



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102402135 B

(45) 授权公告日 2013.06.05

(21) 申请号 201110404929.7

(22) 申请日 2011.12.07

(73) 专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

(72) 发明人 李艳秋 刘菲

(74) 专利代理机构 北京理工大学专利中心

11120

代理人 李爱英 杨志兵

(51) Int. Cl.

G03F 7/20(2006.01)

(56) 对比文件

CN 1466001 A, 2004.01.07, 全文.

CN 101226272 A, 2008.07.23, 全文.

CN 101802717 A, 2010.08.11, 全文.

刘钰鑫. 极紫外光刻投影光学系统优

化设计. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》. 2009, (第2期), 第1-38页.

审查员 王大伟

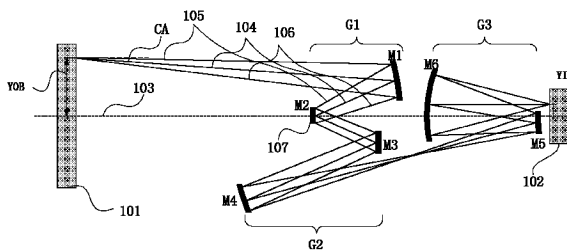
权利要求书2页 说明书17页 附图16页

(54) 发明名称

一种极紫外光刻投影物镜设计方法

(57) 摘要

本发明提供一种极紫外光刻投影物镜设计方法,具体过程为:确定光刻投影物镜的光学设计参数,并设定该投影物镜包含六个镜片和一孔径光阑,按照光束传播的方向将六个镜片分成三组;确定第一组镜片的半径和间距,确定第三组镜片的半径和间距;根据前面两组镜片的参数,确定第三组镜片的半径和间距。本发明根据不同的参数要求进行设计和搜索,避免了传统光学设计方法在现有结构上进行修改和试错的盲目性。有针对性的计算出一系列符合参数条件的镜头结构,便于根据光学加工检测的特殊要求对光线进行选择,避免了大量的检索和判断。



1. 一种极紫外光刻投影物镜设计方法,其特征在于,具体步骤为:

步骤 101、确定投影物镜的光学系统参数:物方数值孔径 NAO,系统放大倍率 M,像方数值孔径 NAI,物方视场高度 YOB,像方视场高度 YIM;并根据物方数值孔径 NAO 确定物方主光线入射角度 CA;

步骤 102、确定置于掩模和硅片之间的极紫外光刻投影物镜包含六枚反射镜和光阑,其中六枚反射镜和光阑之间的位置关系为:从掩模开始沿光路方向依次为第一反射镜 M1、光阑、第二反射镜 M2、第三反射镜 M3、第四反射镜 M4、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6,且光阑放置于第二反射镜 M2 上;

步骤 103、确定物方视场高度与掩模到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_1$,第二反射镜 M2 到第一反射镜 M1 距离与掩模到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_2$,第一反射镜 M1 与第二反射镜 M2 出射的光线不发生遮挡的空间 CLEAPE1,硅片到第六反射镜 M6 的距离 WDI,硅片到第六反射镜 M6 距离 WDI 与第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 间距的比 $radio_3$,第六反射镜 M6 与第五反射镜 M5 的入射光线不发生遮挡的空间 CLEAPE6,第六反射镜 M6 出射的光线与第五反射镜 M5 不发生遮挡的空间 CLEAPE5;

步骤 104、设定掩模到第一反射镜 M1 的距离为 $-l_1$,则 $|-l_1| = YOB/radio_1$;设定第一反射镜 M1 到第二反射镜 M2 的距离 $-d_1$,则 $|-d_1| = YOB/radio_1 \cdot radio_2$;

步骤 105、设定第一反射镜 M1 的半径为 r_1 ,则

$$r_1 = h_{z1} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{h_{z1}}{(-d_1 + z_{z1})}\right) - \frac{CA}{2}}{2}\right)$$

其中, h_{z1} 为主光线 RAY1 与第一反射镜 M1 交点的高度, z_{z1} 为第一反射镜 M1 上主光线 RAY1 入射点与第一反射镜 M1 顶点的轴向距离;

步骤 106、设定第二反射镜 M2 的半径为 r_2 ,则

$$r_2 = h_{a2} / \tan\left(\frac{U_{a2}}{2} - \frac{\arctan\left(\frac{h_{b1} - CLEAPE1 - h_{a2}}{-d_1}\right)}{2}\right)$$

其中, U_{a2} 为入射至第一反射镜 M1 上的上光线 RAY2 与光轴的夹角, h_{a2} 为上光线 RAY2 与第二反射镜 M2 交点的高度, h_{b1} 为下光线 RAY3 与第一反射镜 M1 交点的高度;

步骤 107、设定第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 之间的间距为 d_5 ,则 $|d_5| = WDI \cdot radio_3$;

步骤 108、在光路中设置虚拟面 D1,虚拟面 D1 的空间位置与第五反射镜 M5 的空间位置相同,设定入射至第六反射镜 M6 上的主光线 RAY1 与光轴 OA 平行,进一步设定第六反射镜 M6 的半径为 r_6 ,则

$$r_6 = h_{b6} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{h_{b6} - (h_{bd1} - CLEAPE5)}{(-d_5 - z_{b6})}\right) + \frac{U'_{b6}}{2}}{2}\right)$$

其中, h_{b6} 为下光线 RAY3 与第六反射镜 M6 交点的高度, h_{bd1} 为下光线 RAY3 与虚拟面 D1 交点的高度, z_{b6} 为第六反射镜 M6 上下光线 RAY3 入射点与第六反射镜 M6 顶点的轴向距离,

U'_{b6} 为第六反射镜 M6 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角；

步骤 109、设定第五反射镜的半径为 r_5 ，则

$$r_5 = h_{b5} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{(h_{b5} - (h_{a6} - CLEAPE6))}{(-d_5 - z_{a6})}\right) + \frac{U'_{b5}}{2}}{2}\right)$$

其中， h_{b5} 为下光线 RAY3 与第五反射镜 M5 交点的高度， h_{a6} 为下光线 RAY3 与第六反射镜 M6 交点的高度， U'_{b5} 为第五反射镜 M5 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角， z_{a6} 为第六反射镜 M6 处上光线 RAY2 入射点与第六反射镜 M6 顶点的轴向距离；

步骤 110、选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 ，根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系，并利用上述确定的第一反射镜 M1、第二反射镜 M2、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6 的半径以及相互之间的距离，利用近轴迭代算法获取第四反射镜 M4 的半径 r_4 、第三反射镜 M3 与第四反射镜 M4 的间距 d_3 、第三反射镜 M3 与第二反射镜之间的距离 d_2 即第三反射镜 M3 的物距 l_3 、以及第四反射镜 M4 和第五反射镜之间的距离 d_5 即第四反射镜 M4 的像距 l'_4 ；

步骤 111、根据上述步骤获取的 6 枚反射镜的半径以及相应的位置关系，获取极紫外光刻投影物镜。

一种极紫外光刻投影物镜设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种极紫外光刻投影物镜设计方法,属于光学设计技术领域。

背景技术

[0002] 在超大规模集成电路的制造工艺中,需要使用高精度投影物镜将掩模上的图形精确倍缩到覆盖有光刻胶的硅片上。当前深紫外光刻技术使用波长为 193nm 的激光光源,辅助以离轴照明、相移掩模、光学边缘效应校正等分辨率增强技术,可实现 45nm 技术节点的产业化要求,但是对于 32nm 或更高技术节点的产业化需求,半导体行业普遍寄希望于极紫外光刻技术。极紫外光源波长约为 11 ~ 15nm,与深紫外光刻技术相同,极紫外光刻也采用步进-扫描模式。

[0003] 极紫外光刻系统由等离子光源,反射式照明系统,反射式掩模,反射式投影物镜,涂覆有极紫外光刻胶的硅片以及同步工件台等部分组成。光束由光源出射后,经照明系统整形和匀光,照射到反射式掩模上。经掩模反射后,光线入射至投影物镜系统,最终在涂覆有极紫外光刻胶的硅片上曝光成像。

[0004] 典型的 EUV 投影物镜为共轴光学系统,物面、像面及所有反射镜均关于光轴旋转对称,这一设计有利于装调并且尽量避免了可能的像差。由于反射系统中存在光路折叠和遮挡,投影物镜应采用环形离轴视场设计。一般来说,除给定的设计指标外,EUV 投影物镜设计还需要满足下列要求:1. 可实现的光阑面设置,一般位于第 2 ~ 5 个反射面的某一面上;2. 足够大的物方、像方工作距,保证掩模和硅片的轴向安装空间;3. 无遮拦设计,每个反射面的反射区域和通光区域之间都要留有一定的边缘余量;4. 能够配合反射式掩模使用,光线以小角度入射到掩模上;5. 高分辨率;6. 极小的畸变;7. 像方远心。

[0005] 现有技术 (M. F. Bal, Next-Generation Extreme Ultraviolet Lithographic Projection Systems[D], Delft:Technique University Delft,2003) 公开了极紫外光刻投影物镜设计方法,该方法通过对包括六反射镜的 EUVL 投影物镜的近轴结构参数(反射镜半径、各光学面间距等)进行穷举式搜索,将系统的放大倍率、光阑共轭关系等条件作为约束,并编制程序对其光线光路进行光路遮挡判定,将无遮挡的光路进行分析拣选,从而选出合适的初始结构,作为进一步优化和计算的基础。这一方法的缺点在于:计算量过大,以现有的计算机计算速度,平均一星期才能找到一个可用设计。

发明内容

[0006] 本发明提供一种极紫外光刻投影物镜设计方法,该方法可根据不同的参数要求设计出极紫外光刻投影物镜,其计算量小,实现速度快。

[0007] 实现本发明的技术方案如下:

[0008] 一种极紫外光刻投影物镜设计方法,具体步骤为:

[0009] 步骤 101、确定投影物镜的光学系统参数:物方数值孔径 NAO,系统放大倍率 M,像方数值孔径 NAI,物方视场高度 YOB,像方视场高度 YIM;并根据物方数值孔径 NAO 确定物方

主光线入射角度 CA；

[0010] 步骤 102、确定置于掩模和硅片之间的极紫外光刻投影物镜包含六枚反射镜和光阑，其中六枚反射镜和光阑之间的位置关系为：从掩模开始沿光路方向依次为第一反射镜 M1、光阑、第二反射镜 M2、第三反射镜 M3、第四反射镜 M4、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6，且光阑放置于第二反射镜 M2 上；

[0011] 步骤 103、确定物方视场高度与掩模到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_1$ ，第二反射镜 M2 到第一反射镜 M1 距离与掩模到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_2$ ，第一反射镜 M1 与第二反射镜 M2 出射的光线不发生遮挡的空间 CLEAPE1，硅片到第六反射镜 M6 的距离 WDI，硅片到第六反射镜 M6 距离 WDI 与第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 间距的比 $radio_3$ ，第六反射镜 M6 与第五反射镜 M5 的入射光线不发生遮挡的空间 CLEAPE6，第六反射镜 M6 出射的光线与第五反射镜 M5 不发生遮挡的空间 CLEAPE5；

[0012] 步骤 104、设定掩模到第一反射镜 M1 的距离为 $-l_1$ ，则 $|-l_1| = YOB/radio_1$ ；设定第一反射镜 M1 到第二反射镜 M2 的距离 $-d_1$ ，则 $|-d_1| = YOB/radio_1 \cdot radio_2$ ；

[0013] 步骤 105、设定第一反射镜 M1 的半径为 r_1 ，则

$$[0014] \quad r_1 = h_{z1} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{h_{z1}}{-d_1 + z_{z1}}\right) - CA}{2}\right)$$

[0015] 其中， h_{z1} 为主光线 RAY1 与第一反射镜 M1 交点的高度， z_{z1} 为第一反射镜 M1 上主光线 RAY1 入射点与第一反射镜 M1 顶点的轴向距离；

[0016] 步骤 106、设定第二反射镜 M2 的半径为 r_2 ，则

$$[0017] \quad r_2 = h_{a2} / \tan\left(\frac{U_{a2}}{2} - \frac{\arctan\left(\frac{h_{b1} - CLEAPE1 - h_{a2}}{-d_1}\right)}{2}\right)$$

[0018] 其中， U_{a2} 为入射至第一反射镜 M1 上的上光线 RAY2 与光轴的夹角， h_{a2} 为上光线 RAY2 与第二反射镜 M2 交点的高度， h_{b1} 为下光线 RAY3 与第一反射镜 M1 交点的高度；

[0019] 步骤 107、设定第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 之间的间距为 d_5 ，则 $|d_5| = WDI \cdot radio_3$ ；

[0020] 步骤 108、在光路中设置虚拟面 D1，虚拟面 D1 的空间位置与第五反射镜 M5 的空间位置相同，设定入射至第六反射镜 M6 上的主光线 RAY1 与光轴 OA 平行，进一步设定第六反射镜 M6 的半径为 r_6 ，则

$$[0021] \quad r_6 = h_{b6} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{h_{b6} - (h_{bd1} - CLEAPE5)}{-d_5 - z_{b6}}\right)}{2} + \frac{U'_{b6}}{2}\right)$$

[0022] 其中， h_{b6} 为下光线 RAY3 与第六反射镜 M6 交点的高度， h_{bd1} 为下光线 RAY3 与虚拟面 D1 交点的高度， z_{b6} 为第六反射镜 M6 上下光线 RAY3 入射点与第六反射镜 M6 顶点的轴向距离， U'_{b6} 为第六反射镜 M6 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角；

[0023] 步骤 109、设定第五反射镜的半径为 r_5 ，则

$$[0024] \quad r_5 = h_{b5} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{h_{b5} - (h_{a6} - CLEAPE6)}{-d_5 - z_{a6}}\right)}{2} + \frac{U'_{b5}}{2}\right)$$

[0025] 其中, h_{b5} 为下光线 RAY3 与第五反射镜 M5 交点的高度, h_{a6} 为下光线 RAY3 与第六反射镜 M6 交点的高度, U'_{b5} 为第五反射镜 M5 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角, z_{a6} 为第六反射镜 M6 处上光线 RAY2 入射点与第六反射镜 M6 顶点的轴向距离, U'_{b5} 为第五反射镜 M5 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角;

[0026] 步骤 110、选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 , 根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系, 并利用上述确定的第一反射镜 M1、第二反射镜 M2、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6 的半径以及相互之间的距离, 利用近轴迭代算法获取第四反射镜 M4 的半径 r_4 、第三反射镜 M3 与第四反射镜 M4 的间距 d_3 、第三反射镜 M3 与第二反射镜之间的距离 d_2 即第三反射镜 M3 的物距 l_3 、以及第四反射镜 M4 和第五反射镜之间的距离 d_5 即第四反射镜 M4 的像距 l'_4 。

