



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103580601 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201210269171. 5

CN 101083288 A, 2007. 12. 05,

(22) 申请日 2012. 07. 30

CN 201373595 Y, 2009. 12. 30,

(73) 专利权人 北京兆阳光热技术有限公司

审查员 张玉麒

地址 100070 北京市丰台区科技园富丰路 4 号 4 幢 22B04 室

(72) 发明人 刘阳

(51) Int. Cl.

H02S 40/22(2014. 01)

H02S 40/44(2014. 01)

G02B 19/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 202737785 U, 2013. 02. 13,

CN 201360011 Y, 2009. 12. 09,

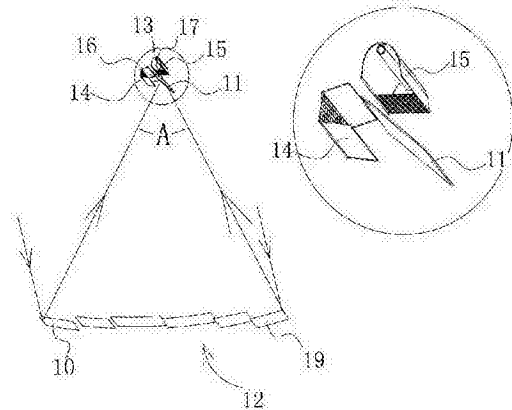
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种高效波长分光式太阳能综合利用系统

(57) 摘要

本发明提供的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统;其特征在于,所述系统包括波长分光装置、置于光路中波长分光装置前的小夹角聚光装置和后级的由两种或两种以上接收器组成的复合接收装置;所述小夹角聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于 90°,进一步优选为夹角小于等于 60°;该太阳能综合利用系统能利用不同接收器对不同太阳光谱的响应特性高效地利用太阳光,在利用某些种类的光伏电池能够高效响应的太阳光部分频段的辐射进行光伏发电的同时,再利用太阳光其余频段的辐射进行光热发电,从而实现太阳能在全频段范围内的经济高效综合利用,另外还可以避免非响应或低效响应范围的辐射造成的光伏电池本身温度上升,也保证了在整个太阳辐射范围内的经济高效综合利用。



1. 一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述系统包括一个或多个波长分光装置、置于光路中波长分光装置前级的小夹角单次聚光装置和后级的由两种或两种以上接收器组成的复合接收装置;所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$ ;所述复合接收装置中各接收器接收分光光线的光程长度接近。

2. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述复合接收装置根据接收波长的不同分为光热接收器和至少一种光伏接收器。

3. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述复合接收装置中至少有一种为单晶硅电池的光伏接收器。

4. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述多个波长分光装置之间形成一定夹角布置,各自接收光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$  的入射光线。

5. 根据权利要求 1 或 4 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $60^\circ$ 。

6. 根据权利要求 5 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $40^\circ$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述小夹角单次聚光装置为抛物槽式反射聚光装置、菲涅尔阵列式反射聚光装置或长焦距透射式聚光装置。

8. 根据权利要求 7 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述菲涅尔阵列式反射聚光装置中的反射镜镜条为槽式曲面镜条。

9. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述波长分光装置采用波长分光薄膜分光镜对汇聚的入射光进行透射、反射选择分光。

10. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述波长分光装置采用棱镜分光镜或棱镜分光镜组对入射光进行折射选择波长分光。

11. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述波长分光装置可活动调节,对各接收器的受光比例进行调配。

12. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述复合接收器包括二次聚光装置。

13. 根据权利要求 1 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述接收器获得的热能用于推动热机进行光热发电或者工业及生活利用。

14. 根据权利要求 12 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述综合利用系统中包含热存储装置。

15. 根据权利要求 13 所述的一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在於,所述综合利用系统实施光热发电与光伏发电联合运行。

