

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 31/052 (2006.01)

H01L 31/0232 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810051305.X

[43] 公开日 2009年3月18日

[11] 公开号 CN 101388418A

[22] 申请日 2008.10.22

[21] 申请号 200810051305.X

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路16号

[72] 发明人 刘华 朱瑞 卢振武 张红鑫

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所  
代理人 赵炳仁

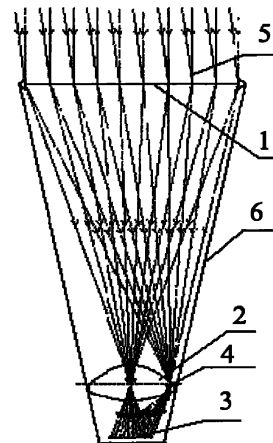
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

## [54] 发明名称

便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置

## [57] 摘要

本发明涉及利用太阳能的光学聚光装置，特别是一种便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置。由聚焦透镜、非成像透镜、光伏电池、封装外壳组成；所述非成像透镜位于聚焦透镜与光伏电池之间，聚焦透镜的聚焦面与非成像透镜的上表面边缘点水平位置相同，非成像透镜的上下表面的边缘点分别位于以顶部聚焦透镜两个边缘点和以底部光伏电池两个边缘点为焦点的双曲线上，聚焦透镜接收不同角度入射的太阳光束，将太阳光束聚焦在非成像透镜上，太阳光束经非成像透镜照射在光伏电池，由光伏电池完成光电转换。本发明结构简单、成本低、在所设计的视场内无需跟踪装置，实现了静态接收，携带时可以无需时刻考虑接收角的问题。



1. 一种便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，其特征在于，由封装在外壳（6）中的聚焦透镜（1）、非成像透镜（2）、光伏电池（3）组成，所述非成像透镜（2）位于所述聚焦透镜（1）与光伏电池（3）之间；聚焦透镜（1）的焦平面所在位置（4）与非成像透镜（2）的上表面边缘点水平位置相同，非成像透镜（2）的上表面边缘点位于以顶部聚焦透镜两个边缘点为焦点的双曲线上，非成像透镜（2）的下表面边缘点位于以底部光伏电池（3）两个边缘点为焦点的双曲线上；聚焦透镜（1）接收不同角度的太阳光束（5），将太阳光束（5）聚焦在非成像透镜（2）上，太阳光束（5）经非成像透镜（2）照射在光伏电池（3）上，由光伏电池（3）完成光电转换。

2. 根据权利要求1所述的便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，其特征在于，所述的聚焦透镜（1）的口径为20mm~60mm，焦距为20mm~80mm；非成像透镜（2）的口径为6mm~20mm；光伏电池（3）的直径大小为2mm~10mm。

3. 根据权利要求1所述的便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，其特征是聚焦透镜（1）为菲涅尔透镜或者薄透镜。

4. 根据权利要求1所述的便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，其特征是聚焦透镜（1）和非成像透镜（2）由玻璃或有机玻璃注塑而成，折射率为1.5。

5. 一种制备权利要求1所述的便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置的方法，其特征是：

首先根据初始数据利用非成像原理进行软件编程，进行编程计算时，首先需要将实际应用中的无限远太阳光即平行光转换为有限远光源，即将顶部聚焦透镜（1）假定为有限远平面光源，然后根据电池大小和选取的聚光比来

设定其口径大小，输入软件进行模拟时，将顶部的有限远光源用聚焦透镜（1）来代替，模拟光源模仿太阳光设为无限远平行光，聚焦透镜（1）的焦距长度等于设计过程中的有限远光源与非成像透镜（2）上表面边缘点的距离；