[0027] 步骤 111、根据上述步骤计算的 6 枚反射镜的半径以及相应的位置关系, 获取极紫外光刻投影物镜。

[0028] 进一步地, 本发明将六枚反射投影物镜分为三个镜组, 第一反射镜组 G1 包括第一反射镜 M1 和第二反射镜 M2; 第二反射镜组 G2 包括第三反射镜 M3 和第四反射镜 M4; 第三反射镜组 G3 包括第五反射镜 M5 和第六反射镜 M6, 所述选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 的过程为: 将第二镜组 G2 作为独立的光学系统, 将 G2 系统的近轴放大倍率 $\beta = M$ 、第二镜组 G2 的近轴入瞳距 enp_2 等于 G1 的出瞳距离 ENP1 即 $enp_2 = ENP1$ 、第二镜组 G2 的出瞳距 exp_2 等于 G3 的入瞳距离 EXP3 即 $exp_2 = EXP3$ 、 $1500\text{mm} > (-l_3 - enp_2) > 0$ 以及 $0 > d_3 > 1500\text{mm}$ 作为约束条件, 根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系, 确定 r_3 的范围, 从获取的范围中选取一值作为第三反射镜 M3 的半径。

[0029] 进一步地, 本发明所述步骤 108 的具体过程为:

[0030] 步骤 201、选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 , 设定误差因子 ξ_B 和 ξ_{exp_2} , 并令 $\beta(1) = M$, 令 $exp_2(1) = EXP1$, 设定循环次数 $k = 1$;

[0031] 步骤 202、利用 $\beta(k)$ 、 $exp_2(k)$ 以及所选取的 r_3 , 根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系, 求出 G2 系统的结构参数 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l'_4(k)$ 以及 $r_4(k)$;

[0032] 步骤 203、 r_3 、 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l'_4(k)$ 以及 $r_4(k)$ 输入到光学设计软件 CODEV 中, 获取第二反射镜组 G2 的实际放大倍率 $M(k)$ 以及实际出瞳距离 $EXP2(k)$;

[0033] 步骤 204、判断 $|EXP2(k) - EXP1| \leq \xi_{exp_2}$ 且 $|M(k) - M| \leq \xi_B$ 是否成立, 若是则结束优化, 将此时的 r_3 、 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l'_4(k)$ 以及 $r_4(k)$ 作为第二反射镜组 G2 的结构参数, 若否, 则进入步骤 205;

[0034] 步骤 205、令 $\beta(k+1) = \beta(k) \cdot [M/M(k)]^\sigma$, $exp_2(k+1) = exp_2(k) \cdot [EXP1/EXP2(k)]^\sigma$, 其中 $\sigma \leq 1$, 令 k 加 1, 返回步骤 202。

[0035] 有益效果

[0036] 本发明提出了一套完整的初始结构设计方案, 能够根据不同的参数要求进行设计和搜索, 避免了传统光学设计方法在现有结构上进行修改和试错的盲目性。有针对性的计算出一系列符合参数条件的镜头结构, 便于根据光学加工检测的特殊要求对光线进行选择, 避免了大量的检索和判断。

[0037] 其次,本发明对整个系统进行分组光路搜索,缩减了参数的搜索范围,降低了结构搜索的计算量,大大节省了搜索时间,并可显著缩短搜索步长。

[0038] 再次、本发明不需要任何已有的反射式光学系统结构作为基础,即可得到完整的 EUVL 六反射镜初始结构。同时基于实际光线追迹,避免了近轴光路与实际光路的差别导致的光路遮挡情况误判。

附图说明

[0039] 图 1 为 EUVL 六反射投影物镜分组设计示意图;

[0040] 图 2 为第一镜组 G1 光路示意图;

[0041] 图 3 为第一反射镜 M1 的光路计算示意图;

[0042] 图 4 为不同 radio_1 时, M1 的曲率 $1/r_1$ 随 radio_2 改变而变化的情况;

[0043] 图 5 为不同 radio_1 时, CLEAPE2 随 radio_2 改变而变化的情况;

[0044] 图 6 为第一反射镜 M2 的光路计算示意图;

[0045] 图 7 为不同 CLEAPE2 时, M2 的曲率 $1/r_2$ 随 radio_2 改变而变化的情况;

[0046] 图 8 为不同 radio_1 时, M2 的曲率 $1/r_2$ 随 radio_2 改变而变化的情况;

[0047] 图 9 为第三镜组 G3 逆向光路示意图;

[0048] 图 10 为第六反射镜 M6 的光路计算示意图;

[0049] 图 11 为不同 CLEAPE6 时, M6 的曲率 $1/r_6$ 随 radio_3 改变而变化的情况;

[0050] 图 12 为第五反射镜 M5 的光路计算示意图;

[0051] 图 13 为不同 CLEAPE5 时, M5 的曲率 $1/r_5$ 随 radio_3 改变而变化的情况;

[0052] 图 14 为第二镜组 G2 光路示意图;

[0053] 图 15(a) 为第二镜组参数 d_3 随 M3 的半径 r_3 改变而变化的情况;

[0054] 图 15(b) 为第二镜组参数 -1_3-ENP_2 随 M3 的半径 r_3 改变而变化的情况;

[0055] 图 15(c) 为第二镜组参数 $1'_4$ 随 M3 的半径 r_3 改变而变化的情况;

[0056] 图 15(d) 为第二镜组参数 r_4 随 M3 的半径 r_3 改变而变化的情况;

[0057] 图 16(a) 为第二镜组参数 d_3 的筛选情况;

[0058] 图 16(b) 为第二镜组参数 -1_3-ENP_2 的筛选情况;

[0059] 图 17 为第二镜组的实际放大倍率 M 随迭代次数增加的收敛情况;

[0060] 图 18(a) 为本发明的一个实施范例所选定 G1 镜组光路图;

[0061] 图 18(b) 为本发明的一个实施范例所选定 G3 镜组光路图;

[0062] 图 18(c) 为本发明的一个实施范例根据图 18(a) 所示的 G1 镜组和图 18(b) 所示的 G3 镜组计算得到的三种 G2 镜组光路图;

[0063] 图 18(d) 为本发明的一个实施范例根据图 18(a) 所示的 G1 镜组和图 18(b) 所示的 G3 镜组以及图 18(b) 所示的三种 2 镜组衔接得到的三种 EUVL 六反射物镜光路图;

[0064] 图 19(a) 为应用本发明设计方法得到的第四种 EUVL 六反射物镜光路图;

[0065] 图 19(b) 为应用本发明设计方法得到的第五种 EUVL 六反射物镜光路图;

[0066] 图 19(c) 为应用本发明设计方法得到的第六种 EUVL 六反射物镜光路图;

[0067] 图 20 为 EUVL 投影光刻系统示意图。

[0068] 其中, 101- 掩模, 102- 硅片, 103- 光轴, 104- 主光线, 105- 上光线, 106- 下光线,

107- 光阑；

具体实施方式

[0069] 下面结合附图进一步对本发明进行详细说明。

[0070] 首先对本发明使用的参数定义进行说明。

[0071] 实际物点 / 像点定义为两条边缘光线的交点, 实际像高 / 物高定义为非近轴像点 / 物点的高度; 实际像面 / 物面定义为过非近轴像点 / 物点与光轴垂直的面。实际入瞳距为实际物面与入瞳面的距离; 实际的出瞳距为实际像面与实际出瞳面的距离。这里的实际入瞳面由离轴视场的主光线与光轴 103 的交点确定。为了方便起见, 以后的论述中, 上述参量就简称为物点 / 像点、物高 / 像高、物面 / 像面、出瞳 / 入瞳等, 若该参量为近轴参量时, 会特别指出。

[0072] 步骤 101、确定投影物镜的光学系统参数: 物方数值孔径 NAO , 系统放大倍率 M , 像方数值孔径 NAI , 物方视场高度 YOB , 像方视场高度 YIM ; 并根据物方数值孔径 NAO 确定物方主光线入射角度 CA 。

[0073] 上述各参量的具体关系式为:

[0074] 由几何光学原理可知:

[0075] $NAO = NAI \cdot |M|$, $YOB = YIM / |M|$

[0076] 并根据物方数值孔径 NAO 确定物方主光线入射角度 CA 。由于极紫外光刻的掩模为反射式掩模, 照明系统入射至掩模的光路与自掩模入射至投影物镜的光路不能相互遮挡。所以, 光束的主光线 104, 上光线 105, 下光线 106 应该同时高于物方视场高度 YOB , 或同时低于视场高度 YOB (如图 1 所示), 以保证光路不发生遮挡, 此时物方主光线入射角度的范围为 $|CA| > \arcsin(NAO)$ 。

[0077] 步骤 102、确定置于掩模 101 和硅片 102 之间的极紫外光刻投影物镜包含六枚反射镜和光阑 107, 其中六枚反射镜和光阑 107 之间的位置关系为: 从掩模 101 开始沿光路方向依次为第一反射镜 M1、光阑、第二反射镜 M2、第三反射镜 M3、第四反射镜 M4、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6, 且光阑 107 放置于第二反射镜 M2 上, 这样可以保证光阑 107 在加工时可以实现。。

[0078] 步骤 103、物方视场高度与掩模 101 到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_1$, 第二反射镜 M2 到第一反射镜 M1 距离与掩模 101 到第一反射镜 M1 距离的比例参数 $radio_2$, 第一反射镜 M1 与第二反射镜 M2 出射的光线不发生遮挡的空间 $CLEAPE1$, 硅片到第六反射镜 M6 的距离 WDI , 硅片 102 到第六反射镜 M6 距离 WDI 与第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 间距的比 $radio_3$, 第六反射镜 M6 与第五反射镜 M5 的入射光线不发生遮挡的空间 $CLEAPE6$, 第六反射镜 M6 出射的光线与第五反射镜 M5 不发生遮拦的空间 $CLEAPE5$ 。

[0079] 将 EUVL 六反射投影物镜系统 P0 分为三个镜组, 第一反射镜组 G1 包括第一反射镜 M1 和第二反射镜 M2; 第二反射镜组 G2 包括第三反射镜 M3 和第四反射镜 M4; 第三反射镜组 G3 包括第五反射镜 M5 和第六反射镜 M6, 如图 1 所示。

[0080] 步骤 104、设定掩模 101 到第一反射镜 M1 的距离为 $-l_1$, 则

[0081] $radio_1 = YOB / |-l_1|$

[0082] $|-l_1| = YOB / radio_1$

[0083] 设定第二反射镜 M2 到第一反射镜 M1 的距离为 $-d_1$, 则

$$[0084] \quad \text{radio}_2 = |-d_1|/|-l_1| = |-d_1| \cdot \text{radio}_1/\text{YOB}$$

$$[0085] \quad |-d_1| = \text{YOB}/\text{radio}_1 \cdot \text{radio}_2$$

[0086] 步骤 105、设定第一反射镜 M1 的半径为 r_1 ;

[0087] 根据物方主光线入射角度 CA 和光阑 107 位于第二反射镜 M2 的条件, 可以计算出不同 radio_1 和 radio_2 所对应的 M1 的半径 r_1 , 当 r_1 确定后, 则可以利用光学设计软件 CODEV 计算出 M2 反射镜附近的光路无遮挡空间 CLEAPE2。

[0088] 如图 2 所示, 主光线 104 自掩模 101 入射至第一反射镜 M1, 再由 M1 反射至第二反射镜 M2 上的情况。为了确保系统的光阑能够物理实现, 保证系统无杂光, 通常 EUVL 反射光刻物镜的光阑 107 均位于第二反射镜 M2 上, 即主光线 104 通过 M2 的中心。利用这一条件, 计算出一定 radio_1 和 radio_2 时的 M1 半径 r_1 。

[0089] 如图 3 所示, 根据实际光线追迹公式, 有

$$[0090] \quad h_{z1}/r_1 = \tan \theta_{z1}$$

$$[0091] \quad = \tan(I_{z2} - I'_{z1})$$

$$[0092] \quad = \tan\left(I_{z2} - \frac{(CA + I_{z2})}{2}\right)$$

$$[0093] \quad = \tan\left(\frac{I_{z2}}{2} - \frac{CA}{2}\right)$$

$$[0094] \quad = \tan\left(\frac{\arctan(h_{z1}/(-d_1 + z_{z1}))}{2} - \frac{CA}{2}\right)$$

[0095] 于是有

$$[0096] \quad r_1 = h_{z1} / \tan\left(\frac{\arctan(h_{z1}/(-d_1 + z_{z1}))}{2} - \frac{CA}{2}\right)$$

[0097] 其中, θ_{z1} 为 M1 上的主光线 RAY1 的入射点法线与光轴的夹角; h_{z1} 为主光线 RAY1 与 M1 交点的高度; I_{z1} 为入射至 M1 上的主光线 RAY1 的入射角; I'_{z1} 为入射至 M1 上的主光线 RAY1 的反射角; I_{z2} 为 M1 上出射的主光线 RAY1 与光轴的夹角; z_{z1} 为 M1 上主光线 RAY1 入射点与 M1 顶点的轴向距离。

[0098] 图 4 为不同 radio_1 时, M1 的曲率 $1/r_1$ 随 radio_2 改变而变化的情况。

[0099] 图 5 为不同 radio_1 时, CLEAPE2 随 radio_2 改变而变化的情况。

[0100] 步骤 106、设定第二反射镜 M2 的半径为 r_2 ;

[0101] 在上面计算得到的第一反射镜 M1 参数基础上, 可进一步计算第二反射镜 M2 的半径 r_2 。由于极紫外光刻物镜的离轴光路在空间中完全无遮挡, 并且要根据元件加工工艺和水平给反射镜的反光区域和通光区域之间留出一定的余量 (即 CLEAPE1), 计算出第二反射镜 M2 的半径 r_2 。

[0102] 根据实际光线追迹公式和几何关系, 有

$$[0103] \quad \frac{h_{a2}}{r_2} = \tan \theta_{a2}$$

$$[0104] \quad = \tan(U_{a2} - I_{a2})$$

$$[0105] = \tan \left(U_{a2} - \frac{(I_{a2} + I'_{a2})}{2} \right)$$

$$[0106] = \tan \left(\frac{U_{a2}}{2} - \frac{U'_{a2}}{2} \right)$$

$$[0107] = \tan \left(\frac{U_{a2}}{2} - \frac{\arctan \left(\frac{h_{b1} - CLEAPE1 - h_{a2}}{-d_1} \right)}{2} \right)$$

[0108] 于是有

$$[0109] \quad r_2 = h_{a2} / \tan \left(\frac{U_{a2}}{2} - \frac{\arctan \left(\frac{h_{b1} - CLEAPE1 - h_{a2}}{-d_1} \right)}{2} \right)$$

[0110] 其中, θ_{a2} 为 M2 上的上光线 RAY2 的入射点法线与光轴的夹角; h_{a2} 为上光线 RAY2 与 M2 交点的高度; h_{b1} 为下光线 RAY3 与 M1 交点的高度; I_{a2} 为 M2 上的上光线入射角; I'_{a2} 为 M2 上的上光线反射角; U_{a2} 为入射至 M1 上的上光线 RAY2 与光轴的夹角; U'_{a2} 为 M1 出射的上光线 RAY2 与光轴的夹角。

[0111] 图 7 为不同 CLEAPE1 时, M2 的曲率 $1/r_2$ 随 $radio_2$ 改变而变化的情况。

[0112] 图 8 为不同 $radio_1$ 时, M2 的曲率 $1/r_2$ 随 $radio_2$ 改变而变化的情况。

[0113] 当确定 $-l_1$ 、 $-d_1$ 、 r_1 以及 r_2 后, 则可计算第一镜组 G1 的实际像高 YIM1, 实际出瞳距 ENP1, 实际出瞳直径 EXD1, 其中计算过程为现有技术, 因此在此不进行累述。

