

·光电系统·

平面系统成像像差问题讨论

程湘爱, 江天, 周琼, 王睿

(国防科学技术大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要:主要研究了平面系统成像引入像差的问题。由于平面系统的工作面为平面, 平行光束入射、出射光也是平行光束, 不会引起像差。一般认为, 对于平面系统成像不引入像差, 对于平面反射镜, 同心光束经平面反射镜后仍然是同心光束, 不存在像差, 但对于棱镜系统和平行平板, 只有在近轴条件下才能理想成像, 在离轴角较大时, 会引起像差, 即同心光束经棱镜系统和平行平板后不再是同心光束。

关键词:平面系统; 棱镜系统; 近轴条件; 相差

中图分类号: O436

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-04-0016-02

Discussion of Astigmatism Problem of Plane System Imaging

CHENG Xiang-ai, JIANG Tian, ZHOU Qiong, WANG Rui

(The College of Opto-electric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The problem whether plane system imaging induces astigmatism is researched. For the operation surface in plane system is flat, incidence beam is parallel, outgoing beam is parallel, so the astigmatism can not be induced. In general, astigmatism is not induced during plane system imaging process. According to research, for plane reflecting mirror, homocentric beam reflected by plane mirror is still homocentric and astigmatism is not induced. But for prism system and parallel plate, ideal imaging can be performed only at the paraxial condition. When off-axis angle is larger, astigmatism will be induced and homocentric beam passing prism system and parallel plate is not homocentric any more.

Key words: plane system; prism system; paraxial condition; astigmatism

平面系统即工作面为平面的系统, 如平面反射镜、棱镜系统和平行平板。在成像系统中, 引入平面系统, 其作用很多, 例如, 折叠共轴球面系统光轴, 以减轻光学系统的质量, 缩小体积; 改变像的方向, 变倒像为正像; 改变球面系统光轴位置, 形成潜望高; 改变光轴方向, 从而扩大观察范围等^[1-4]。但平面系统的引入是否引起像差呢? 有人会认为, 由于平面系统的工作面为平面, 平行光束入射、出射光也是平行光束, 不会引起像差。对于平面反射镜, 在整个空间可以理想成像。也就是说, 同心光束经平面反射镜后仍然是同心光束, 不存在像差^[5-8]。但对于棱镜系统和平行平板, 只有在近轴条件下才能理想成像, 在离

轴角较大时, 会引起像差。即同心光束经棱镜系统和平行平板后变为非同心光束。由于棱镜系统成像问题可简化为平面反射镜和平面平行板成像问题^[1-2], 所以以平面反射镜和平面平行板为例, 讨论平面系统成像像差问题。

1 平面反射镜成像像差问题

如图 1a 和图 1b 所示, 利用反射定律可知, 平面反射镜在整个成像空间(包括实物空间和虚物空间)可以理想成像。同心光束经平面反射镜反射后仍然是同心光束, 不存在像差^[9-11]。

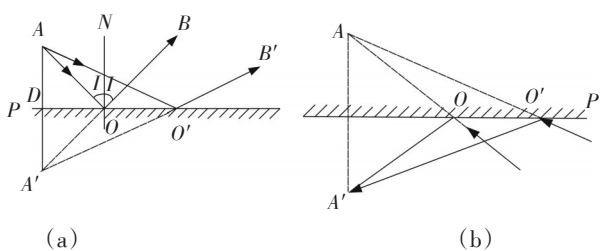


图1 平面镜成像

2 平行平板成像像差问题

如图2所示,利用折射定律易知,经平行平板前、后表面折射后的光线与入射光线平行^[1-3]。换句话说,入射光线与光轴的夹角等于出射光线与光轴的夹角。即 $U=U'$ 。利用几何关系,可得光线经平行平板的折射,轴向位移: $\Delta L'=AA'=DM=L-MF$ 。而 $MF=EF/\tan I_1$,可得

$$\Delta L' = \left(1 - \frac{\tan I_1'}{\tan I_1}\right)L \quad (1)$$

对平行平板前表面,运用折射定律 $n \sin I_1' = \sin I_1$ 和三角关系 $\cos I_1 = \sqrt{1 - \sin^2 I_1}$,可得

$$\Delta L' = \left(1 - \frac{\tan I_1'}{\tan I_1}\right)L = \left(1 - \frac{1 - \sin^2 I_1'}{n^2 - \sin^2 I_1}\right)L \quad (2)$$