假设装置前后口径的总入射能量和总出射能量相等为初始条件，此条件由聚焦透镜（1）的口径，装置接收半角和所在环境折射率三者的乘积决定；聚焦透镜（1）与非成像透镜（2）二者的光轴重合，并且光轴垂直于光伏电池（3）表面且经过其表面中心点；确定初始参数后，根据边缘光线原理利用软件程序进行计算，将顶部聚光透镜（1）截面上的两个边缘点分别成像于光伏电池（3）截面的两个边缘点，保证设计时遵循入射的边缘光线出射时仍为边缘光线；经过设计得到满足条件的非成像透镜（2），非成像透镜（2）的口径及厚度根据接收角度和外壳（6）长度调整；设计好初始面型后，将所得到的面形数据点进行拟合，曲面应为高次自由曲面；下一步可利用光学软件进行光线追迹模拟及分析，并且将其他初始数据一并输入。

## 便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置

### 技术领域

本发明属于光电技术领域，涉及利用太阳能的光学聚光装置，特别是一种便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置。

### 背景技术

太阳能是地球上最丰富的可再生能源，自从太阳能利用技术发展以来，其昂贵的开发利用成本就成为大规模普及的障碍。能否经济高效地利用太阳能的关键就在于能否提高聚光比和跟踪精度。

纵观太阳能装置的发展历史，为了保证能量聚集尽可能多，系统均使用了能达到聚焦效果的光学元件。一维聚焦光学元件如 V 形槽，二维聚焦光学元件如反射镜、折射镜、菲涅尔透镜。由于聚光元件的接收角普遍很小，为了保证能量实时的接收效果，太阳能装置必须尽可能的正面朝向入射方向，因此，跟踪装置就应运而生，传统跟踪装置有一维跟踪或二维跟踪，都需要复杂的机电控制系统，不仅增加了重量而且提高了成本且不易维护。

### 发明内容

本发明的目的是为克服传统太阳能聚光装置需要实时跟踪，并且接收角度小的缺陷，提供一种便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置。本发明是一种结构简单，轻巧的聚光装置，解决了现有聚光装置结构复杂等问题，可以同时实现聚光和静态接收两种功能。

本发明便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，由封装在外壳中的聚焦透镜、非成像透镜、光伏电池组成，所述非成像透镜位于所述聚焦透镜与光伏电池之间；聚焦透镜的焦平面所在位置与非成像透镜的上表面边缘点水平位

置相同，非成像透镜的上表面边缘点位于以顶部聚焦透镜两个边缘点为焦点的双曲线上，非成像透镜的下表面边缘点位于以底部光伏电池两个边缘点为焦点的双曲线上；聚焦透镜接收不同角度的太阳光束，将太阳光束聚焦在非成像透镜上，太阳光束经非成像透镜照射在光伏电池上，由光伏电池完成光电转换。

本发明便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置的制备方法是：

首先根据初始数据利用非成像原理进行软件编程，进行编程计算时，首先需要将实际应用中的无限远太阳光即平行光转换为有限远光源，即将顶部聚焦透镜假定为有限远平面光源，然后根据电池大小和选取的聚光比来设定其口径大小，输入软件进行模拟时，将顶部的有限远光源用聚焦透镜来代替，模拟光源模仿太阳光设为无限远平行光，聚焦透镜的焦距长度等于设计过程中的有限远光源与非成像透镜上表面边缘点的距离；

假设装置前后口径的总入射能量和总出射能量相等为初始条件，此条件由聚焦透镜的口径，装置接收半角和所在环境折射率三者的乘积决定；聚焦透镜与非成像透镜二者的光轴重合，并且光轴垂直于光伏电池表面且经过其表面中心点；确定初始参数后，根据边缘光线原理利用软件程序进行计算，将顶部聚光透镜截面上的两个边缘点分别成像于光伏电池截面的两个边缘点，保证设计时遵循入射的边缘光线出射时仍为边缘光线；经过设计得到满足条件的非成像透镜，非成像透镜的口径及厚度根据接收角度和外壳长度调整；

设计好初始面型后，将所得到的面形数据点进行拟合，曲面应为高次自由曲面；下一步可利用光学软件进行光线追迹模拟及分析，并且将其他初始数据一并输入。

本发明首先根据初始数据利用非成像原理进行软件编程，得到非成像透镜的初始面型。进行编程计算时顶部聚焦透镜假定为同样口径大小的有限远

光源，实际中可以采用菲涅尔透镜或者普通薄透镜。当无限远太阳光经过顶部聚焦透镜聚焦到非成像镜片上时，聚焦透镜对于非成像透镜来说成为有限远光源，而非成像透镜的设计原理正是利用有限远光源进行聚光。非成像透镜可以将由聚焦透镜收集来的太阳光透射到电池表面，完成光电转换。