[0114] 步骤 107、设定第五反射镜 M5 到第六反射镜 M6 之间的间距为 d_5 , 则 $|d_5| = WDI \cdot radio_3$ 。

[0115] 第三镜组位于六反光刻物镜的像面 (即硅片 102) 一方。在实际的设计中, G3 镜组的光路采取反向设计方法。如图 10 所示, G3 镜组光路与 EUVL 投影物镜的正向光路方向相反。为了避免引起混淆, G3 镜组中各参数仍然采用正向光路中的表示方法。

[0116] 确定像方数值孔径 NAI, 在确定系统参数时已知

$$[0117] \quad NAO = NAI \cdot |M|$$

[0118] 确定像方视场高度 YIM, 在确定系统参数时已知

$$[0119] \quad YOY = YIM / |M|$$

[0120] 确定第五反射镜 M5 第六反射镜 M5 之间的间距 d_5 为:

$$[0121] \quad |d_5| = WDI \cdot radio_3$$

[0122] 步骤 108、在光路中设置虚拟面 D1, 虚拟面 D1 的空间位置与第五反射镜 M5 的空间位置相同, 设定入射至 M6 上的主光线 RAY1 与光轴 OA 平行, 进一步设定第六反射镜 M6 的半径为 r_6 ;

[0123] 在逆向光路中, 其位于硅片 WAFER102 与第六反射镜 M6 之间, 在第六反射镜 M6 前方。根据像方远心的条件和硅片 102 入射光线与第五枚反射镜之间无遮挡的条件, 以及由 $radio_3$ 确定的 r_6 , 可计算出 M6 处于不同位置时的半径 r_6 。如图 10 所示。

$$[0124] \quad h_{b6} / r_6 = \tan \theta_{b6}$$

$$[0125] \quad = \tan(U_{b6} - I_{b6})$$

$$[0126] \quad = \tan\left(U_{b6} - \frac{(I_{b6} + I'_{b6})}{2}\right)$$

$$[0127] \quad = \tan\left(\frac{U_{b6}}{2} + \frac{U'_{b6}}{2}\right)$$

$$[0128] \quad = \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{(h_{b6} - (h_{bD1} - CLEAPE5))}{(-d_5 - z_{b6})}\right)}{2} + \frac{U'_{b6}}{2}\right)$$

[0129] 于是有

$$[0130] \quad r_6 = h_{b6} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{(h_{b6} - (h_{bD1} - CLEAPE5))}{(-d_5 - z_{b6})}\right)}{2} + \frac{U'_{b6}}{2}\right)$$

[0131] 其中

[0132] θ_{b6} 为入射至 M6 上的下光线 RAY3 入射点法线与光轴的夹角； h_{b6} 为入射至 M6 上的下光线 RAY3 与 M6 交点的高度； h_{bD1} 为下光线 RAY3 与虚拟面 D1 交点的高度； I_{b6} 为 M6 上的下光线入射角； I'_{b6} 为 M6 上的下光线反射角； U_{b6} 为 M6 入射下光线与光轴的夹角； U'_{b6} 为 M6 出射下光线与光轴的夹角； z_{b6} 为 M6 上主光线入射点与 M6 顶点的轴向距离。

[0133] 图 11 为不同 CLEAPE5 时，M6 的曲率 $1/r_6$ 随 $radio_3$ 改变而变化的情况。

[0134] 步骤 109、设定第五反射镜的半径 r_5 。

[0135] 如图 12 所示，在光路中设置虚拟面 D2，虚拟面 D2 的空间位置与第六反射镜 M6 的空间位置相同，但在逆向光路中，位于第五反射镜与第二镜组 G2 之间，在第五反射镜 M5 后方。在计算出第六反射镜 M6 的半径 r_6 的基础上，根据第五反射镜入射光线和第六反射镜之间的无遮挡空间 CLEAPE6，可以计算出 M6 处于不同位置时 M5 的半径 r_5 。

$$[0136] \quad h_{b5} / r_5 = \tan \theta_{b5}$$

$$[0137] \quad = \tan(U_{b5} - I'_{b5})$$

$$[0138] \quad = \tan\left(U_{b5} - \frac{(I'_{b5} + I_{b5})}{2}\right)$$

$$[0139] \quad = \tan\left(\frac{U_{b5}}{2} + \frac{U'_{b5}}{2}\right)$$

$$[0140] \quad = \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{(h_{b5} - (h_{a6} - CLEAPE6))}{(-d_5 - z_{a6})}\right)}{2} + \frac{U'_{b5}}{2}\right)$$

[0141] 于是有

$$[0142] \quad r_5 = h_{b5} / \tan\left(\frac{\arctan\left(\frac{(h_{b5} - (h_{a6} - CLEAPE6))}{(-d_5 - z_{a6})}\right)}{2} + \frac{U'_{b5}}{2}\right)$$

[0143] 其中， θ_{b5} 为入射至 M5 上的下光线 RAY3 的入射点法线与光轴的夹角； h_{b5} 为入射至 M5 上的下光线 RAY3 与 M5 交点的高度； h_{a6} 为经 M5 反射的下光线 RAY3 与第六反射镜 M6 交点的高度； I_{b5} 为 M5 上的下光线 RAY3 的入射角； I'_{b5} 为 M5 上的下光线 RAY3 的反射角； U_{b5} 为 M5 入射下光线 RAY3 与光轴的夹角； U'_{b5} 为 M5 出射下光线 RAY3 与光轴的夹角； z_{a6} 为 M6 处上光线 RAY2 入射点与 M6 顶点的轴向距离；

[0144] 图 13 不同 CLEAPE6 时，M5 的曲率 $1/r_5$ 随 $radio_3$ 改变而变化的情况。

[0145] 当确定 d_5 、 r_6 、 r_5 、WDI 后,则可计算第三镜组 G3 的实际物高 YOB3,实际入瞳距 ENP3,其中计算过程为现有技术,因此在此不进行累述。

[0146] 步骤 110、选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 ,根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系,并利用上述确定的第一反射镜 M1、第二反射镜 M2、第五反射镜 M5 以及第六反射镜 M6 的半径以及相互之间的距离,利用近轴迭代算法获取第四反射镜 M4 的半径 r_4 、第三反射镜 M3 与第四反射镜 M4 的间距 d_3 、第三反射镜 M3 与第二反射镜之间的距离 d_2 即第三反射镜 M3 的物距 l_3 、以及第四反射镜 M4 和第五反射镜之间的距离 d_5 即第四反射镜 M4 的像距 l'_4 。

[0147] 本步骤的具体过程为:

[0148] 如图 14 所示,将第二镜组作为独立的光学系统来看,其待确定的参数主要包含光学系统参数和光学结构参数。光学系统参数有第二镜组入瞳直径 END2、第二镜组入瞳距 ENP2(即第二镜组实际物面 1401 到第二镜组入瞳 1402 的距离)和第二镜组物高 YOB2;光学结构参数包含第二镜组物面 1401 到第三反射镜 M3 的距离 (l_3),第三反射镜 M3 到第四反射镜 M4 的距离 (d_3),第四反射镜 M4 到第二镜组像面 IM2 的距离 (l'_4),M3 的半径 (r_3),M4 的半径 (r_4) 五个参数。

[0149] 由于第一镜组 G1 的结构参数已经选定,G1 的出瞳直径 EXD1 即为 G2 的入瞳直径 END2,即 $END2 = EXD1$;

[0150] 第一镜组 G1 的实际像高 YIM1 为第二镜组 G2 的实际物高 YOB2,即 $YOB2 = YIM1$;

[0151] 第一镜组 G1 的出瞳距 EXP1 即为第二镜组 G2 的入瞳距离 ENP2,即 $ENP2 = EXP1$;

[0152] 由于第三镜组 G2 的结构参数已经选定,G3 的入瞳距离 ENP3 即为第二镜组 G2 的出瞳距离 EXP2(即第二镜组实际像面 1403 到第二镜组出瞳 1404 的距离),即 $EXP2 = ENP3$;

[0153] G3 的实际物高 YOB3 即为第二镜组 G2 的实际像高 YIM2,即 $YIM2 = YOB3$;

[0154] 使用近轴计算和迭代计算结合的方式,由上述参数可以计算出 G2 的结构参数。

[0155] 考虑 G2 镜组的结构参数求解,待求结构需要满足四个已知条件,即物象共轭关系,放大倍率,匹兹万和,光瞳共轭关系四个已知条件。若给出 M3 的半径 r_3 ,即可求得符合相应条件的近轴解。

[0156] 由物象共轭关系有

$$[0157] \quad \frac{1}{l_3} + \frac{1}{l'_3} = \frac{2}{r_3}$$

$$[0158] \quad l_4 - l'_3 = -d_3$$

$$[0159] \quad \frac{1}{l_4} + \frac{1}{l'_4} = \frac{2}{r_4}$$

[0160] 其中, l_3 为第三反射镜 M3 的物距; l'_3 为第三反射镜 M3 的像距; d_3 为第三反射镜 M3 与第四反射镜 M4 的间距; l_4 为第四反射镜 M4 的物距; l'_4 为第四反射镜 M4 的像距;

[0161] 由放大倍率关系有(这里的倍率的),

$$[0162] \quad \frac{l'_4}{l_4} \cdot \frac{l'_3}{l_3} = \beta$$

[0163] β 为 G2 系统的近轴放大倍率,令 $\beta = M$;

[0164] 由匹兹万和条件有

$$[0165] \quad pizsum_2 = -\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6}\right)$$

[0166] 则可得到

$$[0167] \quad \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} = pizsum_2$$

[0168] 由光阑共轭关系有

$$[0169] \quad \frac{1}{(l_3 - enp_2)} + \frac{1}{l'_{p3}} = \frac{2}{r_3}$$

$$[0170] \quad l_{p4} - l'_{p3} = -d$$

$$[0171] \quad \frac{1}{l_{p4}} + \frac{1}{l'_4 + exp_2} = \frac{2}{r_4}$$

[0172] 其中, enp_2 为第二镜组 G2 的近轴入瞳距, 即令 enp_2 为 G1 的出瞳距离; l'_{p3} 为第二镜组 G2 的入瞳经 M3 成像的近轴像距; l_{p4} 为第二镜组 G2 的出瞳经 M4 成像的近轴物距; exp_2 为第二镜组 G2 的出瞳距, 即令 exp_2 为 G3 的入瞳距离;

[0173] 由物象共轭关系、放大倍率关系, 匹兹万和条件以及光瞳共轭关系可以解出

$$[0174] \quad d_3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{r_3^2 \cdot (2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 \cdot pizsum_2 - exp_2 + enp_2 \cdot \beta^2)}{\beta \cdot enp_2 \cdot exp_2 \cdot (1 + pizsum_2 \cdot r_3)}$$

[0175]

$$l_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 - r_3 \cdot exp_2 + r_3 \cdot enp_2 \cdot \beta^2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2}{-exp_2 + enp_2 \cdot \beta^2}$$

[0176]

$$l'_3 = \frac{1}{4} \cdot \frac{(2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 - r_3 \cdot exp_2 + r_3 \cdot enp_2 \cdot \beta^2 + 2 \cdot enp_2 \cdot exp_2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2) \cdot r_3}{(\beta \cdot r_3 \cdot pizsum_2 + 1 + \beta) \cdot enp_2 \cdot exp_2}$$

[0177]

$$l_4 = \frac{1}{4} \cdot \frac{(r_3 \cdot exp_2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 - r_4 \cdot enp_2 \cdot \beta^2 + 2\beta^2 \cdot exp_2 \cdot enp_2 + 2\beta^2 \cdot exp_2 \cdot enp_2 \cdot pizsum_2) \cdot r_3}{enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 \cdot (1 + \beta + 2\beta \cdot r_3 \cdot pizsum_2 + pizsum_2 \cdot r_3 + pizsum_2^2 \cdot r_3^2 \cdot \beta)}$$

[0178]

$$l'_4 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{r_3 \cdot exp_2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta^2 - r_3 \cdot enp_2 \cdot \beta^2 + 2\beta^2 \cdot enp_2 \cdot exp_2 + 2 \cdot \beta^2 \cdot r_3 \cdot enp_2 \cdot exp_2 \cdot pizsum_2}{enp_2 \cdot \beta^2 - exp_2 - exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 + r_3 \cdot \beta^2 \cdot pizsum_2 \cdot enp_2}$$

[0179]

$$l'_{p3} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 - r_3 \cdot exp_2 + r_3 \cdot exp_2 \cdot \beta^2 + 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 + 2enp_2^2 \cdot \beta^2)}{(exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 + exp_2 + enp_2 \cdot \beta) \cdot enp_2 \cdot \beta}$$

[0180]

$$l_{p4} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{(-2 \cdot exp_2^2 \cdot pizsum_2 \cdot r_3 - r_3 \cdot exp_2 - 2 \cdot enp_2 \cdot \beta \cdot exp_2 - 2 \cdot exp_2^2 + r_3 \cdot enp_2 \cdot \beta^2)}{(2 \cdot exp_2 \cdot pizsum_2 \cdot enp_2 + pizsum_2^2 \cdot r_3^2 \cdot exp_2 + enp_2 \cdot \beta + enp_2 \cdot \beta \cdot pizsum_2 \cdot r_3 + exp_2)}$$

$$[0181] \quad r_4 = r_3 / (1 + pizsum_2 \cdot r_3)$$

[0182] 则可计算出第四反射镜 M4 的半径 r_4 、第三反射镜 M3 与第四反射镜 M4 的间距 d_3 、

第三反射镜 M3 的物距 l_3 以及第四反射镜 M4 的像距 l'_4 。

[0183] 步骤 111、根据上述步骤计算的 6 枚反射镜的半径以及相应的位置关系, 获取极紫外光刻投影物镜。

[0184] 上述 r_3 是人为根据经验随机选取, 但是由于输入的条件参数均为非近轴参数, 上式计算得到的参数一般不符合非近轴参数的要求, 但是可以借助这一近轴参数的变化趋势, 判断 G1 和 G3 的组合条件下, 是否存在合理的 G2 与之匹配, 并依据这一变化趋势确定 r_3 的范围。

[0185] 本发明将第二镜组 G2 作为独立的光学系统, 将 G2 系统的近轴放大倍率 $\beta = M$ 、第二镜组 G2 的近轴入瞳距 enp_2 等于 G1 的出瞳距离即 $enp_2 = ENP1$ 、第二镜组 G2 的出瞳距 exp_2 等于 G3 的入瞳距离即 $exp_2 = EXP3$ 、 $1500\text{mm} > (-l_3 - enp_2) > 0$ 以及 $0 > d_3 > 1500\text{mm}$ 作为约束条件, 根据物象共轭关系、放大倍率、匹兹万和以及光瞳共轭关系, 确定 r_3 的范围, 从获取的范围中选取一值作为第三反射镜 M3 的半径。

[0186] 下面举例说明有 G2 镜头组的近轴解选择 r_3 的范围。输入参数的值如表 1 所示。

[0187] 表 1

[0188]

$1/r_3$	-0.002 ~ 0.002
入瞳距离 ENP2	-1883.508480
出瞳距离 EXP2	352.613104
匹兹万和 $pizsum_2$	-0.000811
放大倍率 M	-0.496181
入瞳直径 END2	143.574801
物高 YOB2	-174.424131