## 一种高效波长分光式太阳能综合利用系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能利用技术领域,具体涉及一种波长分光式高效太阳能综合利用系统。

### 背景技术

[0002] 目前的太阳能利用,一是光电转换,将太阳能辐射光通过太阳能电池转换为电能;二是光热转换,即利用太阳能收集装置,把太阳能辐射能转换成热能利用,如太阳能热发电、太阳能热水器。但是光电、光热系统大多是独立的。

[0003] 目前光电光伏电池主要有单晶硅、多晶硅、非晶硅、铋化镉、砷化镓等等,每种光伏电池对于太阳光光谱响应曲线并不完全一样,不同的光伏电池量子效率光谱曲线峰值的位置不同,例如硅电池峰值波长在  $0.9\ \mu\text{m}$  左右,硒电池在  $0.54\ \mu\text{m}$  左右。硅电池的光谱范围宽,在  $0.45\sim 1.1\ \mu\text{m}$  之间,硒电池的光谱范围在  $0.34\sim 0.75\ \mu\text{m}$  之间,只对可见光敏感;而光伏电池对于包括长波长范围在内的部分光谱并不敏感,导致光子能量  $h\nu$  小于光伏电池的禁带宽度  $E$ ,价带中的电子无法迁移到导带,只是将光谱能量转化成热能,造成光伏电池本身的温度上升,发电效率下降;而目前的选择性光热吸收涂层技术可以对太阳辐射进行有效吸收转化为热能,吸收率高达 95%。如何更加高效地利用太阳光谱响应范围,同时避免非响应范围或低效率响应波段的辐射造成光伏电池本身温度上升的弊端(导致整体光伏电池效率下降)已成为研究的焦点。

### 发明内容

[0004] 本发明目的在于,克服以上描述的光伏电池在有些波长段利用太阳能光谱效率不高导致光伏发电效率低下的问题,提供了更加有效利用太阳能光谱高效综合发电的系统。

[0005] 本发明提供一种高效波长分光式太阳能综合利用系统,其特征在于,系统包括一个或多个波长分光装置、置于光路中波长分光装置前级的小夹角单次聚光装置和后级的由两种或两种以上接收器组成的复合接收装置;所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$ 。进一步地,所述复合接收装置根据接收波长的不同分为光热接收器和至少一种光伏接收器,光伏接收器接收对应高转换效率波长的光线能量,光热接收器接收其它波段光线能量。

[0006] 进一步地,所述复合接收装置中至少有一种为单晶硅电池的光伏接收器。

[0007] 进一步地,所述多个波长分光装置之间形成一定夹角布置,各自接收光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$  的入射光线。

[0008] 优选地,所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $60^\circ$ ;以保证光线在较小的角度变化范围进入分光装置,能更加良好有效地将太阳光谱按波长进行分离,实现各光谱范围内的高效利用。

[0009] 进一步地,所述小夹角单次聚光装置入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $40^\circ$ 。

[0010] 进一步地,所述小夹角单次聚光装置为抛物槽式反射聚光、菲涅尔阵列式反射聚光装置或长焦距透射式聚光装置。

[0011] 进一步地,所述小夹角单次聚光装置为长焦距透射式聚光装置,如长焦距凸透镜或长焦距菲涅尔透镜。

[0012] 进一步地,所述菲涅尔阵列式反射聚光装置阵列中的镜条为槽式曲面镜条,多个阵列的槽式曲面镜条实施统一跟踪,将太阳光会聚、反射至复合接收装置内。

[0013] 进一步地,所述波长分光装置采用波长分光薄膜分光镜对汇聚的入射光进行透射、反射选择分光。

[0014] 进一步地,所述波长分光装置采用棱镜分光镜或棱镜分光镜组对入射光进行折射选择波长分光。

[0015] 进一步地,所述波长分光装置可活动调节,对各接收器的受光比例进行调配。

[0016] 进一步地,所述复合接收装置中各接收器接收分光光线的光程长度接近;即复合接收装置中各接收器从小夹角单次聚光装置(或者从波长分光器)到达各接收器表面的光线光程长度接近,具有相近的跟踪容差精度,具有良好的跟踪统一性,且能良好地接收波长分光装置分离的光谱范围内的光。

