

看了觉得可以，就留着作者的名字吧，对别人劳动的尊重。

QQ11383847 邮箱 qhyocean@yeah.net 光电论坛 ID qhyocean

第九章 分裂镜片

9.1 引言

在第三章及其课后作业中，你学到怎样使镜片弯曲来使球差最小化，或者使用非球面来消除球差。可以使用评价函数中的操作数 SPHA 和 TRAC 来达到这个目的。在这章里，我们将就“镜头分裂”这个主题做为一个达到轴上点衍射极限的方法。在斐索干涉仪中和石印激光器中，我们可以看到这中技巧的应用。课后的练习是使用在一些现有的仪器中

9.2 镜片分裂

9.2.1 单组元件

我们用下面的等曲率的单透镜结构开始：100mm f/4。 镜片材料是 BK7 ($n=1.5168$ 计算波长为 0.587 微米)。使用以下这个透镜方程。我们可以计算出最初要输入 ZEMAX 的曲率半径。

$$R_1 = 2(n-1)/\phi \quad (9.1)$$

$$R_1 = 2(0.5168)/0.01 = 103.36 = -R_2$$

在 ZEMAX 中输入一个有限厚度为 7mm 的透镜。评价函数要包括以下两个操作数：EFFL 其目标值为 100mm，SPHA 其目标值为 0。两边的曲率半径设置为变量。这个优化会尽量在现有的有限厚度基础上去找出正确的焦距，并且弯曲透镜来最小化球差，所得的结果在图 9.1 中。焦距是 102.7，光瞳球差 W040=9.64 λ （这个参数可以从优化函数中的“value”一列中直接得到）。这个透镜中有大量球差，但这是单透镜最好的优化结果。

9.2.2 双组元件

这个透镜现在用下面的方程分裂成两个相等的组元，也就是

$$\phi_i = \frac{\phi}{2} = \frac{0.01}{2} = 0.005.$$

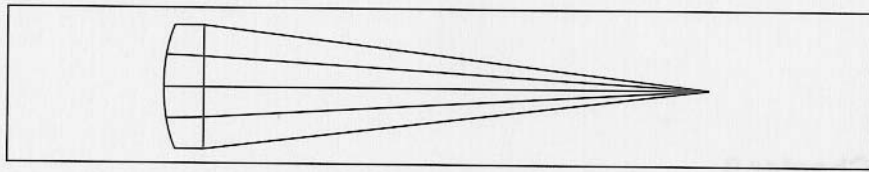


Fig. 9.1 Singlet bent for minimum spherical aberration.

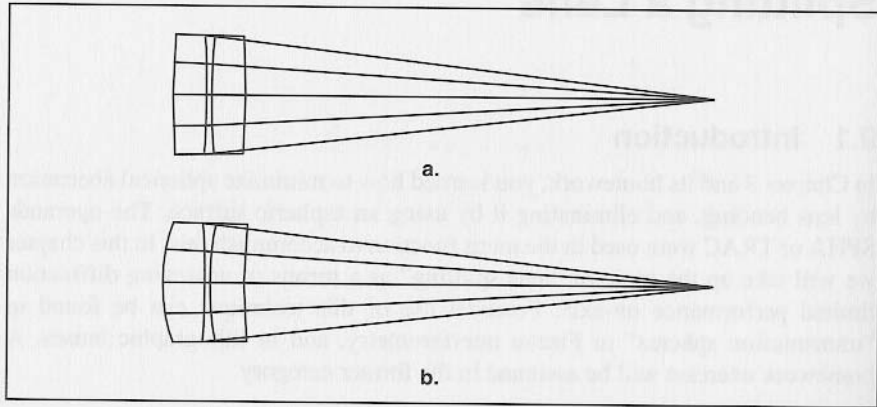


Fig. 9.2 Lens splitting: a. starting doublet; b. optimized doublet.

