(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104969363 A
(43)申请公布日 2015.10.07

(21)申请号 201380071966.8
(22)申请日 2013.12.20
(30)优先权数据
61/745,465 2012.12.21 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.07.31
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/076941 2013.12.20
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/100595 EN 2014.06.26
(71)申请人 倍能源有限责任公司
地址 美国纽约
(72)发明人 W·D·比克莫雷
(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038
代理人 秦晨
(51)Int.Cl.
H01L 31/055(2014.01)
H01L 31/0216(2014.01)

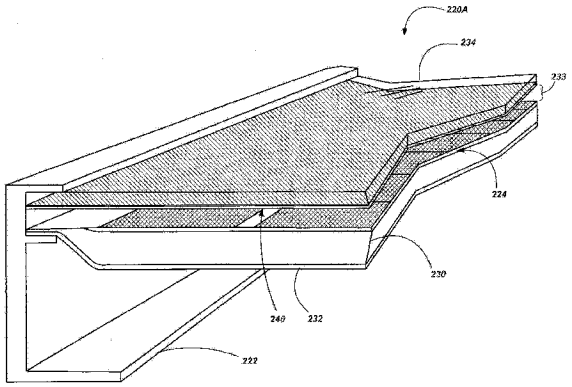
权利要求书2页 说明书11页 附图12页

(54)发明名称

太阳能采集及转换的装置、系统和方法

(57)摘要

纳米粒子被用来增强光伏(PV)单元的光采集和转换能力。纳米粒子可以并入衬底之内并且被布置为与PV单元相距期望距离以创建等离子体激元。纳米粒子可以产生波长漂移(例如,“红移”)以使可获得的光的波长与PV单元的灵敏度更好地对准。纳米粒子还可以被用来俘获PV单元上方的光以产生更好的光吸收效果。纳米粒子可以包括具有例如金属芯以及在芯周围的基本上透明的外壳或涂层的复合纳米粒子。纳米粒子可以被构造用于在载体介质内提供均匀的分布。



CN 104969363 A

1. 一种太阳能装置，包括：

光伏 (PV) 单元；

与所述 PV 单元关联的材料层，具有多个纳米粒子 (NP)，每个纳米粒子按照为平均 NP 直径的大约 10％～ 150％的间距与相邻的 NP 间隔开，其中所述材料层相对于所述 PV 单元而定位以在所述 NP 与所述 PV 单元之间提供光学透明的材料间隙。

2. 根据权利要求 1 所述的太阳能装置，其中所述 NP 包含银、金和铜中的至少一种。

3. 根据权利要求 2 所述的太阳能装置，其中所述 NP 包含金属芯和基本上透明的外壳。

4. 根据权利要求 3 所述的太阳能装置，其中所述外壳由二氧化硅构成。

5. 根据权利要求 4 所述的太阳能装置，其中所述外壳展示出大约 10 至 20 纳米的厚度。

6. 根据权利要求 1 所述的太阳能装置，其中所述 NP 展示出大约 30mV 或更大的绝对值 zeta 电荷。

7. 根据权利要求 6 所述的太阳能装置，其中所述 NP 展示出大约 2 纳米至大约 10 纳米的平均直径。

8. 根据权利要求 1 所述的太阳能装置，其中所述 NP 基本上是球形的并且展示出大约 10 至大约 250 纳米的平均直径。

9. 根据权利要求 1 所述的太阳能装置，其中所述 NP 包含展示出大约 150nm 的从底部到顶点的高度以及大约 10 至大约 40nm 的厚度的三角形小板。

10. 根据权利要求 1 所述的太阳能装置，其中所述 NP 展示出为所述 NP 的所述直径的大约 50％至大约 300％的球体间距。

11. 一种制造太阳能装置的方法，所述方法包括：

提供光伏 (PV) 单元；

将多个纳米粒子 (NP) 布置为与所述 PV 单元相邻以创建等离子体激元，在所述等离子体激元与所述 PV 之间具有光学透明的材料间隙。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，其中将多个 NP 布置为与所述 PV 相邻包括：布置多个复合 NP。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，还包括：提供具有金属芯和光学透明的外壳的 NP。

14. 根据权利要求 13 所述的方法，还包括：使所述 NP 悬浮于溶液中，所述 NP 展示出基本上均匀的间距，其中所述基本上均匀的间距至少部分地受所述 NP 的外壳的厚度控制。

15. 一种改造具有光伏 (PV) 单元的太阳能器件的方法，所述方法包括：

将多个纳米粒子 (NP) 布置为与所述 PV 单元相邻以创建等离子体激元，在所述等离子体激元与所述 PV 单元之间具有光学透明的材料间隙。

16. 根据权利要求 15 所述的方法，还包括：将所述多个 NP 布置于定位于所述 PV 单元上方的所述太阳能器件的现有衬底上。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，还包括：将含有所述多个 NP 的膜安置于所述衬底上。

18. 根据权利要求 15 所述的方法，还包括：以包含所述多个 NP 的新衬底替换所述太阳能单元的现有衬底。

19. 一种制造衬底的方法，包括：

提供含有高 zeta 电荷、基本上球形的纳米粒子 (NP) 的水溶液；

形成所述溶液的凝胶；

以所述凝胶涂覆透明的聚合物网状衬底；

从所涂覆的聚合物网中去除水分。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，还包括：将所述 NP 提供为银 NP。

21. 根据权利要求 20 所述的方法，其中所述 NP 展示出大约 30mV 或更大的绝对值 zeta 电荷。

22. 根据权利要求 19 所述的方法，还包括：按照可展示出大约 50 纳米至大约 250 纳米的平均直径的尺寸来提供所述 NP。

23. 根据权利要求 19 所述的方法，还包括：使所述 NP 按照基本上均匀的分布悬浮于所述溶液中，展示出为所述 NP 的所述直径的大约 50％～ 250％的纳米粒子间距。

24. 根据权利要求 19 所述的方法，其中形成所述溶液的凝胶包括：形成包含聚氨酯的凝胶。

太阳能采集及转换的装置、系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求在2012年12月21日提交的、题目为APPLICATION OF NANOPARTICLES(NPs)TO ENHANCE THE ABILITY OF PHOTOVOLTAIC(PV)CELLS TO EXTRACT MORE ENERGY FROM THE SUN WHEN GENERATING ELECTRICAL POWER的美国临时专利申请No.61/745,465的优先权，该申请的公开内容全文并入本文，以作参考。

技术领域

[0003] 本发明一般地涉及太阳能采集，并且更特别地涉及在各种装置、系统和方法中使用纳米粒子来采集和转换太阳能。

背景技术

[0004] 市场上可购得的光伏(PV)单元(cell)当前被认为在最佳条件下太阳光子能量转换成电能的效率约为5％-20％。PV单元的电能的最佳输出取决于各种因素。例如，太阳光在射到PV单元上的入射角(AOI)对电力输出有影响。在PV单元上的电力负荷对PV单元的效率同样有影响。因太阳能模块的防护玻璃表面的表面反射所致的光子能量损失对所产生的电力输出有影响。当然，存在于输入PV的光子内的能量的水平是重要的，这是PV单元将各种光波长的太阳能光谱的能量转换成电能的能力。与PV单元衬底的物理学相关的许多因素对系统的效率同样具有影响，包括掺杂工艺以及形成PV单元的固态二极管的构造。

[0005] 有关PV单元的效率的一个特定问题包括对PV单元所使用的给定材料（例如，多晶硅）对于太阳的输出能量的灵敏度或响应进行匹配。例如，参照图1所示的曲线，第一曲线10示出了由各种波长的太阳光产生的功率。由太阳光产生的峰值功率或者峰值光子输出近似出现于425nm的波长至525nm的波长之前。应当注意，太阳光的峰值功率输出被示为纵轴上的“1”，表示100％的太阳光的正常峰值功率输出。

[0006] 第二曲线20示出了PV太阳能单元的峰值灵敏度出现于大约850nm处的常规的多晶硅PV太阳能单元在各种波长下的灵敏度。PV单元的灵敏度的最高水平被示为纵轴上的“1”。第三曲线30被叠加于前两个曲线10和20之上以与常规的PV单元的灵敏度相比示出太阳光子输出的“相容性”或重叠。因为硅太阳能单元的峰值灵敏度与太阳光的峰值输出是不协调的（峰值间隔数百纳米）。由于在太阳光的峰值输出与PV单元的灵敏度之间的失配，PV单元仅能够利用在太阳光正照射到PV单元上时的太阳光可利用能量的一部分。太阳能的理论峰值使用曲线（即，曲线30）通过将PV单元的灵敏度的百分比乘以由给定波长的太阳光产生的功率而得到。在这种情况下，第三曲线30约在675nm处——在太阳光输出的峰值与PV单元的峰值灵敏度之间的某个地方出现峰值。

[0007] 在当前安装基于PV的太阳能系统的投资回收期为20年或更长的情况下，这样的技术的采用在最好的情况下也一直很慢。州政府和联邦政府，以及公共事业公司，已经提供财政奖励来鼓励采用这样的系统，但是采用仍然相对较慢。提高太阳能系统的效率将会缩短投资回收期并有助于让太阳能更能为消费者所接受。

[0008] 正因如此，太阳能产业一直希望提高太阳能系统的性能。提供高效的、相对较廉价的且容易适应包括居民用户在内的太阳能市场的太阳能采集装置、系统和方法将是有利的。

发明内容

[0009] 根据本发明、本发明的各种实施例，本发明提供了用于采集并转换太阳能的装置、系统和方法。在一种实施例中提供了太阳能装置。该装置包含光伏 (PV) 单元以及与 PV 单元关联的材料层。材料层具有各自与相邻的 NP 按照为平均 NP 直径的大约 10％～ 150％的间距间隔开的多个纳米粒子 (NP)。材料层相对于 PV 单元来定位，以在 NP 与 PV 单元之间提供光学透明的材料间隙。

[0010] 根据一种实施例，NP 包含银、金和铜中的至少一种。在一种实施例中，NP 包含金属芯和基本上透明的外壳。例如，外壳可以包含二氧化硅 (silica)。在一种特定的实施例中，外壳可以展示出大约 10 ～ 20 纳米的厚度。

[0011] 在一种实施例中，NP 展示出大约 30mV 或更大的绝对 zeta 电荷 (zeta charge)。NP 另外还可以展示出大约 2 纳米至大约 10 纳米的平均直径。

[0012] 在另一种实施例中，NP 基本上是球形的，并展示出了大约 10 至大约 250 纳米的平均直径。

[0013] 在另一种实施例中，NP 包含展示出大约 150nm 的从底部到顶点的高度以及大约 10 至大约 40nm 的厚度的三角形小板 (platelet)。

[0014] 在一种实施例中，NP 展示出为 NP 的直径的大约 50％至大约 300％的球体间距。

[0015] 根据另一种实施例，本发明提供一种制造太阳能装置的方法。该方法包括：提供光伏 (PV) 单元并且将多个纳米粒子 (NP) 布置为与 PV 单元相邻，以创建等离子体激元，其中在等离子体激元与 PV 单元之间存在光学透明的材料间隙。