在本发明设计过程中，假设装置前后口径的总入射能量和总出射能量相等是设计的初始条件，即保证了理论上通光率为 100%。在非成像光学中系统的集光能力用集光率  $E$  来衡量，也称为光学扩展不变量，它由聚焦透镜的口径，接收角度和所在环境的折射率三者的乘积决定。聚焦透镜与非成像透镜二者的光轴应重合，并且光轴垂直于电池表面且经过其表面中心点。确定初始参数后，利用软件程序进行计算，其中最主要的是边缘光线原理的应用，即保证设计时遵循入射的边缘光线出射时仍为边缘光线，则两边缘光线之间的光线也会确保投射在电池接收截面的两个边缘点内，设计过程中保证了通光率为 100%。最终经过设计得到满足条件的非成像透镜。非成像透镜的口径大小及厚度可以根据设计的接收角度和装置的总体长度相应调整，解值不唯一，应综合考虑选取最适合实际情况的解值作为面型。

设计好初始面型后，将所得到的面形数据点进行拟合，曲面应为高次自由曲面，对于平滑曲面我们采用四次多项式进行拟合即可，表达式如： $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$ ，式中  $a, b, c, d, e$  均为待定系数， $x$  为面型截面曲线的径向， $y$  为面型截面曲线的轴向方向，整体的非成像透镜面型类似于凸透镜。下一步可利用光学软件进行光线追迹模拟及分析，并且将其他初始数据一并输入。如有误差，可进行适当优化，优化时要遵循边缘光线原理，并且将每个镜片的上下表面镀以抗反射 (anti-reflection, AR) 膜，以提高透过率尽可能减小能量损失，一般总体透过率为 90% 以上。

本发明具有的优点是：

- 1、结构简单，重量轻，在作为便携式装置时或需要考虑装置重量时；

聚焦透镜可采用菲涅尔透镜。菲涅尔透镜聚焦效果要优于传统透镜，像差较小，并且大大节省材料，采用有机玻璃（PMMA）注塑可以减轻重量。一般将若干个元件在平面上进行阵列集成封装，以提高总功率。

2、利用非成像光学设计的镜片能在满足高透过率的情况下保证大的入射角和出射角，缩短聚焦透镜与非成像透镜及非成像透镜与光伏电池的距离。

3、最大的优点是在所设计的视场内无需跟踪装置，实现了静态接收，携带时可以无需时刻考虑接收角的问题。现有的太阳能接收设备需要跟踪装置是因为聚焦焦点在电池表面的移动将影响电池的光电转换效率，因此采用跟踪装置来保证焦点在电池表面的位置相对固定及光能传递率，通过附图的示意我们可以发现本发明在没有跟踪装置的情况下保证了电池表面总体光能传递率。