我们再次设定四个曲率半径为相等数量级

$$R_1 = \frac{1.0336}{0.005} = 206.72 = R_3 = -R_2 = -R_4$$

在 ZEMAX 中，这些双组镜片之间用 1MM 的间隔。最初的 LAYOUT 显示在图 9.2a 中，使用同样的优化函数，所有的半径均做成可变量。优化后，焦距大约为 100MM，但是 $W040=2.04\lambda$ ，在加入了第而这个元件和弯曲以后，球差几乎减少为原来的 1/5，优化后的系统的 LAYOUT 图在 9.2b 中显示。

注意：尽管设计以两个相等光焦度的元件开始。但优化过程中是在两个元件之间改变了光焦度。 $(\phi_1=0.004976, \phi_2=0.005253)$ ，程序改变了每个元件的球差贡献。

9.2.3 三组元透镜

做为最后一个例子，单透镜将改成一个有相同光焦度和 f-umber 的三组元。每个组元的光焦度等于 $\phi_i = \phi/3 = 0.01/3 = 0.00333$ 。每个组元的间隔为 1mm，所有的组元都是有相同半径双凸的透镜。

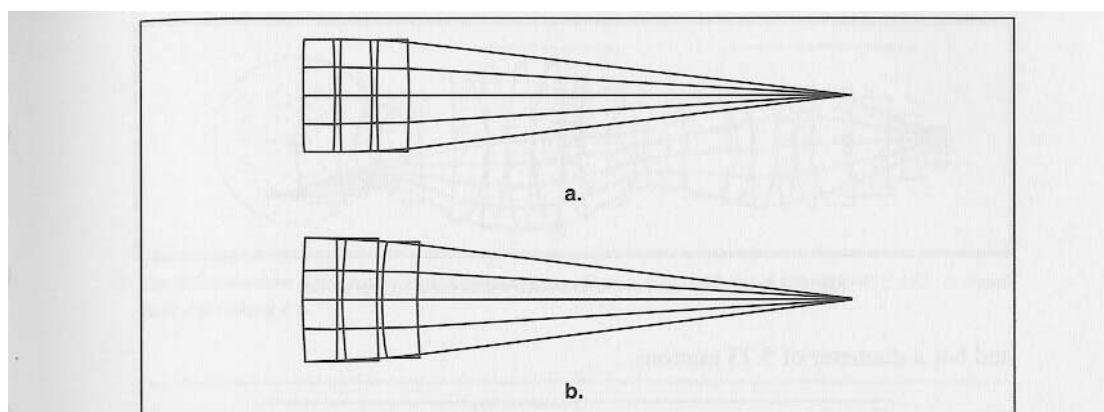


Fig. 9.3 Lens splitting: a. starting triplet; b. optimized triplet.

$$R_1 = \frac{(1.0336)}{0.00333} = 310.39 = R_3 = R_5 = -R_2 = -R_4 = -R_6$$

最初的 LATOUT 图，如图 9.3a。优化操作中的操作数仍旧是 EEFL 和 SPHA。所有的曲率半径都是可变的。经过优化，焦距是 100MM，W040=0.51 λ 。球差已经减少了 4 倍，优化后的结构在图 9.3b 中显示。注意，最左边的镜片是双凸的，但是最右边的镜片是向像面弯曲的弯月形透镜。

toward the image. This transitional lens shape behavior minimizes the spherical aberration contribution of each element.