[0189] 令

[0190] $enp_2 = ENP1$

[0191] $exp_2 = EXP3$

[0192] $\beta = M$

[0193] 得到各参数随 $1/r_3$ 的变化而变化的图表如图 15(a) ~ 图 15(d) 所示。对于可用的 EUVL 光刻投影系统, 要求系统长度控制在一定范围内。这里将系统物理总长控制在 2000mm 以内, 且 M3 应位于 M2 后方, M4 位于 M3 前方, 且间距应比系统总长稍短, 所以 $1500\text{mm} > (-l_3 - enp_2) > 0$ 且 $0 > d_3 > 1500\text{mm}$ 。

[0194] 为了方便起见, 我们将可用区间以外的物距和间距都设定为零, 图 15(a) 和图 15(b) 即变为图 16(a) 和图 16(b), 得到的图表即可较为清晰地看到 r_3 的可用范围, 比较图 16(a) 和图 16(b), 可知在这一组实际条件下, 是否存在可用的 G2 解。

[0195] 由上面图表可知, $1/r_3$ 的可用范围约为 0.0005 ~ 0.002。即 r_3 的范围为 500mm ~ 2000mm。

[0196] 由于给定 G2 系统的近轴放大倍率 β 与实际放大倍率 M 不同, G2 系统的近轴出瞳距离 \exp_2 与实际出瞳距离 EXP_2 不同, 上述计算得到的光学系统参数并不能直接作为第二组参数计算的结果。

[0197] 事实上, 对于任意两个球面反射镜组成的视场离轴光学系统, 上述两个参量的近轴值与实际值都不可能相同。

[0198] 但是对于任意一个两球面反射镜组成的视场离轴光学系统, 当实际的参数符合要求时, 必定存在一组相应的近轴参数值。我们可以通过比较逼近的方法求得。具体方法如下:

[0199] 下面进一步对 G2 光学参数进行优化, 具体步骤为:

[0200] 步骤 201、选取第三反射镜 M3 的半径 r_3 , 设定误差因子 ξ_B 和 ξ_{\exp_2} , 并令 $\beta(1) = M$, 令 $\exp_2(1) = EXP1$, 设定循环次数 $k = 1$;

[0201] 步骤 202、利用 $\beta(k)$ 、 $\exp_2(k)$ 以及所选取的 r_3 , 根据物象共轭关系、放大倍率关系、匹兹万和条件以及光瞳共轭关系, 求出 G2 系统的结构参数 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l_4'(k)$ 以及 $r_4(k)$;

[0202] 步骤 203、 r_3 、 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l_4'(k)$ 以及 $r_4(k)$ 输入到光学设计软件 CODEV 中, 获取第二反射镜组 G2 的实际放大倍率 $M(k)$ 以及实际出瞳距离 $EXP2(k)$;

[0203] 步骤 204、判断 $|EXP2(k) - EXP1| \leq \xi_{\exp_2}$ 且 $|M(k) - M| \leq \xi_B$ 是否成立, 若是则结束优化, 将此时的 r_3 、 $d_3(k)$ 、 $l_3(k)$ 、 $l_4'(k)$ 以及 $r_4(k)$ 作为第二反射镜组 G2 的结构参数, 若否, 则进入步骤 205;

[0204] 步骤 205、令 $\beta(k+1) = \beta(k) \cdot [M/M(k)]^\sigma$, $\exp_2(k+1) = \exp_2(k) \cdot [EXP1/EXP2(k)]^\sigma$,

[0205] 其中 $\sigma \leq 1$, 令 k 加 1, 返回步骤 202。

[0206] 本发明 $\sigma \in \left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1 \right\}$, 这里我们称 $[M/M(k)]^\sigma$ 和 $[EXP1/EXP2(k)]^\sigma$ 为逼近因子; 若

此时的 G2 解空间较小, 当 $\sigma = 1$ 时, $[M/M(k)]^1$ 和 $[EXP1/EXP2(k)]^1$ 以这一对逼近因子对近轴放大倍率和近轴出瞳距进行处理, 可能导致结果跳出合理的结构参数范围, 或使得逼近结果不收敛。所以可以选取 $\sigma = \frac{1}{2}$, 即逼近因子为 $[M/M(k)]^{1/2}$ 和 $[EXP1/EXP2(k)]^{1/2}$, 或

$\sigma = \frac{1}{4}$, 即逼近因子为 $[M/M(k)]^{1/4}$ 和 $[EXP1/EXP2(k)]^{1/4}$, 第三组逼近因子搜索过程比较稳定, 但是其迭代次数较多, 第二种因子介于第一组因子和第三组因子之间, 应用范围比较广, 一般能够满足计算的要求。

[0207] 图 17 为 $\sigma = 1$ 时, 第二镜组的实际放大倍率 M 随迭代次数增加的收敛情况。

[0208] 本发明的实施实例:

[0209] 图 18(a) 为任意选定了一组 G1 的结构, 该结构的光阑位于第二面反射镜上。物方主光线入射角度定为 5° 。该结构的元件排布合理, 加工难度比较低, G1 的光学系统参数和光学结构参数如表 2 所示, 其中 $pizsum_1 = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}$ 。

[0210] 表 2

[0211]

NAO	0.05
CA	5.00000
radio ₁	0.153
radio ₂	0.352
YOB	132.5000
-l ₁	304.7500
-d ₁	-304.749986
r ₁	-1160.173602
r ₂	-9301.878824
l' ₂	1970.7450
YIM1	-368.998492
EXP1	1970.744988
pizsum ₁	-0.000754435

[0212] 图 18(b) 为任意选定了一组 G3 的结构, G3 的光学系统参数和光学结构参数如表 3

所示, 其中 $pizsum_3 = \frac{1}{r_5} - \frac{1}{r_6}$ 。

[0213] 表 3

[0214]

NAI	0.25
CA	telecentricity
radio ₂	9.000000
YIM	26.5000
l' ₆	320.0000
d ₅	-288.0000
r ₆	-358.854572

r_5	-411.048060
$-l_5$	273.972300
YOB3	-76.985423
ENP3	354.566741
pizsum ₃	-0.000354

[0215] 根据上述 G1 和 G2 的结构参数,得到 G2 计算所需的参数如表 4 所示。

[0216] 表 4

[0217]

$1/r_3$	-0.002 ~ 0.002
入瞳距离 ENP2	-1970.744988
出瞳距离 EXP2	354.566741
匹兹万和 pizsum ₂	-0.001108
放大倍率 M	-0.208633
入瞳半径 END2	72.144399
物高 YOB2	-368.998492

[0218] 计算得到 r_3 半径为 500mm, 450mm, -500mm 的 G2 结构三种,其光路图如图 18(c) 所示。

[0219] 衔接上述三个镜组,对于不同的 G2 镜组,得到的六反射投影物镜结构如图 18(d) 所示。比较图 18(d) 中的几种结构,表 7 为下面表 5、表 6 和表 7 中参数确定的三个结构的系统总长和最大反射镜口径的比较,其中 $c_1 = 1/r_1$, $c_2 = 1/r_2$, $c_3 = 1/r_3$, $c_4 = 1/r_4$, $c_5 = 1/r_5$, $c_6 = 1/r_6$, $d_1 \circ d_1$ 为掩模与第一反射镜 M1 的间距, $d_2:d_6$ 为第一至第五反射镜 M1 ~ M5 与相应后一反射镜的间距, d_7 为第六反射镜 M6 与硅片的间距。M3 位于物面 (掩模 101) 的前方,不利于步进工件台的工作。结构一 (embodiment1) 的系统总长比较短,但最大元件口径较大。结构三 (embodiment3) 的最大元件口径比较小,但是系统总长相对较长。可以根据工程实际的需要选择适当的 M3 半径。

[0220] 表 5

[0221]

curvature		Thickness	
		d_1	865.6667
c_1	-0.000862	d_2	-304.7500
c_2	-0.000108	d_3	294.8853
c_3	0.002000	d_4	-712.911491
c_4	0.000892	d_5	1562.2970
c_5	0.002433	d_6	-288.000
c_6	0.002787	d_7	320.0000

[0222] 表 6

[0223]

curvature		Thickness	
		d_1	865.6667
c_1	-0.000862	d_2	-304.7500
c_2	-0.000108	d_3	336.3676
c_3	0.002222	d_4	-512.9432
c_4	0.001114	d_5	1363.527
c_5	0.002433	d_6	-288.000
c_6	0.002787	d_7	320.0000

[0224] 表 7

[0225]

curvature		Thickness	
		d_1	865.6667
c_1	-0.000862	d_2	-304.7500
c_2	-0.000108	d_3	1049.8990
c_3	-0.002500	d_4	-142.7610
c_4	-0.003608	d_5	269.1092
c_5	0.002433	d_6	-288.000
c_6	0.002787	d_7	320.0000

[0226] 表 8

[0227]

System#	Total length	Max diameter
System1	1737.1874	888.3862
System2	1779.8679	771.7360
System3	1769.1643	407.6502

[0228] 其他几种通过分组择选的系统如图 19(a)、图 19(b)、图 19(c) 所示。其结构参数如表 9、表 10、表 11 所示。其中某些结构可能并不利于工程实现,此处仅作为分组择选搜索法的实施示例。

[0229] 表 9

[0230]

curvature		Thickness	
		d_1	749.5141
c_1	-0.001541	d_2	-224.8542
c_2	-0.002866	d_3	1344.351
c_3	-0.001000	d_4	-570.4919
c_4	-0.001149	d_5	418.7801
c_5	0.001968	d_6	-222.1395
c_6	0.003442	d_7	251.7581

[0231] 表 10

[0232]

curvature		Thickness	
		d_1	749.5141
c_1	-0.0015411	d_2	-224.8542
c_2	-0.0038309	d_3	1119.093
c_3	-0.0004762	d_4	-781.3919
c_4	0.00033972	d_5	-222.1395
c_5	0.00196793	d_6	1259.953
c_6	0.00344177	d_7	251.7581

[0233] 表 11

curvature		Thickness	
		d_1	407.9396
c_1	-0.000581	d_2	-274.6366
c_2	0.000798	d_3	1072.295
c_3	-0.002000	d_4	-233.6414
c_4	-0.004080	d_5	202.4978
c_5	0.002501	d_6	-244.6155
c_6	0.003203	d_7	274.6155

[0234]

[0235] 图 20 为典型的极紫外光刻系统示意图, 光束由光源 2001 出射后, 经照明系统 2002 整形和匀光, 照射到反射式掩模 101 上。经掩模 101 反射后, 光线入射至投影物镜系统 2003, 最终在涂覆有极紫外光刻胶的硅片 102 上曝光成像。本发明设计得到的 EUVL 投影光刻物镜可以应用于该系统当中。波长为 13.5nm 的极端紫外光源发射激光, 经照明系统后, 照射到掩模上, 经掩模反射后, 沿光路方向依次经第一反射镜 M1、第二反射镜 M2、第三反射镜 M3、第四反射镜 M4 组成, 成中间像, 中间像经第五反射镜 M5、第六反射镜 M6 成像于硅片上。

[0236] 虽然结合附图描述了本发明的具体实施方式, 但是对于本技术领域的技术人员来说, 在不脱离本发明的前提下, 还可以做若干变形、替换和改进, 这些也视为属于本发明的保护范围。

