

# 用于激光祛斑的畸变镜头

常山, 吕 崑, 吴 波, 陈冠华

(上饶师范学院物理与电子信息学院, 江西 上饶 334001)

**摘 要:**平顶化激光束可以提高激光祛斑的功效,为此提出基于畸变镜头对高斯光束离焦下平顶化的激光祛斑技术方案,给出了其光学系统和技术要点及其畸变镜头的设计要求,参考相关文献经过合理推理给出了已扩束准直的高斯光束通过畸变镜头衍射变换得到的平顶化激光束,并进行了计算机模拟实验,表明这一激光祛斑的原理及其技术方法是可行的,对改善激光祛斑效果能够发挥重要作用。

**关键词:**激光祛斑;畸变镜头;高斯光束;离焦下平顶化;扩束准直

**中图分类号:** O436; TN249; R616.4      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.09.10

## Distortion lens for freckle removing by laser

CHANG Shan, LÜ Kui, WU Bo, CHEN Guan-hua

(School of Physics & Electronic Information, Shangrao Normal University, Shangrao 334001, China)

**Abstract:** The laser beam with a flat top can increase the effectiveness of freckle removing by laser. In this paper the technical solution to remove freckle by laser is proposed with distortion lens to make Gaussian beam flat-topped off focus. The optical system and design requirement of distortion lens are given. Referring to the relevant literature, it is given that the flat-topped laser beam is gotten by the diffraction transform of the expanded and collimated Gaussian beam through the distortion lens, and computer simulations shows that the principle of freckle removing by laser and its technical approach is feasible. It can play an important role to improve the effect of freckle removing by laser.

**Key words:** dispel freckle by laser; distortion lens; gaussian beam; flat-topped off focus; beam expanding and collimating

### 1 引 言

皮肤组织具有受到适当外部刺激能够自我修复愈合的能力,恰当的微创伤会启动组织的再生修复功进行完美换肤,不同颜色的色素斑对不同波长的激光选择性吸收,吸收一定能量后被破坏分解,分解后逐渐被身体吸收,颜色随之淡化,激光祛斑就是这样一种“微创伤修复”的激光美容技术<sup>[1-3]</sup>。但是,通常在激光祛斑时皮肤受到的是能量的点射,会引起红肿现象,有些皮肤较敏感者有严重的反应,有时色素不全部消退,造成脸部肤色黑白程度不均匀。好疗效需要科学调控祛斑激光束,平顶化的激光束会使祛斑效果更好,人们研究波长、脉冲宽度、能量

密度等因素时对束型平顶化研究的很少<sup>[3-4]</sup>。文献[5]研究了用负球差透镜获得平顶激光光束,仅在两个位置聚焦得到平顶激光光强分布,平顶部分约为光强有效分布的40%,用此聚焦法获得的光斑直径很小,不适于一次祛除毫米级及其以上的光斑。研究如何使祛斑用激光束的光强分布均匀且光斑形状和大小跟欲祛除斑相一致,可以提高激光祛斑

**基金项目:**江西省自然科学基金(No. 20122BAB202008);江西省教育厅科技计划项目(No. GJJ11612);上饶师范学院2007年科研课题基金。

**作者简介:**常山(1964-),讲师,硕士,主要从事光电教学与信息光学研究。E-mail:cs0328@126.com

**收稿日期:**2013-02-03; **修订日期:**2013-02-19

的准确性和效率,减少激光刺激次数和治疗次数,减小副作用,改善治疗效果<sup>[3-4]</sup>。

## 2 基于畸变镜头对高斯光束离焦下平顶化的激光祛斑

### 2.1 光学系统及其技术要点

基于畸变镜头对高斯光束平顶化聚焦的激光祛斑所用光学系统如图 1 所示,主要包括激光器、扩束准直系统、畸变镜头和欲祛除斑等。技术要点是用倒装望远系统对激光器发出的基模高斯光束扩束准直,之后再用畸变镜头将其在离焦下平顶化聚焦为光强均匀分布的祛斑激光束<sup>[6]</sup>。