#### 附图说明

图 1 是本发明的结构示意图；

图中：1 为聚焦透镜，2 为非成像透镜，3 为光伏电池，4 为聚焦透镜焦平面所在位置，5 为太阳光束，6 为外壳；

图 2 是本发明结构中的非成像透镜 2 边缘点位置选取示意图；

图 3 是本发明在最小接收半角时的聚焦情况示意图；

图 4 是本发明在最大接收半角时的聚焦情况示意图；

图 5 是本发明不同视场内总能量的分布曲线；

图 6 是本发明不同视场时电池表面相对能量照度曲线；

图 7 是本发明在光伏电池接收面上得到的不同视场不同口径处的光能总体透过率曲线；

图 8 是图 1 中所示非成像透镜 2 的计算机计算过程框图。

#### 具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明结构和工作过程做进一步说明。

参照图 1，一种便携免跟踪式非成像太阳能聚光装置，由封装在外壳 6 中的聚焦透镜 1、非成像透镜 2、光伏电池 3 组成，所述非成像透镜 2 位于所述聚焦透镜 1 与光伏电池 3 之间；聚焦透镜 1 的焦平面所在位置 4 与非成像透镜 2 的上表面边缘点水平位置相同，图 2 描述了非成像透镜 2 边缘点位置选取原则，非成像透镜 2 的上表面边缘点位于以顶部聚焦透镜 1 两个边缘点为焦点的双曲线上，下表面边缘点位于以底部光伏电池 3 两个边缘点为焦点的双曲线上；三维情况下，几何聚光比定义为系统入射口径与出射口径的面积之比，在本发明中，可相应用聚焦透镜和光伏电池的口径的比值平方来表示，则装置在三维情况下的几何聚光比  $C=(D/d)^2$ ，其中 D 为装置入射口径即有限远光源口径或聚焦透镜 1 的口径，d 为光伏电池 3 的口径。聚焦透镜 1 接收不同角度的太阳光束 5，将太阳光束 5 聚焦在非成像透镜 2 上，太阳光束 5 经非成像透镜 2 照射在光伏电池 3 上，由光伏电池 3 完成光电转换。

所述的聚焦透镜 1 的口径为 20mm~60mm，焦距为 20mm~80mm；非成像透镜 2 的口径为 6mm~20mm；光伏电池 3 的直径大小为 2mm~10mm。

首先，选择电池，通常选用较小的平面光伏电池，正方形，边长 d 在 2mm~10mm 之间，接下来确定装置接收角度，入射半角  $\theta$  在  $0^\circ \sim 10^\circ$  之间，装置在入射半角为  $\theta$  时的三维聚光比极值为  $C_{\max}=(1/\sin\theta)^2$ ，三维几何聚光比数值上等于装置入射口径与光伏电池 3 口径的比值的平方， $C=(D/d)^2$ ，在极值内选取适用的聚光比 C，则由此确定了顶部有限远光源的口径， $D=d\sqrt{C}$ 。计算装置的集光率 E， $E=2D\sin\theta$ ，使非成像透镜 2 的上表面边缘点位于以顶部有限远光源两个边缘点为焦点的双曲线上，得到双曲线方程为： $x^2/(E/4)^2 - y^2/((D/2)^2 - (E/4)^2) = 1$ ，同理对于出射方，非成像透镜 2 下表面的边缘点应在以光伏电池 3 两个边缘点为焦点的双曲线上移动，非成像透镜 2 的上下口径大小相同。整个装置的总体长度 H 为顶部有限远光源与非成像透镜



2 上表面边缘点的距离，非成像透镜 2 的边缘厚度，非成像透镜 2 下表面边缘点与光伏电池 3 的三者距离之和。非成像透镜 2 的口径一般均小于顶部的聚焦透镜 1 的口径，总体长度 H 与顶部聚焦透镜 1 的口径 D 的比值为 1~2。当聚光比越高，比值越接近于 1，非成像透镜 2 纵横比越大，底部光伏电池 3 与非成像透镜 2 的距离越近。非成像透镜 2 的边缘厚度通常为 1~3mm。当确定装置的整体长度 H 和非成像透镜的边缘厚度后，即确定了非成像透镜 2 在双曲线上的位置，同时也确定了非成像透镜 2 的口径。实际封装时用聚焦透镜 1 代替顶部有限远光源，其中非成像透镜 2 上表面边缘点与顶部有限远光源的直线距离就是实际中顶部聚焦透镜 1 的焦距。

为了保证太阳光总体的透过率，本发明选用薄透镜或非涅尔透镜作为聚焦透镜 1。从降低成本和减轻重量的角度出发，本发明的聚焦透镜 1 选用有机玻璃注塑成型。聚焦透镜 1 将不同角度入射的太阳光束 5 聚焦到非成像透镜 2 的上表面的不同位置，焦平面所在位置 4 为非成像透镜 2 的上表面边缘点水平位置，如图 1 所示。当太阳光束 5 聚焦到达非成像透镜 2 表面时，聚焦透镜 1 对太阳光束 5 的作用如图 3, 4 所示。根据非成像原理设计的非成像透镜 2，相比于成像透镜，设计时增加了自由度，根据边缘光线原理，非成像透镜 2 的设计保证了光线的总通过量，并且在大角度接收如  $10^\circ$  时效果仍较好。

