



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 109244247 B

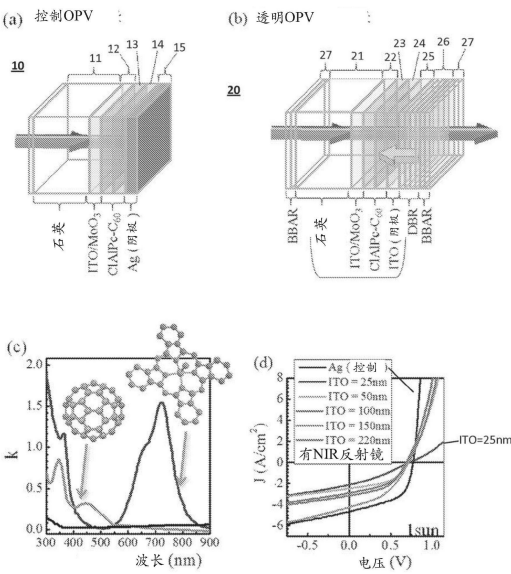
(45) 授权公告日 2023. 05. 12

(21) 申请号 201811126737.2
(22) 申请日 2012.01.25
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109244247 A
(43) 申请公布日 2019.01.18
(30) 优先权数据
61/436,371 2011.01.26 US
(62) 分案原申请数据
201280009604.1 2012.01.25
(73) 专利权人 麻省理工学院
地址 美国马萨诸塞州
(72) 发明人 弗拉基米尔·布洛维奇
里查德·罗亚尔·伦特
(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262
专利代理师 王红英 王漪

(51) Int.Cl.
H10K 30/50 (2023.01)
H10K 30/10 (2023.01)
H10K 30/20 (2023.01)
H10K 39/12 (2023.01)
H10K 30/82 (2023.01)
H10K 30/87 (2023.01)
(56) 对比文件
JP 2009060051 A,2009.03.19
CN 101044640 A,2007.09.26
CN 101044640 A,2007.09.26
CN 101651183 A,2010.02.17
Rhonda F. Bailey-Salzman, et al.Near-
infrared sensitive small molecule organic
photovoltaic cells based on
chloroaluminum phthalocyanine.《APPLIED
PHYSICS LETTERS》.2007,第91卷
审查员 蒋佳
权利要求书5页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称
透明光伏电池

(57) 摘要
本申请涉及一种透明光伏电池,具体披露了一种透明光伏电池及其制作方法。这种光伏电池可包括一个透明基底以及覆盖该基底的一种第一活性材料。该第一活性材料在大于约650纳米的一个波长处可以具有一个第一吸收峰。一种第二活性材料被布置为覆盖该基底,该第二活性材料在可见光光谱外的一个波长处具有一个第二吸收峰。这种光伏电池还可以包括一个透明阴极和一个透明阳极。



1. 一种透明光伏电池,包括:
一个可见透明基底,
一种覆盖该可见透明基底的第一可见透明活性材料,该第一可见透明活性材料在大于650纳米的第一波长处具有第一吸收峰,该第一吸收峰大于该第一可见透明活性材料在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;
一种覆盖该可见透明基底的第二可见透明活性材料,该第二可见透明活性材料在可见光谱外的第二波长处具有第二吸收峰,该第二吸收峰大于该第二可见透明活性材料在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;
一个可见透明阴极以及一个可见透明阳极,其中所述可见透明阴极或所述可见透明阳极中的至少一个的厚度被选择成使得所述第一可见透明活性材料的吸收或所述第二可见透明活性材料的吸收最大化;以及
在近红外波长处反射的一个可见式透明反射器,
其中,该透明光伏电池能够被操作以透射具有在450纳米和650纳米之间的波长的可见光。
2. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该可见透明阴极和该可见透明阳极中的至少一个被配置成用于将在该第一可见透明活性材料中的吸收最大化。
3. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该可见透明阴极和该可见透明阳极中的至少一个被配置成用于将在该第二可见透明活性材料中的吸收最大化。
4. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料以及该第二可见透明活性材料位于不同的层中。
5. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料在小于450纳米的一个波长处具有另一吸收峰。
6. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料是供体,并且该第二可见透明活性材料是受体。
7. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料包括有机材料。
8. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料包括酞菁、卟啉、酞菁类染料中的至少一种。
9. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料包括氯铝酞菁。
10. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料包括锡酞菁。
11. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第二可见透明活性材料包括碳60 (C₆₀)或纳米管中的至少一种。
12. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该第一可见透明活性材料和该第二可见透明活性材料被配置成用于与柔性封装层一起使用。
13. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该透明光伏电池结合在显示屏、钟表玻璃、汽车玻璃、或建筑玻璃中的一种中。
14. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该可见透明基底是柔性的。
15. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该可见透明阳极包括可见透明导电氧化物。
16. 如权利要求1所述的透明光伏电池,其中,该可见透明阴极包括可见透明导电氧化物。

物。

17. 一种光伏阵列, 包括多个电气互连的如权利要求1所述的透明光伏电池。

18. 一种串联电池光伏器件, 包括:

可见透明阳极; 以及

第一可见透明光伏电池, 该第一可见透明光伏电池包括:

第一活性材料层, 该第一活性材料层在大于650纳米的第一波长处具有第一吸收峰, 该第一活性材料层的该第一吸收峰大于该第一活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收; 以及

第二活性材料层, 该第二活性材料层在可见光谱外的第二波长处具有第二吸收峰, 该第二活性材料层的该第二吸收峰大于该第二活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

第二可见透明光伏电池, 该第二可见透明光伏电池包括:

第三活性材料层, 该第三活性材料层在大于650纳米的第三波长处具有第三吸收峰, 该第三活性材料层的该第三吸收峰大于该第三活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收; 以及

第四活性材料层, 该第四活性材料层在可见光谱外的第四波长处具有第四吸收峰, 该第四活性材料层的该第四吸收峰大于该第四活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

复合区, 该复合区被布置在该第一可见透明光伏电池和该第二可见透明光伏电池之间;

可见透明阴极; 以及

在近红外波长处反射的一个可见式透明反射器。

19. 如权利要求18所述的串联电池光伏器件, 其中, 该串联电池光伏器件的特征在于, 在大于650纳米的波长处的吸收峰大于该串联电池光伏器件在450纳米和650纳米之间的任何波长下的吸收。

20. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件, 其中, 该串联电池光伏器件可操作于透射具有在450纳米和650纳米之间的波长的可见光。

21. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件, 其中, 该串联电池光伏器件的特征在于, 在小于450纳米的波长处的吸收峰大于该串联电池光伏器件在450纳米和650纳米之间的任何波长下的吸收。

22. 如权利要求21所述的串联电池光伏器件, 其中, 该串联电池光伏器件可操作于透射具有在450纳米和650纳米之间的波长的可见光。

23. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件, 其中,

该第一活性材料层包括酞菁、卟啉、萘酞菁或纳米管中的至少一种; 以及

该第三活性材料层包括酞菁、卟啉、萘酞菁或纳米管中的至少一种。

24. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件, 其中,

该第二活性材料层包括碳60(C₆₀)或纳米管中的至少一种; 以及

其中, 该第四活性材料层包括碳60(C₆₀)或纳米管中的至少一种。

25. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件, 其中, 该复合区包括氧化铟锡(ITO)、浴铜

灵(BCP)或钼氧化物(MoO_x)中的至少一种。

26. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件,还包括:

第三可见透明光伏电池,该第三可见透明光伏电池包括:

第五活性材料层,该第五活性材料层在大于650纳米的第五波长处具有第五吸收峰,该第五活性材料层的该第五吸收峰大于该第五活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;以及

第六活性材料层,该第六活性材料层在可见光谱外的第六波长处具有第六吸收峰,该第六活性材料层的该第六吸收峰大于该第六活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

第二复合区,该第二复合区被布置在该第二光伏电池和该第三光伏电池之间。

27. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件,其中,该可见透明阳极包括氧化铟锡(ITO)、钼氧化物(MoO_x)、氟化锡氧化物、聚乙烯(3,4-乙烯二氧噻吩)、聚乙烯(3,4-乙烯二氧噻吩)-聚乙烯(苯乙烯磺酸盐)、掺镓氧化锌或掺铝氧化锌中的至少一种。

28. 如权利要求19所述的串联电池光伏器件,其中,该串联电池光伏器件具有大于或等于45%的平均可见透射。

29. 一种发电的方法,该方法包括:

提供一个透明光伏电池,该透明光伏电池包括:

一个可见透明基底,

一种覆盖该可见透明基底的第一可见透明活性材料,该第一可见透明活性材料在大于650纳米的第一波长处具有第一吸收峰,该第一吸收峰大于该第一可见透明活性材料在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

一种覆盖该可见透明基底的第二可见透明活性材料,该第二可见透明活性材料在可见光光谱外的第二波长处具有第二吸收峰,该第二吸收峰大于该第二可见透明活性材料在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

一个可见透明阴极以及一个可见透明阳极,其中所述可见透明阴极或所述可见透明阳极中的至少一个的厚度被选择成使得所述第一可见透明活性材料的吸收或所述第二可见透明活性材料的吸收最大化;以及