[0017] 进一步地,所述复合接收器包括辅助光学装置(二次聚光装置),例如光热接收器和光伏接收器具有的二次聚光装置。

[0018] 进一步地,所述光热接收器获得的热能用于推动热机进行光热发电或者工业及生活利用。

[0019] 进一步地,所述综合利用系统中包含热存储装置,光热接收器将所接收的热量储入热存储装置内,以备使用。进一步地,所述综合利用系统实施光热发电与光伏发电联合运行;白天太阳光通过光伏接收装置进行光伏发电,且利用热存储装置保存光热接收器吸收的热量;在光伏发电不能稳定输出时,利用热存储装置内部的热量来光热发电进行补充,保证所述综合利用系统发电输出的稳定性。

[0020] 高效波长分光式太阳能综合利用系统较现有太阳能利用技术有以下优点:1、该综合发电系统较单独光伏发电系统减少了光伏电池主要的热接收,使得散热压力和工作温度下降,发电效率提高;2、光伏发电系统白天直接发电;光热发电系统白天接收光伏高效吸收波长以外的波段能量进行热量的高效接收转换和存储,可全光谱高效吸收太阳光能量,提高能量综合利用效率;另外在有云或阴天或夜间进行汽轮机发电补偿调整,与光伏有效互补,使电力输出稳定,减少对电网冲击,并实现调峰功能;3、本综合太阳能利用系统,能够对太阳光谱全波段进行高效利用,能够在相同聚光系统成本下,获得更多的能源,从而降低能源成本。

## 附图说明

[0021] 图 1a 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第一实施例结构示意图;

[0022] 图 1b 是波长分光装置不同波长对应透射比例曲线图;

[0023] 图 2 是第一实施例复合接收装置及波长分光装置的截面结构示意图;

[0024] 图 3 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第二实施例结构示意图;

[0025] 图 4 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第三实施例结构示意图；  
[0026] 图 5 是本发明的实施例的工艺路线示意图。

### 具体实施方式

[0027] 下面参照附图对本实用新型的具体实施方案进行详细的说明。

[0028] 图 1a 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第一实施例结构示意图；如图 1a 所示，综合利用系统包括一个波长分光装置 11、置于波长分光装置 11 光路中前级的小夹角单次聚光装置 12 和后级的由两种及以上接收器组成的复合接收装置 13。小夹角单次聚光装置 12 入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$ ，描述中，以光路入射方向定义主要部件相对位置关系，太阳光线入射小夹角单次聚光装置（光路前级），经过波长分光装置 11 后（光路中级），然后到达复合接收装置 13（光路后级）完成综合利用；另外，单次定义为入射太阳光只经过一次基本反射聚光装置的反射聚光过程或只经过一次基本透射聚光装置的透射聚光过程，上述过程定义为基本聚光，但是以接收发散光线、跟踪偏差光线为目的的辅助聚光（二次聚光）设计，例如反射式或透射式辅助光学装置的反射或透射过程，不定义为基本聚光；小夹角定义为入射到每个波长分光装置上的光线夹角，当波长分光装置为两个或者多个时，由各自入射光线夹角汇总而得到的总入射光线夹角可能比较大，例如超过  $120^\circ$ ，甚至更多；该第一实施例中只有一个波长分光装置，其小夹角对应为入射光线汇聚夹角，即反射镜镜场单元的最外两端部反射镜镜条 19 和反射镜镜条 10 的外边缘入射至复合接收装置 13 的反射光线所形成，如角度 A；优选地，该小夹角单次聚光装置 12 的角度小于等于  $60^\circ$ ，最优化为小于等于  $40^\circ$ ，波长分光装置 11 的入射光线角度在设计的光线入射角度（如  $45^\circ$ ）的附近，入射角度差别较小（例如正负  $20^\circ$ 、正负  $30^\circ$ 、正负  $45^\circ$ ），以保证分光装置能良好地按照设计的分光光谱曲线将太阳光谱进行分离，实现各光谱范围段的高效利用；具体地，小夹角单次聚光装置 12 为菲涅尔阵列式聚光装置，其中，反射聚光装置阵列中的反射镜镜条 19 可以为平板反射镜条；优选地，反射聚光装置阵列中的反射镜镜条 19 为槽式曲面镜条，多个阵列的槽式曲面反射镜镜条 19 实施统一跟踪，将太阳光汇聚、反射至复合接收装置 13 内；再者，复合接收装置 13 中各接收器接收分光光线的光程长度接近；即从小夹角单次聚光装置 12（或者从波长分光装置 11）到达复合接收装置 13 中各接收器表面的光线光程长度接近，具有相近的跟踪容差精度和良好的跟踪统一性，且能良好地接收波长分光装置 11 分离的光谱范围内的光。