其中, I_1, I_1' 为光线经平行平板前表面折射时入射角和折射角; I_2, I_2' 为光线经平行平板后表面折射时入射角和折射角; L 为平行平板厚度。

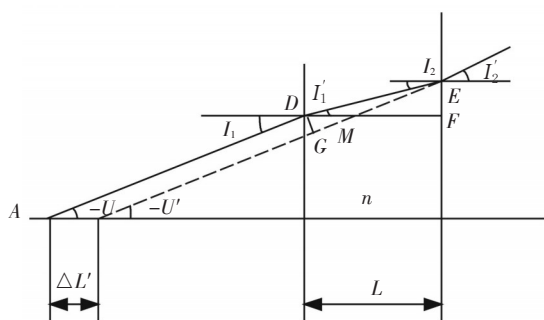


图2 非近轴光线入射

由式(2)可知,非近轴条件下,轴向位移大小 $\Delta L'$ 与入射角 I_1 有关。也就是说,入射光束为同心光束,出射光束不再为同心光束,存在像差。设玻璃平板厚度为 4 mm,材料的折射率 $n=1.554 2$,可得轴向位移随入射角的变化规律如图3所示。随着入射角的增大,轴向位移越来越大,引起的像差也越大。

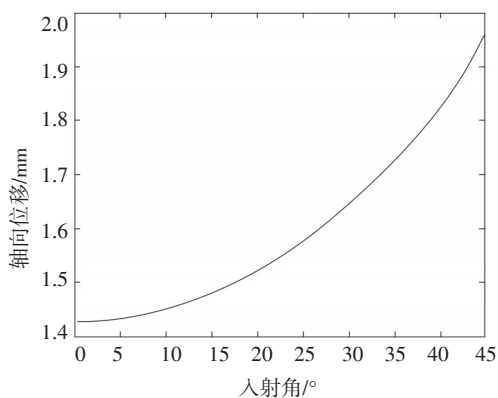


图3 轴向位移随入射角的变化规律

在近轴条件下, $\cos I_1' \approx 1$; $\cos I_1 \approx 1$,并对平行平板的前表面,利用折射定律 $n \sin I_1' = \sin I_1$,由式(2)可得

$$\Delta L' = \left(1 - \frac{1}{n}\right)L \quad (3)$$

由式(3)可知,近轴条件下,轴向位移大小与入射角、折射角无关,因此入射光线为同心光束,出射光线也为同心光束。

3 结论

针对平面系统成像引起像差问题,利用反射定律、折射定律和平面几何知识,可以得到以下结论:平面反射镜在整个空间可以理想成像;棱镜和小平行平板在近轴条件下能理想成像;在离轴角较大时,将会存在像差,在光学系统设计时,应考虑其他光学零件的像差进行补偿。

参考文献

- [1] Kingslake, R. Applied Optics and Optical Engineering [M]. New York: Academic Pree, 1965.
- [2] Kingslake, R. Lens Design Fundamental [M]. New York: Academic Pree, 1980.
- [3] Yoder, P. Opto-Mechanical System Design [M]. New York: Marcel Dekker, 1986.
- [4] O'Shea, D. C. Elements of Modern Design [M]. New York: John Wiley, 1985.
- [5] Levi, L. Applied Optics [M]. New York: Wiley, 1968.
- [6] Drude, P. Theory of Optics [M]. New York: Dover, 1959.
- [7] Borwn, E. Modern Optics [M]. New York: Reinhold, 1965.
- [8] Southall, J. Mirrors, Prisms and Lenses [M]. New York: Wiley-Interscience, 1965.