在近红外波长处反射的一个可见式透明反射器,

其中,该透明光伏电池能够被操作以透射具有在450纳米和650纳米之间的波长的可见光;以及

将该透明光伏电池暴露于一个光源。

30. 如权利要求29所述的方法,其中,该可见式透明反射器是一个可见透明多层反射器,用于反射近红外光。

31. 如权利要求30所述的方法,其中,该可见透明多层反射器包括多层分布布拉格反射器(DBR)。

32. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料和该第二可见透明活性材料位于不同的层中。

33. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料在小于450纳米的波长处具有另一吸收峰。

34. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料是供体并且该第二可见透明活性材料是受体。

35. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料包括有机材料。

36. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料包括酞菁、卟啉或酞菁类染料中的至少一种。

37. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料包括氯铝酞菁。

38. 如权利要求29所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料包括锡酞菁。

39. 如权利要求29所述的方法,其中,该第二可见透明活性材料包括碳60(C₆₀)或纳米管中的至少一种。

40. 如权利要求29所述的方法,其中,该可见透明基底是柔性的。

41. 一种制造透明光伏电池的方法,该方法包括:

提供可见透明基底;

在该可见透明基底上形成可见透明阳极;

在该可见透明阳极上形成第一可见透明活性材料层,该第一可见透明活性材料层在大于650纳米的第一波长处具有第一吸收峰,该第一吸收峰大于该第一可见透明活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

在该第一可见透明活性材料层上形成第二可见透明活性材料层,该第二可见透明活性材料层在可见光光谱外的第二波长处具有第二吸收峰,该第二吸收峰大于该第二可见透明活性材料层在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收;

在该第二可见透明活性材料层上形成可见透明阴极;

调整该可见透明阳极或该可见透明阴极中的至少一个的厚度,使得近红外光在该第一可见透明活性材料层中或在该第二可见透明活性材料层中的吸收被最大化;以及

在该可见透明阴极上形成被配置为反射近红外波长的可见式透明反射器。

42. 如权利要求41所述的方法,其中,该可见式透明反射器包括分布布拉格反射器。

43. 如权利要求41所述的方法,还包括:

在该可见式透明反射器上形成宽频带抗反射涂层。

44. 如权利要求41所述的方法,其中,该第一可见透明活性材料层是供体并且该第二可见透明活性材料层是受体。

45. 如权利要求41所述的方法,还包括:

结合该第一可见透明活性材料层的第一部分和该第二可见透明活性材料层的第二部分以获得混合层;

通过改变该混合层的第一厚度来优化该透明光伏电池。

46. 如权利要求41所述的方法,还包括:

通过改变该第一可见透明活性材料层的第一厚度和该第二可见透明活性材料层的第二厚度来优化该透明光伏电池。

47. 如权利要求41所述的方法,还包括:

通过改变该第一可见透明活性材料层的第一厚度和该第二可见透明活性材料层的第二厚度的比率来优化该透明光伏电池。

48. 一种制造串联光伏电池的方法,该方法包括:

提供可见透明基底；
在该可见透明基底上形成可见透明阳极；
在该可见透明阳极上形成第一透明光伏子电池；
在该第一透明光伏子电池上形成第一复合区；
在该第一复合区上形成第二透明光伏子电池；
在该第二透明光伏子电池上形成可见透明阴极；以及
在该可见透明阴极上形成被配置为反射近红外波长的可见式透明反射器，
其中，该串联光伏电池在大于650纳米的波长处具有吸收峰，该吸收峰大于该串联光伏电池在450纳米和650纳米之间的任意波长下的吸收。

49. 如权利要求48所述的方法，其中，该第一复合区包括氧化铟锡 (ITO)、浴铜灵 (BCP) 或钼氧化物 (MoO_x) 中的至少一种。

50. 如权利要求48所述的方法，还包括：
在该第二透明光伏子电池上形成第二复合区；以及
在该第二复合区上形成第三透明光伏子电池，该第三透明光伏子电池被布置在该第二复合区和该可见透明阴极之间。

51. 如权利要求48所述的方法，其中，该可见式透明反射器是在该可见透明阴极上的可见透明近红外反射分布布拉格反射器。

52. 如权利要求51所述的方法，其中，形成该近红外分布布拉格反射器包括以0.1纳米/秒溅射 TiO_2 和 SiO_2 的交替层。

透明光伏电池

[0001] 本申请是申请日为2012年1月25日,申请号为201280009604.1,发明名称为“透明光伏电池”的申请的分案申请。

[0002] 在先提交申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于之前提交的在2011年1月26日提交的临时专利申请61/436,671的优先权,通过引用将其全文结合在此。

发明领域

[0004] 本发明涉及光伏器件领域,并且更具体地涉及有机光伏器件。

背景技术

[0005] 利用太阳能所必须的表面面积仍然是弥补一大部分非再生能源消耗的一个障碍。出于这个原因,能够整合到家庭、大厦以及汽车中的窗玻璃上的低成本透明有机光伏器件(OPV)是令人希望的。例如,用在汽车和建筑中的窗户玻璃通常分别对可见光谱(例如,带有从约450至650纳米(nm)的波长的光)的70%-80%和55%-90%是可穿透的。有限的机械灵活性、高模块成本、以及更重要的是无机半导体的带状吸收限制了它们对透明太阳能电池潜在的实用性。相反,有机及分子半导体的激子特征导致了由吸收极小值和极大值高度结构化的吸收光谱,该吸收光谱与它们的无机对应物的带状吸收截然不同。之前为构造透明器件的努力集中到具有专注于可见光谱的吸收的薄活性层(或物理孔)的使用上,并且因此受限于或者小于1%的低效率或者是对约10%-35%的光的低平均可见透射率(AVT),因为这两个参数不能同时被优化。

[0006] 发明概述

[0007] 在此公开了一种透明光伏电池以及制作方法。这种光伏电池可以包括一个透明基底以及覆盖该基底的一种第一活性材料。该第一活性材料在大于约650纳米的一个波长处可以具有一个吸收峰。一种第二活性材料被配置成覆盖该基底,该第二活性材料在可见光谱外的一个波长外具有一个吸收峰。该光伏电池还可以包括一个透明阴极和一个透明阳极。

[0008] 该阴极和该阳极中的至少一个可以被配置成将在该第一活性材料中的吸收最大化。该阴极和该阳极中的至少一个可以被配置成将在该第二活性材料中的吸收最大化。该第一活性材料以及该第二活性材料可以位于不同的层中。该第一活性材料在小于约450纳米的一个波长处可以具有一个第二吸收峰。

[0009] 该第一活性材料可以是一个供体,并且该第二活性材料可以是一个受体。该器件还可以包括在近红外波长处反射的一个反射镜。该第一活性材料可以包括一种有机材料。该第一活性材料可以包括以下至少一种:一种酞菁染料、一种卟啉染料、或一种萘菁染料。该第一活性材料可以包括氯铝酞菁。该第一活性层可以包括锡酞菁。该第二活性层可以包括碳60(C₆₀)或一种奈米管中的至少一种。该第一和第二活性材料可以被配置成用于同多个柔性封装层一起使用。该光伏电池被结合在以下各项之一中,即:一个显示屏、一种钟表玻

璃、汽车玻璃、或建筑玻璃。

[0010] 本申请还公开了一种光伏阵列,包括多个电气互连的光伏电池,每个光伏电池均包括一个透明基底以及覆盖该基底的一种第一活性材料。该第一活性材料在大于约650纳米的一个波长处可以具有一个吸收峰。一种第二活性材料被配置成覆盖该基底,该第二活性材料在可见光光谱外的一个波长外具有一个吸收峰。该光伏电池还可以包括一个透明阴极和一个透明阳极。其中,该透明基底是柔性的。

[0011] 本申请还提供了一种光伏电池,这种光伏电池可以包括一个透明基底以及覆盖该基底的一种第一活性材料。该第一活性材料在大于约650纳米的一个波长处可以具有一个第一吸收峰。该光伏电池可以包括覆盖该基底的一种第二活性材料,该第二活性材料在大于约650纳米或小于约450纳米的一个波长处具有一个第二吸收峰。该光伏电池还可以包括一个透明阴极和一个透明阳极。

[0012] 本申请进一步提供了一种光伏电池,该光伏电池可以包括:一个复合区,该复合区被布置在一个第一和第二子电池之间,该第一和第二子电池各自在可见光光谱外的一个波长处具有多个吸收峰;一个透明阴极;以及一个透明阳极。该光伏电池可以是透明的或半透明的。

[0013] 一种制造光伏电池的方法,该方法可以包括在一个基底上制造一种第一电极材料,该电极材料以及该基底对于可见光是透明的。可以制造至少一个层,该层具有在大于约650纳米的一个波长处有一个吸收峰的一种第一活性材料以及在可见光光谱外的一个波长处有一个吸收峰的一种第二活性材料。一个第二电极可以由对可见光透明的材料制造。该方法可以包括为该第一或第二电极中的至少一个选择一个厚度,这样使得在该红外吸收活性层中的近红外光的吸收最大化。该方法还可以包括制造一个用于近红外光的多层反射镜。