[0016] 在一种实施例中将多个 NP 布置为与 PV 单元相邻包括布置多个复合 NP。例如，NP 可以设置有金属芯和光学透明的外壳。

[0017] 根据另一种实施例，本发明提供了一种改造具有 PV 单元的太阳能器件的方法。该方法包括将多个 NP 布置为与 PV 单元相邻以创建在等离子体激元与 PV 单元之间具有光学透明的材料间隙的等离子体激元。

[0018] 该方法还可以包括将该多个 NP 布置于位于 PV 单元上方的太阳能器件的现有衬底上。

[0019] 在一种实施例中，该方法可以包括将含有多个 NP 的膜安置于衬底上。在另一种实施例中，该方法可以包括以包含多个 NP 的新衬底来替换太阳能单元的现有衬底。

[0020] 在一种实施例中，该方法包括将 NP 悬浮于溶液中，NP 展示出了基本上均匀的间距，其中该基本上均匀的间距至少部分地受 NP 外壳的厚度来控制。

[0021] 根据本发明的又一种实施例，本发明提供了一种用于制造衬底的方法。该方法包括提供含有高 zeta 电荷、基本上球形的纳米粒子 (NP) 的水溶液，形成溶液的凝胶 (gelatin)，以凝胶涂覆透明的聚合物网状衬底 (web substrate) 并且从所涂覆的聚合物网 (polymer web) 中去除水分。在一种实施例中，该方法可以包括提供为银 NP 的 NP。

[0022] 在某些实施例中，该方法包括提供可展示出大约 30mV 或更大的绝对 zeta 电荷的

NP。

[0023] 在一种实施例中，NP 可以展示出大约 2 纳米至大约 10 纳米的平均直径。

[0024] 在一种实施例中，NP 可以按照基本上均匀的分布悬浮于溶液内，展示出大约 1 纳米至大约 5 纳米的纳米粒子间距。

[0025] 在一种实施例中，形成凝胶可以包括形成包含聚氨酯的凝胶。

[0026] 一种实施例的特征和元件可以与其他实施例的特征和元件结合，没有限制。

附图说明

[0027] 通过阅读下面的详细描述以及参照附图将更好理解本发明的前述及其他优点，在附图中：

[0028] 图 1 是示出与常规的 PV 太阳能单元的灵敏度相比的太阳光的峰值功率或光子输出的曲线；

[0029] 图 2－8 是根据本发明的实施例的各种纳米粒子和复合纳米粒子的截面图；

[0030] 图 9 和 10 是根据本发明的实施例的各种纳米粒子和复合纳米粒子的透视图；

[0031] 图 11 是太阳光的功率或光子输出与根据本发明的一种实施例的 PV 单元比较的曲线；

[0032] 图 12 示出了一层随机分布的纳米粒子层以及光与该层的相互作用；

[0033] 图 13A 和 13B 各自示出了与根据本发明的不同实施例的 PV 单元关联的一层均匀分布的纳米粒子；

[0034] 图 14 是太阳能模块的局部截面图；

[0035] 图 15 是根据本发明的一种实施例的太阳能模块的局部截面图；

[0036] 图 16 是根据本发明的另一种实施例的太阳能模块的局部截面图；

[0037] 图 17 是根据本发明的另一种实施例的太阳能模块的局部截面图；

[0038] 图 18 是根据本发明的另一种实施例的太阳能模块的局部截面图；

[0039] 图 19 和 20 是示出用于特定配置的 NP 的 Mei 的解的结果的曲线图。

[0040] 应当注意，本文所给出的附图并不是按照比例的。另外，在多个附图之间使用的共同的附图标记代表相似的但不一定相同的特征或元件。

具体实施方式

[0041] 本发明的实施例包括可以将纳米粒子 (NP) 作为光学增强并入用来采集和 / 或转换太阳能的基于硅的及其他类型的光伏 (PV) 单元的方法、系统和装置。如同本文所使用的，NP 是具有相似性质的小的分立对象，就如同它是较大的相同材料的单元。NP 的小尺寸是相对的。虽然有些作者将 NP 的精度限定于尺寸最多为几百纳米的对象，但是其他作者可以考虑以大到 10,000 纳米的粒子作为 NP。1 ～ 100 纳米的 NP 一般被划分为细的 NP。分子不被认为是 NP。

[0042] 如同下文将更详细地描述的，当结合 PV 单元来使用时，NP 能够增强光电单元的性能以更高效地采集更多的可获得的光子能量并将其转换成电能。本文所描述的各种实施例可以使用银、金、铜和 / 或其他金属 NP。在某些实施例中，金属 NP 可以结合其他材料来使用。例如，在某些实施例中，金属材料的 NP 可以涂上一层薄的、透明的材料，例如，二氧化

硅。在其他实施例中，二氧化硅芯（或其他材料的芯）可以涂上金属薄层。在其他别的实施例中，NP 可以涂上某些染料或者以某些染料来浸渍，这些染料有助于使入射光的波长向可由多晶硅 PV 单元更高效地利用的波长漂移。使太阳光谱的自然出现的波长向较长的波长漂移（例如，“红移”）可以有助于使传入的电磁太阳辐射的波长光谱图与可更紧密地匹配硅 PV 单元的光谱灵敏度的波长光谱图更好地匹配，以便使更高效的发电成为可能。

[0043] 图 2-8 示出了各种配置的 NP，这些 NP 可以结合 PV 单元来使用以通过使更多光子的能量可由 PV 单元使用而提高 PV 单元的发电能力。图 2 示出了基本上球形的金属 NP 100（例如，金、银、铜）的截面图。NP 100 可以展示出例如大约 10nm 至大约 250nm 的直径。应当注意，本文所使用的术语“近似”和“基本上”是要指出值可以在行业可接受的容差内，而不是绝对的。参照图 3，图中示出了基本上为球形的复合 NP 110 的截面图。NP 110 包括具有基本上透明的材料（例如，二氧化硅）的涂层 114 的基本上为球形的金属芯 112。再者，根据一种实施例，金属芯 112 可以展示出大约 10nm 至大约 250nm 的直径，然而透明的涂层可以展示出大约 5nm 至大约 20nm 的厚度。涂层可以用于众多用途。例如，涂层可以用来使 NP 功能化以与 NP 悬浮于其中的材料相容。它同样可以用作紧密堆积的 NP 中的透明光路。另外，它还可以用作用于吸收用来促使波长漂移的荧光染料的材料。此外，它还可以用作电介质。由多种材料形成的图 3 所示的 NP 110 可以称为复合 NP。在另一种实施例中，复合 NP 可以被配置为具有非金属芯（例如，二氧化硅）以及布置于芯周围的金属材料薄涂层。复合 NP 可以从诸如美国加州圣地亚哥市的 nanoComposix 公司之类的供应商处购得。

[0044] 图 4 示出了基本上为椭圆形的金属 NP 120 的截面图。在一个实例中，沿着 NP 120 的长轴的尺寸可以为大约 20nm 至大约 250nm，而沿着短轴的尺寸可以为大约 100nm 或更小。参照图 5，图中示出了基本上为椭圆形的复合 NP 130。NP 130 包括金属芯 132 以及基本上透明的材料（例如，二氧化硅）涂层 134。金属芯 132 可以展示出沿着为大约 20nm 至大约 250nm 的长轴的尺寸以及沿着为大约 100nm 或更小的短轴的尺寸。涂层可以展示出大约 5nm 至大约 20nm 的厚度。在另一种实施例中，构造可以反过来，即，由非金属材料（例如，二氧化硅）形成的芯以及包含金属材料的金属薄层的外壳或涂层。

[0045] 图 6 示出了形成为基本上为三角形的小板的金属 NP 140 的截面图。在一个实例中，NP 140 可以展示出为大约 100nm 至大约 200nm 的高度（沿着与底部垂直的直线测得，且从底部延伸至顶点），为大约 10nm 至大约 40nm 的厚度（即，在与附图的平面垂直的方向上测得）。图 7 示出了形成为基本上为三角形的小板的复合 NP 150 的截面图。复合 NP 150 包括基本上为金属的芯 152（该芯 152 展示出了基本上为三角形的小板几何形状），以及诸如二氧化硅之类的材料的基本上透明的材料涂层 154。在一种实施例中，芯可以基本上类似于图 6 所示的 NP 140 那样来配置，并且涂层可以展示出大约 5nm 至大约 20nm 的厚度。在另一种实施例中，构造可以反过来，即由非金属材料（例如，二氧化硅）形成的芯以及包含金属材料的金属薄层的外壳或涂层。

[0046] 参照图 8，图中示出了具有金属芯 162 以及基本上透明的材料（例如，二氧化硅）164 的涂层的复合 NP 160 的截面图。NP 可以展示出各种几何形状，包括基本上为球形的或椭圆形的几何形状。光谱漂移染料 166（例如，荧光染料）嵌入透明的材料 164 内，涂覆于其上，或者以其他方式与其混合。染料 166 可以有助于使波长向较长的波长（“红移”）或较短的波长（“蓝移”）漂移，以帮助使可获得的光的波长与关联的 PV 单元的灵敏度对

准。例如，染料可以包括以下的表 1 所列出的任意染料，但是其他的燃料也同样可以使用。

[0047]

荧光染料	激发 λ (nm)	发射 λ (nm)
Abberior Star	437	515
Alexa Fluor 405	401	421
Alexa Fluor 430	434	541
Alexa Fluor 610X	612	628
Alexa Fluor 700	702	723
Cyanine Cy3	550	570

[0048]

Cyanine Cy5	650	670
DyLight 550	562	576
DyLight 650	654	673
DyLight 750	754	776
Fluorescein	494	521
Rhodamine B	540	625
Rhodamine 6G	526	555
Rhodamine 123	511	534
Texas Red	596	615

[0049] 表 1

[0050] 参照图 9 和 10，图中示出了配置为纳米锥 170 和纳米棒 180 的透视图 NP。纳米锥 170 和纳米棒 180 由基本上透明的材料（例如，二氧化硅）形成。光谱漂移染料 182 可以涂覆于透明的材料上，嵌于其中，或者以其他方式与其混合。纳米锥 170 和纳米棒 180 的形状另外还可以有助于使照射到 PV 单元上的光的入射角偏移，以便使入射角更接近于与 PV 单元的光采集表面垂直，使其更适合于 PC 单元的发电。

[0051] 图 2-10 所示的 NP 代表可以根据本发明的实施例而使用的各种类型的 NP。另外，除了其他类型的 NP 外，不需要使用单种类型的 NP。相反，多种类型的 NP 可以按照各种组合来共同使用。