[0029] 图 1a 中，复合接收装置 13 包括光热接收器 15 和至少一种光伏接收器 14，实现太阳能光热、光伏系统在各自光谱范围内的混合高效利用；（另一种实施例中，复合接收装置 13 根据接收波长的不同包含至少一种光伏接收器 14，多种光伏接收器 14 具有各自对应的高效的太阳能光谱响应范围，分别在各自的光谱范围内实现高效发电）；光伏接收器 14 包括光伏电池 16，光伏电池 16 可以为多结光伏电池，例如砷化镓三结电池，在多结光伏电池层的不同层吸收不同光谱范围的光，最高效利用太阳光谱的光谱响应率，提高光伏电池效率；光伏电池可以为单结光伏电池，例如单晶硅、多晶硅、非晶硅等，只接收反射或透射的特定光谱范围，多种单结光伏电池相近布置，接收波长分光装置 11 选择分光得到的光；优选地，复合接收装置 13 中至少一种为单晶硅电池的光伏接收器。波长分光装置 11 采用波长分光薄膜分光镜对汇聚的入射光进行透射、反射选择分光，其中透射光线穿过分光镜后，继

续汇聚到光热吸收器 17 上转化为热能,反射光线被分光镜反射后,汇聚到光伏电池 16 上转化为电能。同时,波长分光装置可活动调节,对各接收器的受光比例进行调配,当波长分光装置置于图 1 位置时,由于分光镜的作用,汇聚光线按照分光曲线,一部分波长的光线被反射到光伏电池 16 上,一部分光线透射汇聚到光热接收器 17 上,光热光伏的接收比例与分光谱曲线确定的比例有关;当波长分光装置旋转,离开汇聚光线位置时,所有汇聚光线均照射到光热接收器上,全部用于产生热能。进一步地,所述反射部分为某特定波长光谱范围,例如部分紫外光谱、部分可见光谱范围实施,反射至光伏接收器 14;所述透射部分为反射部分之外的光谱范围,例如部分紫外光谱、部分可见光谱、近红外光谱、远红外光谱范围,透射至光热接收器 15(在另一种实施例中也可以将选择性光谱辐射透射至光伏接收器 14,其余部分光谱辐射反射至光热接收器 15);整体实施高效太阳能光谱分离利用,提高光伏电池发电效率(减少低光谱响应率范围光谱的接收,即减少了能量向热量的转化,保证光伏电池高效发电及理想工作温度),将其余部分光谱辐射高效转化为热能,提升太阳能综合利用效率。

[0030] 图 1b 是波长分光装置不同波长对应透射比例曲线图;参考图 1b 的分光曲线图,该分光设计为在 650nm-900nm 波长之间具有高反射率,其余波段均为透射,光学吸收很低,因此单晶硅电池上接收的是 650-900nm 波长的光线,在此波长范围内,单晶硅电池转换效率很高(例如输出功率与输入该段波长的光功率之比超过 40% 甚至 50%),而在此波段内的太阳光辐射能量约为 300W/ 平米,占全部辐射量的 30%,因此光伏部分对全部太阳光的转换效率为  $30% * (40% \sim 50%) = 12% \sim 15%$ ;剩余的 70% 太阳辐射,被光热接收器 15 接收后,用于 CSP 光热发电时,其光电转换效率约为 13%~16%,对应的全部太阳光热转换效率为  $70% * (13% \sim 16%) = 9.1% \sim 11.2%$ ,综合下来,光热、光伏发电的总电力转化效率为  $12% \sim 15% + 9.1% \sim 11.2% = 21.1% \sim 26.2%$ ,远高于单一光伏或单一光热发电效率。