[0014] 本申请还提供了一种制造光伏电池的方法,该方法可以包括制造一个第一和第二子电池,该第一和第二子电池各自在可见光光谱外的多个波长处具有多个吸收峰。一个复合区可以被布置在该第一和第二子电池之间。还可以制造一个透明阴极和一个透明阳极。该光伏电池可以是透明的或半透明的。

[0015] 本申请进一步提供了一种发电的方法,该方法包括提供一个光伏电池,该光伏电池包括:一个透明基底,一种覆盖该基底的第一活性材料,该第一活性材料在大于约650纳米的一个波长处具有一个吸收峰;一种覆盖该基底的第二活性材料,该第二活性材料在可见光光谱外的一个波长处具有一个吸收峰;一个透明阴极;以及一个透明阳极;以及将该光伏电池暴露于一个光源。

附图说明

[0016] 图1的(a)示出了一个控制太阳能电池的示意图;

[0017] 图1的(b)示出了一个全透明太阳能电池实施例的示意图;

[0018] 图1的(c)是一个曲线图,示出了在图1的(a)和图1的(b)中这些活性层的消光系数 k ;

[0019] 图1的(d)是一个曲线图,示出了图1的(a)和图1的(b)中所示的C1A1Pc-C₆₀控制电池以及透明电池的电流-电压(J-V)曲线;

[0020] 图2的(a)是一个曲线图,示出了光电流在120nm的最佳厚度处增加了3倍,使得 η_p 增加几乎同样的量值;

[0021] 图2的(b)是一个曲线图,示出了当氧化铟锡(ITO)的厚度增加时,串联电阻减小并且填充因数(FF)饱和接近于该控制电池的值;

[0022] 图3的(a)是一个曲线图,示出了根据ITO的若干厚度和多个控制层的波长的外量子效率(EQE);

[0023] 图3的(b)是一个曲线图,示出了根据ITO的若干厚度和多个控制层的波长的透射百分比;

[0024] 图3的(c)示出了测定的太阳模拟器光谱,该太阳模拟器光谱展现了氙灯Xe以及NREL上报的mc-Si外部量子效率(EQE)的特征,以用稳压二极管来测量太阳模拟器强度;

[0025] 图3的(d)示出了在本研究中用作透明NIR反射镜的分布布拉格反射器的测量和计算的反射率;

[0026] 图4的(a)和图4的(b)示出了置于一个“玫瑰”图片前面以便突出显示该全组装的器件的透明度的多个太阳能电池阵列;

[0027] 图4的(c)示出了连接到一个LCD时钟上的一个太阳能电池阵列;

[0028] 图4的(d)和图4的(e)示出了置于一个“山”图片前面以便突出显示该全组装的器件的透明度的一个太阳能电池阵列的一个可替代的实施例;

[0029] 图4的(f)是与一个LCD时钟连接的一个全电路组件的一张图片。

[0030] 图5(a)是一个曲线图,示出了根据一个SnPc器件的波长的外量子效率(EQE);

[0031] 图5(b)是一个曲线图,示出了根据一个SnPc器件的波长的透射百分比;

[0032] 图6(a)是一个曲线图,示出了SnPc设计和C1AlPc设计之间的对照;

[0033] 图6(b)是一个曲线图,示出了ITO阴极厚度的效果;

[0034] 图6的(c)和图6的(d)示出了根据没有NIR反射镜的阳极与阴极ITO厚度的透明OPV体系结构的平均可见透射率(AVT,左栏)和短路电流(右栏)的转移矩阵模拟;

[0035] 图6的(e)和6的(f)示出了根据具有NIR反射镜的阳极与阴极ITO厚度的透明OPV体系结构的平均可见透射率(AVT,左栏)和短路电流(右栏)的转移矩阵模拟;

[0036] 图7是具有包括一个供体和一个受体两者的混合层的一个器件的框图;

[0037] 图8是一个串联器件的框图;

[0038] 图9的(a)和9的(b)是曲线图,示出了可以被用来对一个串联器件进行优化的不同带隙;

[0039] 图10的(a)和10的(b)是曲线图,示出了在此披露的若干实施例的多个实际效率限制;

[0040] 图11是一个图表,示出了太阳光通量和人眼的适光响应;并且

[0041] 图12是一个图表,示出了包括在此披露的一个光伏阵列的一个电子阅读器、智能手机和显示屏。

[0042] 发明详述

[0043] 在此描述的是改进的透明太阳能电池设计,例如,透明有机光伏器件(TOPV)。在此处使用的术语“透明”包含45%或以上的一个直通光束的平均可见透明度。在此处使用的术语“半透明”包含大约10%-45%的一个直通光束的平均可见透明度。一般来说,这些设计包

括在可见光光谱外(例如,在紫外线(UV)和/或近红外(NIR)太阳光谱中)具有强大的吸收特性的多个分子活性层。这些器件可以包括多个选择性高反射性NIR以及宽频带的抗反射接触涂层。器件可以形成具有一个有机活性层(例如作为供体的酞菁氯化铝(C1AlPc)或SnPc)以及一个分子活性层(例如作为受体并且在UV和NIR太阳能光谱中具有峰吸收的C₆₀)的异质结太阳能电池。用于这些活性层的其他合适的材料包括任何合适的酞菁染料、卟啉染料、萘菁染料、碳纳米管或在可见光谱外具有吸收峰的分子激子材料。此类器件可以形成在一个串联结构中,该串联结构具有经由一个复合区连接的一个或多个子电池。此类器件可以被用在各种应用中,包括用在桌面显示器、膝上型计算机或笔记本计算机、平板计算机、手机、电子阅读器等中的多种刚性和柔性计算机显示屏。其他的应用包括钟表玻璃、汽车玻璃以及包括天窗玻璃和隐私玻璃的建筑玻璃。这些光伏器件可以用于有功功率发电,例如用于完全自供电的应用、以及电池充电(或电池寿命延长)。

[0044] 此处叙述的近红外(NIR)被定义为在约650至约850纳米(nm)的范围中具有多个波长的光。此处叙述的紫外线(UV)被定义为具有小于约450纳米的多个波长的光。使用在NIR和UV中具有吸收的一个活性层允许使用选择性高反射的近红外反射镜涂层来优化器件性能,同时还允许可见光很好地透射通过该整个器件。在此处叙述的可见光被定义为具有人眼在从约450nm至约650nm对其有明显反应的多个波长的光。

[0045] 在一个实施例中,这些器件在150nm的预先涂覆于玻璃基底上的带图案的氧化铟锡(ITO)(15 Ω /sq.)上制造。该ITO是电极的一种成分。用溶剂洗涤该ITO,并且随后在将其载入到一个高真空室($<1 \times 10^{-6}$ Torr)之前在氧等离子体中加工30秒。在载入之前,通过真空升华对C1AlPc和C₆₀进行了一次提纯。以购买时的状态使用了浴铜灵(BCP)和三氧化钼(MoO₃)。MoO₃是电极的另一种成分。经由速率为0.1nm/s的热蒸发,依次沉积MoO₃(20nm)、C1AlPc(15nm)、C₆₀(30nm)、BCP(7.5nm)以及100nm厚的Ag阴极。使用10sccm的氩气流(6mTorr)并以0.005-0.03纳米/秒的速度在低功率(7-25W)下将这些透明器件的顶部ITO阴极直接射频溅射到这些有机层上。这些阴极通过一个荫罩被蒸发,界定出一个1毫米(mm) x 1.2mm的活性器件区域。在具有集中于800nm(200nm阻带)的波长周围的厚度在约0.1纳米/秒处,被用作透明NIR反射镜的一个近红外分布布拉格反射器(DBR)经由TiO₂和SiO₂的7个交替层的溅射单独地生长于石英上。预先涂覆在多个石英基底(1-side)上的宽频带抗反射(BBAR)涂层经由折射率匹配液被附装到这些DBR上以便减少额外的玻璃/空气界面反射。不需要参考样本,在带Cary Eclipse 5000双光束分光光度计的垂直入射处获得了这些组装器件的透射数据。不需要太阳能失配校正(以供参考:失配因数估计为1.05左右),在所模拟的AM 1.5G太阳能照明下在黑暗中对电流密度VS电压(J-V)的特征进行了测量,并且使用一个NREL校准的硅探测器收集了外量子效率(EQE)测量值。根据L.A.A皮德森、L.S.罗曼、及O.因格纳斯,应用物理杂志86,487(1999)(L.A.A.Pettersson,L.S.Roman,and O.Inganas, Journal of Applied Physics 86,487(1999))的方法进行了光学干扰建模,其内容通过引用结合在此。通过分别将光电流以及EQE的幅值拟合为 5 ± 3 nm以及 10 ± 5 nm来估计C1AlPc和C₆₀的激子扩散长度。

[0046] 图1的(a)示出了一个控制太阳能电池10的示意图。该控制太阳能电池包括一个基底11、一个阳极12、一个供体层13(例如,C1AlPc)、一个分子活性层(例如,C₆₀,担当受体层14)、以及一个阴极15。在本示例中,阳极15是不透明的,例如,银。图1的(b)示出了一个全透