[0052] 在结合太阳能系统的 PV 单元或某些其他构件来使用之前，NP 可以经过功能化的

过程以给 NP 提供某些期望特征。例如，NP 可以进行功能化以使 NP 在选定的载体介质内（例如，在嵌入诸如聚氨酯之类的聚合物内时）的期望分布图成为可能。例如，功能化可以包括剪裁 NP 的表面涂层以便调整稳定性、可溶性以及靶向 (targeting)。多价的或聚合的涂层可赋予高稳定性。当想要得到 NP 在载体介质内的某些分布图时，重要的是在使 NP 分布于介质内之前对其适当地进行功能化。制备不当的 NP 可能会聚集成大的簇聚，或者可能展示出条纹或其他非均匀的分布图，否则会抑制在悬浮衬底或其他载体介质内的 NP 间的最佳间距。使涂层功能化可理想地不受载体介质内使用的溶剂（例如，在其通过释放芳香气体或催化反应固化之前的液体聚合物，例如，二甲苯、甲苯或甲醇）影响。

[0053] 在讨论 NP 在 PV 单元或其他太阳能系统构件方面的更具体的实施方式之前，应当了解，NP 会展示出作用相反的两种光学性质。这两种性质通常称为“吸收”和“散射”。这两种性质之和称为“消光 (extinction)”。如果 NP 分布过于密集（例如，在载体介质内），则它们可以给出的任何有益的作用都将被吸收所消弱。另一方面，如果 NP 在它们的分布中不够密集，则散射方面可能不足以执行任何期望的光操控。尽管已经有过在数学上针对给定的应用对 NP 的最佳密度进行建模的尝试，但是这样的尝试已经出现了不同程度的成功。另外，在经验上确定粒子的最佳密度的尝试通常也难以完成。例如，在与于太阳光下或者以例如 1000-1500 光子瓦 / 平方米（有时称为 1 - 1.5 个“太阳”）的太阳模拟器进行的优化相比时，在使用分光光度计进行测量时被认为是最优的密度很可能会粒子计数大幅下降。理想地，粒子密度将会针对在应用中的期望光子密度来优化。

[0054] 因而，从上文可看出，存在着各种变量以考虑何时在太阳能系统内实施 NP。例如，下面是在用于结合有 NP 的太阳能系统的构件的设计可以考虑的非限制性的变量列表 ：NP 的尺寸和形状 ；用来构造 NP 的材料的类型 ；施加于 NP 的涂层（或多个涂层）的功能化或类型 ；与 NP 一起使用的染料的类型 ；NP 置于其中的载体介质（例如，溶液或固体）的折射率 ；NP 置于其中的载体介质的介电常数 ；NP 在载体介质内的分布的密度和均匀度 ；含有 NP 的材料的深度或厚度 ；粒子在预期用途的光谱上的消光图（将吸收和散射考虑在内）；NP 在其工程环境内的谐振峰值。例如可用从加州圣地亚哥市的 nanoComposix 在线购得的 Mie 计算器可以用于帮助确定各种 NP 的散射和吸收特性。

[0055] 参照图 11，曲线示出了在将适当选择及分布的 NP 并入太阳能系统构件内的效果（例如，用于在照射到 PV 单元上之前操控光）。NP 产生波长漂移的效果以使可获得的光的波长与 PV 单元的灵敏度更好地匹配。在图 11 所示的实例中，使太阳光谱 190 红移例如大约 125nm，使得 PV 单元（具有的灵敏度曲线 192）有可能从可获得的光中吸收并转换更多的能量。第三曲线 194 示出了“红移的”太阳光与 PV 单元的灵敏度的相容性。图 11 的曲线与图 1 的曲线的比较示出了，在与图 1 所示的模拟曲线相比时，在图 11 的前两个曲线 190 和 192（如第三曲线 194 所示）下方存在较大的共同区域。虽然图 11 所示的曲线特别地示出了已经红移了特定的量的太阳光。较大量或较小量的漂移本发明同样是可设想到的，例如“蓝移”。例如，太阳光产生对常规的硅 PV 单元无用的大量长波红外光。这种红外光可以进行蓝移以使得更多的能量可为 PV 所用。

[0056] 虽然并没有受当前的理论所约束，但是现代物理学所了解的各种现象可以被用来描述本发明的实施例被认为可藉以起作用的机制，包括电磁辐射的红移或蓝移的诱导。

[0057] 在使可获得的光产生红移或蓝移效果时，本发明可以利用由 NP 层产生的等离子

体激元效应。等离子体激元可以被描述为等离子体振荡的量子。它是从等离子体振荡的量子化中得出的准粒子，类似于光子是电磁振荡的量子化（尽管该光子是基本粒子，而非准粒子）的事实。因而，等离子体激元是自由的“电子气密度”的集体振荡。光子可以与等离子体激元耦合并且受到操控。当等离子体激元与光子一起按照光频振荡时，可以产生另一个准粒子，称为“等离子体偏振子”。

[0058] 表面等离子体激元谐振主要取决于材料内的自由电子的密度。虽然并不限定于下文所阐明的实例材料，但是通过各种金属相对光谱区最容易获得的等离子体激元的谐振波长如下：铝 (Al)- 紫外光；银 (Ag)- 紫外光；金 (Au) - 可见光；铜 (Cu) - 可见光。等离子体激元通常被描述为自由电子密度相对于金属内的固定阳离子的振荡。它们按照等离子体频率来振荡，直到能量被耗散。等离子体激元是这类振荡的量子化。

[0059] 当与等离子体激元交互时，具有比等离子体频率的波长小的波长的光被反射，因为在金属内的电子屏蔽光的电场。另一方面，具有超过等离子体谐振频率的波长的光传播穿过等离子体激元，因为电子的响应速度无法快到足以屏蔽它。在大部分金属中，等离子体谐振频率都处于紫外区内，为这些金属给出了在可见光内的典型的金属光泽。诸如铜和金之类的金属具有带间跃迁，促使特定的光波长被吸收，而其他光波长被反射，导致了它们的橙黄色外观。等离子体激元能量能够通过如下自由电子模型来消除：

[0060]

$$E_p = \hbar\sqrt{\frac{ne^2}{m\epsilon_0}} = \hbar\omega_p$$

[0061] 其中 n 是传导电子密度，e 是元电荷，m 是电子质量，$\in_0$是自由空间的介电常数，$\hbar$ 简化的普朗克常数，而 ω_p是等离子体激元谐振频率。

[0062] 表面等离子体激元被限制于表面，并且与光相互作用以形成偏振子。它们能够出现于真空与具有小的正“虚部”和大的负“实部”的介电常数（例如，在金属或掺杂的电介质中）的材料的边界处。在光范围内的表面等离子体激元的产生是困难得多的，并且只有最近才有可能可靠地再生产它们。

[0063] 除了产生波长漂移的效果外，金属纳米粒子可以按照到 PV 单元的距离沉积于衬底上，以便在 NP 与 PV 单元之间俘获光。金属 NP（包括复合 NP）能够被用来耦合并俘获进入 PV 单元内的自由传播的平面波。

[0064] 金属和复合 NP 的光学性质已经在文献中进行了描述，并且在数学上建模来优化光子采集。作为光采集方法的表面效应拉曼散射 (SERS) 在 PV 单元增强方面已经得到经验上的证明。NP 在 PV 单元或相关构件内的正确设计和几何分布可允许光子能量到电动势的改进转换。而且，金属和复合 NP 的特定几何布局已经被证实可导致高达 200nm 的光谱漂移。当太阳光谱红移了 200nm 时，峰值能量更接近对应于硅 PV 的光子接收的光谱。但是，仍存在着妨碍这种纳米粒子技术在太阳能应用中使用的广泛应用的显著障碍。一种这样的障碍包括了获得并保持 NP 的适当几何形状和间距以及如何将它们并入太阳能模块内 - 包括改造或升级现有的模块。

[0065] 在现有技术中，NP 的分布以及对 PV 单元的表面的贴附通常通过使用溅射涂覆的 NP 的真空沉积。溅射涂覆是一种施加金属层（包括形成集成电路 (IC) 的轨迹线）的长期

且完善的方法。溅射涂层被设计用于在半导体衬底上的两个点之间铺设完全导通的路径。很薄的银溅射涂层能够被施加于 PV 单元的表面，该表面被设计用于吸收太阳光，并且还用于在内部反射最初没有被 PV 单元吸收的光直到它被 PV 单元更充分地吸收。但是，在溅射涂层内的粒子的分布是概率函数，如同泊松分布所描述的那样。根据概率来分布的粒子很少处于最佳的密度或几何间距。相反，它们将会不同地要么过于紧凑以致于不允许光通过，要么过于分散以致于没有实现正确的光俘获或其他光操控。图 12 示出了溅射涂层 200，该溅射涂层 200 示出了由这样的过程产生的所沉积的不规则形状的变化性。由于溅射涂层是随机过程，因而产生随机分布。图 12 还示出了入射光 202 与溅射涂覆的银 NP 的大体上半透明的层 200 的相互作用。对光 202 的随机阻挡以及光通路的随机次优分布是这种涂覆银 NP 的现有技术的方法固有的。

[0066] 如图 12 所示，创建用于 SERS 或光谱漂移的薄膜的溅射涂覆方法依赖于遵循泊松分布的纳米粒子沉积在任意不同点的概率。这将表明其中 NP 处于具有正确间距的正确的几何形状内的有用区域的概率是很低的。更有可能的是更普遍地出现会完全阻断光子通路的粒子堆叠，而不是可能会展示出可产生所期望的光学效应的粒子的间隔和定位的偶然的小的有用区域。

[0067] 在本发明的一种实施例中，主要为球形的银 NP 可以悬浮于澄清的液体凝胶（处于溶胶状态）或液体聚合物内。具有高 zeta 电荷的此类 NP 可从例如犹他州盐湖城的 Attostat 公司或者从犹他州北盐湖城的 Truetech Laser 公司购得。具有和没有二氧化硅涂层的较大的金和银 NP（例如，直径为 150nm 或更大）可从加州圣地亚哥市的 nanoComposix 公司购得。在某种实施例中，按照这种方式来使用的 NP 最好具有高 zeta 电荷。球形 NP 可以被生产为具有大约 30mV 或更大的绝对 zeta 电荷（即，正的或负的）。在一种实施例中，NP 可以被生产为展示出大约 45-60mV 的绝对 zeta 电荷。在另一种实施例中，NP 可以展示出大于大约 60mV 的绝对 zeta 电荷。

[0068] 具有相同极性的高 zeta 电荷的 NP 倾向于相互排斥。因而，当具有高 zeta 电荷的 NP 被悬浮于低粘性流体内时，NP 倾向于自行按照统计上均匀的阵列来分布。由 NP 形成的等离子体激元的操作强度在达到 NP 的正确密度和正确分布时将得以优化。在一种实施例中，这样的球体间距可以近似等于正在使用的 NP 的直径。这倾向于是让光俘获的表面效应拉曼散射 (SERS) 现象起作用的很好范围。考虑至少部分由于 zeta 电荷而分布的并且其中希望间距近似等于 NP 的直径的球形 NP 的实例，统计上均匀的间距可以达到其中间距的标准差近似等于例如 NP 的直径乘以 0.2 的水平。

[0069] 在图 13A 中可看出，具有高 zeta 电荷的多个球形 NP 210 可以均匀地分布于载体介质 212 内，以操控开口之间的光输入。一旦在 NP 层之下，光就保持为被俘获，被反射并被再反射，直到在光变为近似垂直于 PV 单元 224 的表面而取向时由 PV 单元 224 吸收。