这个过度镜片的形成过程是最小化每个镜片球差贡献的过程。

光焦度再次进行了分配，新的光焦度如下：

$$\phi_1 = 0.003298; \phi_2 = 0.003355; \phi_3 = 0.003429.$$

前面一片镜片光焦度最小，最后一个光焦度最大。

表 9.1 是初试系统和优化后的系统每一个面的 W040 贡献的比较。表中也列出了每个面实际的入射角度。

在我们做这个系统的过程中，优化后的三片组元的空气到玻璃界面的球差贡献略微的变高，但是从玻璃到空气界面的球差贡献有效的降低了。在入射角方面也是做了改变样的。（在优化值边上的箭头表示该值比优化前降低或提高）。如果你把每个镜片的球差贡献相加。你会发现每个镜片的球差比初始镜片很明显降低了。

Figure 9.4 shows the spot diagrams for the optimized singlet, doublet, and triplet at the best RMS spot focus. (This was done by adding a dummy surface as

图 9.4 画出了单组元，双组元，三组元的最佳 RMS 点列焦点 spot diagrams。（这是由附加上一个假设的厚度可以改变的平面来确定， 将所有的半径变量变为不变量，优化函数中只有 TRAC 在使用）。圆圈表示爱里斑，其直径为 5.73 微米

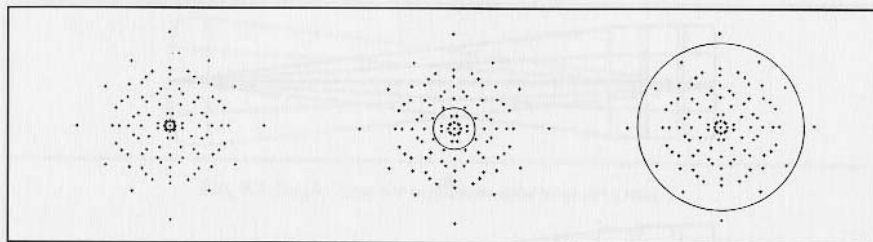


Fig. 9.4 Spot diagram comparison. Airy disk (circle) sets scale.

Table 9.1				
Surface	Start		Optimized	
	W_{040}	Inc. Ang.	W_{040}	Inc. Ang.
1	0.03905	2.030803	0.19604↑	3.95395↑
2	0.56783	3.07819	0.18288↓	1.96774↓
3	-0.00010	0.10038	0.11318↑	5.02061↑
4	2.08014	4.57698	0.10856↓	1.31231↓
5	-0.18269	2.51304	-0.12219↑	6.10043↑
6	4.73832	5.99140	0.03174↓	0.65209↓
Σ	7.24256		0.51021	

9.3 微缩平版印刷和镜片分离

9.2 中的镜片分离例子有许多的应用。例如，在积分圆的领域，在硅片上制作高密度的线路（Higher circuit density）意味着可以制作更小更高性能的电脑。微缩平版印刷镜头在这个行业起决定性作用。它必须以接近极限分辨率和无畸变将密集的线路像面成像在微小的栅网面积内。图 9.5 中是一个现代 UV 平版镜头。这个镜头以 $\lambda = 0.365$ 微米的波长设计，注意两个从弯向物空间过度到弯向像空间的镜组。这些镜组不仅控制球差，而且控制彗差，像散和畸变

9.4 斐索干涉仪

许多的干涉仪都是用来做光学测试。然而，斐索干涉仪已经成为光学成像质量的一个标准方法。图 9.6 是斐索干涉仪的基本原理

一个激光光源从空间通过一个光孔经过滤，经过一个显微镜物镜和一个针孔。这个针孔位于准直镜的焦点上，在针孔和镜头间是一个分光板。准直光束直接射到一个有微小掣形的玻璃平板上。这个是干涉仪的关键部分。在分界面出

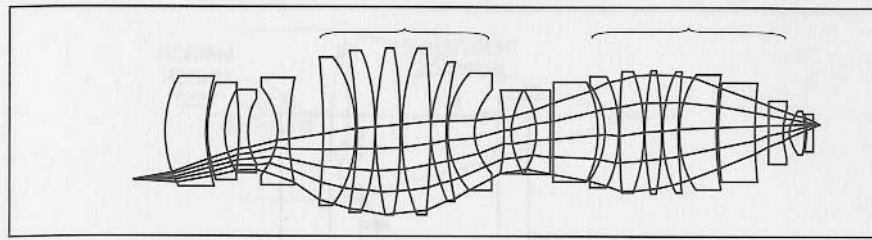


Fig. 9.5 A modern lithography lens. Courtesy Laser Focus World 31, no. 4 (April 1995): 113; © Penn-Well Publishing Co.