明的太阳能电池20的示意图。该器件20通常包括一个透明基底21、一个阳极22、一个供体层23(例如, C1A1Pc)、一个分子活性层(例如, C_{60} , 充当受体层24)、以及一个阴极25。该供体层23和该受体层24在紫外线(UV)和近红外(NIR)光谱中具有多个吸收峰。在本示例中, 该基底是石英。应该理解的是可以使用各种刚性和柔性基底。例如, 该基底可以是玻璃、刚性或柔性聚合物(例如, 一种屏幕保护膜或皮肤), 或者可以与其他层相结合, 比如, 封装层、抗反射层等。在本示例中, 该透明阳极22和阴极25是由导电氧化物形成的, 例如, ITO/MoO₃。应该理解的是该阳极22和阴极25可以由其他材料形成, 比如, 氧化锡、氟化锡氧化物、纳米管、聚乙烯(3,4-乙烯二氧噻吩)(PDOT)或PEDOT:PSS(聚乙烯(3,4-乙烯二氧噻吩)聚乙烯(苯乙烯磺酸盐)、掺镓氧化锌、掺铝氧化锌以及具有适当透明性和传导性的其他材料。该器件20还可以包括一个近红外DBR26以及一个或多个宽频带抗反射(BBAR)涂层27。

[0047] 图1的(c)示出了图1的(a)和图1的(b)所示的这些活性层的消光系数k的一个曲线图。图1的(d)是一个曲线图, 示出了对于ITO的一系列厚度, 图1的(a)和图1的(b)的C1A1Pc- C_{60} 控制和透明电池的电流-电压(J-V)曲线。C1A1Pc的吸收峰被置于NIR的范围中(大约740nm)。这允许结合一个NIR反射镜以及图1的(a)和图1的(b)中图示的太阳能电池性能和可见透射率的同步优化。应该理解的是供体和/或受体层在可见光谱外可以具有一个或多个吸收峰。在本示例中, C1A1Pc在UV范围中还具有一个第二吸收峰。在表1中, 提供了对各种器件性能的总结。

	阴极厚度 (nm)	阴极组分	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	FF-	η_p (%)	AVT (%)
[0048]	100	Ag	4.7	0.77	0.55	2.4	0
	20	ITO	1.5	0.69	0.39	0.5	67
	120	ITO	3.2	0.71	0.46	1.3	65
	20	ITO/NIR mir.	2.2	0.73	0.32	0.6	53
	40	ITO/NIR mir.	2.5	0.71	0.49	1.1	55
	80	ITO/NIR mir.	2.9	0.71	0.46	1.2	56
	120	ITO/NIR mir.	4.4	0.71	0.44	1.7	56
	170	ITO/NIR mir.	3.2	0.69	0.48	1.3	66

[0049] 表1

[0050] 表1大体上包括的数据示出了以下各项在0.8sun照射修正的太阳光谱失配时的性能: 具有一个银阴极的控制OPV、具有ITO阴极的透明OPV、和具有ITO阴极的OPV、以及NIR反射镜。指明了短路电流JSC、开路电压VOC、填充系数FF、功率转换效率 η_p 、以及平均可见透射AVT。具有厚银阴极的控制器件表现出 $1.9 \pm 0.2\%$ 的一个功率转换效率(η_p)、开路电压(Voc) = $0.80 \pm 0.02V$ 、短路电流密度(Jsc) = $4.7 \pm 0.3mA/cm^2$ 、以及填充系数(FF) = $0.55 \pm$

0.03,与之前的报告是可比较的。

[0051] 当该控制电池的银阴极被ITO所替代时,短路电流 J_{sc} 显著地下降到 $1.5 \pm 0.1 \text{ mA/cm}^2$,FF下降到 0.35 ± 0.02 、并且开路电压 V_{oc} 稍微地减少到 $0.7 \pm 0.02 \text{ V}$,从而导致 $\eta_p = 0.4 \pm 0.1\%$ 。由于串联电阻的增加,FF从薄的ITO减少,该薄的ITO在图1的(c)的正向偏压下的J-V曲线中是可观察到的。图2的(b)是一个曲线图,示出了随着ITO厚度的增加,该串联电阻减少并且该FF饱和接近于控制电池的值。在图2的(a)和图2的(b)中,实线源自实际的模拟,虚线仅仅是眼睛的参考线。 V_{oc} 的轻微下降(不依赖于ITO厚度)很可能是由于在阴阳极工作函数偏移量中的轻微减少。虽然如此,值得注意的是把ITO既用作阳极又用作阴极时,在工作函数中有足够的沉积各向异性,以便支持这个大的 V_{oc} ,并且,很可能被这个大的工作功能 MoO_3 层所辅助。

[0052] 随着阴极从银转换到ITO,由于减少的阴极反射, J_{sc} 减少,这些阴极反射在多个活性层中的整个光谱上减少总吸收。图2的(b)是一个曲线图,示出了在最佳厚度为120nm处光电流增加了3倍,这样使得 η_p 几乎增加相同的量值。将光学干扰模型提供给这个数据示出了这种行为源于后侧ITO阴极反射的干扰。图3的(a)是一个曲线图,示出了根据ITO的若干厚度的波长以及具有或没有NIR反射镜的多个控制层的EQE。近似可见的适光范围被竖直虚线所突出显示。图3的(b)是一个曲线图,示出了根据ITO的若干厚度的波长以及多个控制层的透射百分比。将EQE与多个ITO唯一式器件的透射进行比较,最薄和最佳厚度的吸收看上去等效。但是,对这些模拟的检查示出,随着ITO阴极厚度增加,NIR场分布从ITO阳极内部转移到C1A1Pc活性层,从而使得即使活性层吸收发生显著变化,总透射看上去仍是一样的。这就突出了透明OPV体系结构的一个重要方面;尽管表面上看来简单的光学配置,干扰管理对器件优化仍是决定性的,特别是对多个NIR吸收电池以及对具有低激子扩散长度的多种材料而言。

[0053] 尽管对光电流有重大的影响,平均可见透射率(AVT)示出了具有ITO厚度的少许变化(例如,见图2的(a))。光学模型在具有ITO厚度的AVT中预测一个轻微的减少,该减少未以实验的方法观察到,可能是因为在较厚的ITO增长期间模型参数的不定性或变化的光学常数。不具备NIR反射镜的多个优化的电池示出了最小(最大)50%(74%)的透射值在450nm(540nm)以及一个65%的AVT(7%的标准偏差)。随着NIR反射器在450nm(560nm)结合到最小(最大)47%(68%)的透射值以及一个56%的AVT(5%的标准偏差),这些透射值稍微地减少,其中这种减少是由于反射镜的增加的偏共振的可见反射而产生的。可以在可见光谱中通过设计多个更复杂的热反射镜体系结构去除这些偏共振的反射振荡,以便改善该AVT使其更接近没有NIR反射镜的电池的AVT,但是这通常需要更多个层。热反射镜的体系结构在A.锡伦的用于光学系统的薄膜(A.Thelen, Thin Films for Optical Systems)1782,2(1993)中被描述,特此通过引用被结合。在695-910nm之间的99%的高反射率也使这些器件在体系结构的冷却中对于同时NIR抑制非常有用。此外,在邻近DBR(出耦合的)以及在这些基底(入耦合的)之下使用多个BBAR涂层导致约2%-3%的量子效率以及约4%-6%的AVT的一个伴随性的增加。

[0054] 图3的(c)示出了测定的太阳模拟器光谱(左侧轴线),该太阳模拟器光谱展现了氙灯Xe以及NREL上报的mc-Si外部量子效率(EQE)的特征,以用稳压二极管来测量太阳模拟器强度(右侧轴线)。由于稳压二极管的反应性显著地延伸超过OPV电池的响应,来自太阳模拟

器的额外的NIR光(与AM 1.5G光谱相比)导致太阳失配因数小于1。图3的(d)示出了测定的(左侧轴线,圆圈)和计算的(左侧轴线,实线)分布布拉格反射器的反射率,该分布布拉格反射器在本研究中被用作透明的NIR反射镜。还示出了多个宽频的抗反射(BBAR)涂层的透射光谱(右侧轴线)。

[0055] 为了突出显示全组装的器件的透明性,图4的(a)和图4的(b)在一个“玫瑰”图片前面示出了多个太阳能电池阵列。图片细节和颜色清晰度均受到最低程度地破坏,这样使得该器件阵列图案的细节更加难以辨别。在本示例中,该阵列具有一个共同的阴极25a以及多个阳极22a。该器件还包括一个活性区30,该活性区包括一个或多个供体层、一个或多个受体层、以及多个反射镜。在这个具体的示例中,由10个单独OPV器件组成的一个阵列在基底21a上形成。图4的(c)示出了该阵列接有电线以便给一个LCD时钟供电。图4的(d)和图4的(e)示出了一个太阳能电池组的替代实施例,该太阳能电池组被放置在一个“山”图片前面,以便突出显示全装配的器件的透明性。

[0056] 图4的(f)是一个全电路组件(左侧)的一个图片。通过碳带将OPV器件(阵列)的这些ITO触点进行电气连接。LCD时钟与电路(右侧)连接,该电路限制了电压并且将过电流传递给一个小的LED,这样使得该时钟在OPV照明条件的广阔范围内工作。LCD时钟要求大约1.5V和10 μ A,并且可以由太阳能电池以大于等于0.05sun的强度来运行(注意环境照明小于0.01sun的情况下,该时钟关闭)。