聚焦透镜 1 和非成像透镜 2 由玻璃或有机玻璃注塑而成，折射率为 1.5 左右。

非成像透镜 2 计算机计算过程如图 8 所示。设计过程中注意拟合的曲面在中心处切线应尽可能垂直于光轴，以免在非成像透镜中心造成不连续断点。软件模拟时根据不同视场总体透过率，光伏电池 3 有效半径内的能量集中度以及整个视场能量照度相对曲线的分布来评价整个系统的性能。所设计的镜片均为旋转轴对称结构，为了便于实际封装，我们可截取表面为正方形，即

在圆面取内切正方形口径作为实际封装大小。以避免圆形口径阵列化的间隙问题。装置封装壁材料应具有热稳定性好，能够适应环境温度的急剧变化，重量轻，化学稳定性好，耐酸碱腐蚀，抵抗酸雨等恶劣自然天气，使用寿命长等特点。光伏电池 3 连接集成电路板固定在热沉上，高倍聚光时的电池散热问题要加以注意。

附图所示为装置设计接收半角在 $\pm 7^\circ$ 范围内的聚光情况。顶部聚焦透镜 1 口径为 20mm，非成像透镜 2 口径为 8mm，所用材料为 PMMA。光伏电池 3 接收半径为 2mm。并且在光伏电池 3 有效半径 2mm 内能量涵盖达到 90% 以上， $0^\circ \sim 7^\circ$  视场内的透过率均在 90% 左右，因此，在接收角度范围内，不同视场的入射光线均能照射到光伏电池 3 表面完成光电转换，无需跟踪系统。本发明在接收光束边缘角度时的工作情况如图 3、4 所示。

图 5 是本发明不同视场内总能量的分布曲线；图中，横坐标表示电池半径，纵坐标表示对应半径内所涵盖的能量，1.0 表示电池接收到的能量为 100%。物理意义为光伏电池有效半径内所接收到的光能量百分比。

图 6 是本发明不同视场时电池表面相对能量照度曲线；图中，横坐标为入射半角，纵坐标为相对照度值百分比。如果全视场内照度曲线值基本一致，则可以认为对于任何入射半角接收电池表面的能量照度基本一致，并且电池表面的能量分布均匀。无须跟踪装置，可满足设计目标。

图 7 是本发明在光伏电池接收面上得到的不同视场不同口径处的光能总体透过率曲线；曲线表示的是各个视场在子午和弧矢面上不同口径处的光能透过率。横坐标分别表示子午和弧矢面上的全口径，纵坐标表示电池接收面上对应位置的系统透过率值。曲线变化表示入射光经过折射损失，菲涅尔损失，材料吸收后到达接收面上的能量百分比。

