

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0346-03

用于 ICF 的四光束并束均匀化器件设计

赵逸琼 王 炜 徐俊中 李永平

(中国科学技术大学物理系, 合肥 230026)

提要 采用几何光学与二元光学位相调制相结合的基本思想, 将四束不同倾角的人射光通过楔形阵列准直平行, 然后分别经过位相片进行波面变换, 最后由主透镜会聚在靶场叠加产生窄焦斑、高功率的平顶超高斯光束。

关键词 并束, 均匀照明, 楔形阵列, 位相片

中图分类号 O435; O436.1 文献标识码 A

Design of Phase Elements Used to Fan in Four Beams in ICF

ZHAO Yi-qiong WANG Wei XU Jun-zhong LI Yong-ping

(Department of Phys., University of Sci. and Tech. of China, Hefei 230026)

Abstract Based on the united idea of geometry optics and phase modulation of binary optics, a prism array is used to change four incident beams, which have 45 degree gradient with horizontal axes, into parallel beams, and then the beams transit the two-dimension pure phase element which is designed by couterchanged two one-dimension phase. Through the lens, the uniform irradiance on the ICF targets which are superposed by four beams is achieved.

Key words fan in, uniform illuminate, prism array, phase element

1 引言

惯性约束核聚变光学元件对入射到靶面的光束提出了极为苛刻的要求, 如平顶、陡边、无旁瓣。然而现有激光的功率并未达到所要求的强度, 所以需要有一种既能保证靶面光束高质量, 又能使多光束进行合并产生高功率的设计方案。我们以前就单光束入射曾发展了位相混合法^[2,3], 杂交算法等元件设计方法, 取得了较好的设计结果。

本文在我们以往的经验与实践基础上, 采用几何光学与衍射光学位相调制相结合的基本思想, 将

方向不同、彼此非相干的四束光通过我们所设计的光学元件进行并束并加以波面整形, 最后出射高强度、高质量的超高斯光束。

2 原理和方法

一维位相片设计的详细情况见文献[1~4], 这里结合现有设计作简要的介绍。我们设计的光路图如图 1。四束不同倾角、但均与光轴成 45°角的人射光通过楔形棱镜阵列, 平行准直入射到纯位相片上, 由其整形后经透镜聚焦, 然后在靶场叠加成平顶窄

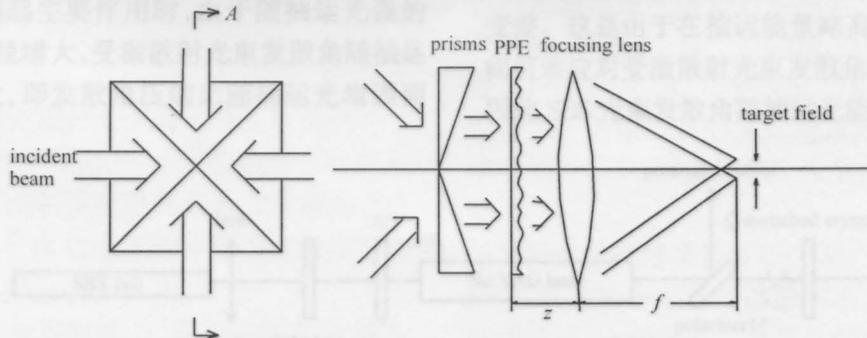


图 1 系统原理图。(a)为四束光以不同倾角入射楔形棱镜的左视图;(b)为整个光路图的正视图

Fig. 1 Schematic diagram of last stage. (a) Left view of four binds of light incidence the prisms with from four different obliquity; (b) Elevation view of the whole light path

焦斑光束。

单个棱镜光路如图 2 所示。设棱镜的顶角为 δ ，棱镜的折射率为 1.5，通过简单的几何运算可得：

$$\tan \delta = \frac{1/\sqrt{2}}{\sqrt{7}/2 - 1}, \quad \delta \approx 65.46^\circ$$

即入射的棱镜顶角必须为 65.46° ，方可保证 45° 入射的光通过楔形棱镜平行射出。

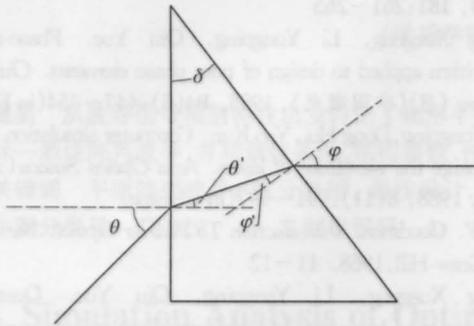


图 2 与平行轴成 45° 角的光通过楔形棱镜的光路图
Fig.2 Schematic diagram of the prism with 45° incident beam

通过楔形棱镜后四束平行光将分别通过各自的位相片整形，再通过主透镜聚焦。由于每个位相片原理相同，这里只介绍单个位相片的设计方案。直接设计二维连续形位相片^[1]无论是在计算量上还是在工艺实现方面都是有一定困难的，所以，如果能由一维设计结果拓展成二维，将能节约时间及提高可行性。这里假设输入的光振幅在 x, y 方向上是相互独立的，而且实际的激光都可以满足这个假设。则输入光振幅在加入各自的位相调制后通过主透镜进行傅里叶变换，由于可分离变量的二维傅里叶变换仍然是可分离变量的，所以出射光也是 x, y 方向上相互独立的。^[5] 这样二维位相设计就可以简化成两个一维设

