数目较多,可近似为一种随机正态分布形状。位置分布杂乱无章,呈一种随机分布状态。数目的多少也在一个范围内随机变化,形状接近为矩形。在连续分析了数张图片后,得到了相似的结果,验证了模型的合理性。

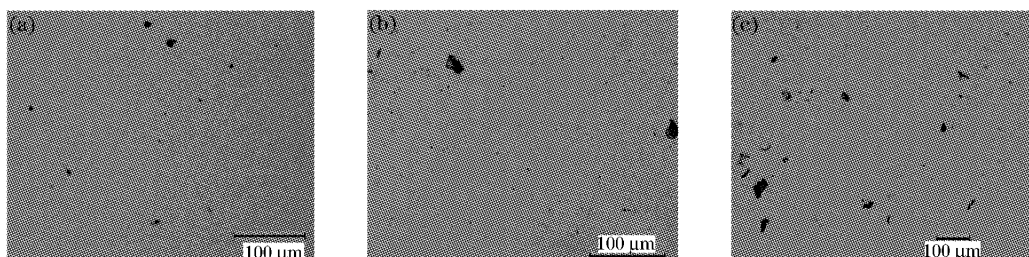


图2 实验测得的振幅调制分布  
Fig. 2 Obscuration distribution

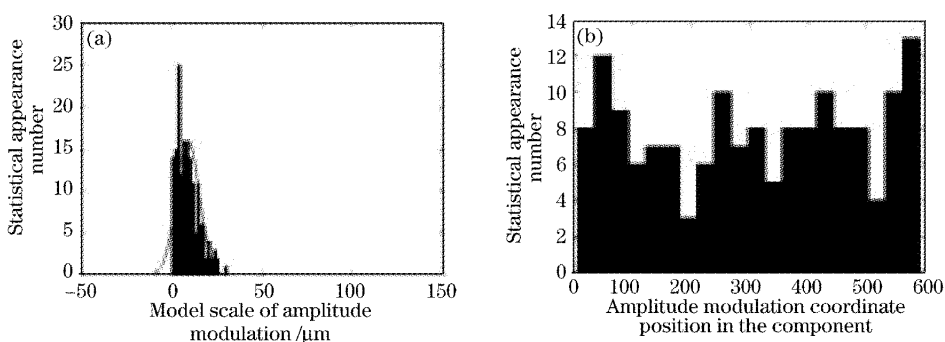


图3 实验图形的统计分布。(a)振幅调制点的大小;(b)振幅调制点的位置  
Fig. 3 Statistic distribution of the experimental picture. (a) Scale distribution of amplitude modulation;  
(b) position distribution of amplitude modulation

#### 4 数值模拟

根据上述描述,将随机振幅调制屏数据进行处理,可代入光传输软件中进行模拟计算。对实际光路模拟结果如图4所示,图4(a)为数值模拟的结果,图4(b)为实际光学元件上的损伤点,两图很类似,说明了模型的可行性。

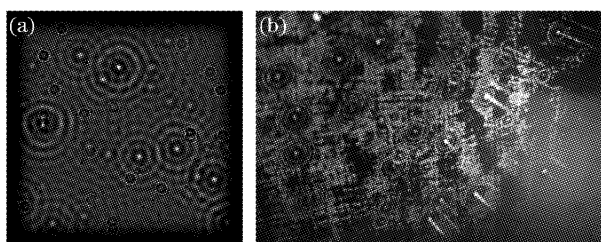


图4 数值模拟(a)和实验(b)的对比  
Fig. 4 Contrast between numerical (a) and experimental result(b)

#### 5 结论

光传输数值模拟计算中振幅调制点的模型很重

要,通过分析振幅调制点的特点,建立了随机振幅调制屏,包含了振幅调制的尺度、数目、位置、形状等特点。其中尺度满足正态随机分布函数,数目根据环境的特点给定一定的值,位置分布为离散随机数,形状为矩形,符合实际光学元件上的振幅调制点的分布情况。

#### 参考文献

- 1 F. Jing, X. M. Zhang, Q. H. Zhu *et al.*. Preliminary design of main amplification stage of technical integration line (TIL) for SG-III laser facility [C]. *SPIE*, 1998, **3683**: 164~169
- 2 J. A. Fleck, Jr., C. Layne. Study of self-focusing damage in a high-power Nd: glass-rod amplifier [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **22**(9): 467~469
- 3 M. L. Spaeth, K. R. Manes, C. C. Widmayer *et al.*. The national ignition facility wavefront requirements and optical architecture [C]. *SPIE*, 2004, **5341**: 25~42
- 4 J. A. Fleck, Jr., J. R. Morris, E. S. Bliss. Small-scale self-focusing effects in a high power glass laser amplifier [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1978, **QE-14**(5): 353~363
- 5 William W. Simmons, John T. Hunt, William E. Warren. Light propagation through large laser systems [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1981, **QE-17**(9): 1727~1743