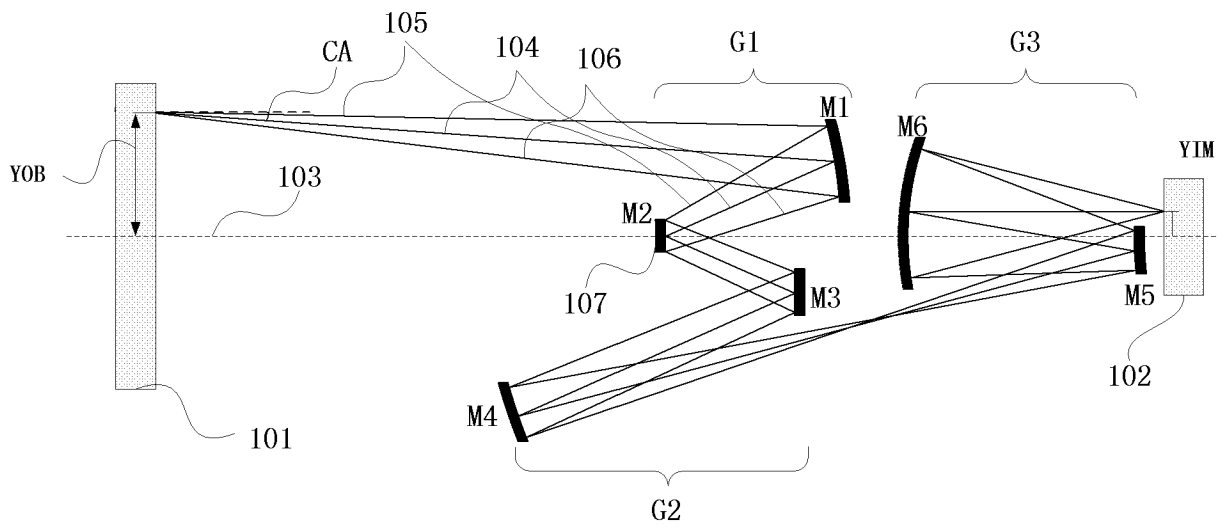


图 1

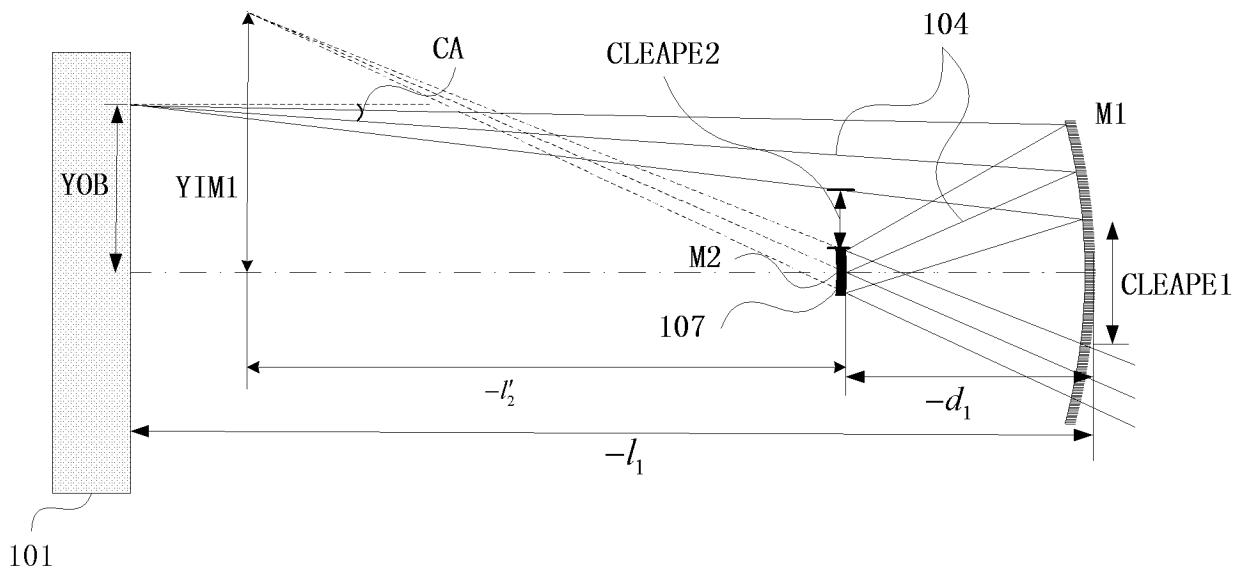


图 2

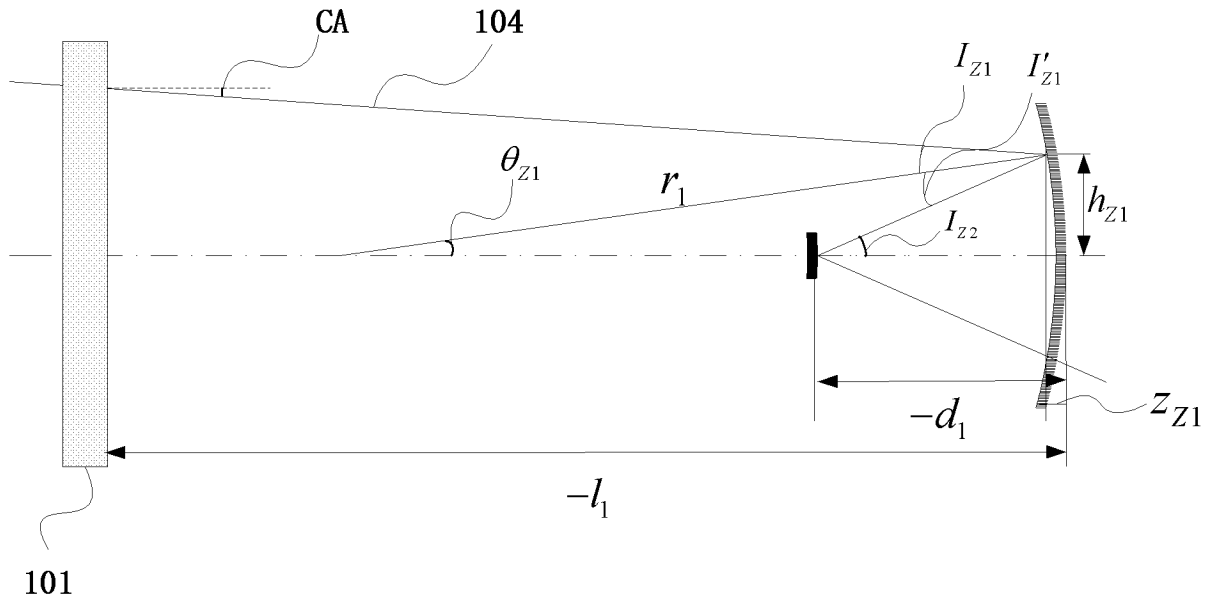


图 3

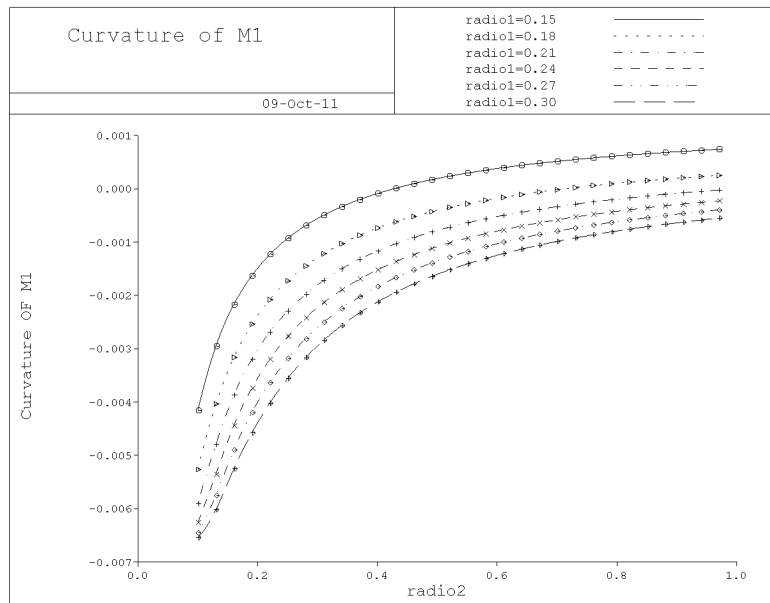


图 4

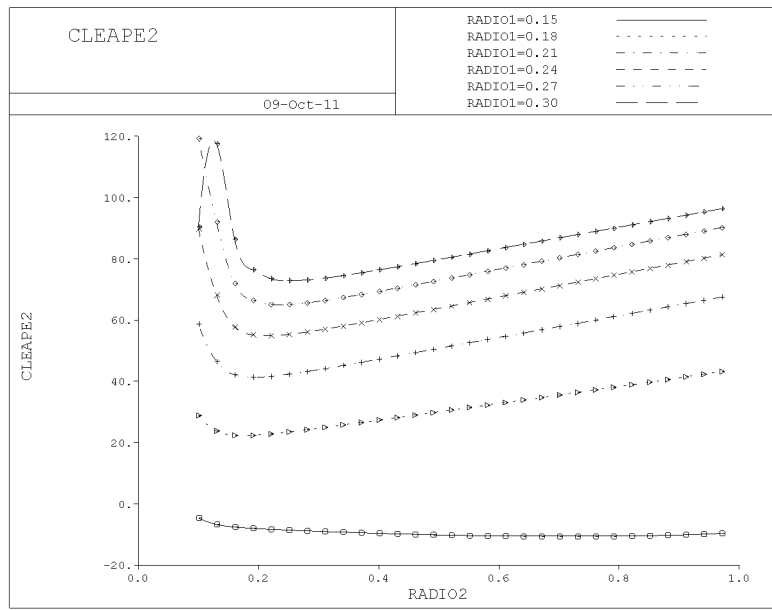


图 5

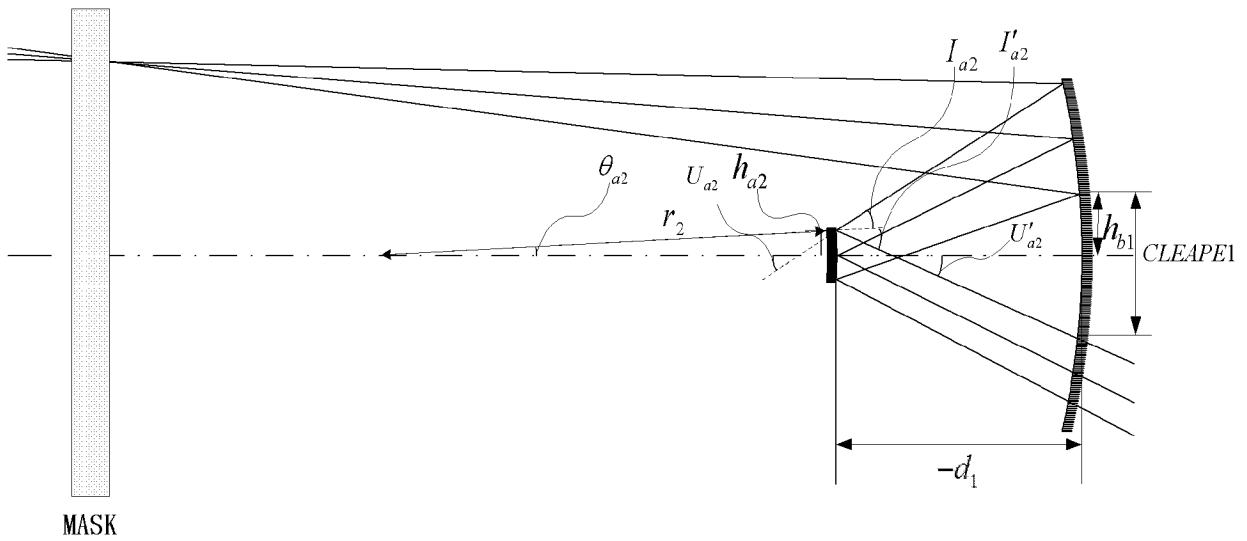


图 6

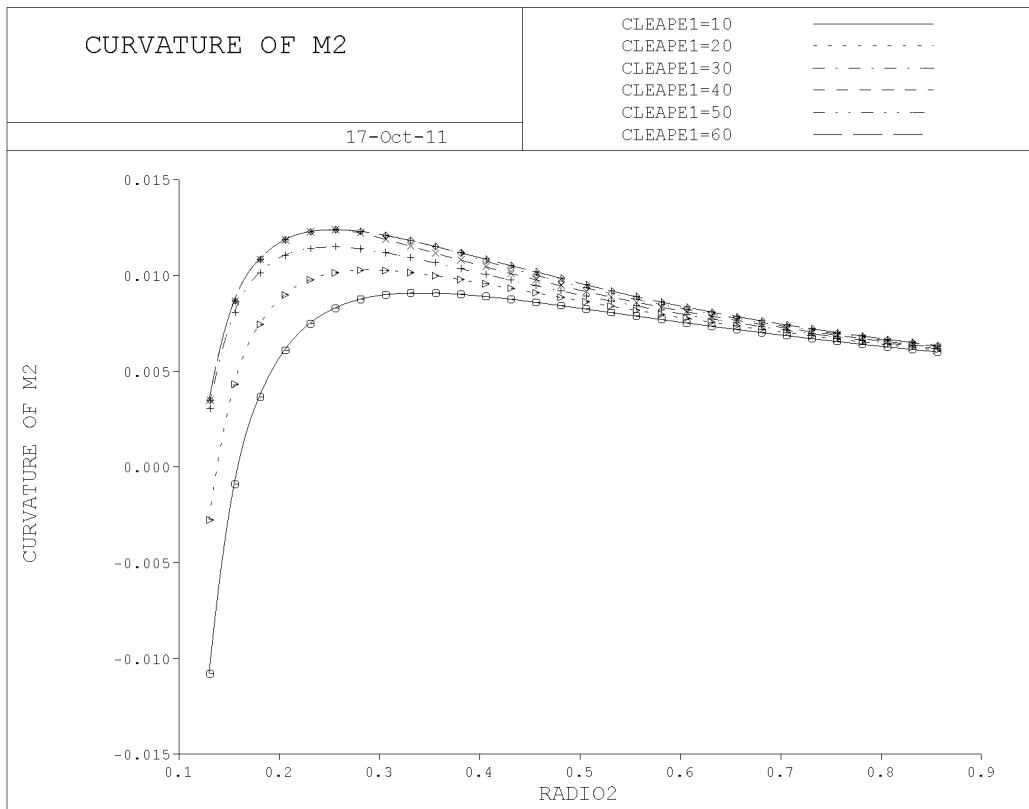