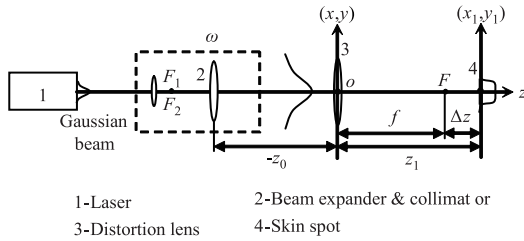


图 1 激光祛斑光学系统图

### 2.2 畸变镜头对已扩束准直高斯光束离焦下平顶化

图 1 中基模高斯光束被扩束准直成为束腰为  $\omega$  的高斯光束,到达畸变镜头时的光场为<sup>[7-9]</sup>:

$$E_{00}(x, y, 0) = \frac{C_{00}}{\omega(0)} e^{-\frac{x^2+y^2}{\omega^2(0)}} e^{j\left\{k\left[z_0 - \frac{x^2+y^2}{2R(0)}\right] + \tan^{-1}\left(-\lambda \frac{z_0}{\pi\omega^2}\right)\right\}} \quad (1)$$

其中,  $\omega(0) = \sqrt{\omega^2 + (\lambda z_0/\pi\omega)^2}$  和  $R(0) = -z_0 [1 + (\pi\omega^2/\lambda z_0)^2]$  为束腰前面  $-z_0$  处光斑半径和等相面曲率半径。

镜头畸变波像差  $W = C_{311}\rho_1^2(x_1x + y_1y)$ , 令  $x' = \beta_d x_1$  和  $y' = \beta_d y_1$ ,  $\beta_d = 1 - C_{311}z_1\rho_1^2$ , 取极坐标  $x + jy = \rho e^{j\varphi}$  和  $x' + jy' = \rho' e^{j\varphi'}$ , 有  $\rho' = (1 - C_{311}z_1\rho_1^2)\rho_1$  和  $\varphi' = \tan^{-1}(y_1/x_1) = \varphi_1$ 。参考文献[6]和[7], 利用  $\int_0^{2\pi} e^{-j\rho\cos(\varphi-\varphi_0)} d\varphi = 2\pi J_0(\rho)$ , 对于已扩束准直的高斯光束, 根据基尔霍夫衍射公式得束腰为  $\omega$  的基模高斯光束经过孔径为  $R$ 、焦距为  $f$  的畸变镜头衍射变换后的光场为<sup>[7-9]</sup>:

$$E(x_1, y_1, z_1) \cong \frac{C_{00} \cos\delta}{j\lambda z_1 \omega(0)} e^{j\left\{k\left(-z_0 + z_1 + \frac{\rho_1^2}{2z_1}\right) + \tan^{-1}\left(-\frac{\lambda z_0}{\pi\omega^2}\right)\right\}} \int_0^R \rho e^{-\frac{\rho^2}{\omega^2(0)}} e^{-j\frac{k}{2}\left[\frac{1}{R(0)} + \frac{1}{z_1} - \frac{1}{f}\right]\rho^2} d\rho \int_0^{2\pi} e^{-j\frac{k\rho\rho_1}{z_1}\cos(\varphi-\varphi_1)} d\varphi$$

$$= \frac{C_{00} k \cos\delta}{j z_1 \omega(0)} e^{j\left\{k\left(-z_0 + z_1 + \frac{\rho_1^2}{2z_1}\right) + \tan^{-1}\left(-\frac{\lambda z_0}{\pi\omega^2}\right)\right\}} \int_0^R \rho e^{-\left\{j\frac{k}{2}\left[\frac{1}{R(0)} + \frac{1}{z_1} - \frac{1}{f}\right] + \frac{1}{\omega^2(0)}\right\}\rho^2} J_0\left(\frac{k\rho\rho_1}{z_1}\right) d\rho \quad (2)$$

由式(2)知,当畸变镜头的孔径  $R$  足够大时,利

用  $\lim_{R \rightarrow \infty} \int_0^R x e^{-\rho x^2} J_0(\alpha x) dx = e^{-\alpha^2/(4\rho)}/(2\rho)$ , 在  $z_1$  处离焦量  $\Delta z = z_1 - f$  时高斯光束被整形后的光束光强为<sup>[6-8]</sup>:

$$I(x_1, y_1, z_1) \cong \frac{\left[\frac{C_{00} k \cos\delta}{z_1 \omega(0)}\right]^2}{\left[\frac{1}{\omega^2(0)}\right]^2 + \left\{\frac{k}{2}\left[\frac{1}{R(0)} + \frac{1}{z_1} - \frac{1}{f}\right]\right\}^2} e^{-\frac{\frac{1}{2}\left[\frac{k}{z_1 \omega(0)}\right]^2}{\left[\frac{1}{\omega^2(0)}\right]^2 + \left\{\frac{k}{2}\left[\frac{1}{R(0)} + \frac{1}{z_1} - \frac{1}{f}\right]\right\}^2} C_{311}^2 z_1^2 \rho_1^2} \quad (3)$$