计。对于一维的位相片，采用相位混合算法^[2]模拟设计，它的基本思路是先设定理想的超高斯输入光场和理想的输出光场，将输入输出场加入位相因子后反复进行正逆傅里叶变换，直至若干次变换前后振幅和位相都趋于稳定分布，此时的位相数据即为所要求的一维位相数据。这样就可以分别得到 x, y 方向上的 $\varphi(x), \varphi(y)$ 。

经由位相片整形后的四束平行光入射到透镜上，同主轴有一定的横向偏移，这种偏移对输出光强没有影响。由于原理相同，选其中一束光的偏移来讨论。假设其光的中心偏移主轴的坐标为 (a, b) ，如图 3 所示，则入射到到相片的偏移光经过透镜后在焦平面上的振幅为：

$$U_0(x'_f, y'_f) = F\{U_i(x - a, y - b)\} = U_0(x_f, y_f) \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda}(x_f a + y_f b)\right] \quad (6)$$

可见，偏移只在原振幅上多添加了一个位相因子。由于在焦平面上只对光强感兴趣，所以这种偏移不改变靶场光强分布。

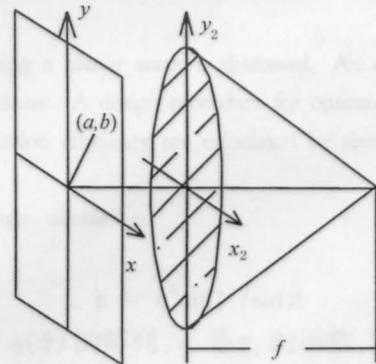


图 3 四块 PPE 组成的列阵同透镜的相对位置
Fig.3 Relative site between PPE array and len

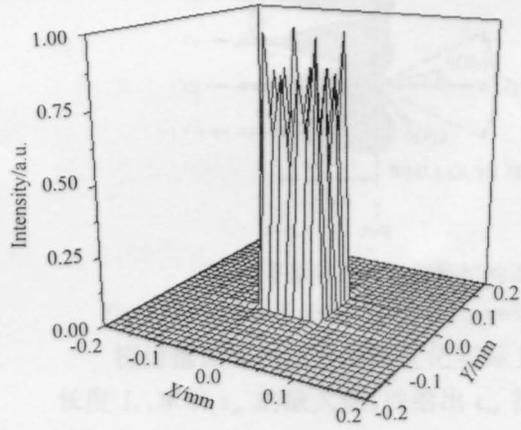
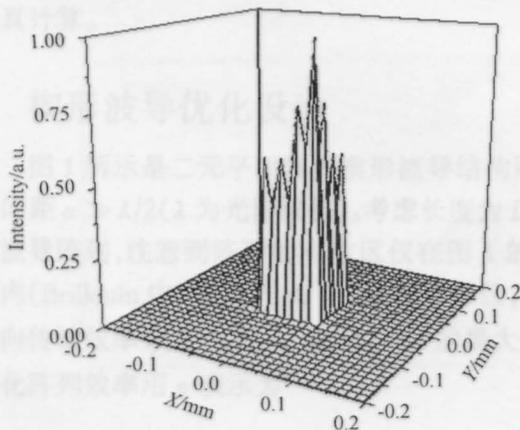


图 4 单光束同四光束在靶场的光强分布比较图。(a) 单光束在靶场的光强分布图；(b) 四光束合并在靶场的光强分布图
Fig.4 Comparison between single beam's and four incorporate beams' intensity on the target field.
(a) single beam's intensity; (b) four incorporate beams' intensity

输出光强的均匀化效果在我们以前的工作中^[6]已经有一定的成果,而在计算四光束合并的过程中发现,由于在设计一维位相片时采用了以往的位相混合法^[2],算法得出的出射光强存在随机调制,当四束光叠加之后,类似于平均值的原理,就会把原有的一些随机毛刺摸平,从而不仅使光强提高为原来的四倍,而且能达到更平滑和均匀化的效果。从图4中可看到光束质量有了相当可观的提高。

3 结 论

我们在原有基础上引入几何光学与衍射光学的结合,将多光束合并整形的二维问题从理论上分解并化简,通过列阵和交叉变换使之成为简单的一维问题的组合和叠加,从而减小了设计的难度。通过对整个光路的计算模拟表明,四束光的匀化叠加效果相对于单光束有所提高,这样更有利于满足靶场均匀化指

标。

参 考 文 献

- 1 Wang Wei, Li Tao, Liu Li *et al.*. Design of large-caliber phase elements used in ICF. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(5):395~400
- 2 Wang Wei, Li Tao, Li Yongping. A hybrid algorithm for the design of DOE in uniform illumination. *Opt. Commun.*, 2000, **181**:261~265
- 3 Deng Xuegong, Li Yongping, Qiu Yue. Phase-mixture algorithm applied to design of pure phase elements. *Chinese J. Lasers (B)* (中国激光), 1995, **B4**(5):447~454 (in English)
- 4 Li Yongping, Dong Hui, Yao Kun. Computer simulation method to charge the wavefront of lasers. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1988, **8**(11):991~997 (in Chinese)
- 5 J. W. Goodman. *Introduction To Fourier Optics*. New York: McGraw-Hill, 1968. 11~12
- 6 Deng Xuegong, Li Yongping, Qiu Yue. Quantitative description of beam quality in uniform illumination experiments. *Chinese J. Lasers*, 1996, **A23**(11):1021~1026