[0070] 在另一种实施例中，如图 13B 所示，NP 210 不是依赖于用于精确的纳米粒子布置的高 zeta 电荷的纳米粒子，而是包含复合 NP。考虑具有由金属材料形成的芯以及由另一种材料（例如，二氧化硅）形成的外壳的复合 NP 的实例，应当注意，二氧化硅外壳的光学性质将会有助于在金属 NP 210 之间形成期望距离的均匀间距，以获得更适合俘获光的结构。在其中 NP 被压紧于载体介质内使得它们彼此相邻的实例中，透明的涂层在相邻的金属芯之间提供间隔。在这样的实施例中，间距的均匀度将很大程度上由 NP（包括涂层）的制造容

差确定。在各种实施例（无论是依赖于外壳还是用于间隔的 zeta 电荷）中，在 NP 之间的间距可以为 NP 的平均直径（或者金属芯的直径，取决于实施例）的 10％～ 150％。

[0071] 现在参照图 14，图中示出了常规的太阳能模块 220 的局部截面图。模块 220 包括容纳 PV 单元 224 的框架 222。PV 单元 224（该 PV 单元 224 实际上可以包含单元阵列）包含与总线 228 通信的晶体光伏 226。总线 228 将由晶体光伏 226 产生的电能传送到用于调节和分配电能的设备。PV 单元 224 可以包括本领域技术人员应当了解的各种特征，例如，用于尽可能多地保留照射到 PV 单元 224 的入射光的抗反射涂层。可以包含聚合物材料的保护层 230 可以被提供用于保护 PV 单元 224 免受震动影响，以及提供使其免受水分或其他环境影响的保护。背衬材料 232 可以粘结到保护层 230 的背面以帮助密封组件。釉料层 234 被布置于 PV 单元 224 之上并且与框架 222 耦接。釉料 234 另外还对 PV 单元 224 提供环境保护。

[0072] 在操作中，光子穿过釉料 234 并由晶体光伏 226 的半导体材料吸收。带负电的电子然后由原子释放出，从而产生电势。该电势产生沿着总线 228 的电流，作为直流 (DC) 电。

[0073] 本发明包括添加包含多个 NP 的材料薄层。例如，NP 可以布置于薄衬底或膜层内，或者它们可以分散于施加于现有衬底的材料涂层内。在另一种实施例中，NP 可以 be 嵌于太阳能模块的构件（例如，釉料层材料）内。该层可以薄到只有零点几毫米，这样的层可容易适合于用于如图 14 所示的商用太阳能模块中。

[0074] 图 15 示出了结合了一个或多个 NP 材料层 240 的太阳能模块 220A 的一种实施例。太阳能模块 220A 类似于图 14 所描述的太阳能模块，并且包含用于容纳 PV 单元 224 的框架 222。PV 单元 224 包括与总线 228 通信的晶体光伏 226。保护层 230 和背衬材料 232 可以对 PV 单元 224 提供环境保护。釉料层 234 被布置于 PV 单元 224 之上并且与框架 222 耦接。具有多个 NP 的材料层 240 被定位于保护釉料层 234 与 PV 单元 224 之间。例如，NP 材料层 240 可以粘附于或涂覆于釉料 234 的下表面上。在某些实施例中，可以存在定位于 NP 材料层 240 与 PV 单元 224 之间的气隙 233 或其他透明材料。在某些实施例中，NP 材料层可以夹于釉料 234 与 PV 单元 224 之间。

[0075] NP 材料层 240 被设计并被构造用于接收太阳光，并且在太阳光到达 PV 单元 224 之前使太阳光产生波长漂移（例如，红移）效果，以及提供对太阳光的光俘获，而不是由 PV 单元 224 直接吸收。NP 材料层 240 可以包含多个单种类型的 NP（例如，图 3 所示的复合 NP 110），或者它可以包含多个不同类型和 / 或尺寸的 NP，取决于待由 NP 材料层 240 提供的所期望的波长漂移和光俘获效果。

[0076] 参照图 16，图中示出了太阳能模块 220B 的另一种实施例。太阳能模块包括用于容纳 PV 单元 224 的框架 222。PV 单元 224 包括与总线 228 通信的晶体光伏 226。保护层 230 和背衬材料 232 可以对 PV 单元 224 提供环境保护。釉料层 234 被布置于 PV 单元 224 之上并且与框架 222 耦接。NP 材料层 240 被定位于保护釉料 234 的顶上使得釉料 234 位于 NP 材料层 240 与 PV 单元 224 之间。NP 材料层 240 可以被形成为膜，并且以适当的粘合材料粘附于釉料 234，或者它可以直接喷涂到釉料 234 之上。可以使用的光学透明的粘合剂的非限制性实例包括可从 3M 公司购得的 8171CL 和 8172CL。

[0077] 图 17 示出了具有用于容纳 PV 单元 224 的框架 222 的太阳能模块 220C 的另外一种实施例。与所描述的太阳能模块一样前面，PV 单元 224 包括与总线 228 通信的晶体光伏

226。保护层 230 和背衬材料 232 可以对 PV 单元 224 提供环境保护。釉料层 234 被布置于 PV 单元 224 之上并且与框架 222 耦接。NP 材料层 240 可以夹于两层玻璃之间，例如在保护釉料层 234 与位于 PV 单元 224 的正上方的另一个玻璃层 235 之间。

[0078] 图 18 示出了具有用于容纳 PV 单元 224 的框架 222 的太阳能模块 220D 的又一种实施例。与所描述的太阳能模块一样前面，PV 单元 224 包括与总线 228 通信的晶体光伏 226。保护层 230 和背衬材料 232 可以对 PV 单元 224 提供环境保护。釉料层 234 被布置于 PV 单元 224 之上并且与框架 222 耦接。多个 NP 被嵌入釉料层 234 之内。在一种实施例中，釉料层 234 可以邻接 PV 单元 224。在另一种实施例中，透明的材料间隙（例如，气隙）可以存在于嵌有 NP 的釉料 234 与 PV 单元 224 之间。

[0079] 应当意识到，以上所描述的示例实施例可以作为原始 (OEM) 设备来生产，或者可以被实施为对现有的太阳能模块的“改造”。例如，NP 层可以通过给现有的太阳能模块施加薄膜 NP 材料层来施加于现有的太阳能模块。在另一种实施例中，NP 材料层可以对现有的太阳能模块的一部分进行喷涂来形成。在另外一种实施例中，某些构件可以被去除以及（例如，釉料层）被替换为包含 NP 材料层的新构件。

[0080] 在一个特定的实例中，多个复合 NP 可以分布于聚合物材料内。NP 可以包含基本上为球形的银芯，该银芯直径约为 200nm。NP 还可以包含在银芯周围的可展示出了大约 15nm 的厚度的二氧化硅外壳或涂层，该外壳或涂层被功能化或者以其他方式被裁剪以从聚合物材料中除去。

[0081] 图 19 包括示出对此类 NP 进行的 Mei 的计算的结果的曲线。该曲线示出了沿着横轴的波长（单位为 nm），而纵轴被示为面积单位 (nm^2)。该曲线示出了示出电磁辐射的球体散射的麦克斯韦方程组的 Mie 解。从图 19 可看出，与在选定的光谱上的吸收相比，所描述的 NP 的散射函数在相同光谱的大部分上是高的。为了比较，图 20 示出了 NP 的相似曲线，这些 NP 包含直径 150nm 的球形银芯并且具有 15nm 厚的二氧化硅涂层。图 20 所示的 NP 的散射基本上低于图 19 所示的 NP 的散射。

[0082] NP 将要分散于其内的聚合物材料包括汽车制造商已知的“澄清涂层”材料，商标名为 Medallion RS-6100 European Clear。聚合物是具有按照 2:1 的比例混合的澄清涂层（组分 A）和活化剂（组分 B）的两组分系统。

[0083] 在准备聚合物时，组分 A 被分配到干净的混合容器内，并且为获得期望密度所需的 NP 的数量被计算出。NP 悬浮于与聚合物相容的液体（例如，甲苯）内。NP 溶液然后被搅拌，直到 NP 与液体完全溶解。这可以通过摇动或其他搅动来完成，或者它可能需要以超声波水浴进行的大约 30 秒的超声处理。但是，应当注意，过度的超声处理会导致所不希望的聚集。

[0084] 含有 NP 的液体使用干净的移液管或其他精确抽吸器件来测量，并且并然后被分配到含有液体聚合物的组分 A 的容器内。这两种液体然后可以在大约 30 分钟内使用磁性搅拌器或其他混合器和缓地混合在一起，注意不要将空气夹带到混合物内。该混合之后可以将混合物置于真空内以去除任意夹带的空气。

[0085] 聚合物的组分 B 可以按照适当的比例添加到含有 NP 溶液和组分 A 的混合容器内。高达 5％的相容还原剂可以根据所产生的溶液的后续应用所需来添加。该溶液然后可以混合大约 5 分钟。可用的适用期应当为大约 2-3 小时。

[0086] 液体聚合物的混合物可以涂覆于最清晰的固体衬底顶上。溶液可以使用各种方法来施加于衬底。在一种施加方法中，包括使用常规的喷涂枪按照 40-45psi 以及使用高容量低压力 (HVLP) 喷涂枪按照来 8-10psi 喷涂溶液。如果想要多个涂层，则该方法可以包括在涂层之间进行大约 5 分钟的闪速固化。在另一种方法中，旋涂可以被用来将溶液施加于衬底上。在另一个实例中，绕线棒可以被用来使 NP/ 聚合物溶液按照期望的厚度均匀地分散于衬底上。在又一个实例中，该溶液可以被浇铸成期望的尺寸和几何形状。

[0087] 在将 NP 与太阳能模块一起使用的其他实例中，可以使纳米棒和 / 或纳米锥生长于衬底（例如，覆盖玻璃或釉料层）的表面之上。所生长出的 NP 可以充当用于按照不是硅 PV 单元进行光子吸收的最佳角度照射到太阳能单元板上的光的光采集和重定向器件。用于生长这些纳米粒子的各种方法都可以采用并且可以严格地通过化学来完成，或者可以在 NP 生长期间通过控制气氛的温度和压力来完成。

[0088] 将 NP 与太阳能模块进行结合有各种好处，包括将 NP 施加于衬底，而不是施加于 PV 单元本身。上述每个实例都提供了相对于直接将纳米粒子施加于 PV 单元的在经济或工艺上的优势。本发明的实施例所提供的其他优点包括对纳米粒子等离子体激元的增强的光俘获能力，这种光俘获能力可通过在等离子体激元与 PV 单元的表面之间的小的光学透明的材料间隙而得到最佳的服务。如上所述，该光学透明的材料间隙可以包含在等离子体激元与 PV 表面之间的光学透明的材料层（例如，衬底），它可以含基本上以布置于等离子体激元与 PV 单元之间的空气来填充的间隙，或者它可以包含上述两者。