图 8 是计算非成像透镜 2 面型的流程图。

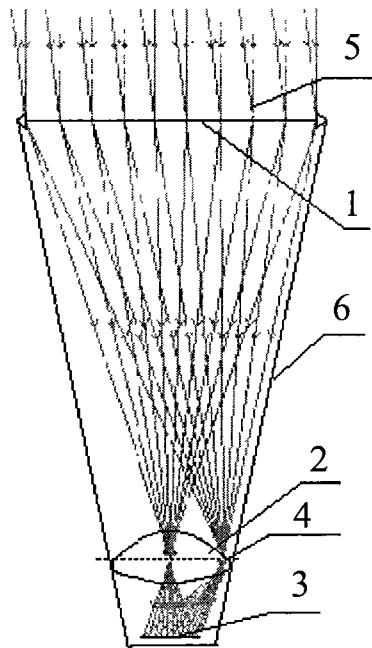


图 1

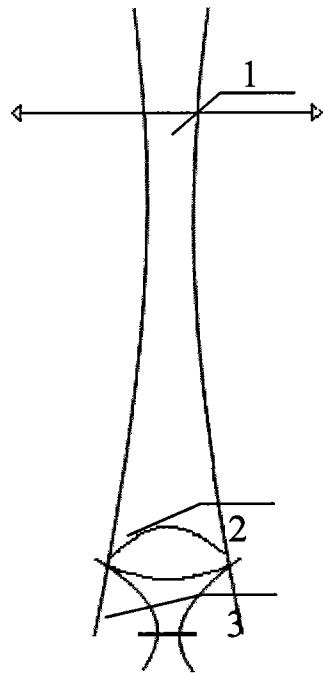


图 2