[0031] 光热接收器 15 包括光热吸收器 17,其内部的传热介质为导热油或水;用以将热量进行传输、存储或者经过换热后,也可直接产生过热蒸汽进入发电系统推动热机进行发电;图 1 中右边位置示意了复合接收装置 13 局部放大的结构示意图。

[0032] 进一步地,光伏接收器 14 将光谱辐射转化成电能,经过逆变器、变压器、电传输装置,进行输出或并网;综合利用系统包括热存储装置;光热接收器 15 将白天接收的辐射产生的热量输送至热存储装置,在夜间经过换热器进行换热成过热蒸气,如此光热接收器 15 获得的热能用于推动热机进行光热发电或者工业及生活利用。

[0033] 图 2 是第一实施例复合接收装置及波长分光装置的截面结构示意图;如图 2 所示,复合接收装置 13 包括光伏接收器 14 和光热接收器 15,且二者受波长分光装置 11 所隔开,分别接收波长分光装置 11 的反射分光和透射分光进行发电或热量接收,其中光热接收器 15 通过集热器 17 将光谱辐射转化成热量;小夹角单次聚光装置的光线汇聚夹角小于等于  $90^\circ$ ,优选地光线汇聚夹角小于  $60^\circ$ ,最优为小于  $40^\circ$ ;其中光线汇聚夹角定义为反射镜镜场单元的最外两端部反射镜镜条的外边缘入射至复合接收装置 13 的反射光线所形成角度,如图 2 中角度 A 所示。

[0034] 图 3 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第二实施例结构示意图;如图 3 所示,综合利用系统包括波长分光装置 31、置于波长分光装置 31 光路中前级的小夹角单次聚光装置 32 和后级的由两种及以上接收器组成的复合接收装置。其中,小夹角单次

聚光装置 32 为小角度单次直接聚光装置(即入射太阳光线经过聚光装置的反射后,以小角度入射至复合接收装置);小夹角单次聚光装置 32 的角度小于等于  $90^{\circ}$ ;优选地,所述小夹角单次聚光装置的角度小于等于  $60^{\circ}$ ,能良好地将太阳光谱进行分离,实现各光谱范围内的高效利用;具体地,小夹角单次聚光装置 32 为塔式聚光装置,接收塔周边布置有多个定日镜系统,将太阳光汇聚于中央位置的复合接收装置;复合接收装置包括光伏接收器 34 和光热接收器 35,整体布置于中央接收塔的上部;图 3 中复合接收装置的光伏接收器 34 与光热接收器 35 布置在波长分光装置 31 光路中的前级,该波长分光装置 31 采用波长分光薄膜分光镜对汇聚的入射光进行透射、反射选择分光(波长分光装置 31 也采用棱镜分光镜或棱镜分光镜组对入射光进行折射选择波长分光);整体实施高效太阳能光谱分离利用,提高光伏电池发电效率(减少低光谱响应率范围内光谱的接收,即减少了能量向热量的转化,保证光伏电池高效发电及理想工作温度)。该实施例二具有与实施例一相同或者相似的复合接收装置和联合运行系统,此处不进行过长描述。