[0089] 将 NP 施加于然后能够被安置于太阳能模块的构件之上的聚合物网或塑料膜的能力提供显著的制造便利，尤其是在将 NP 直接施加于 PV 单元将会干扰其发电能力或者与其他制造工艺不相容时。

[0090] 本发明所提供的另一个优点是容易且高效地将多个 NP 层按照各种配置施加于太阳能模块的能力。多个 NP 层可以被同时使用以产生期望的效果，例如，波长漂移或光俘获。例如，最好是可以包含专用于波长漂移的一个或多个 NP 层以及专用于光俘获的一个或多个附加的 NP 层。NP 层的特定配置在直接用在一起时可能是不相容的，并且可能需要被配置为由衬底隔开的层。

[0091] 应当注意，一种所描述的实施例的任意特征或要件可以与任意其他实施例结合，没有限制。上述实施例的任意及全部组合可以协调地使用，以增强 PV 单元采集太阳光的性能。

[0092] 虽然本发明可以容易进行各种修改和替代形式，但是在附图中已经通过举例的方式示出了并且本文已经详细描述了具体的实施例。但是，应当理解，本发明并不限制于所公开的特定形式。相反，本发明包括属于后面所附的权利要求书所界定的本发明的精神和范围之内的所有修改、等价物和替代。

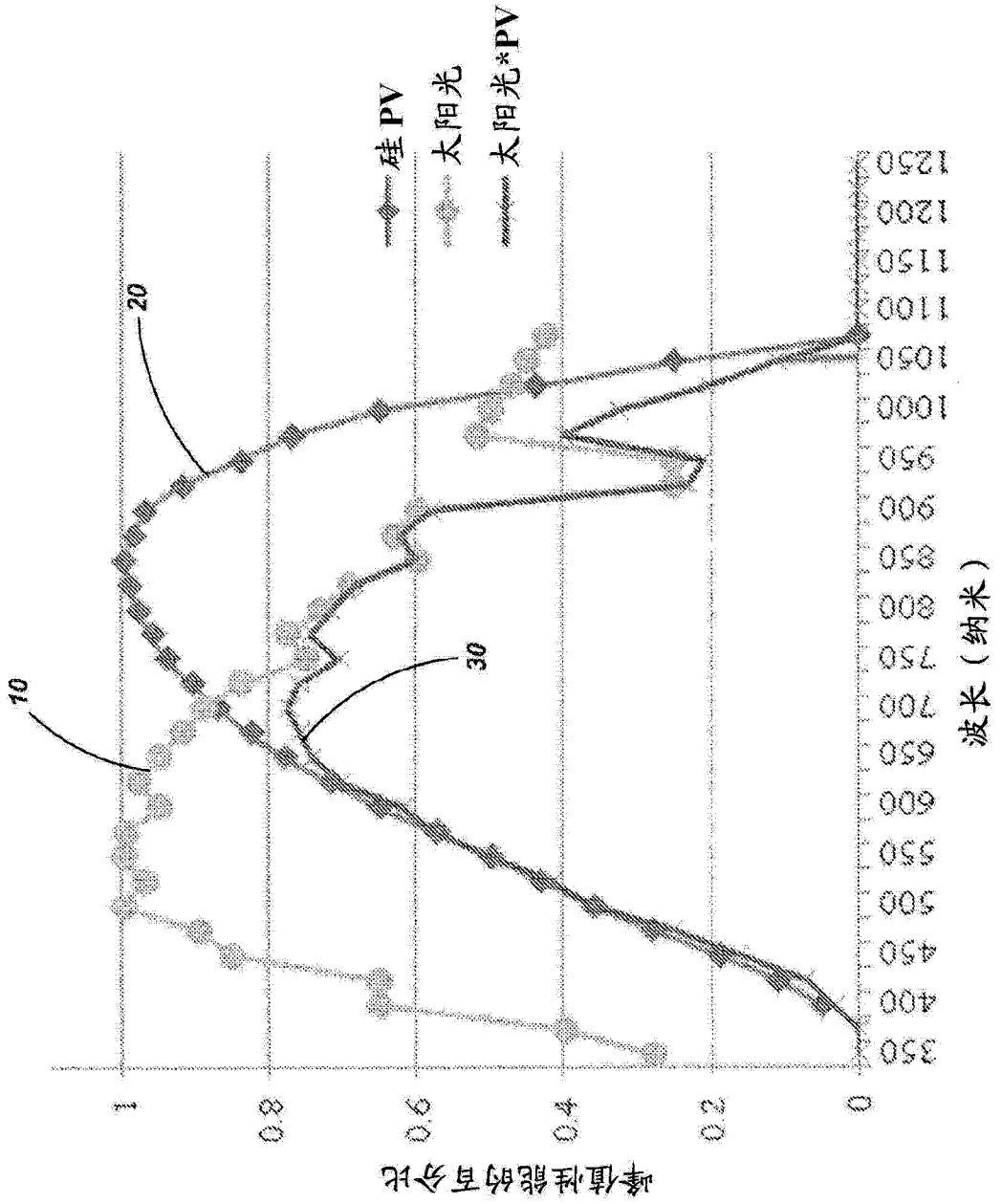

硅 PV
太阳光
太阳光*PV
20
10
30
1250
1200
1150
1100
1050
1000
950
900
850
800
750
700
650
600
550
500
450
400
350
波长（纳米）
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
峰值性能的百分比