由式(3)可知,如果镜头的畸变波像差系数  $C_{311}$  足够大,有  $C_{311}z_1\rho_1^2 \gg 1$ , 通过设计适当的参数,在  $z_1$  处由畸变镜头得到平顶化激光束。

### 2.3 畸变镜头的设计要求

鱼镜头在短焦距下获取超大视角而像有很大畸变。用鱼镜头对高斯光束进行离焦平顶化时,因激光单色性极好色差可忽略,已扩束准直的高斯光束正射时近乎轴向平行光,倾斜细光束形成的彗差很小,大畸变下不大的场曲对平顶化聚焦影响极小,所以重点消除球差和像散。鱼镜头往往采用凸、凹透镜组合和非球面透镜的组合,分别可以消球差和消像散<sup>[10]</sup>。总之,设计具有大畸变和一定场曲的鱼镜头用于对已扩束准直的高斯光束离焦下平顶化,比设计通常的鱼镜头更为容易些。

## 3 计算模拟

### 3.1 已扩束准直高斯光束被畸变镜头离焦下平顶化

波长  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$  扩束准直后束腰半径  $\omega = 5 \text{ mm}$  的高斯光束,到达  $z_0 = -150 \text{ mm}$  处半径  $R = 10 \text{ mm}$  的畸变镜头时光斑半径  $\omega(0) = 5 \text{ mm}$ 、曲率半径  $R(0) = 164490000 \text{ mm}$ ,通过焦距  $f = 100 \text{ mm}$  的畸变波像差系数  $C_{311} = \pm 10^2 \lambda$  的镜头,在  $z_1 = 300 \text{ mm}$  处离焦量  $\Delta z = 200 \text{ mm}$  时平顶化聚焦光束的相对光强分布。

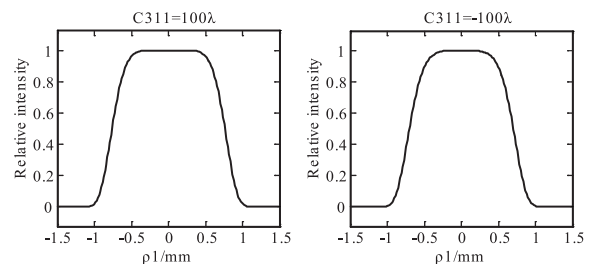


图 2 正负畸变镜头把高斯光束离焦下平顶化

图 2 反映了  $C_{311} = 10^2 \lambda$  的正畸变镜头和  $C_{311} = -10^2 \lambda$  的负畸变镜头对高斯光束离焦下的平顶化,光斑半径约为  $0.8 \text{ mm}$ ,前者正畸变镜头产生的平顶

部分占光强有效部分的 65% 以上,比后者负畸变镜头的平顶化效果更出色。

### 3.2 祛斑激光束口径的调控参数

把上面实验中波长  $\lambda$ 、束腰半径  $\omega$ 、束腰到镜头的距离  $z_0$ 、镜头焦距  $f$ 、畸变系数  $C_{311}$  和离焦量  $\Delta z$  每次仅单独改变为  $\lambda = 0.6 \mu\text{m}$ 、 $\omega = 8 \text{ mm}$ 、 $z_0 = -500 \text{ mm}$ 、 $f = 50 \text{ mm}$ 、 $C_{311} = 50 \lambda$ 、 $\Delta z = 900 \text{ mm}$  而保持其他量不变。