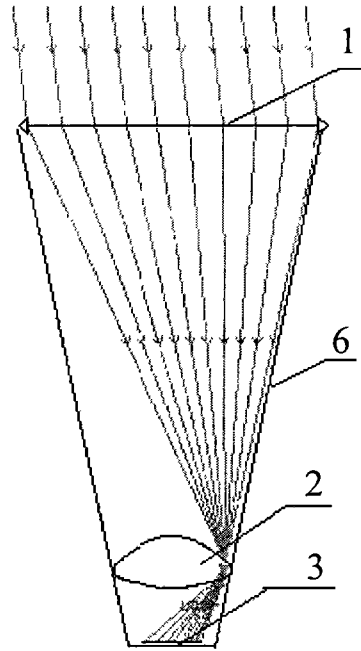


图 3

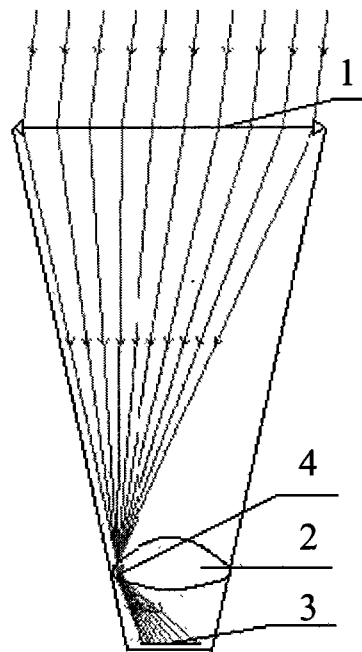


图 4

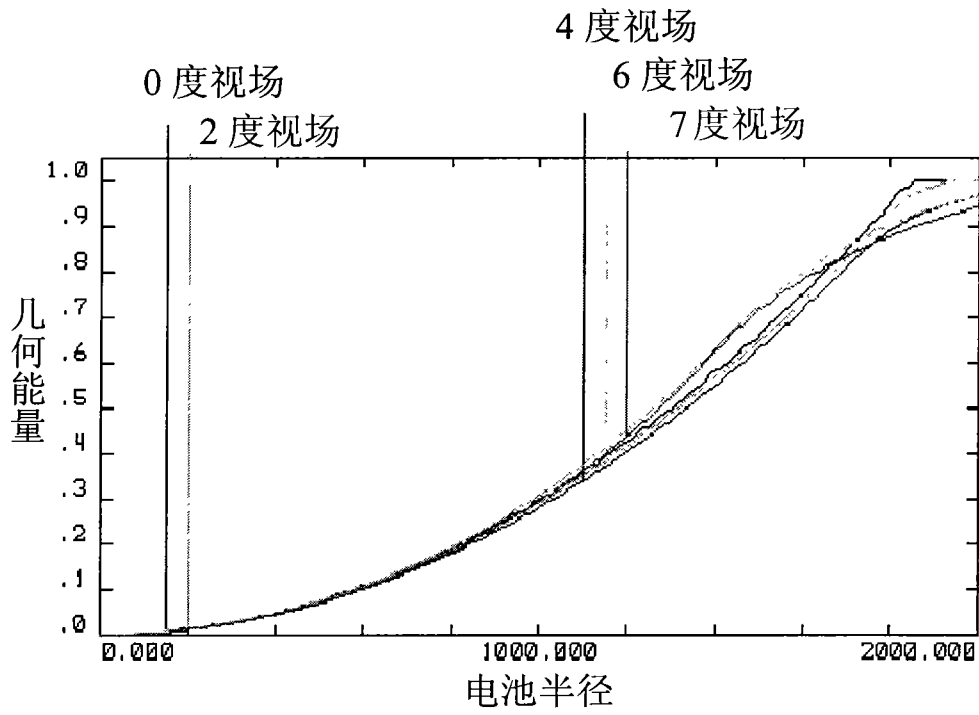


图 5