[0057] 仅用阴极厚度优化透明OPV结构时,获得了 $1.0 \pm 0.1\%$ 的功率转换效率,具有 $66 \pm 3\%$ 的同时平均透射。NIR反射器和具有优化的ITO厚度的多个BBAR涂层的结合(见图2的(a))将功率转换效率改进为具有 $56 \pm 2\%$ 的平均透射的 $1.4 \pm 0.1\%$ 。通过NIR反射镜,功率转换效率的增加源于C1A1Pc层中的附加NIR光电流,EQE在该C1A1Pc层中示出了一个接近双倍的从10%到18%的峰C1A1Pc EQE(见图3的(a))。优化的功率效率几乎是已有可见吸收的半透明酞菁铜平面器件的功率的三倍,同时还展示了高于30%的平均透射,但是优化的效率比半透明的体相异质结结构效率略低(0.75x),这些结构从可见光的活性层吸收中获得效率,并且随后具有接近一半的透射。

[0058] 从平面转换到在这些结构中的体相异质结,2%-3%的效率对于设置有接近相同的可见透射的这种材料或许是可能的,并且当前在调查研究中。将具有活性层吸收的多个子电池更深入串接叠加到红外中也可以加强这些效率;结合更尖端的NIR反射镜,可以使效率超过若干百分比且平均可见透射大于70%。

[0059] 在另一个实施例中,SnPc(例如,SnPc-C₆₀)可以被用于构建透明的太阳能电池。基于SnPc,太阳能电池的设计可以实现大于2%的高效太阳能电池,该太阳能电池具有大于70%的可见光透射(在整个可见光谱上约70%的平均透射)。本示例中使用了以下多个层:ITO/SnPc(10nm)/C₆₀(30nm)/BCP(10nm)/ITO(10nm)/DBR。在本示例中,ITO被直接喷溅。分布布拉格反射器(DBR)与折射率匹配液(IMF)一起被应用。图5(a)是一个曲线图,示出了根据波长对SnPc器件的EQE。图5(b)是一个曲线图,示出了根据波长对全TOPV SnPc器件的透射率。在表2中,提供了对各种器件性能的总结:

[0060]

阴极	Jsc	Voc	FF	η (%)
Ag	6.15	0.40	0.55	1.3
ITO	1.54	0.33	0.48	0.2

ITO-DBR	2.25	0.34	0.44	0.3
---------	------	------	------	-----

[0061] 表2

[0062] 该器件可以包括一个NIR反射镜(对可见光是透明的),该反射镜由或者金属/氧化物(例如, $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{TiO}_2$)或者电介质堆叠(DBR,例如,由 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 组成)组成。抗反射涂层可以由单个或多个层的电介质材料组成。如上面所提到,该分子活性层还可以由任何合适的酞菁、卟啉、萘酞菁类染料、碳纳米管、或在可见光谱外具有多个吸收峰的多种分子激发材料组成。

[0063] 图6(a)是一个曲线图,示出了SnPc与ClAlPc参考(不透明)设计之间的比较。在表3中,提供了对各种器件性能的总结:

[0064]

供体	厚度	Jsc	Voc	FF	η (%)
SnPc	100	6.15	0.40	0.50	1.2
ClAlPc	200	4.70	0.77	0.55	2.0

[0065] 表3

[0066] 图6(b)是一个曲线图,示出了电场以及ITO阴极厚度的效果。根据在一个接近ClAlPc活性层(约740nm)的峰吸收的固定波长处的位置,对20nm(黑线)和120nm(红线)的ITO阴极厚度,计算透明OPV的电场 $|E|^2$ 。对于优化的ITO厚度,注意在ClAlPc层内该场的增强,其中吸收与整合在位置上的 $|E|^2$ 成比例。总之,对ITO厚度有一个强的依赖。

[0067] 图6的(c)和图6的(d)示出了根据没有NIR反射镜的阴极和阳极ITO厚度,平均可见透射(AVT,左侧栏)以及透明OPV体系结构的短路电流(右侧栏)的转移矩阵模拟。图6的(e)和图6的(f)示出了根据没有NIR反射镜的阴极和阳极ITO厚度,平均可见透射(AVT,左侧栏)以及透明OPV体系结构的短路电流(右侧栏)的转移矩阵模拟。竖直虚线表明了本研究中所利用的ITO阳极的厚度。活性层结构是阳极/ MoO_3 (20nm)/ClAlPc (15nm)/ C_{60} (30nm)/BCP (7.5nm)/阴极,其中ClAlPc和 C_{60} 的激子扩散长度是按以下方式估算的:使控制电池的光电流和EQE的幅值分别适合于 $8 \pm 4\text{nm}$ 以及 $15 \pm 6\text{nm}$ 。

[0068] 图1的(b)中所示的结构包括用于供体(例如,ClAlPc或SnPc)、以及受体(例如, C_{60})的多个离散的层。应该理解的是该受体和供体可以被结合通常在图7所示的单个或混合的层中。在本实施例中,该器件40可以具有包括供体和受体二者的一个混合层46。该混合层大体上具有所示的一个厚度 $d_{\text{混合}}$ 。该器件40可以任选地包括一个离散的供体层48和/或受体层46。该供体层48(如果存在)具有所示的一个厚度 $d_{\text{供体}}$ 。该受体层46(如果存在)具有所示的一个厚度 $d_{\text{受体}}$ 。应该理解的是为了清晰度对图7进行了简化,并且可以包括未示出的多个附加层。在本示例中,该器件40还包括一个透明阴极42和一个透明阳极50。每个层的厚度可以被选为以上大体所概述的。应该理解的是此类结构还可以包括其他多个层,这些层包括各种实施例中披露的多个抗反射层以及反射镜层。

[0069] 一个优化过程可以大体上按照如下方式进行:

[0070] i) 对 $d_{\text{供体}}$ 、 $d_{\text{受体}}$ (总数)进行优化;

[0071] ii) 对 $d_{\text{供体}}$ 、 $d_{\text{受体}}$ (总数)进行固定;

[0072] iii) 改变 $d_{\text{混合}}$;

[0073] iv) $d_{\text{供体}} - d_{\text{供体}}(\text{总数}) - (d_{\text{混合}}/2)$;

[0074] iv) $d_{\text{受体}} = d_{\text{受体}}(\text{总数}) - (d_{\text{混合}}/2)$; 以及

[0075] vi) 对比率($d_{\text{供体}}:d_{\text{受体}}$)进行优化。

[0076] 对于仅具有一个混合层的器件,优化可以包括混合层厚度的调整(步骤iii)以及 $d_{\text{供体}}:d_{\text{受体}}$ 比率的调整(步骤vi)。

[0077] 图8是一个串联器件60的一个框图。该器件60大体上包括至少一个第一和第二电池66、68。每个电池可以具有以上大体披露的结构。该第一和第二电池66、68中每一个的功能具有多个透明的子电池。每个可以具有一个变化的NIR光谱反应性。该第一和第二电池各自在可见光光谱外的波长处可以具有多个吸收峰。一个复合区72a被布置在该第一和第二电池66、68之间。该复合区可以由各种化合物组成,这些化合物包括,例如,ITO(0.5-10纳米)、或BCP/Ag(0.1-2纳米)/MoO_x。多个附加复合区被布置在随后的子电池对之间,如参考号72b大体所示。应该理解的是为了清晰度对图8进行了简化,并且可以包括未示出的多个附加层。在本示例中,该器件60还包括一个阴极62和一个阳极70。该器件可以任选地包括一个透明的NIR反射镜62。图9的(a)和图9的(b)是曲线图,示出了与多种材料相关联的不同带隙,这些材料可以被用于优化一个器件,例如,美国焦耳聚合(US J. Aggregate)(图9的(a))以及碳纳米管(图9的(b))。

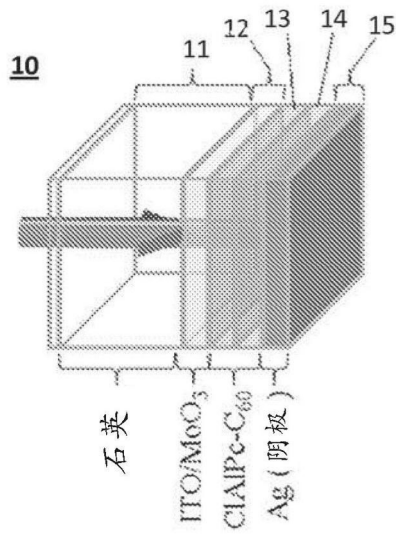
[0078] 应该理解的是多个带隙可以被选择用于堆叠在串联器件中的连续层,以便产生具有所希望效率的器件。在此类器件中,这些器件的总体透明性得以改善,这些器件独立地被制造、并且进行了后整合、或宏观结合。这是可能的,因为此类器件从在连续层之间的每个接口处的密切匹配的折射率中受益。这个堆叠的结构可以是透明的或半透明的。