[0035] 图 4 是本发明的高效波长分光式太阳能综合利用系统的第三实施例结构示意图;如图 4 所示,综合利用系统包括第一波长分光装置 411 和第二波长分光装置 412、置于光路中前级的小夹角单次聚光装置 421 和后级的由两种及以上接收器组成的复合接收装置 430;其中复合接收装置 430 包括第一光伏接收器 441 和第二光伏接收器 442 及光热接收器 450;第一光伏接收器 441 和第二光伏接收器 442 分别对应第一波长分光装置 411 和第二波长分光装置 412 进行反射分离太阳光谱,光热接收器 450 接收第一波长分光装置 411 和第二波长分光装置 412 二者共同透射的光线;复合接收装置 430 为至少一种为单晶硅电池的光伏接收器,即光伏电池 461 或者光伏电池 462 至少一种为单晶硅电池。小夹角单次聚光装置 421 入射到每个波长分光装置的光线汇聚夹角小于等于  $90^{\circ}$ ;优选地,该小夹角单次聚光装置 421 的光线汇聚夹角小于等于  $60^{\circ}$ ,最优化为小于等于  $40^{\circ}$ ;图 4 中示意的第三实施例中包括两个波长分光装置,每个波长分光装置对应的入射光线小夹角分别为图中的角度 A 和角度 B;波长分光装置 411 或波长分光装置 412 的入射光线角度在设计入射角度(如  $45^{\circ}$ ) 的附近,入射角度差别较小(例如正负  $20^{\circ}$ 、正负  $30^{\circ}$ 、正负  $45^{\circ}$ ),以保证分光装置能良好地按照设计的分光光谱曲线将太阳光谱进行分离,实现各光谱范围段的高效利用;具体地,小夹角单次聚光装置 421 为抛物槽式反射聚光装置,其中,复合接收装置 430 中各接收器接收分光光线的光程长度接近;即从小夹角单次聚光装置 421(或者从波长分光器 11) 到达复合接收装置 430 中各接收器表面的光线光程长度接近,具有相近的跟踪容差精度,具有良好的跟踪统一性,且能良好地接收波长分光装置 411 和波长分光装置 412 分离的光谱范围内的光。

[0036] 图 5 是本发明的实施例的工艺路线示意图;如图 5 所示,细实线为综合利用系统在白天的运行路线、虚线为夜间运行路线、双虚线为出现短暂无光照射运行路线情况;白天有光情况下,小夹角单次聚光装置 512 接收太阳光,将反射光入射至复合聚光装置前经过波长分光装置 511 处理光谱后;其中,光伏接收器 514 接收波长分光装置 511 分离出的特定分光光谱而产生的电功率经过电传输装置 516 进行稳定输出或并网(实线所示);光热接收器 515 白天将接收光伏电池吸收光谱之外的光产生的热量并将其储存在热存储装置 517 (实线所示)中,在夜间经过换热器换热成水蒸气,推动热机进行光热发电(虚线所示);当太阳能综合发电系统在白天短暂的无光或弱光情况下,可以启动热机进行发电,实施白天连续发

电(双虚线所示)。

[0037] 显而易见,在不偏离本发明的真实精神和范围的前提下,在此描述的本发明可以有許多变化。因此,所有对于本领域技术人员来说可以预见的改变,都应包括在本权利要求书所涵盖的范围之内。本发明所要求保护的範圍由所述的权利要求书进行限定。



