

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0390-03

# 部分相干光束的光束整形

蒲继雄, 蔡超, 吴逢铁

(华侨大学电子科学与技术系, 福建 泉州 362011)

**摘要** 从理论上研究部分相干光束经透镜的聚焦。研究表明,在几何焦平面的光强分布不仅依赖于入射部分相干光束的光强分布,而且还依赖于入射光束的空间相干度。据此,提出了一种控制部分相干光束的空间相干度,在几何焦平面获得平顶部分相干光强分布的新方法。

**关键词** 激光物理; 部分相干光; 相干; 光束整形

中图分类号 TN241 文献标识码 A

## Beam Shaping of Partially Coherent Light Beams

PU Ji-xiong, CAI Chao, WU Feng-tie

(Department of Electronic Science and Technology, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362011, China)

**Abstract** In this paper, a partially coherent beam focused by a lens is investigated theoretically. It is shown that the focused intensity distribution in geometrical focus is not only dependent on the intensity distribution of the incident partially coherent beam, but also on the coherence. Based on this, a novel method is presented for achieving partially coherent top-hat spot at the geometric focus by modulating the spectral degree of coherence of the incident partially coherent beam.

**Key words** laser physics; partially coherent light; coherence; beam shaping

### 1 引言

在过去的十多年中,许多研究者致力于把光强分布为高斯分布的激光光束变换成平顶光束或其它形状的光束,这是由于平顶光束或其它形状的光束在许多领域具有诱人的应用<sup>[1-3]</sup>。例如在激光核聚变、激光热处理等应用领域,要求激光光束是平顶的。然而,由单横模激光器输出的激光光束的光强分布却是高斯分布的。另一方面部分相干光束具有对散斑低灵敏等优点而被应用于激光核聚变等领域<sup>[4-7]</sup>。但是迄今为止,绝大部分研究都集中在完全相干光束的光束整形,对部分相干光的光束整形的研究却很少<sup>[4]</sup>。本文研究部分相干光束经光学透镜聚焦在焦平面的光强分布,并由此提出一种新型的光束整形方法。

### 2 理论公式—几何焦平面的光强分布

如图 1 所示,频率为  $\omega$  的部分相干光束被焦距为  $f$  的透镜聚焦。在透镜平面,部分相干光束的交叉谱密度函数为:

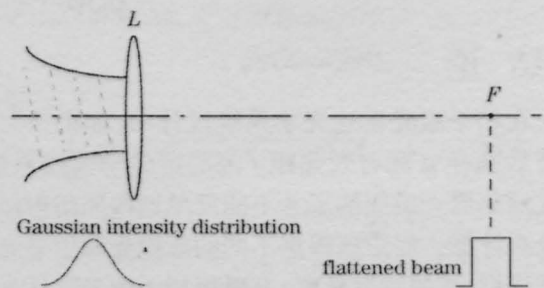


图 1 部分相干光束整形示意图。L 为聚焦透镜, F 为透镜的几何焦点

Fig.1 Illustrating the beam shaping of partially coherent light. L is a focusing lens, and F is the geometrical focus

$W^{(0)}(\mathbf{r}_1', \mathbf{r}_2', \omega) = [I^{(0)}(\mathbf{r}_1', \omega) I^{(0)}(\mathbf{r}_2', \omega)]^{1/2} \mu^{(0)}(\mathbf{r}_2' - \mathbf{r}_1', \omega)$ , (1)  
式中,  $\mu^{(0)}(\mathbf{r}_2' - \mathbf{r}_1', \omega)$  为透镜平面处部分相干光束的光谱相干度;

$$I^{(0)}(\mathbf{r}', \omega) = W^{(0)}(\mathbf{r}', \mathbf{r}', \omega) = I_0 \exp(-\mathbf{r}'^2 / 2w_0^2) \quad (2)$$

为透镜平面部分相干光束的光强分布。 $\mathbf{r}_1'$  和  $\mathbf{r}_2'$  为透镜平面的位置矢量。如(2)式所示,入射的部分相干光的光强分布为光束半径为  $w_0$  的高斯分布。

根据部分相干光交叉谱密度函数的传输公式可得几何焦平面处的光强分布为

基金项目: 国务院侨办科研基金资助课题。

作者简介: 蒲继雄(1962-),男,华侨大学教授,博士。主要从事激光与光学的研究与教学工作。E-mail: jixiong@hqu.edu.cn

$$I(\mathbf{r}, \omega) = \left( \frac{k}{2\pi f} \right)^2 \iint W^{(0)}(\mathbf{r}_1', \mathbf{r}_2', \omega) \times \exp \left[ \frac{ik}{f} \mathbf{r}(\mathbf{r}_1' - \mathbf{r}_2') \right] d\mathbf{r}_1' d\mathbf{r}_2' \quad (3)$$