图 1

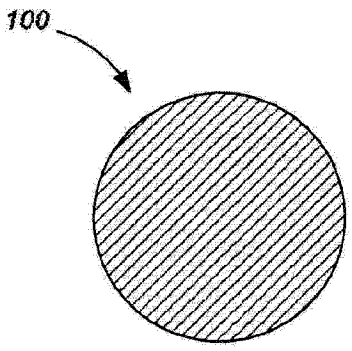

100

图 2

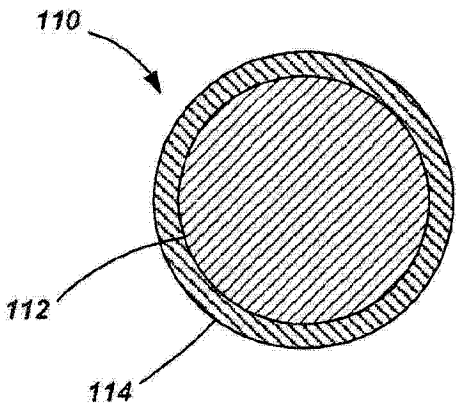


图 3

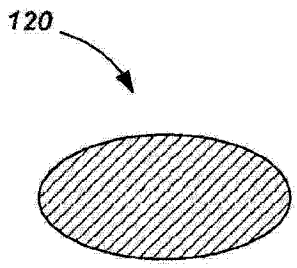


图 4

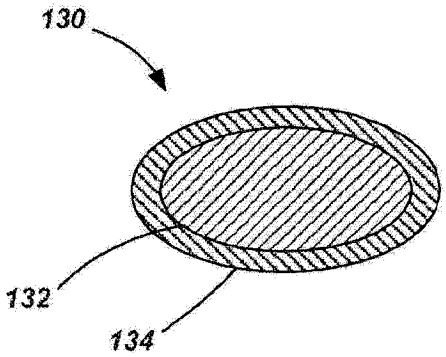


图 5

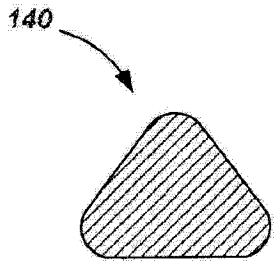


图 6

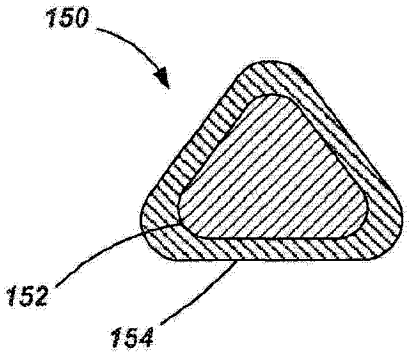


图 7

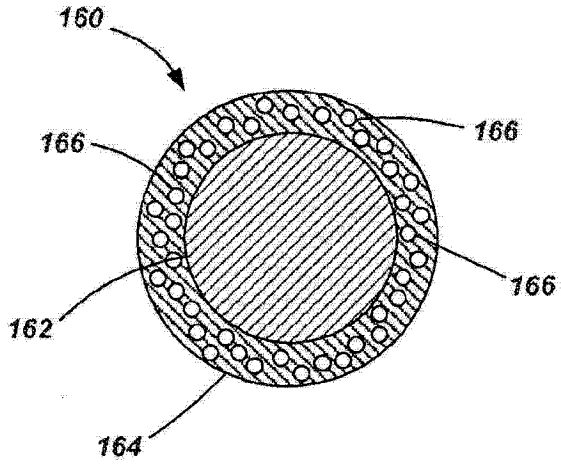


图 8

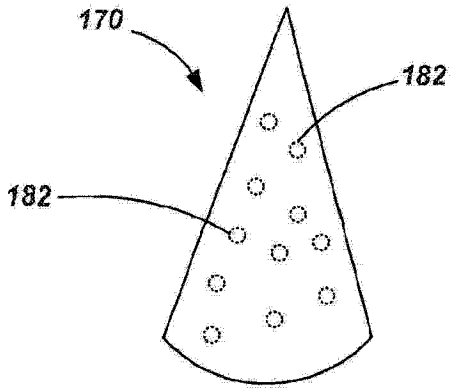


图9

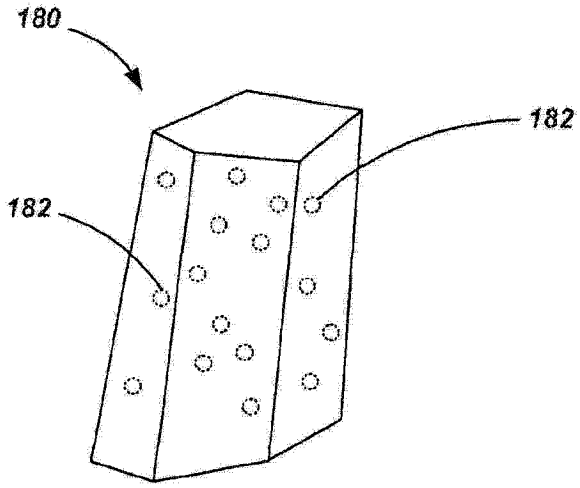


图10

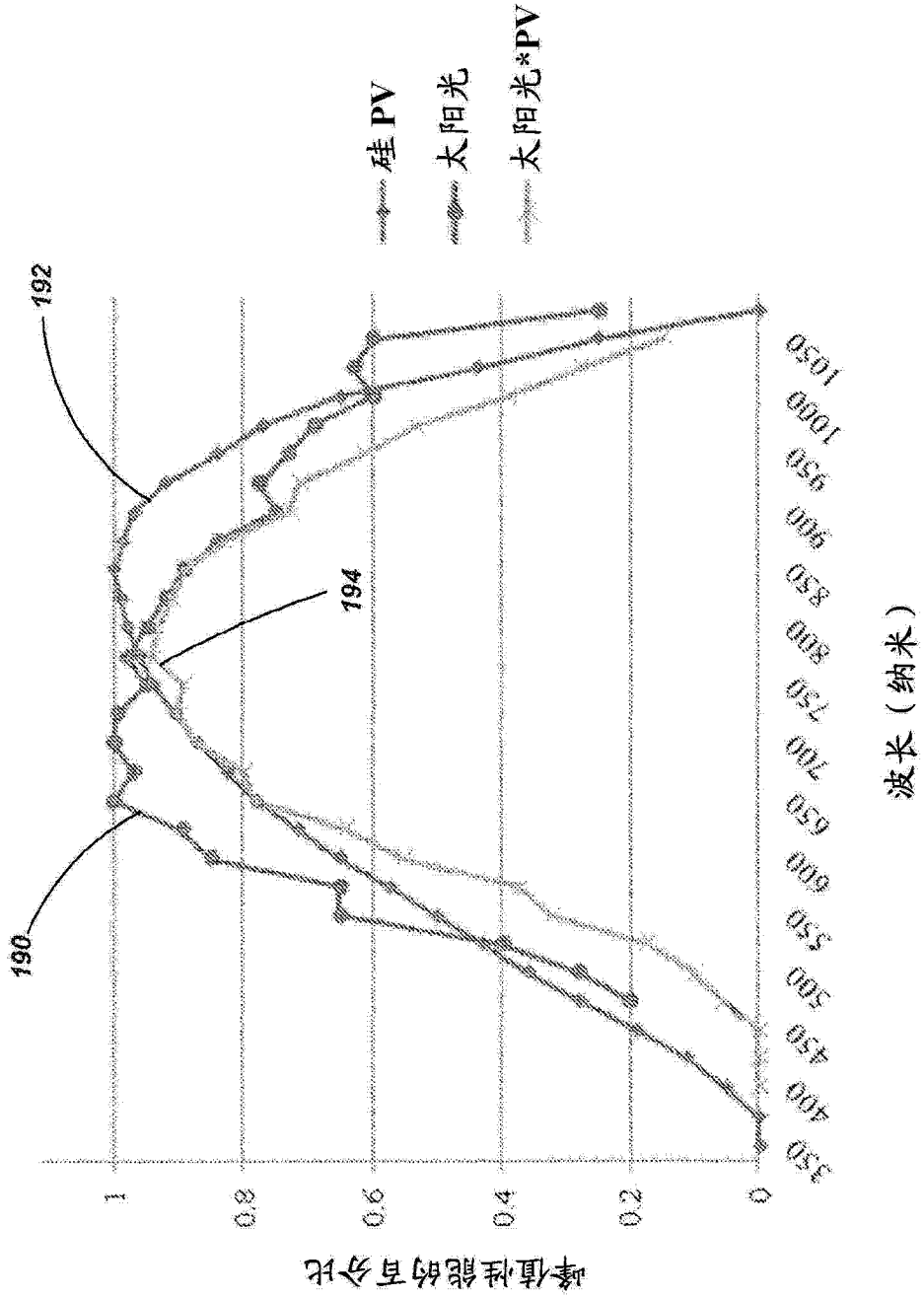

硅 PV
太阳光
太阳光*PV
192
194
190
峰值性能的百分比
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
950
1000
1050
波长（纳米）