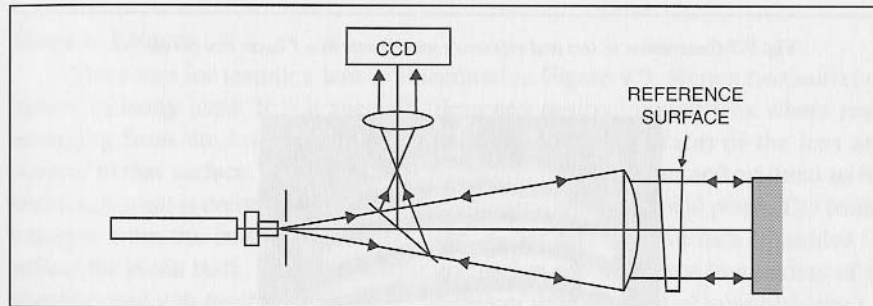


Fig. 9.6 Typical layout of a Fizeau interferometer.

准直镜成像是好的。然而，第二个面的光学质量却不好。 $\lambda/20$ 波峰到波谷或者更好。这个是参考面和准直光束的反射面。部分准直光束继续去射到待测试的光学系统。反射回来的光束包含了待测试系统的像差。这两束波前在干涉仪内重合。接着分光片将这两束光一起从测试的像平面到记录平面，观测人员通过这个会看到样本清晰的测试表面和清晰边缘。

例如，假设测试我们想测试的是一个玻璃物体表面质量。假设。测试表面已经有凹陷。就像图 9.7 所示。从干涉仪来的平面波前入射到测试表面，然后反射回到干涉仪中。注意，如图 9.7 中所示的反射部分中已经含有的两倍的测试表面缺陷

surface. This aberrated wavefront returns through the reference plate to combine with reflected reference to form an interference pattern in the test object image plane.

这个波前像差穿回参考平面

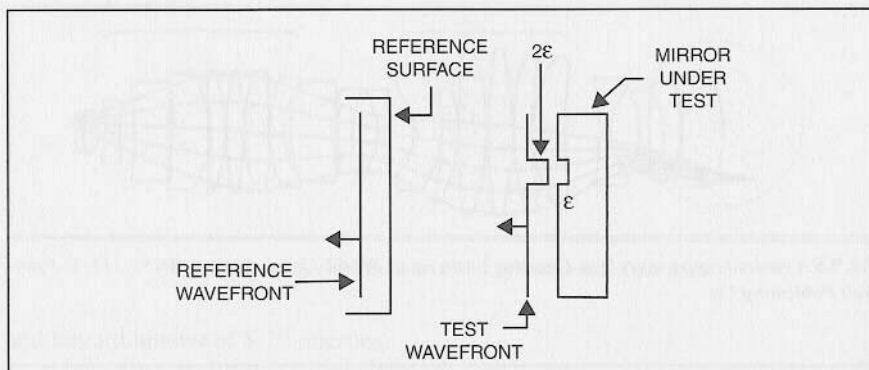


Fig. 9.7 Generation of test and reference wavefronts in a Fizeau interferometer.



Fig. 9.8 Interferogram of a "flat" mirror.