式中  $k = \omega/c$  为波数。 $\mathbf{r}$  是几何焦平面的位置矢量。

由(3)式可见,几何焦平面的光强分布依赖于入射光的光强分布及交叉谱密度函数。据此,可以通过控制入射光的交叉谱密度函数而获得预定的光强分布。

### 3 几何焦平面光强分布—光束整形

由于几何焦平面的聚焦光强分布依赖于入射部分相干光的交叉谱密度函数,因此,当入射部分相干光束的光强分布一定时,不同的交叉谱密度可获得不同的聚焦光强分布。下面将举例说明之。

首先假定入射的部分相干光束的交叉谱密度函数为高斯分布,即

$$\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega) = \exp[-(\Delta \mathbf{r}')^2 / 2\sigma^2] \quad (4)$$

(4)式表明,入射的部分相干光就是光强分布和光谱相干度均为高斯分布的 GSM(Gaussian Schell-model) 光束。 $\sigma$  为 GSM 光束的有效相干尺寸。

图 2 给出了当入射的 GSM 光束的空间相干度分别为  $\alpha = \sigma/w_0 = 0.3$  和  $\alpha = 1$  时,光谱相干度  $\mu(\Delta \mathbf{r}', \omega)$  与  $\Delta \mathbf{r}'$  的函数关系[图 2(a)],以及几何焦点处的光强分布[图 2(b)]。由图可见,当入射光的光谱相干度为(4)式所表示时,几何焦点处的光强分布为高斯分布;并且 GSM 光束的空间相干度愈低(即值愈小),几何焦点处的聚焦光斑愈大。

假定入射光的光谱相干度函数为如下形式<sup>[8,9]</sup>:

$$\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega) = \frac{1}{1-\varepsilon^2} \text{Besinc}(k|\Delta \mathbf{r}'|b) - \frac{\varepsilon^2}{1-\varepsilon^2} \text{Besinc}(k|\Delta \mathbf{r}'|\varepsilon b) \quad (5)$$

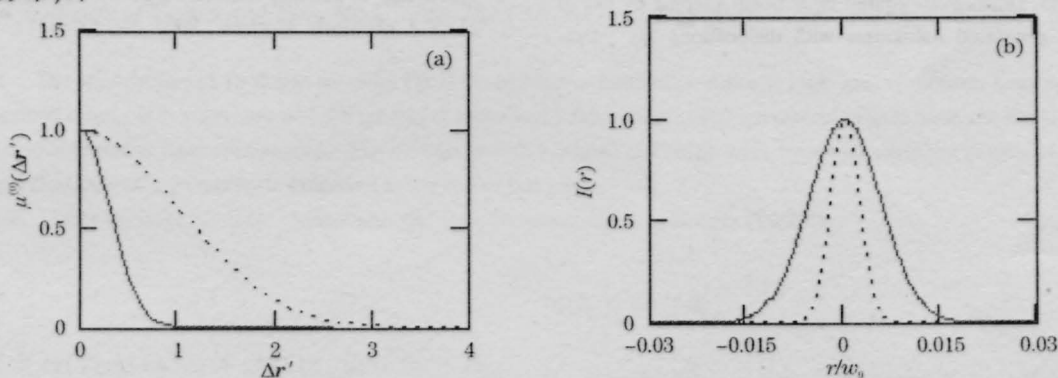


图 2 当部分相干光束的相干度为  $\alpha = \sigma/w_0 = 0.3$ (实线)或  $\alpha = 1$ (虚线)时,光谱相干度  $\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega)$  与  $\Delta \mathbf{r}'$  的函数关系(a)及几何焦点处的光强分布(b)。 $N_w = w_0^2/\lambda f = 100$ ,  $f = 1$  m,  $\lambda = 632.8$  nm

Fig.2 The spectral degree of coherence  $\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega)$  is a function of  $\Delta \mathbf{r}'$  (a), and the intensity distribution at geometrical focus (b) when the coherence of the incident partially coherent beam is  $\alpha = \sigma/w_0 = 0.3$  (solid curve) or  $\alpha = 1$  (dashed curve).  $N_w = w_0^2/\lambda f = 100$ ,  $f = 1$  m,  $\lambda = 632.8$  nm