图 11

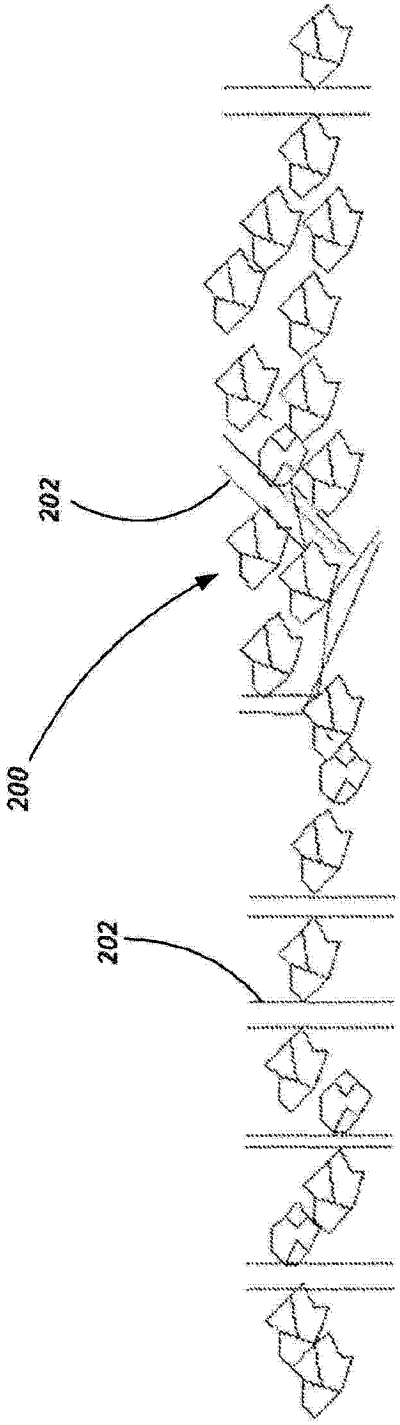


图 12

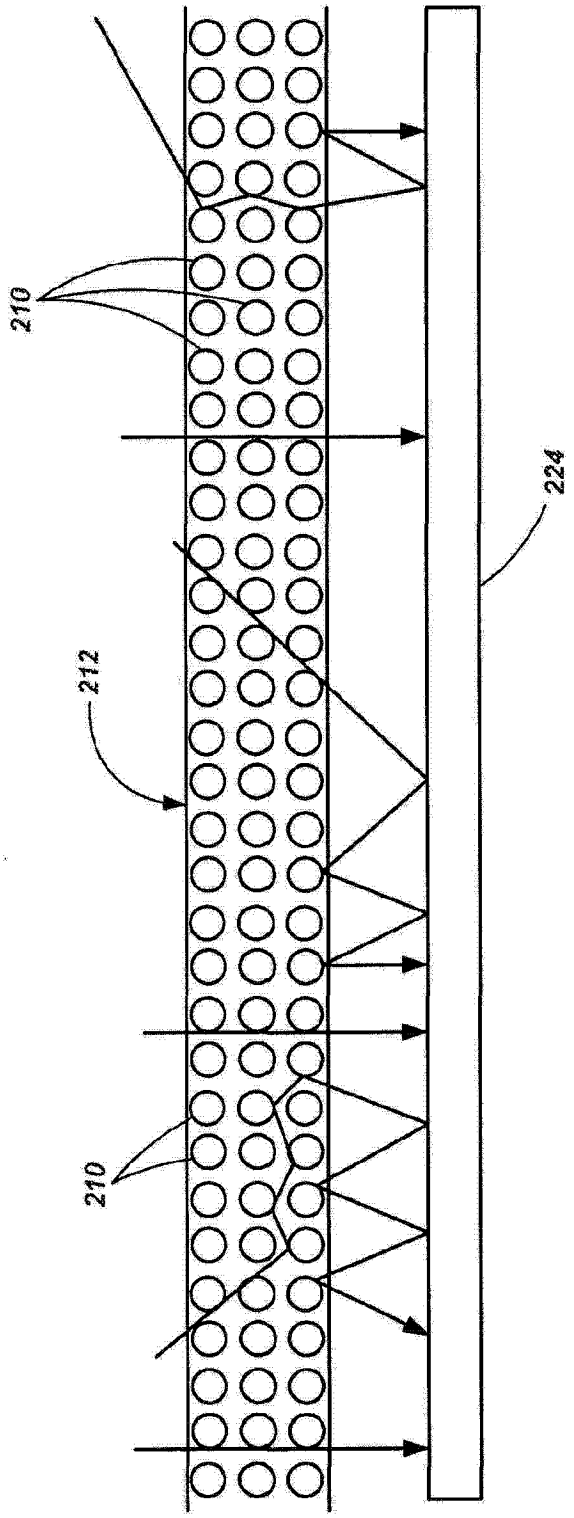


图 13A

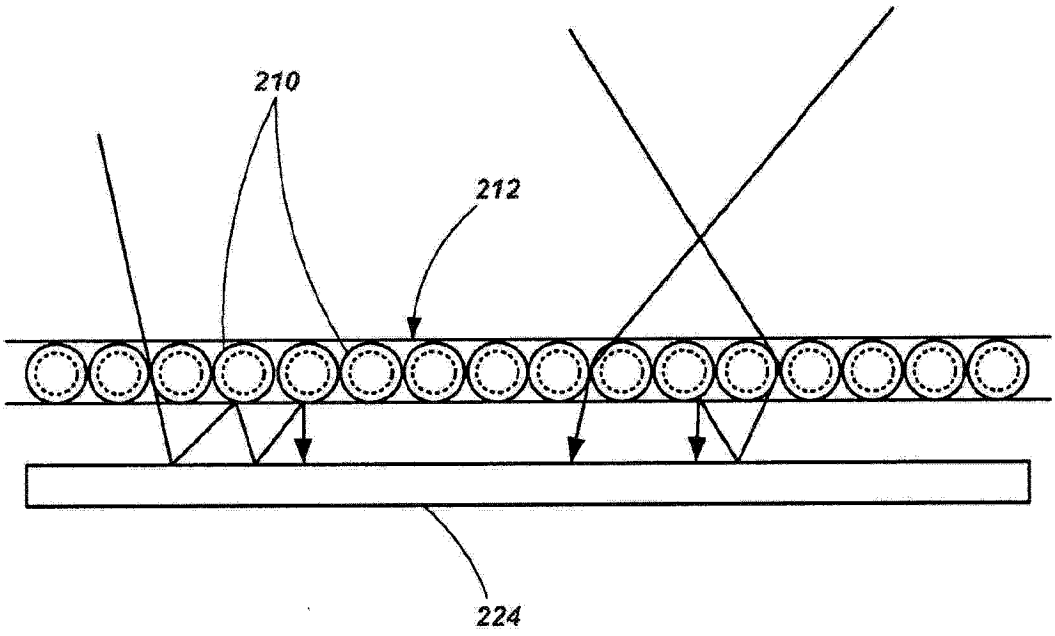


图 13B

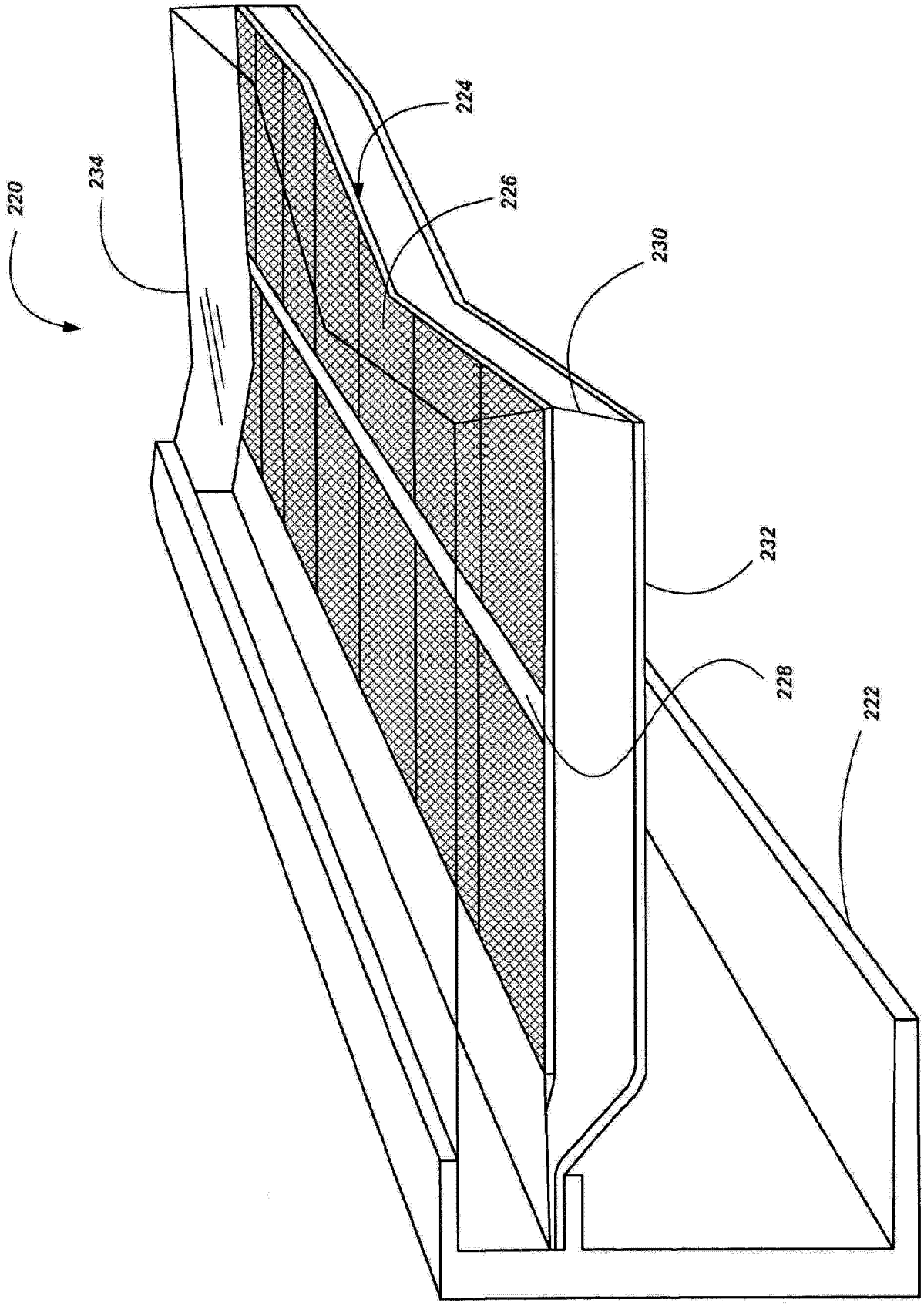


图 14

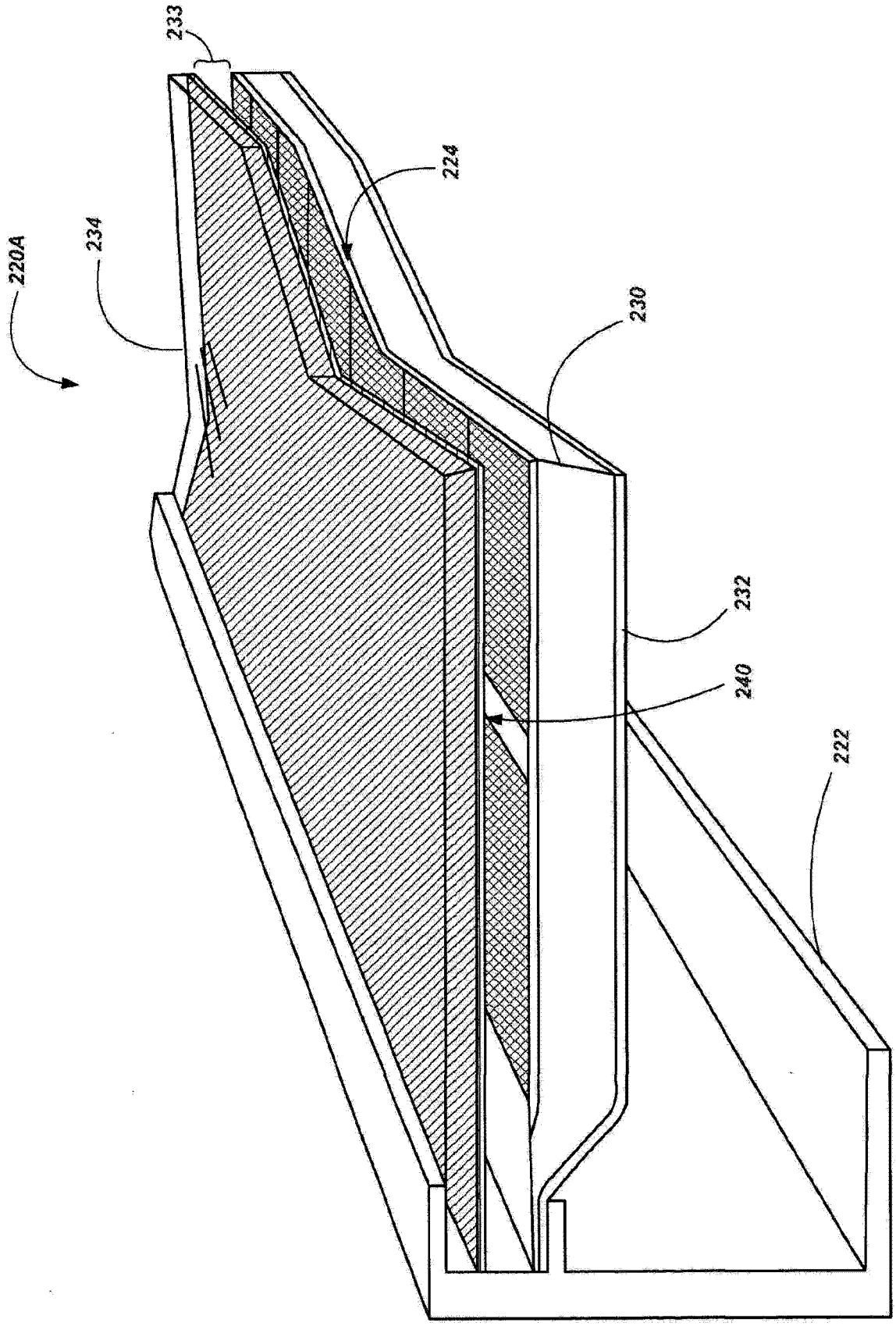


图 15

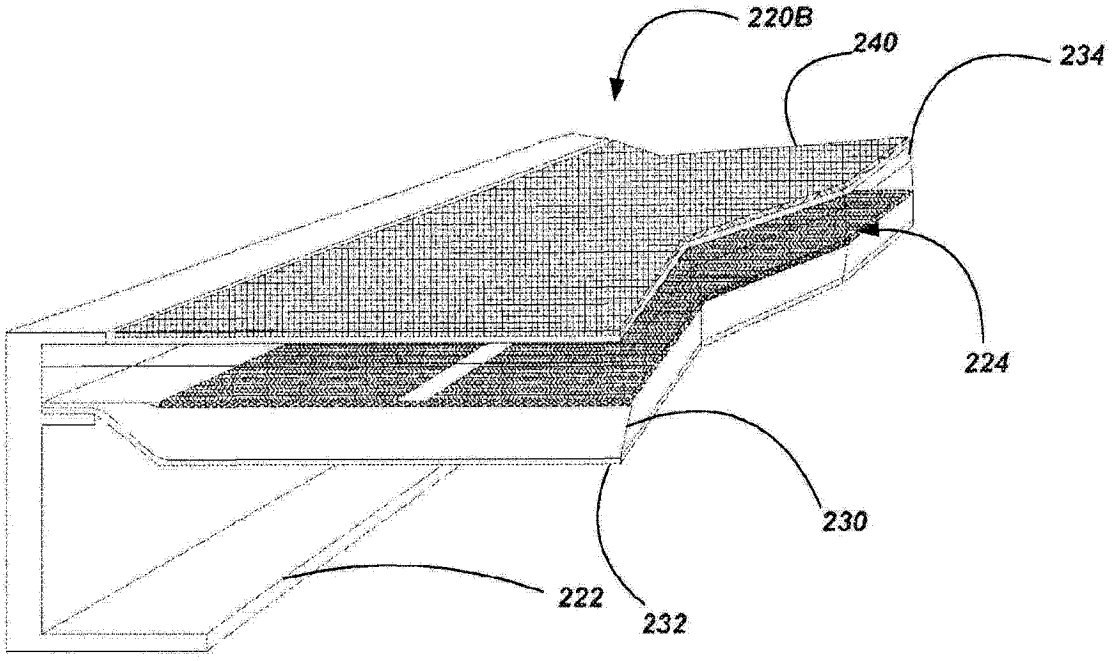

220B
240
234
224
230
222
232

图 16

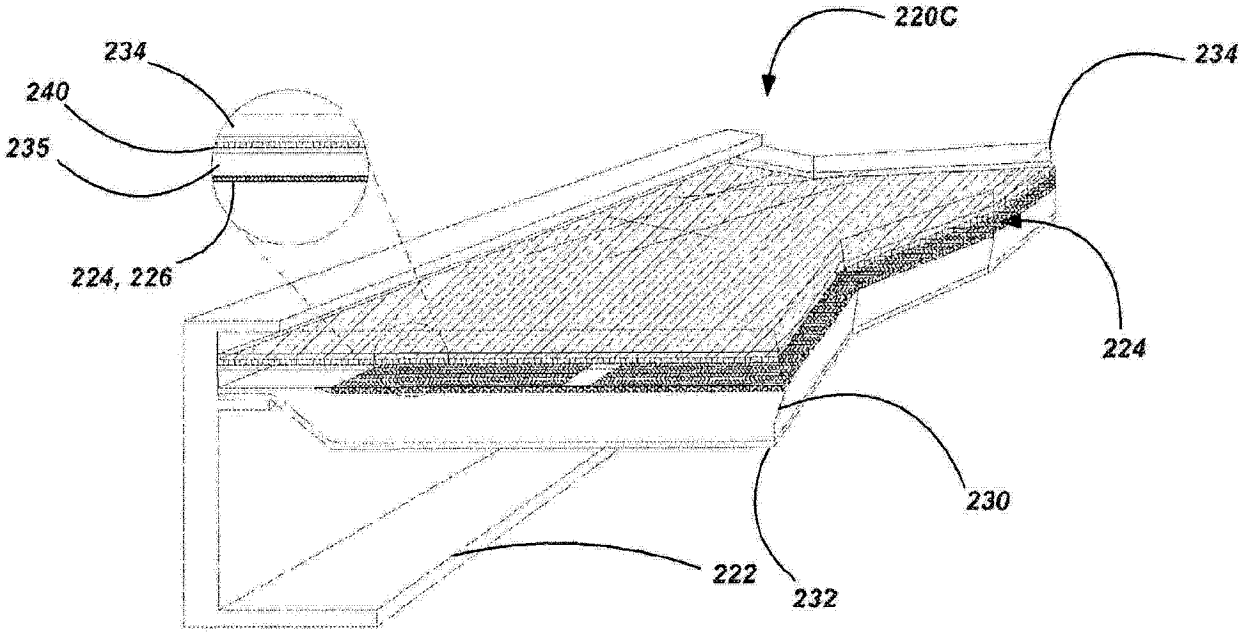

220C
234
240
235
224, 226
234
224
230
222
232

图 17

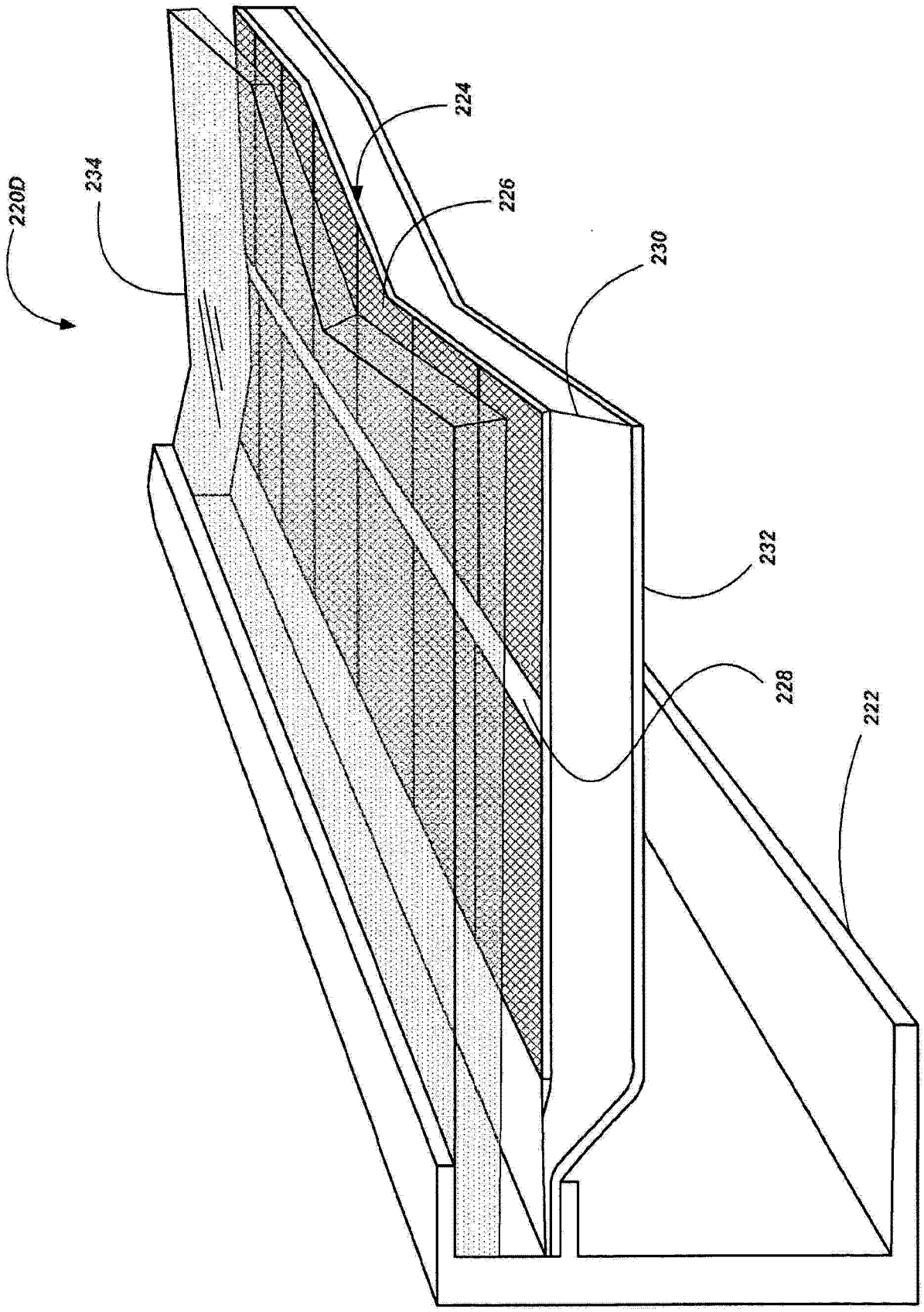


图 18