[0079] 图10的(a)和图10的(b)是曲线图,示出了在此披露的多个实施例中的若干个的实际效率限制。图11是一个图表,示出了太阳光通量和人眼的适光响应。总之,人眼的适光响应在绿色光谱530-500nm中达到峰值,并且在450nm之下和650nm之上逐渐减弱。

[0080] 图12是一个图表,示出了一个电子阅读器80、智能电话82、以及显示屏84,包括配置在其对应的显示屏上的光伏阵列86、88、以及89。应该理解的是各种器件可以结合在此披露的多个光伏器件和/或此类器件的多个阵列。其他应用包括手表玻璃、包括天窗和隐私玻璃的汽车和建筑玻璃。这些光伏器件可以用于有功功率发电,例如,用于完全自供电的应用以及电池充电(或电池寿命延长)。

[0081] 总之,展示了近红外吸收、具有 $1.4 \pm 0.1\%$ 最大功率的透明平面有机太阳能电池以及超过 $55 \pm 2\%$ 的平均可见透射。这个平均可见透射对于结合到建筑玻璃上是足够透明的。有机半导体的激子特征得到有利地利用,以便生产通过无机半导体不易得到的独特的光伏体系结构。通过在NIR中有选择地定位活性层吸收,可以使用一个NIR反射器来优化该体系结构,该反射器是由以800nm为中心的一个DBR反射镜组成的,导致透明太阳能电池效率接近非透明控制电池的效率。最后,这些器件为实现高效率以及高透明性的太阳能电池提供了指导,这些太阳能电池可以被用于窗户中以便发电、降低冷却成本、以及在各种应用中清除能源。

(a) 控制OPV



(b) 透明OPV

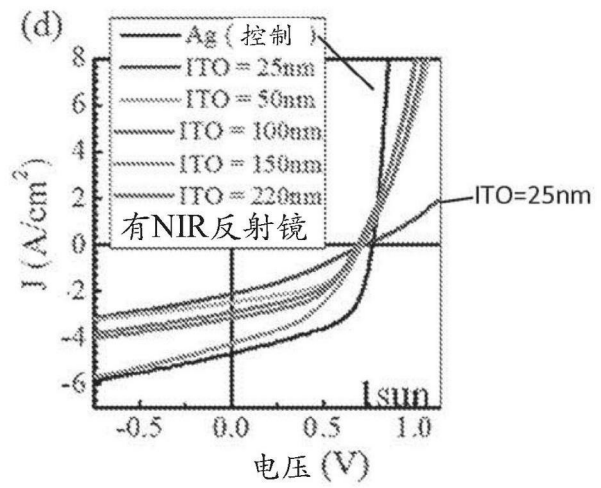
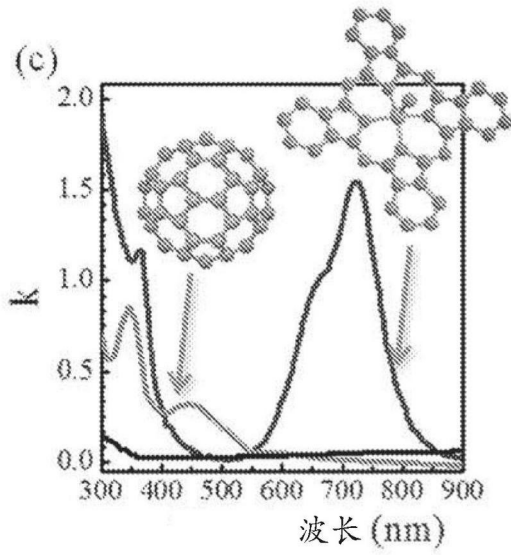
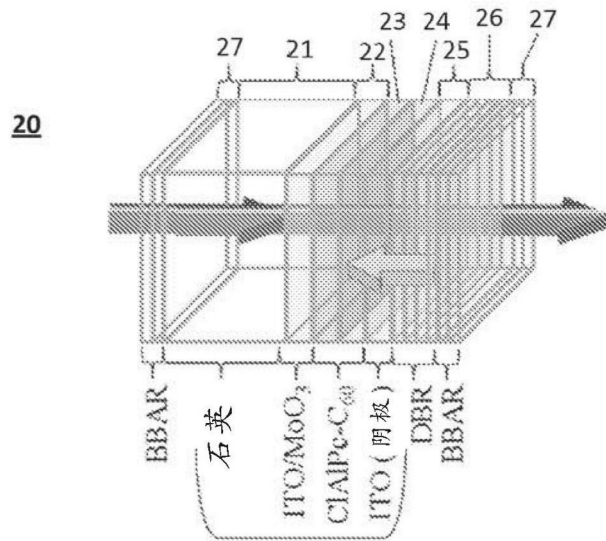


图1

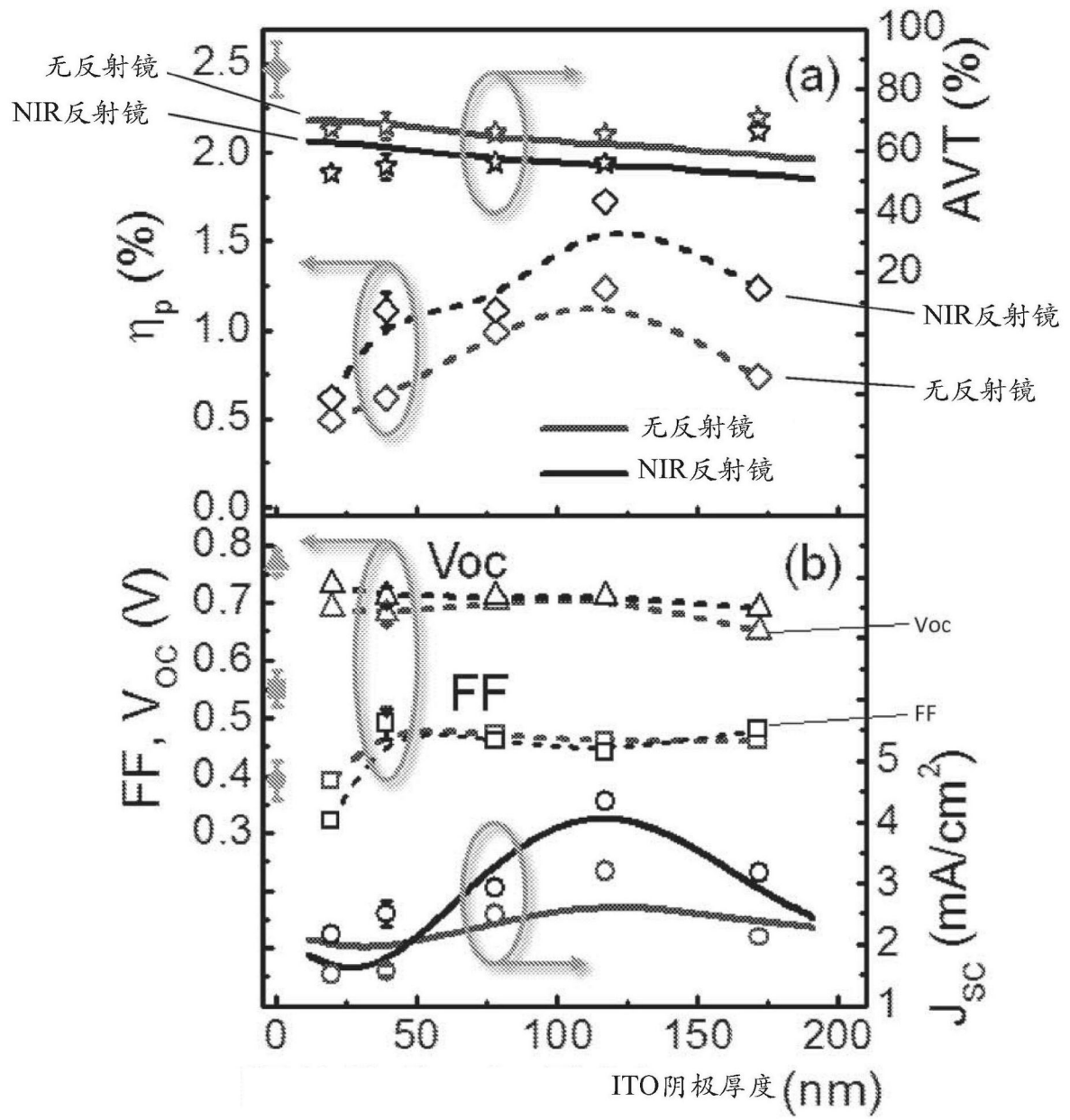
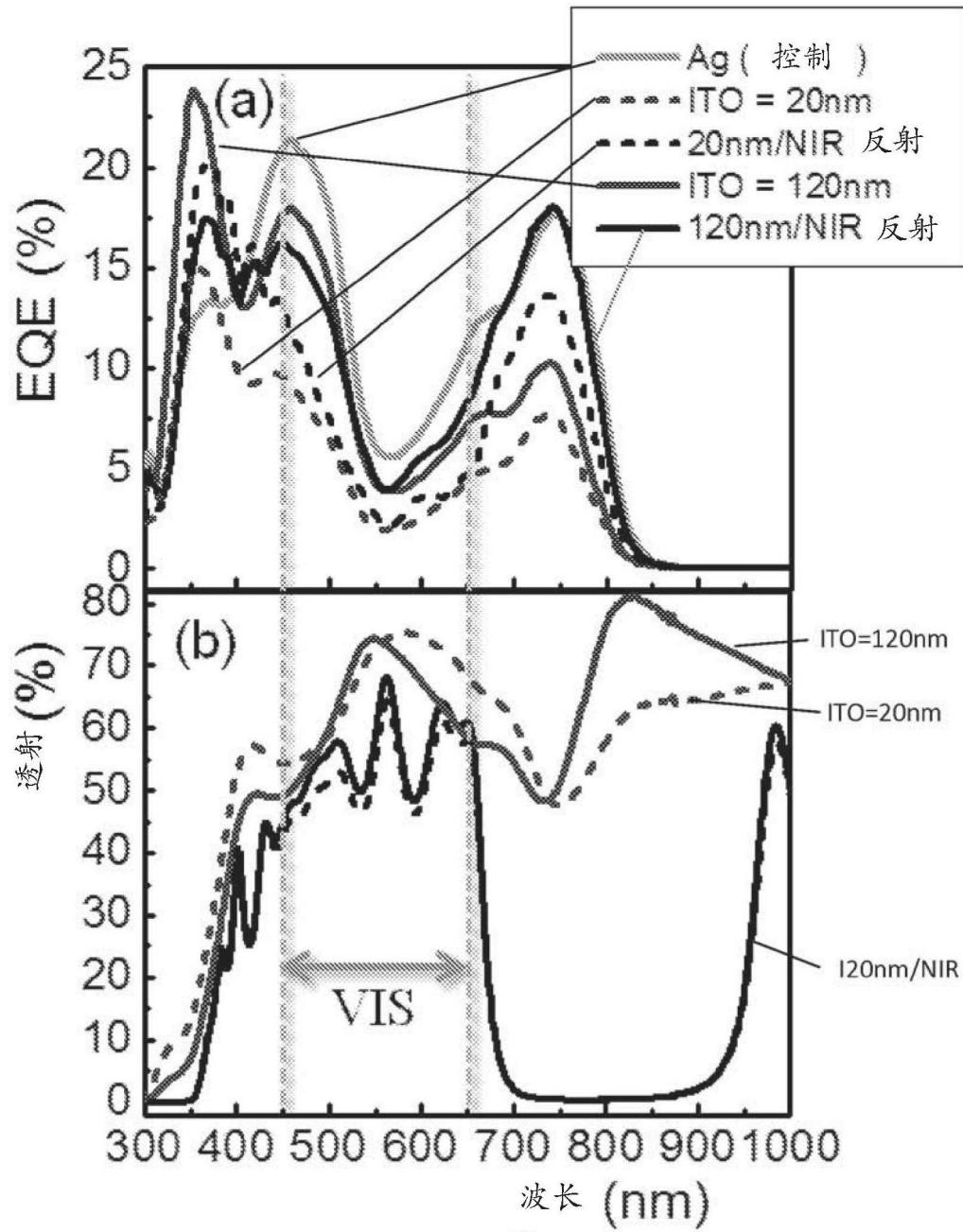