(下转第33页)

2 结 论

由布儒斯特定律出发,分析了CLBO晶体的切割方式对四倍频效率的影响情况。通过理论计算得知,对于激光晶体适用的布氏切割方法不再适用于非线性晶体的情况,这是由于光通过激光晶体后没有新频率产生,不改变光的偏振状态,而经过非线性晶体后却有新频率的激光产生,而这种新产生的频率的振动状态与入射光的振动状态总不相同,这是由相位匹配条件和偏振匹配条件共同决定的,因而以布儒斯特角将两通光面平行切割的方法不再适合于此类晶体中。通过分析还得出,采取两通光面以互相垂直的布氏角切割晶体,可以达到对紫外光减反射的目的。

参考文献

- [1] YU Xue-song, HU Zhang-Gui. Flux growth of CsLiB₆O₁₀ crystals[J]. Journal of Crystal Growth, 2010, 312(16-17): 2415-2418.
- [2] CHEN Qu, MASASHI Yoshimura, JUN Tsunoda. Phase-matching properties at around 190 nm of various borate crystals[J]. Applied Physics Express, 2012, 5(6): 062601-3.
- [3] VAISH Rahul, VARMA K B R. Electrical relaxation and transport in 0.5Cs(2)O-0.5Li(2)O-3B(2)O(3) glasses[J]. IEEE Transactions on Electrical Insulation, 2011, 18(1): 155-161.
- [4] TAKAHIRO Kawamura, MASAHY Yoshimura, YOHEI Shimizu. Crystal growth of CsLiB₆O₁₀ in a dry atmosphere and from a stoichiometric melt composition[J]. Journal of Crystal Growth, 2010, 312(8): 1118-1121.
- [5] TAKAHIRO Kawamura, MASAHY Yoshimura, YOSHIYUKI Honda. Effect of water impurity in CsLiB₆O₁₀ crystals on bulk laser-induced damage threshold and transmittance in the ultraviolet region[J]. Applied Optics, 2009, 48(9): 1658-1662.
- [6] YU Xue-song, HU Zhang-gui. Growth and characterization of Al-doped CsLiB₆O₁₀ crystal[J]. Journal of Crystal Growth, 2011, 318(1): 1171-1174.
- [7] KANEDA Yushi, YARBOROUGH J M, LI Li. Continuous-wave all-solid-state 244 nm deep-ultraviolet laser source by fourth-harmonic generation of an optically pumped semiconductor laser using CsLiB₆O₁₀ in an external resonator[J]. Optics Letters, 2008, 33(15): 1705-1707.
- [8] TAKACHIHO Kei, YOSHIMURA Masashi, FUKUSHIMA Yuji. Al doping of CsLiB₆O₁₀ for high resistance to ultraviolet-induced degradation[J]. Applied Physics Express, 2013, 6(2): 022701.
- [9] KUMAR R Arun. Borate crystals for nonlinear optical and laser applications: a review[J]. Journal of Chemistry, 2013: 1-6.
- [10] RYU Gihan, YOON Choon Sup, HAN Thomas P J, et al. Growth and characterisation of CsLiB₆O₁₀ (CLBO) crystals [J]. Journal of Crystal Growth, 1998, 191(3): 492-500.
- [11] MIROV S B, FEDOROV V V, BOCZAR B, et al. All-solid-state laser system tunable in deep ultraviolet based on sum-frequency generation in CLBO[J]. Optics Communications, 2001, 198(4-6): 403-406.
- [12] 周城. 深紫外和频晶体CLBO产生193 nm激光的频率变换[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(10): 1489-1492.
- [13] 龙槐生, 张仲先, 谭恒英, 等. 光的偏振及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989: 19-21.
- [14] 俞文海, 刘皖育. 晶体物理学[M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 1998: 175.
- [15] SHEN De-zhong, SHEN Guang-qiu, WANG Xiao-qing, et al. Laser doubler with nonparallel light pass surfaces cut in brewster angle[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2000, 29(2): 95-101.
- [16] 沈德忠, 沈光球, 王晓青, 等. 非平行通光面激光变频器[J]. 人工晶体学报, 2000, 29(2): 95-101.

(上接第17页)

- [9] 李林. 应用光学[M]. 4版. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 75.
- [10] 李林, 黄一帆, 王涌天. Applied Optics[M]. 北京: 北京理工

大学出版社, 2005: 102.

- [11] 胡玉禧, 安连生. 应用光学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006: 112.