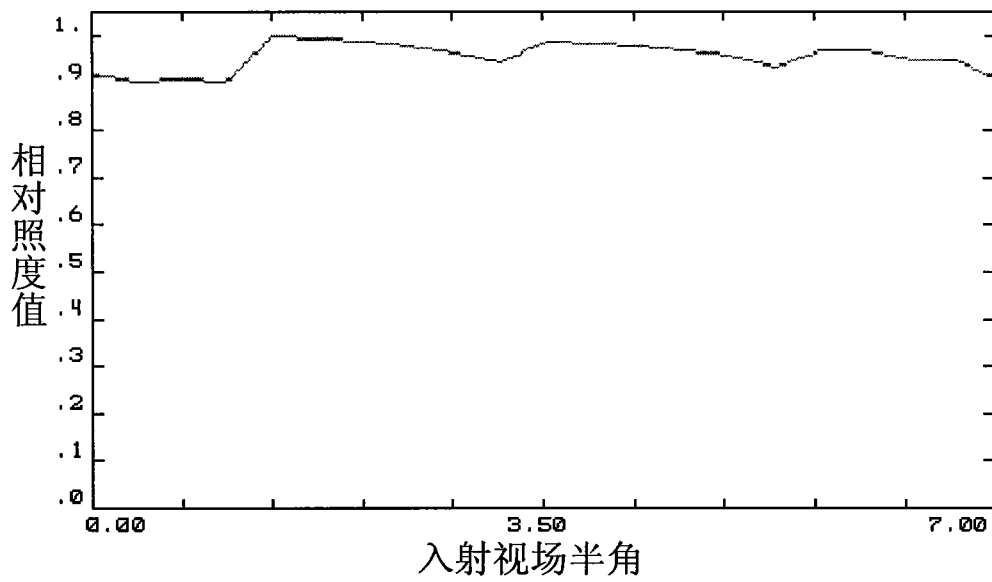


图 6

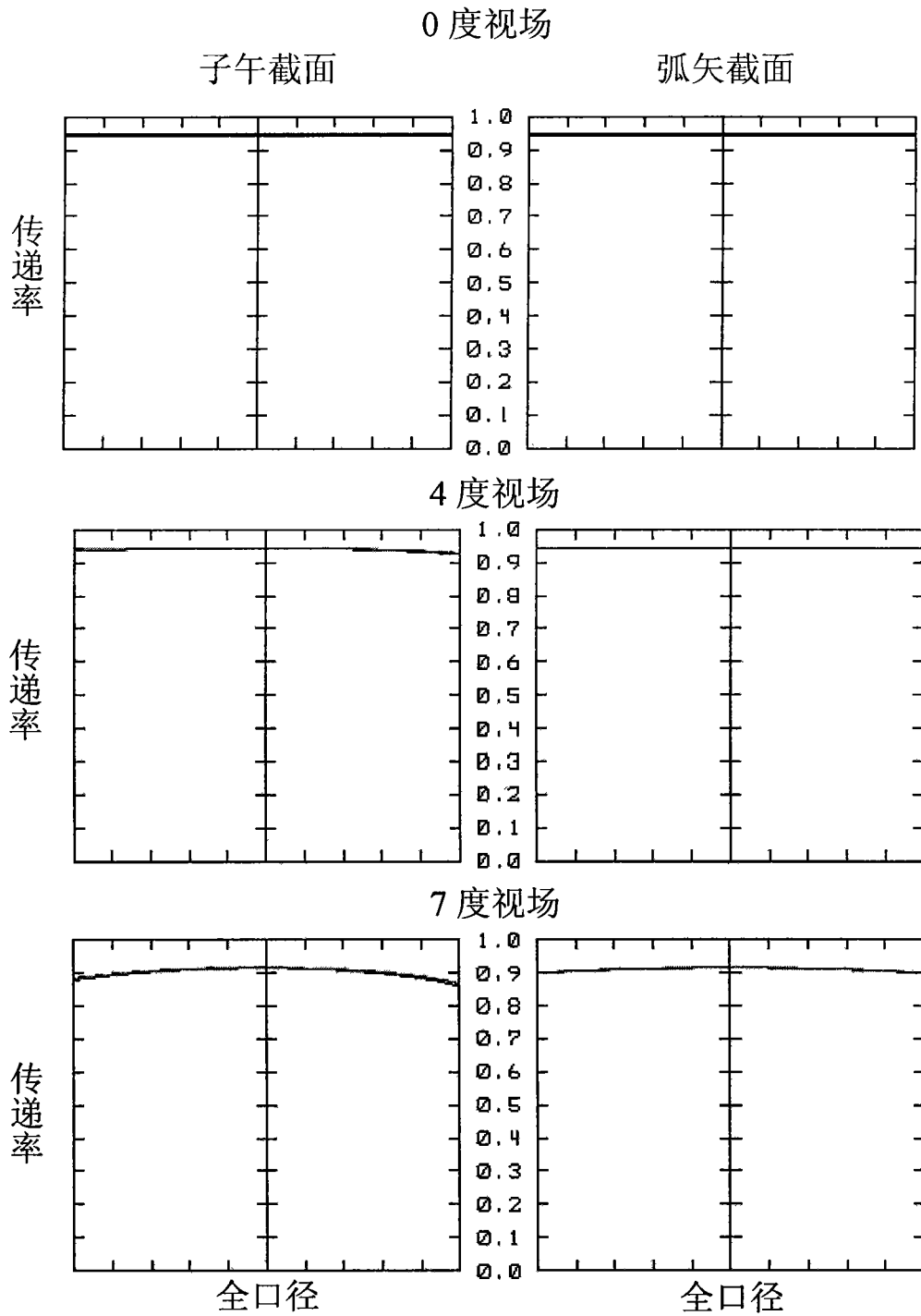


图 7

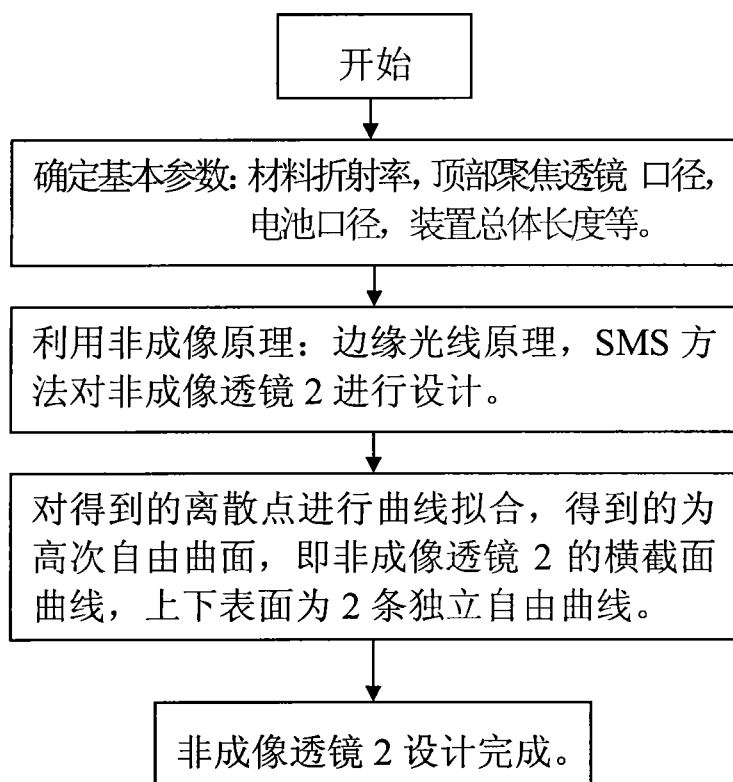


图 8