图2



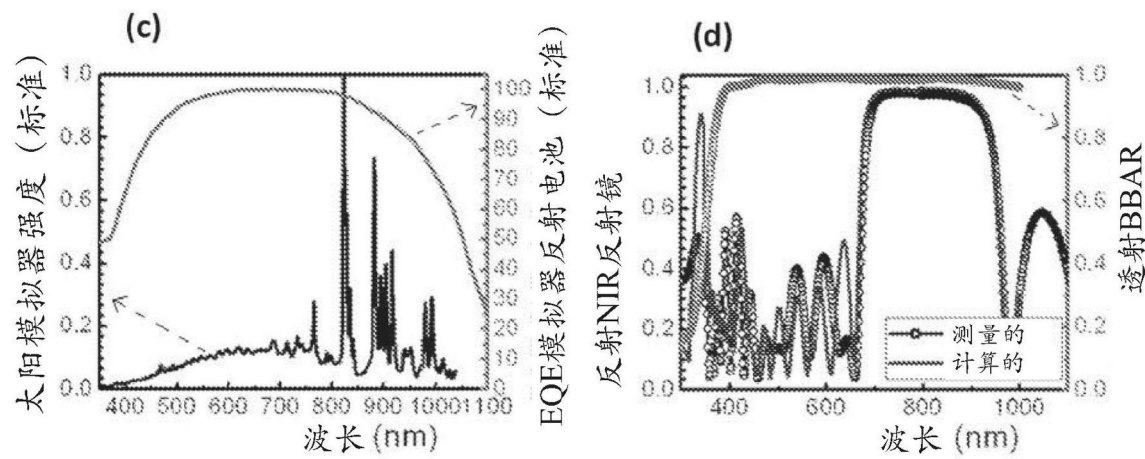
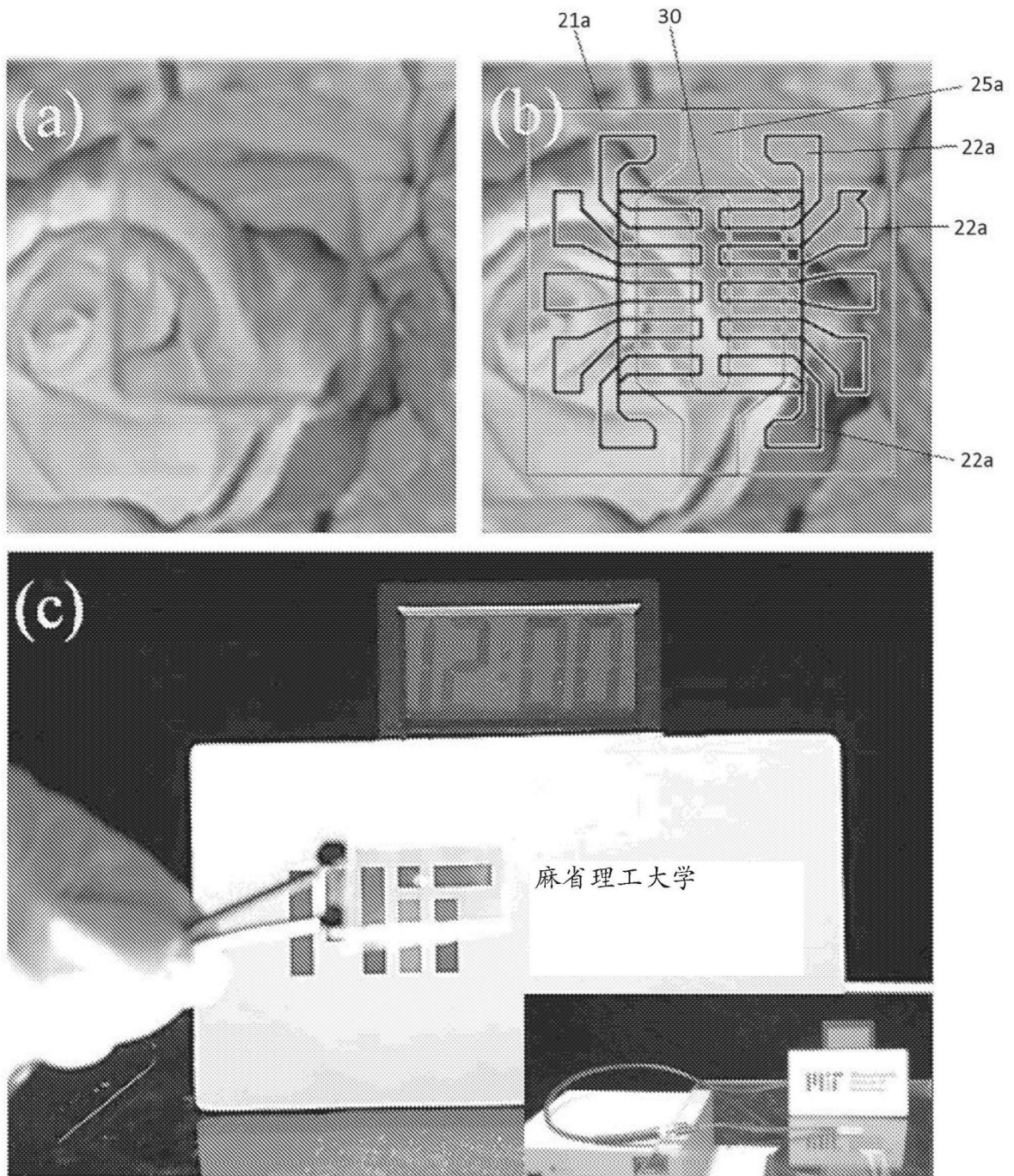