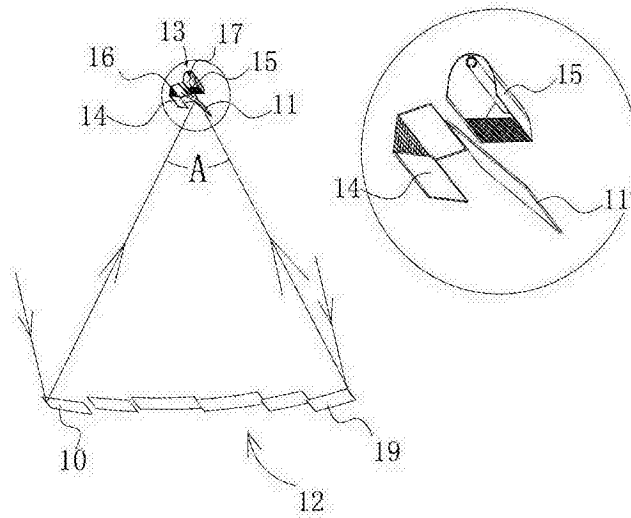


图 1a

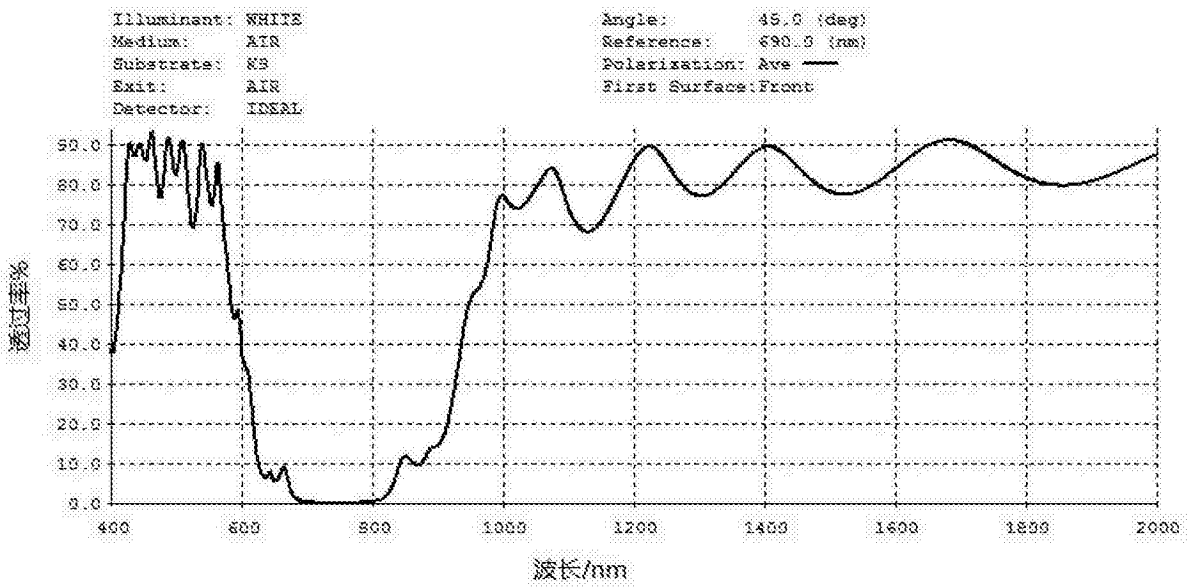


图 1b

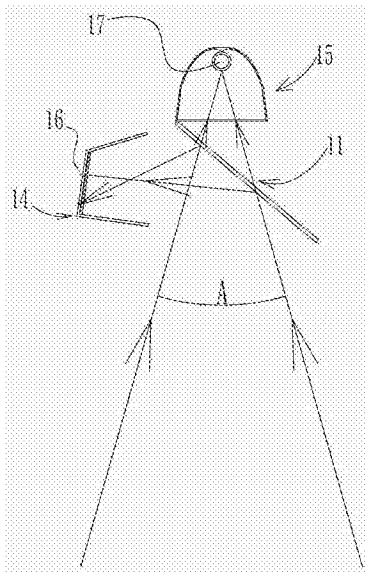


图 2