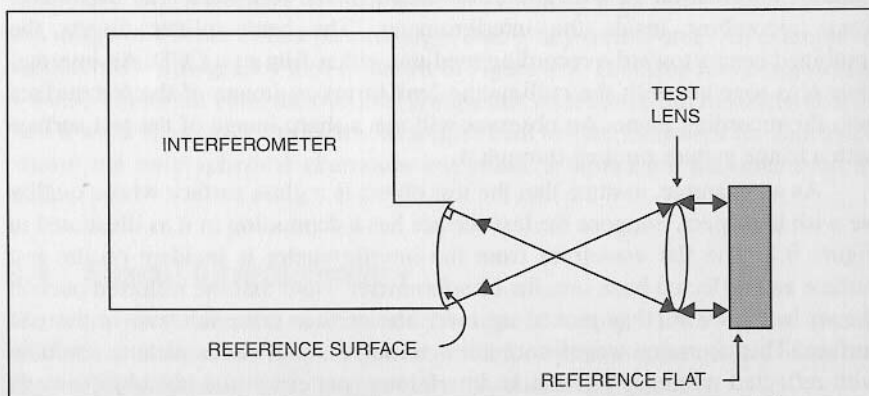


Fig. 9.9 Testing a lens with a transmission sphere.

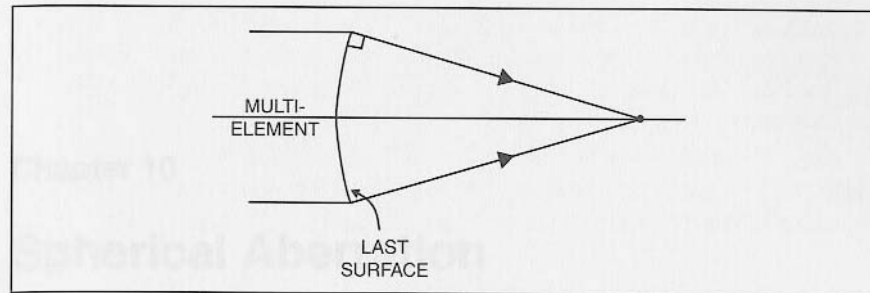


Fig. 9.10

图 9.8 中是一个干涉图案。每个条纹就像地形图中的等高线。这里的“海平面”（参考平面）高度是以光线的波长来测量的。每个等高线条纹显示的高度差别是一个波长。

The setup for testing a lens is illustrated in Figure 9.9. Here a *transmission sphere* is being used. It is a specially designed positive power lens where rays emerging from the *last* surface (which is the reference surface) of the lens are *normal* to that surface. The test lens is aligned to the test beam and oriented so its rear focal point is coincident with the transmission sphere's focal point. The beam emerges from the lens as collimated light. A flat reference surface is needed to reflect the beam back. (We note that transmission spheres come in a variety of f-numbers and you must pick one that matches or overfills that of your test lens.)

图 9.9 是测试镜头的安装图解。这里将使用一个传播球面。这是一个专门设计的正光焦度的镜头。光线从镜头的最后一面射出，（这个是参考面）。测试镜头对准测试光束，使其实际的焦点与传播球面的焦点完全重合。这时从测试镜头发出的光线是准直光线。然后需要用一个参考平面将光束反射回来。（我们注意到传播球面要适合多种 f-numbers，并且你必须选一个你测试镜头 f-numbers 能匹配或者更大的镜头。）

9.5 课后作业

设计一个直径 4 英寸，f/7.8 的传播球面。视场角是 0 度。使用 BK7 玻璃，用 0.6328 微米的波长。厚度是 5 英寸。间隔是 0.2 英寸。使用多种元件（分裂镜片）来得到衍射极限。例如。SPOT diagram 必须完全在爱里斑里。以下是注意事项：

- 使用 TRAC，不使用 SPHA
- 在球差已经见小后，使用 N-SOLVE 来优化最后一个表面。（N-Solve 会保持最后一个面的光线的 normal）
- 使用 RAID 来控制最后一个面入射角度（注意：使用 3）
- 使用 OPTH 和 DIFF 操作数来控制后截距等于有效焦距。（注意：你需要使用两个 OPTH 来后才能使用 DIFF 操做数）
- 建议使用文件架名：Fizeau 文件名 Fizio1b 等。这里 i = 镜片数