图 7

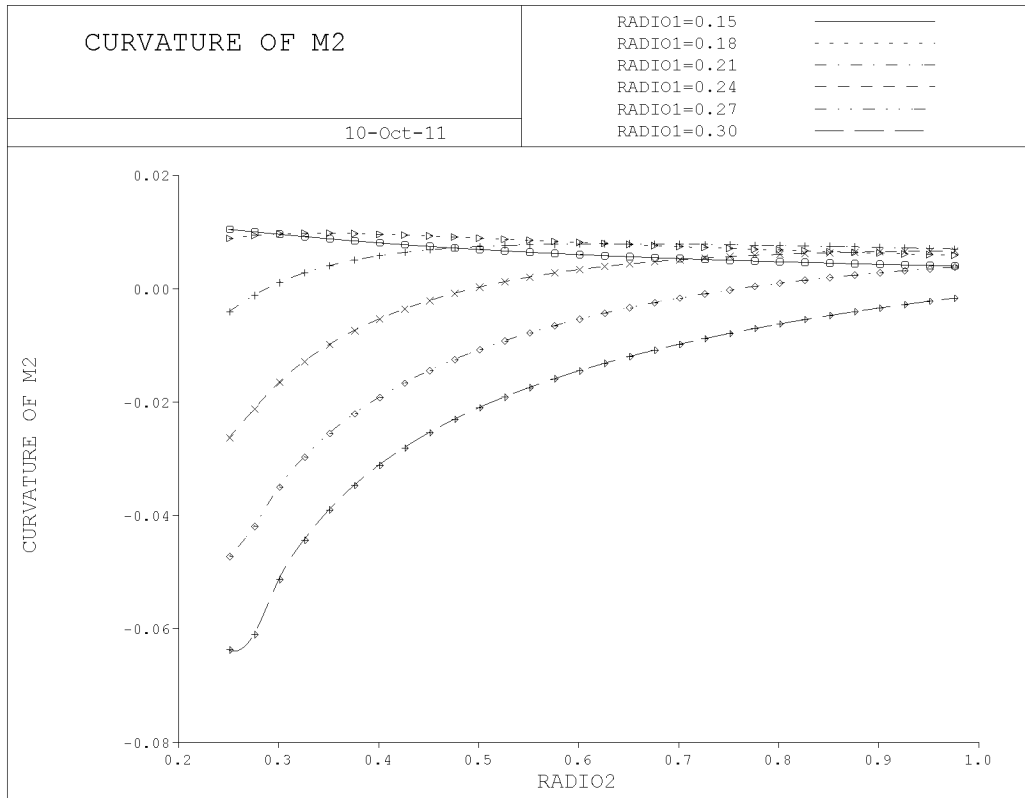


图 8

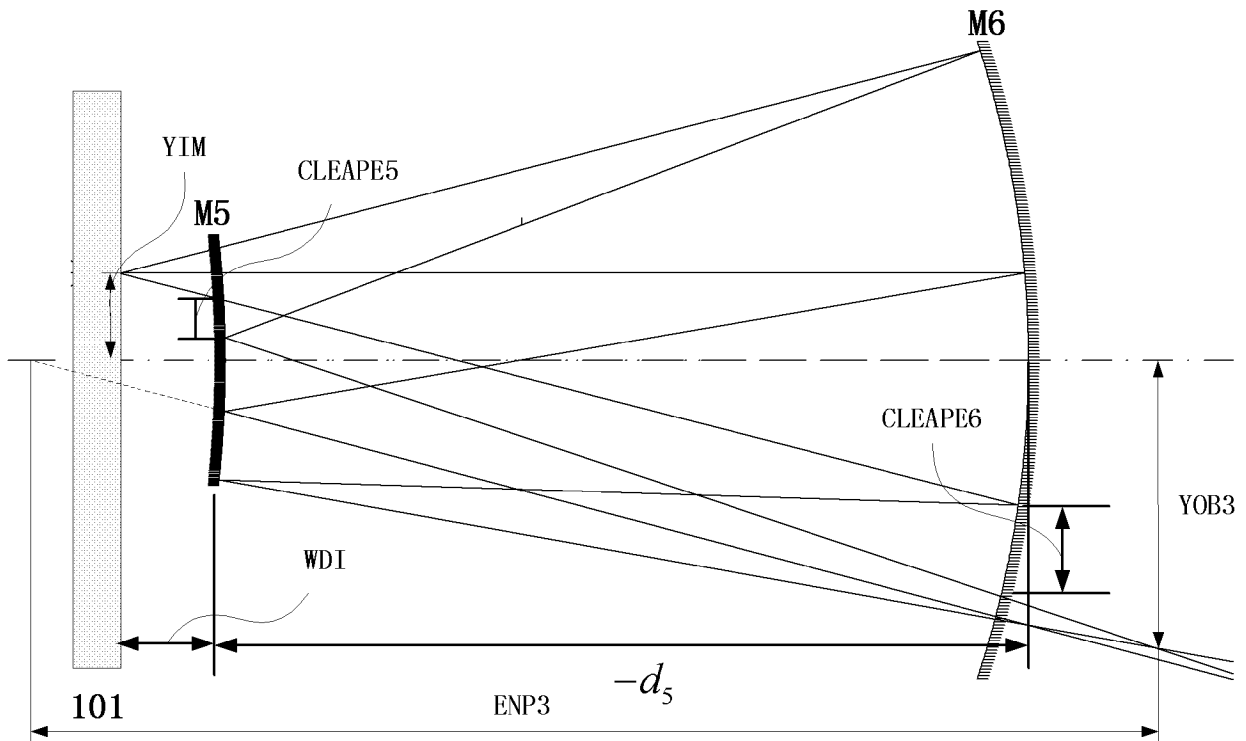


图 9

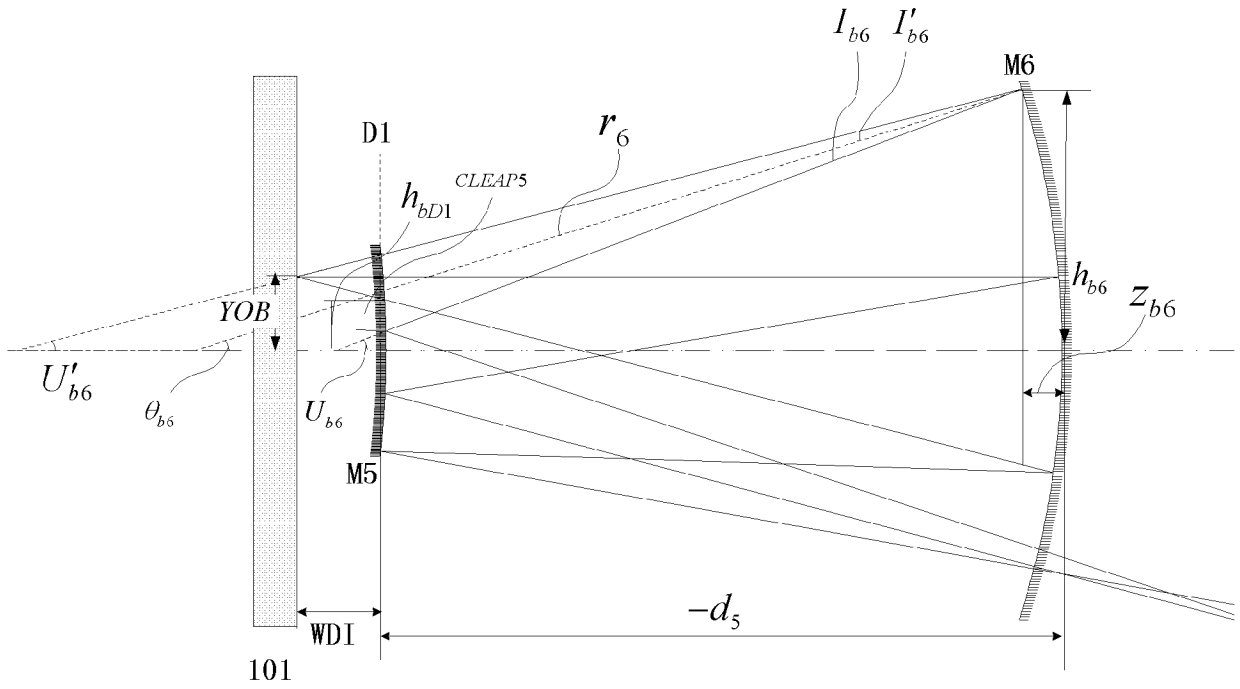


图 10

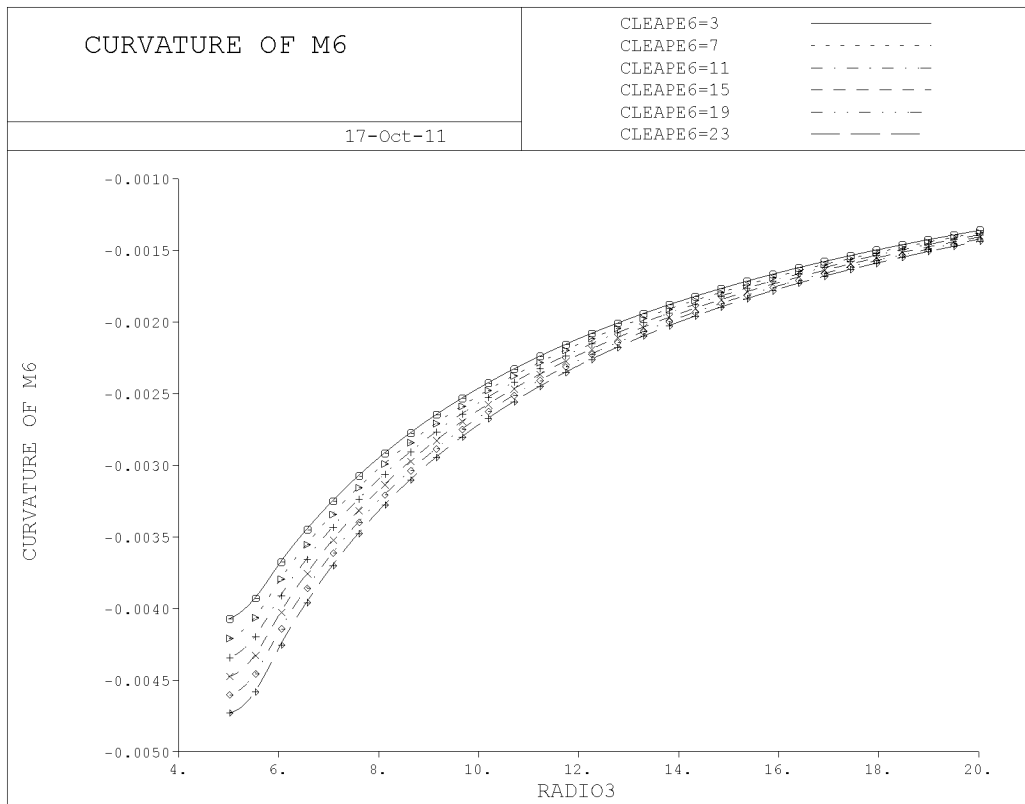


图 11

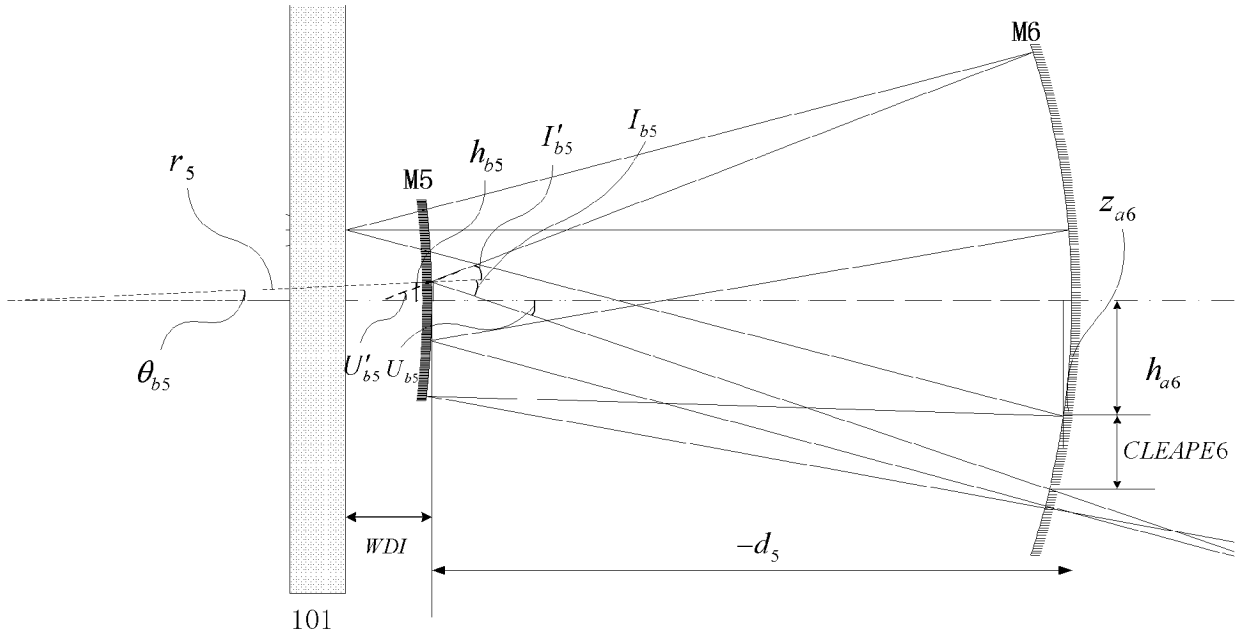


图 12

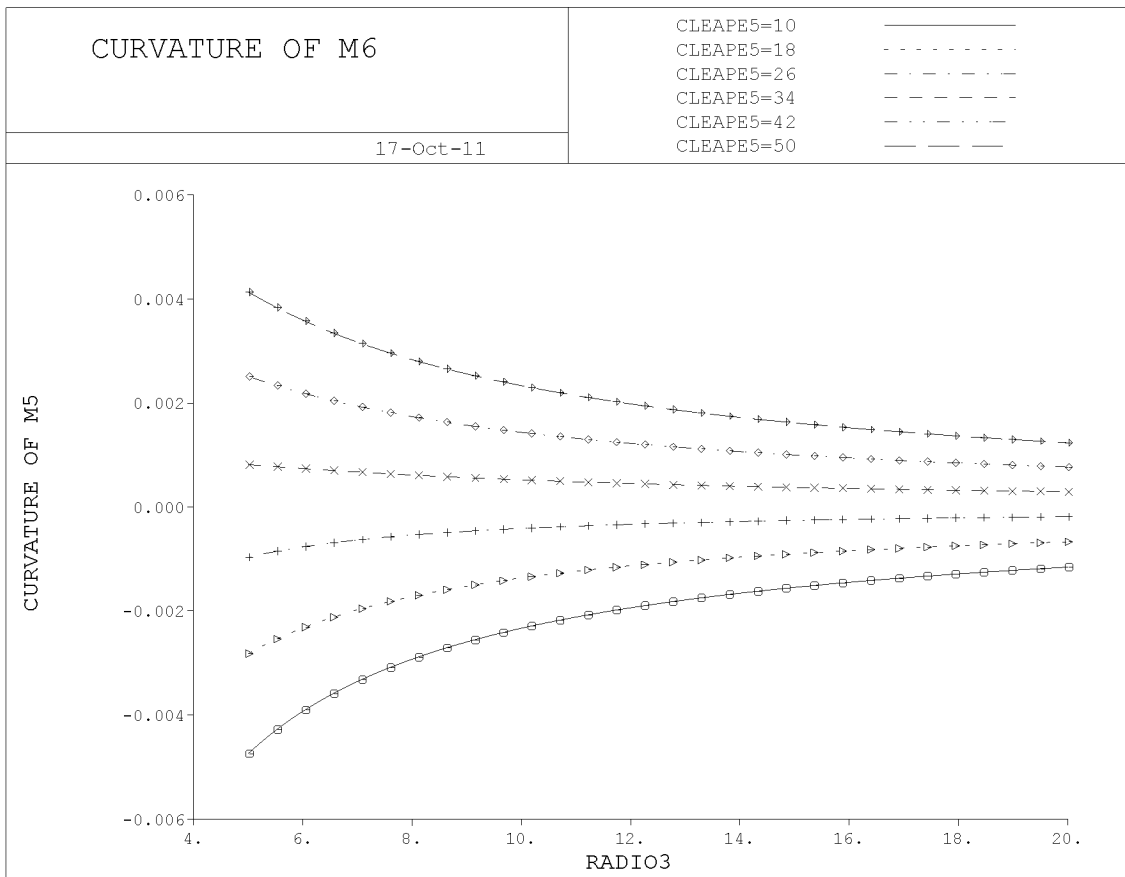


图 13