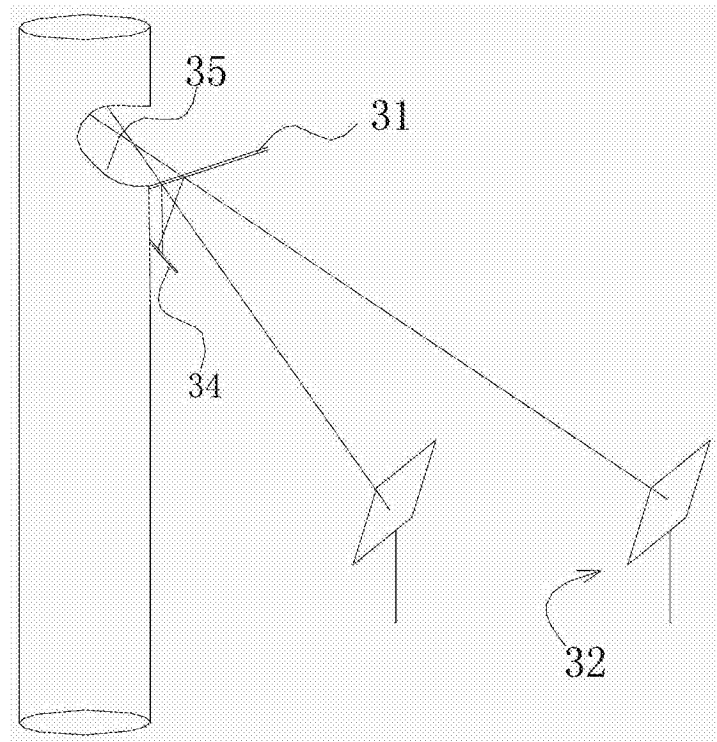


图 3

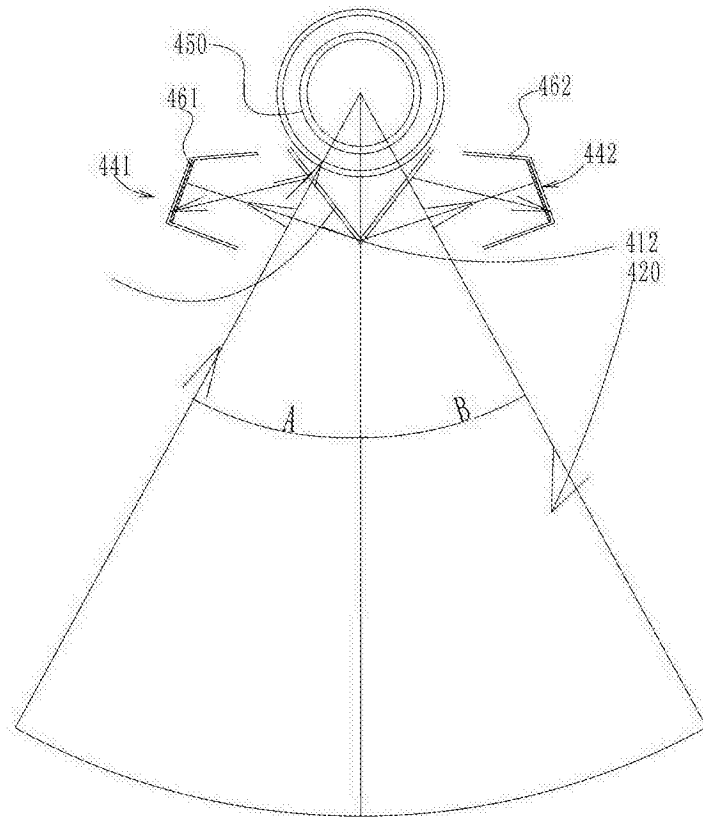


图 4

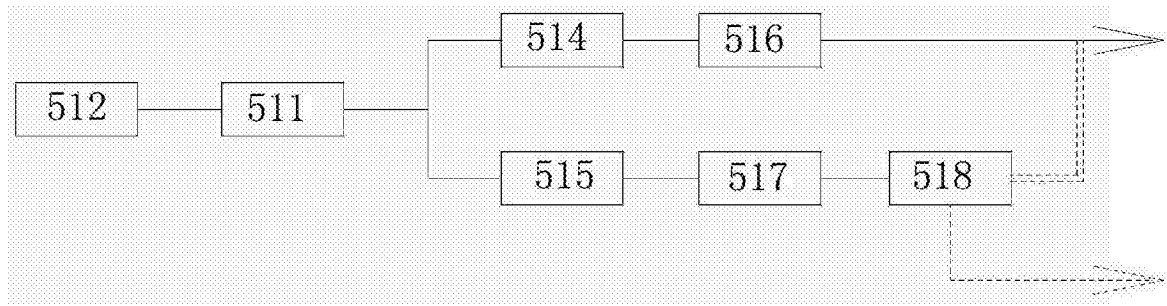


图 5