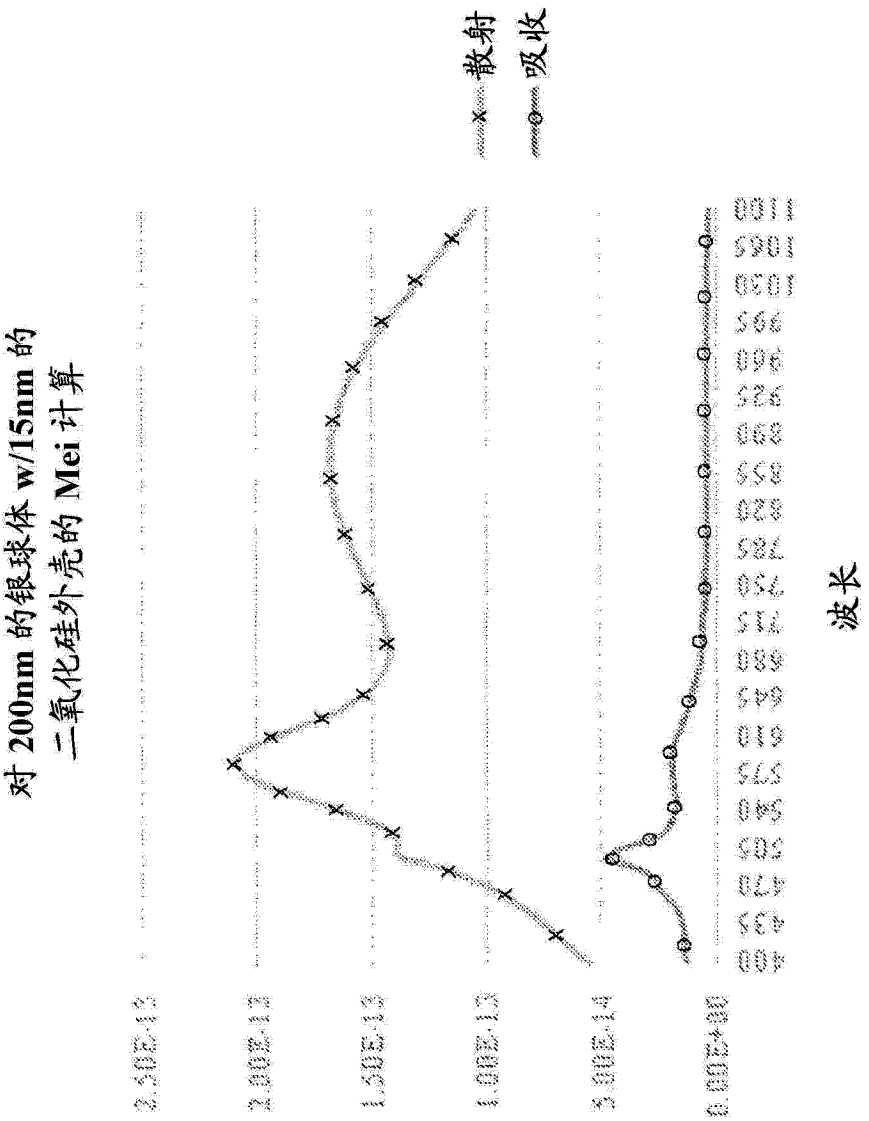

对 200nm 的银球体 w/15nm 的
二氧化硅外壳的 Mei 计算
散射
吸收
波长
2.50E+13
2.00E+13
1.50E+13
1.00E+13
5.00E+14
0.00E+00
400
435
470
505
540
575
610
645
680
715
750
785
820
855
890
925
960
995
1030
1065
1100

图 19

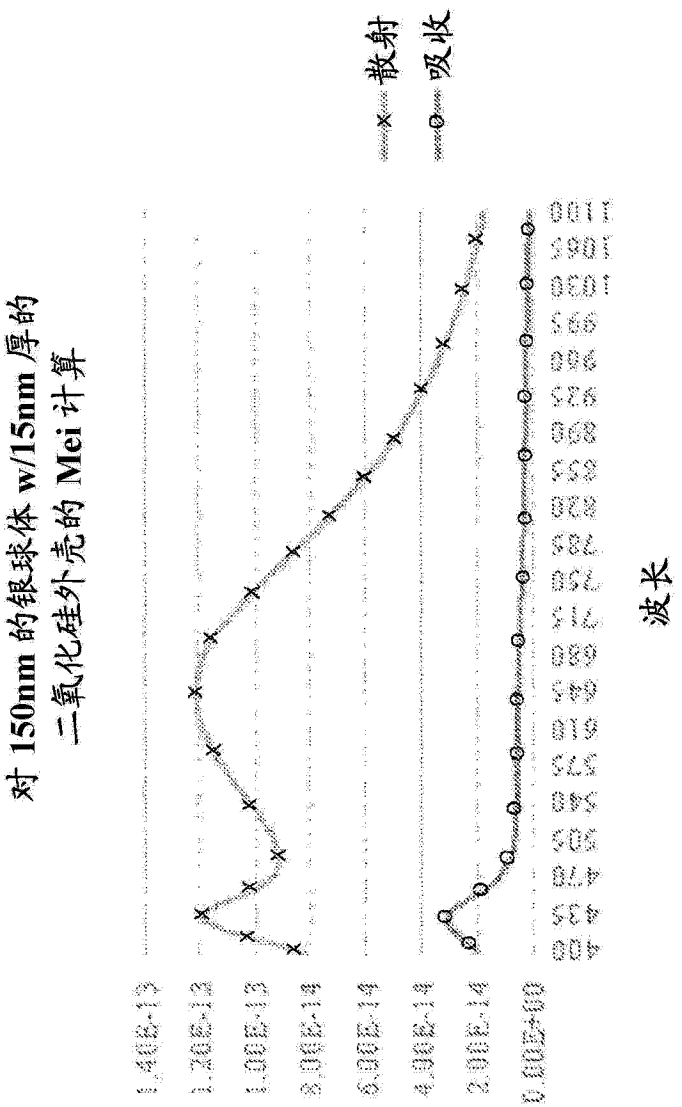

对 150nm 的银球体 w/15nm 厚的
二氧化硅外壳的 Mei 计算
散射
吸收
1.40E-13
1.20E-13
1.00E-13
8.00E-14
6.00E-14
4.00E-14
2.00E-14
0.00E+00
400
435
470
505
540
575
610
645
680
715
750
785
820
855
890
925
960
995
1030
1065
1100
波长

图 20