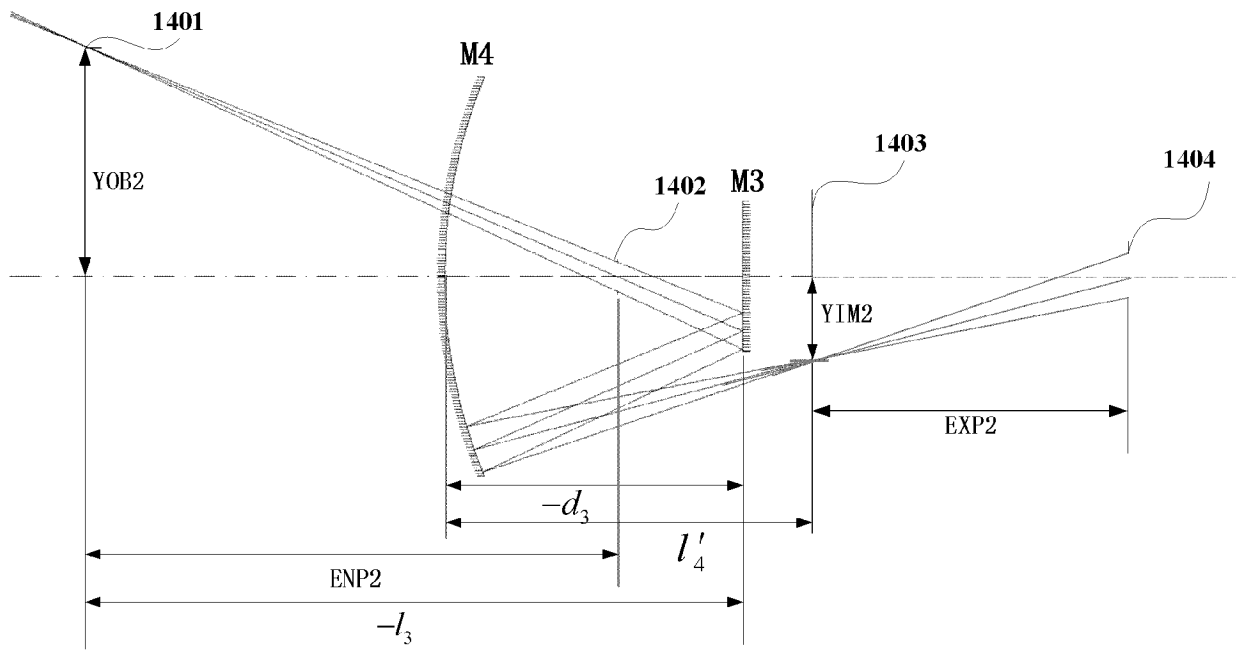
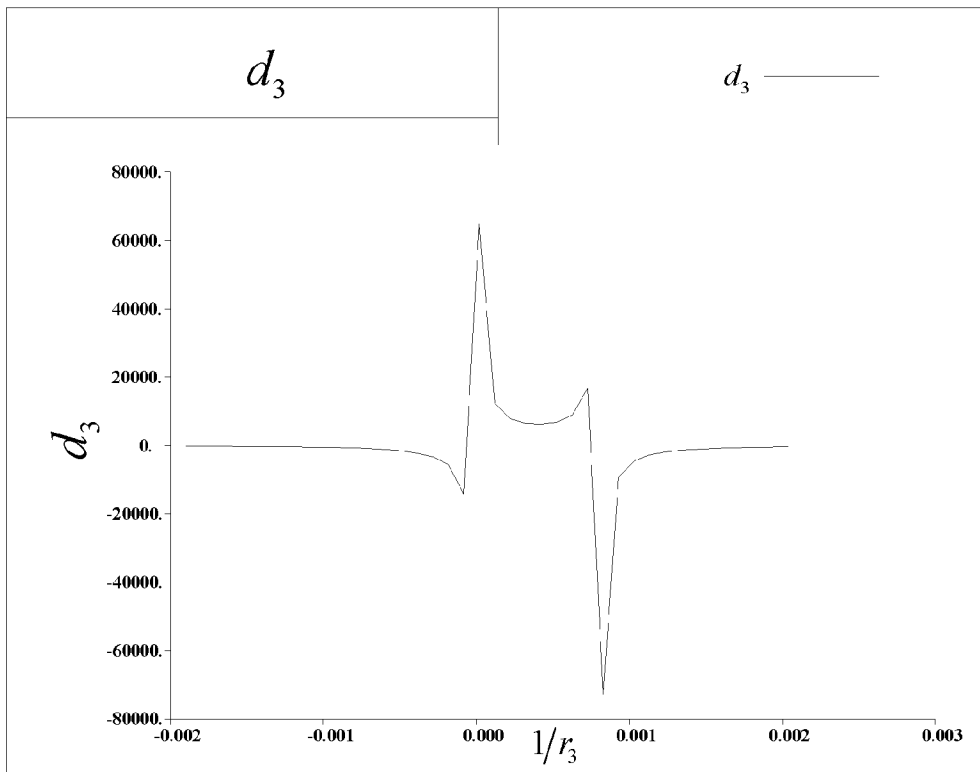
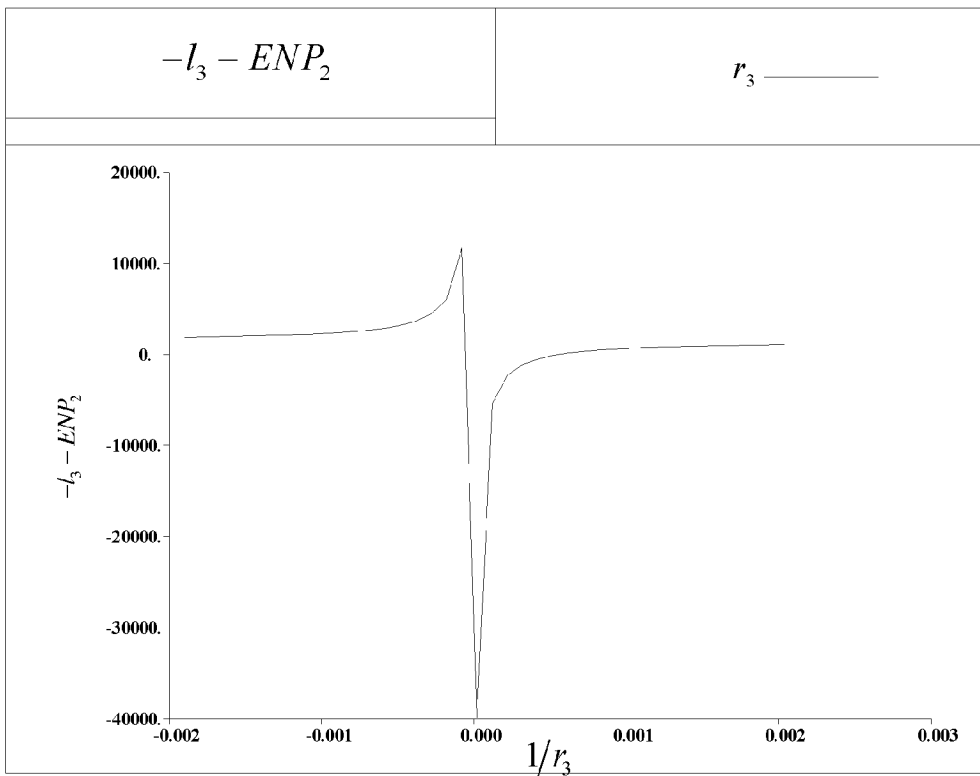


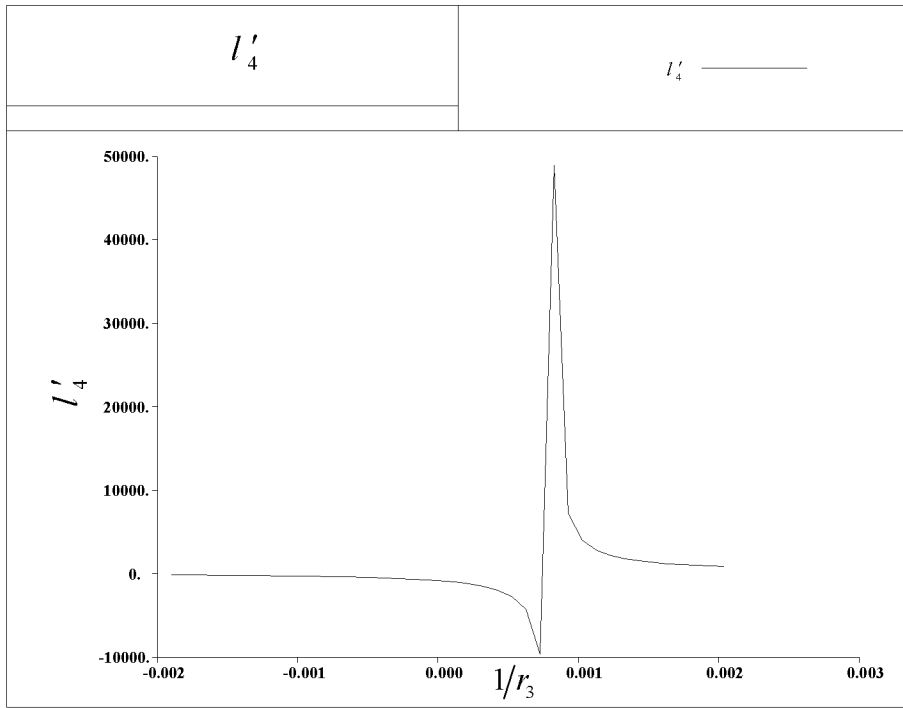
图 14



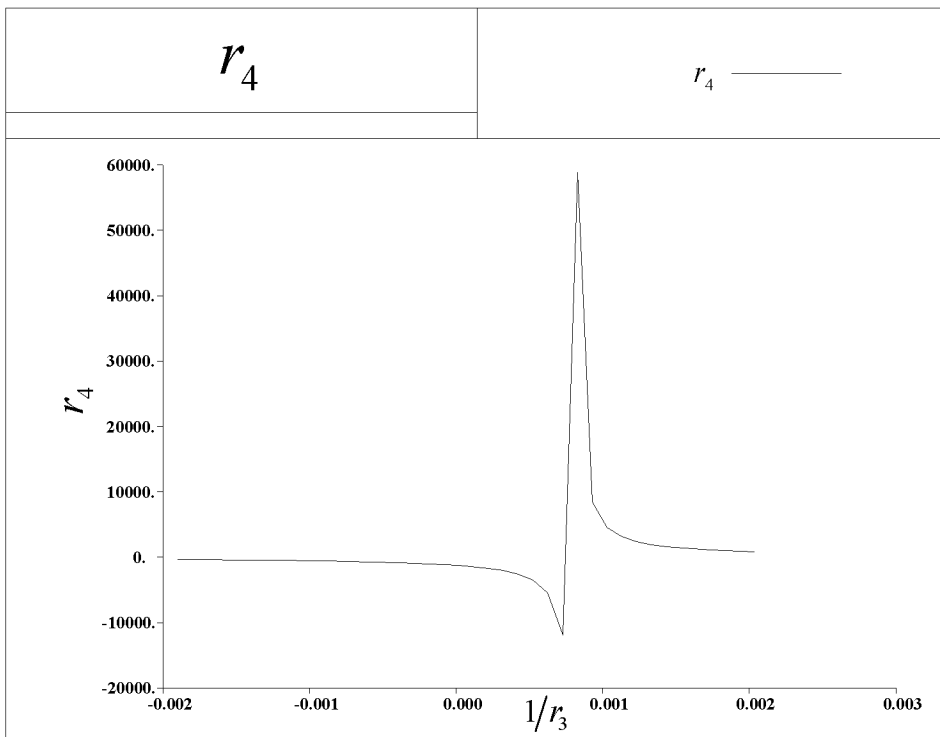
(a)



(b)

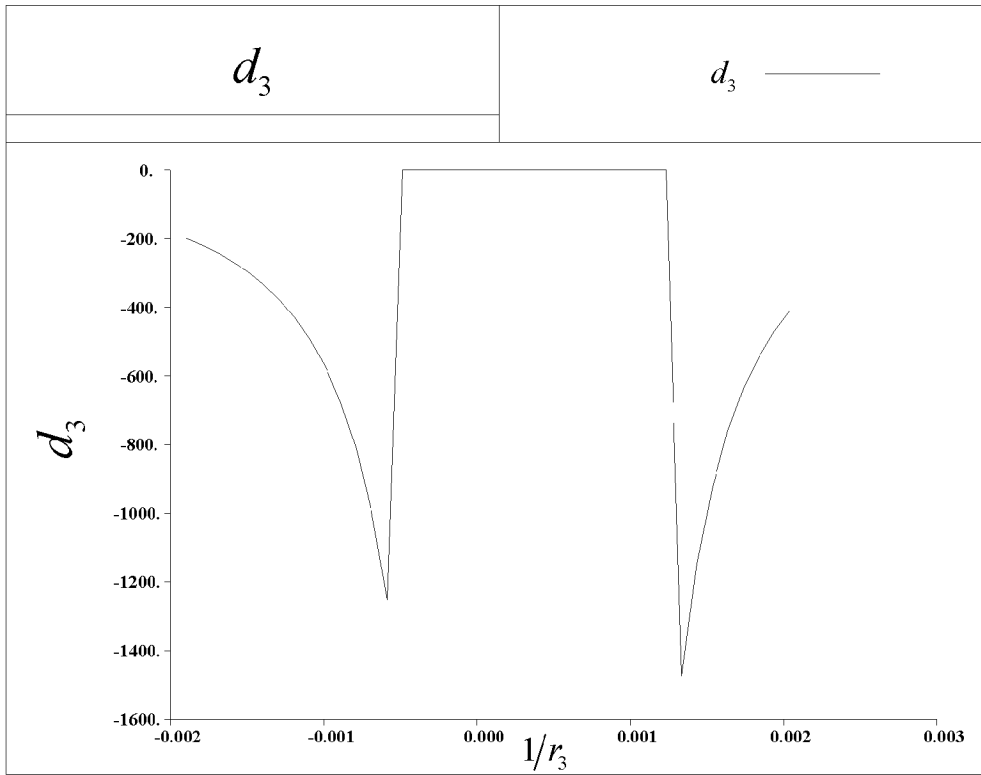


(c)

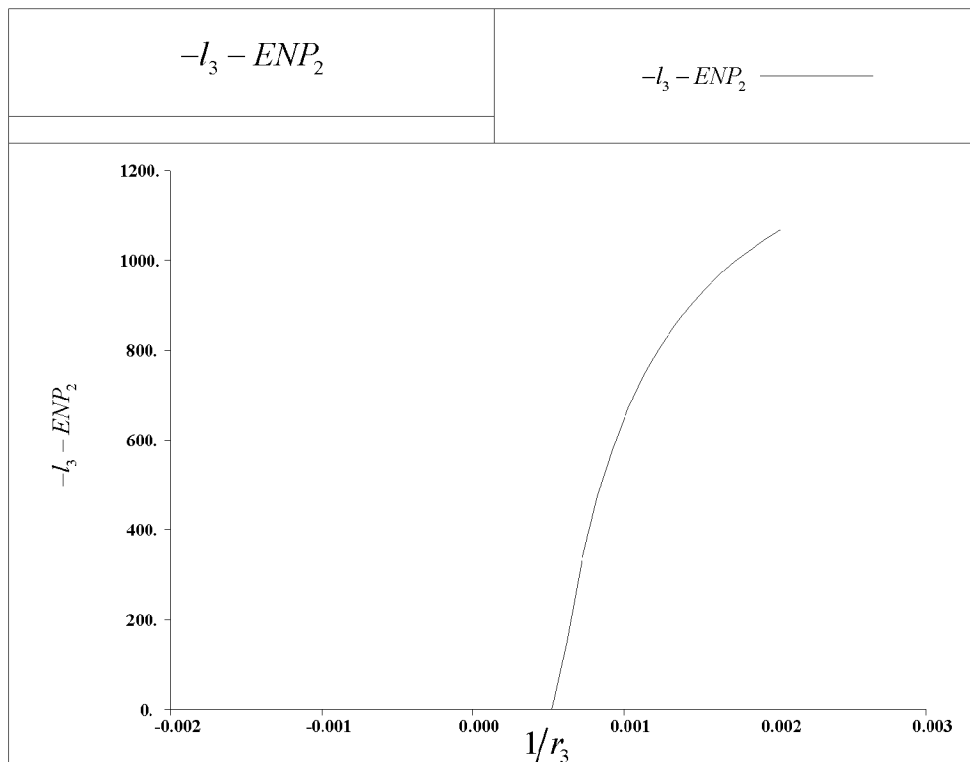


(d)

图 15



(a)



(b)