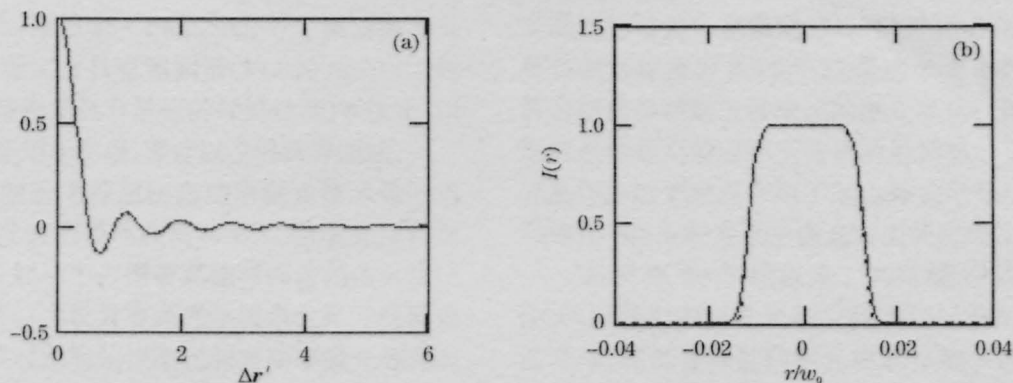


图 3 当  $\varepsilon = 0$ ,  $w_0 \bar{L} = 2$  时,光谱相干度  $\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega)$  与  $\Delta \mathbf{r}'$  的函数关系(a)及几何焦点处的光强分布(b),聚焦光斑为一平顶光强分布。虚线为超高斯光强分布  $\exp[-(r/r_0)^{10}]$ , 其中,  $r_0 = 0.0125w_0$ 。  $N_w = w_0^2/\lambda f = 100$ ,  $f = 1$  m,  $\lambda = 632.8$  nm

Fig.3 When  $\varepsilon = 0$ ,  $w_0 \bar{L} = 2$ , the spectral degree of coherence  $\mu^{(0)}(\Delta \mathbf{r}', \omega)$  is a function of  $\Delta \mathbf{r}'$  (a), and the intensity distribution at geometrical focus is a flattened intensity profile (b). The dashed curve is the corresponding super-Gaussian distribution of  $\exp[-(r/r_0)^{10}]$  with  $r_0 = 0.0125w_0$ .  $N_w = w_0^2/\lambda f = 100$ ,  $f = 1$  m,  $\lambda = 632.8$  nm

式中  $Besinc(u) = 2J_1(u)/u$ ,  $J_1$  为一阶贝塞耳函数;  $\varepsilon$  和  $b$  的值决定了入射的部分相干光的光谱相干度; 从而决定了几何焦点处的聚焦光斑的形状。图 3 所示为当  $\varepsilon=0, w_0/L=2$  时, 光谱相干度  $\mu(\Delta r', \omega)$  与  $\Delta r'$  的函数关系[图 3(a)], 以及几何焦点处的光强分布[图 3(b)](其中透镜平面处的部分相干光的相干度可用一参量  $L=3.832/kb$  表征之, 见参考文献[8,9])。由图可见, 聚焦光斑为一平顶光强分布。

#### 4 结 论

当光强分布为高斯分布的部分相干光束被一透镜聚焦时, 在几何焦平面获得的聚焦光斑依赖于入射光的光谱相干度函数。据此, 通过控制部分相干光的光谱相干度函数, 可获得平顶光束。

#### 参 考 文 献

- 1 E. G. Churin. Diffraction-limited laser beam shaping by use of computer-generated holograms with dislocations [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**: 620-621
- 2 S. N. Dixit, M. D. Feit, M. D. Perry *et al.*. Designing fully continuous phase screens for tailoring focal-plane irradiance profiles[J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**: 1715-1717
- 3 L. A. Romero, F. M. Dickey. Lossless laser beam shaping[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1996, **13**: 751-760
- 4 S. Y. Popov, A. T. Friberg. Design of diffractive axicons for partially coherent light[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**: 1639-1641
- 5 R. Gase. The multimode laser radiation as a Gaussian schell model beam[J]. *J. Mod. Opt.*, 1991, **38**: 1107-1116
- 6 Y. Kato, K. Mima, N. Miyanaga *et al.*. Random phasing of high-power lasers for uniform target acceleration and plasma-instability suppression[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1984, **53**(11): 1057-1060
- 7 L. Mandel, E. Wolf. *Optical Coherence and Quantum Optics* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995
- 8 J. Pu, S. Nemoto. Anomalous behaviors of the Fraunhofer diffraction patterns for a class of partially coherent light[J]. *Optics Express*, 2003, **11**(4):339-346
- 9 J. Pu, S. Nemoto. Spectral shifts and spectral switches in diffraction of partially coherent light by a circular aperture[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2000, **36**:1407-1411