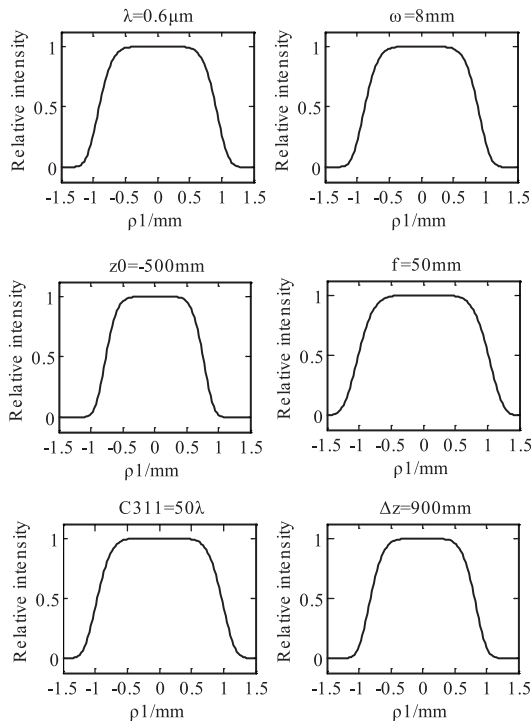


图3 祛斑激光束口径的调控参数

图3实验跟图2中  $C_{311} = 10^2 \lambda$  的正畸变镜头实验相比较可看出,改变波长  $\lambda$ 、束腰半径  $\omega$ 、束腰到镜头的距离  $z_0$ 、镜头焦距  $f$ 、畸变系数  $C_{311}$  和离焦量  $\Delta z$  之一可改变祛斑用平顶化光束的大小,但束腰到镜头的距离  $z_0$  影响甚微,波长  $\lambda$  影响不大,离焦量  $\Delta z$  范围大便于调节,束腰半径  $\omega$ 、镜头焦距  $f$  和畸变系数  $C_{311}$  影响较大,是需要掌控的激光束和畸变镜头的重要参数。

## 4 结 语

本文针对激光祛斑的治疗和研究现状,提出并研究了激光祛斑的重要因素之一激光的平顶化束型,设计了基于畸变镜头对高斯光束离焦下平顶化的祛斑技术方案,给出光学系统和技术要点及其畸

变镜头的设计要求,定量分析并计算模拟了畸变镜头对扩束准直的高斯光束离焦下的平顶化及光束口径的调控方法,表明这一激光祛斑原理及其技术方法是可行的,该离焦法的平顶化程度高,在离焦的各个位置上都可得到平顶化光束,调节参数可使平顶光束口径的大小跟欲除斑的大小相一致,对改善激光祛斑效果能够发挥重要作用。

### 参考文献:

- [1] Gong Wei, Huang Yimei, Li Hui, et al. Thermal responses of human skin melanin in vivo to 532nm multi-pulse laser [J]. Acta Optica sinica, 2010, 30(8): 2366 ~ 2369. (in Chinese)
- [2] Luo le, Zong Renhe, Liu Chengyue, et al. Study on the application of laser in cosmetology [J]. Chinese journal of quantum electronic, 2002, 19(4): 323 - 325. (in Chinese)
- [3] Cai Huimin, Weng Lingda, Zhang Shaoyuan, et al. Q-switched Nd:YAG laser in the treatment of pigmentary lesions of skin [J]. Applied laser, 2006, 26(4): 283 - 284. (in Chinese)
- [4] Yu Xiaomin. The application and development of laser technology in BPH [J]. Laser technology, 2011, 35(5): 718 - 720. (in Chinese)
- [5] Pu Jixiong. The flatted beam is obtained by lenses with spherical aberration [J]. Acta photonica sinica, 27(3): 234 - 237. (in Chinese)
- [6] Chang Shan, Cheng Libin, Gong Weixiang. Using distortion lens to obtain fine processing laser beam [J]. Laser & infrared, 2012, 42(8): 870 - 874. (in Chinese)
- [7] Chang Shan, He Jie, Xiao Qingwu, et al. "Reproduction" and "Self-Reproduction" of micro-circular aperture diffraction of Gaussian beam [J]. Electronics optics and control, 2011, 18(9): 94 - 97. (in Chinese)
- [8] Lv Baida. Laser Optics: Beam description, transmission and transformation and light cavity technology by physics (The third edition) [M]. Beijing: Higher education press, 2003: 1 - 196. (in Chinese)
- [9] Yasuo Kokubun. Light wave engineering [M]. Beijing: Science publishing house, 2008: 68 - 220. (In Chinese)
- [10] Wang Yongzhong. Fisheye Optics [M]. Beijing: Science publishing house, 2006. (in Chinese)