图 16

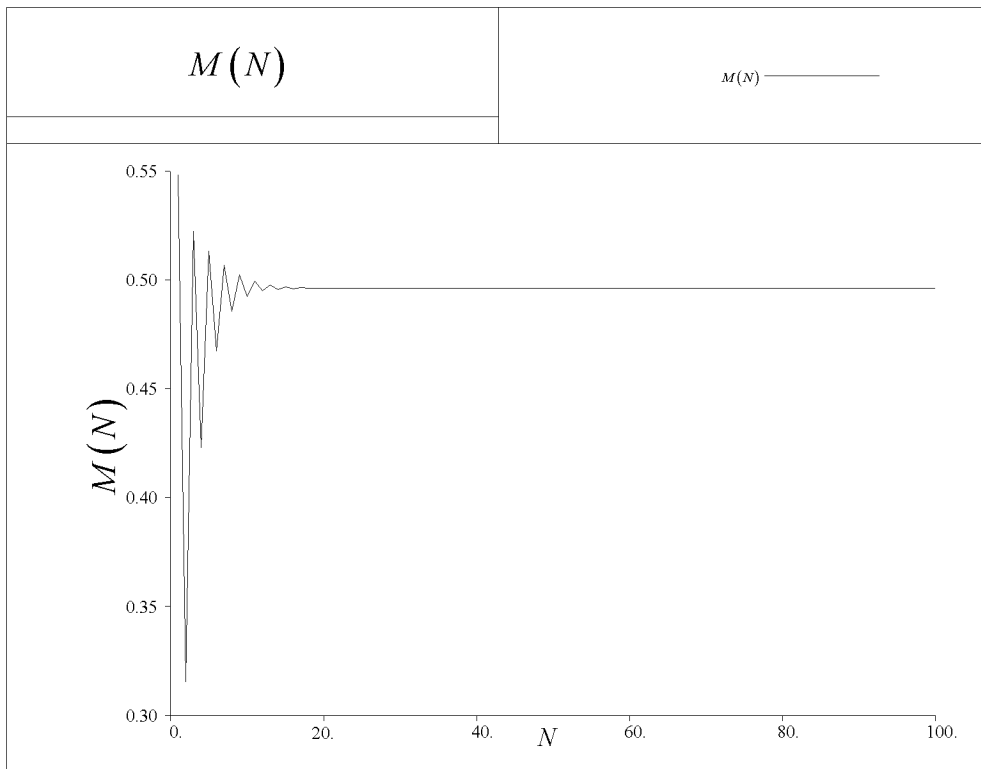
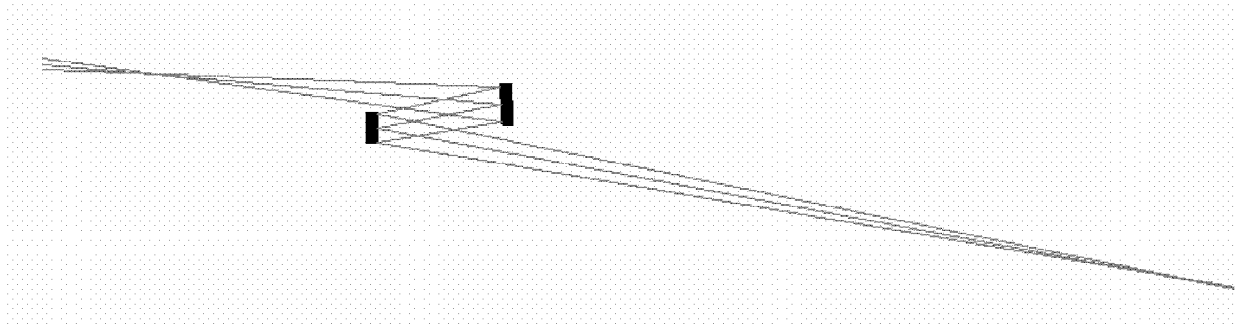
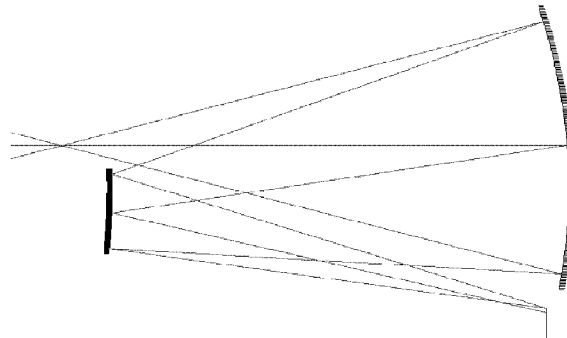


图 17



(a)



(b)

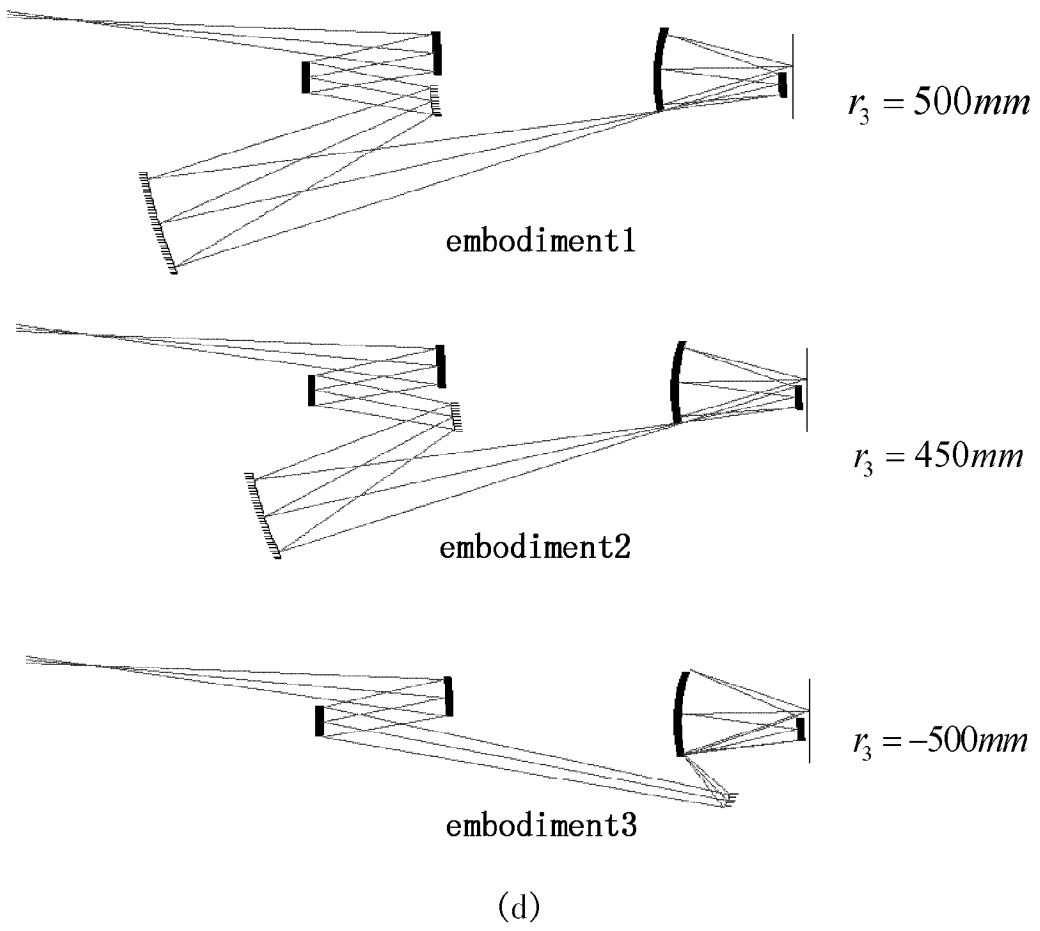
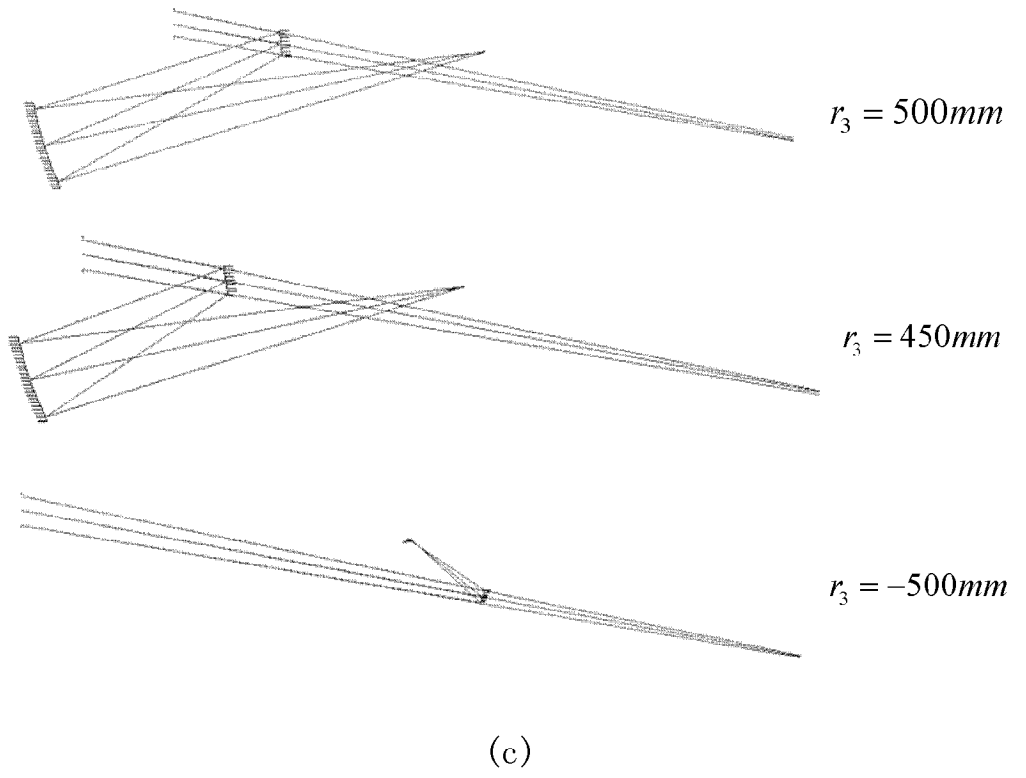
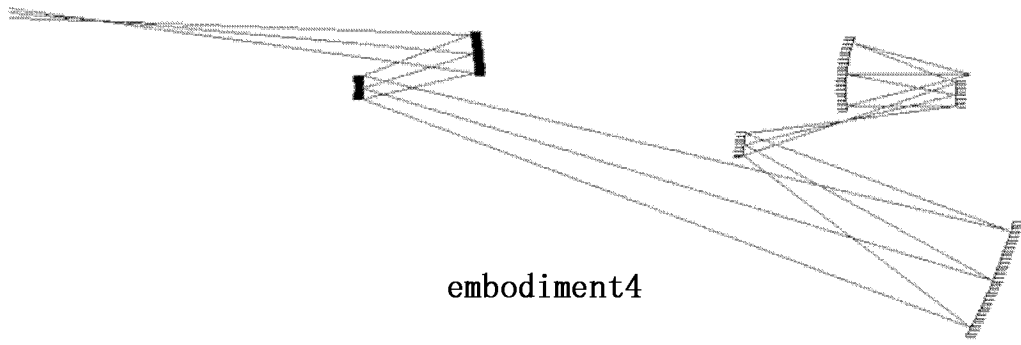
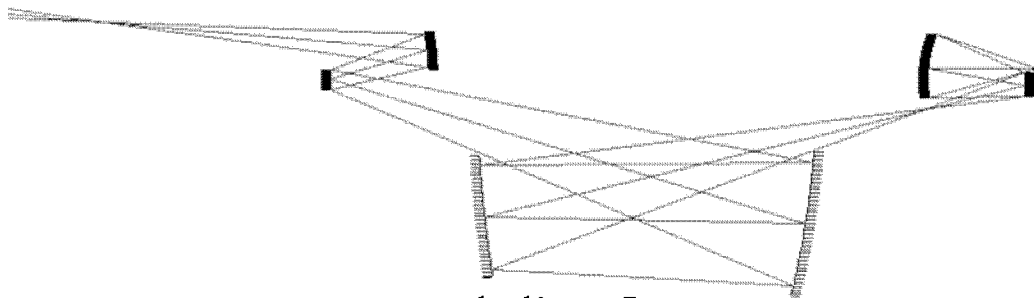


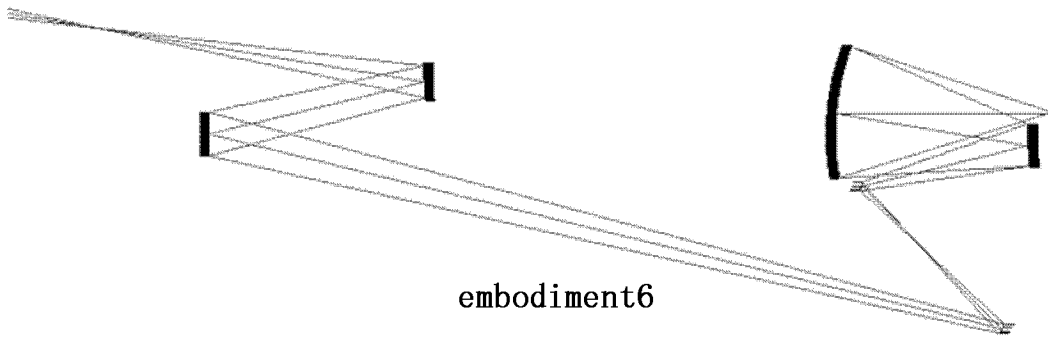
图 18



(a)



(b)



(c)

图 19

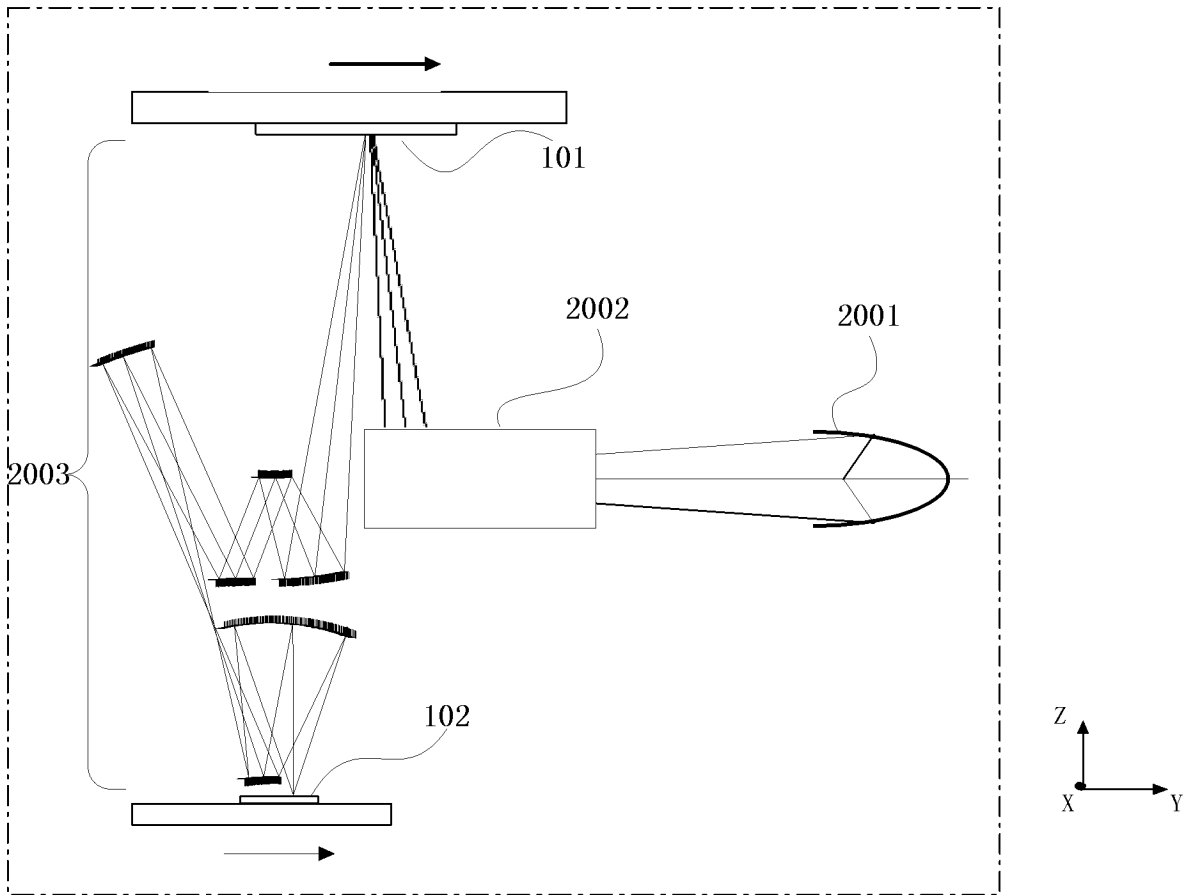


图 20