图3



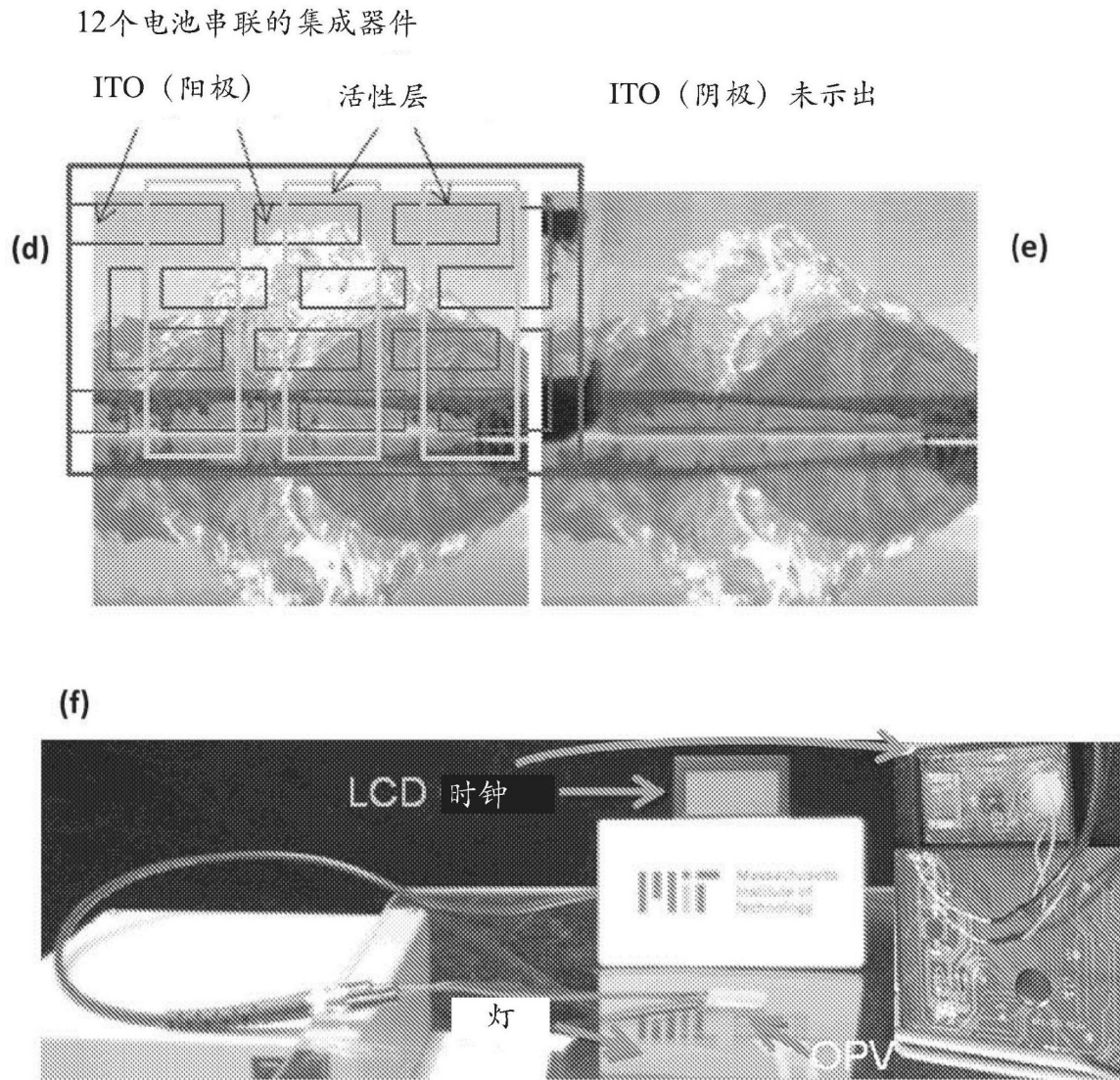


图4

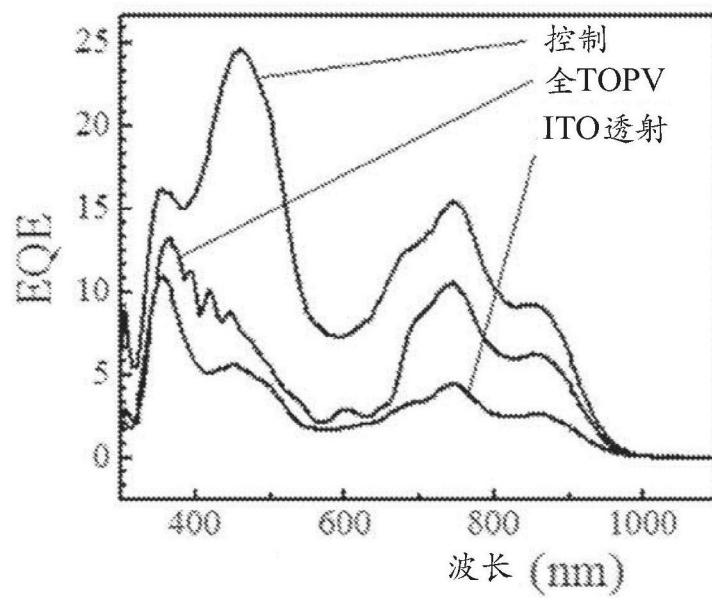


图5(a)

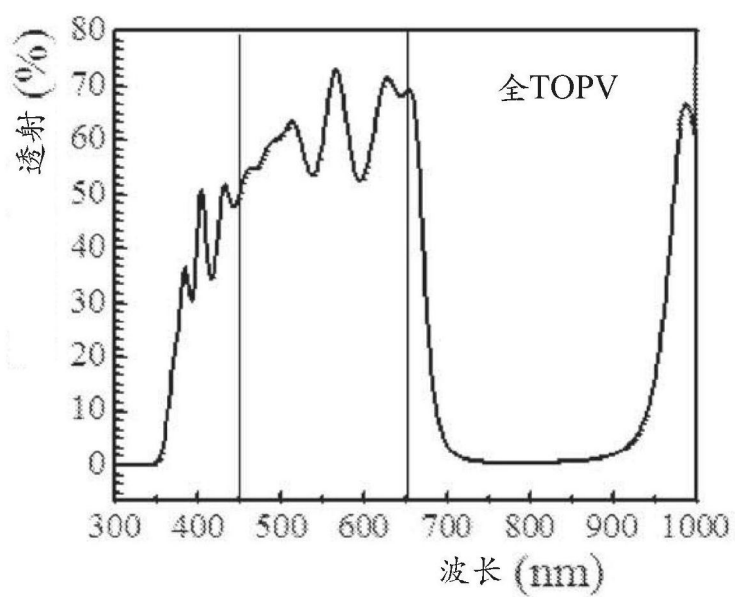


图5(b)

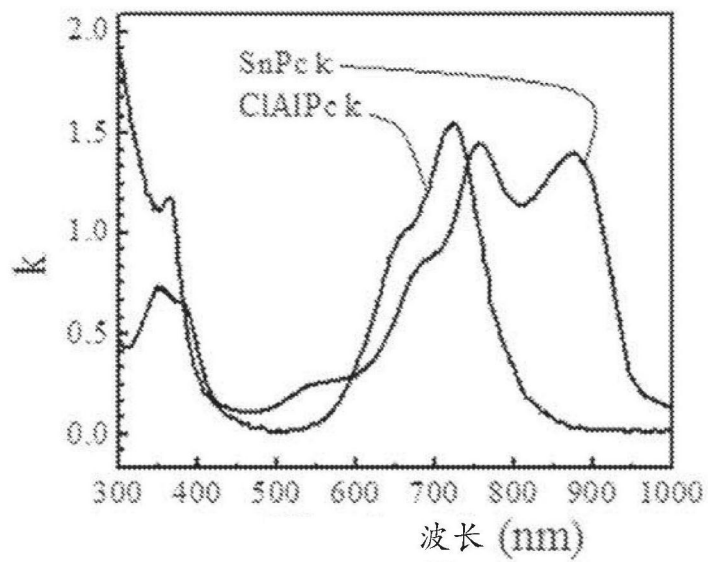


图6(a)

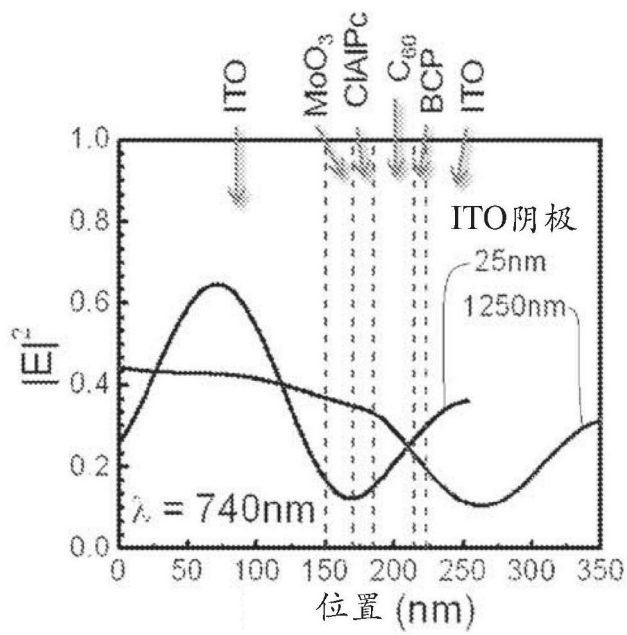


图6(b)

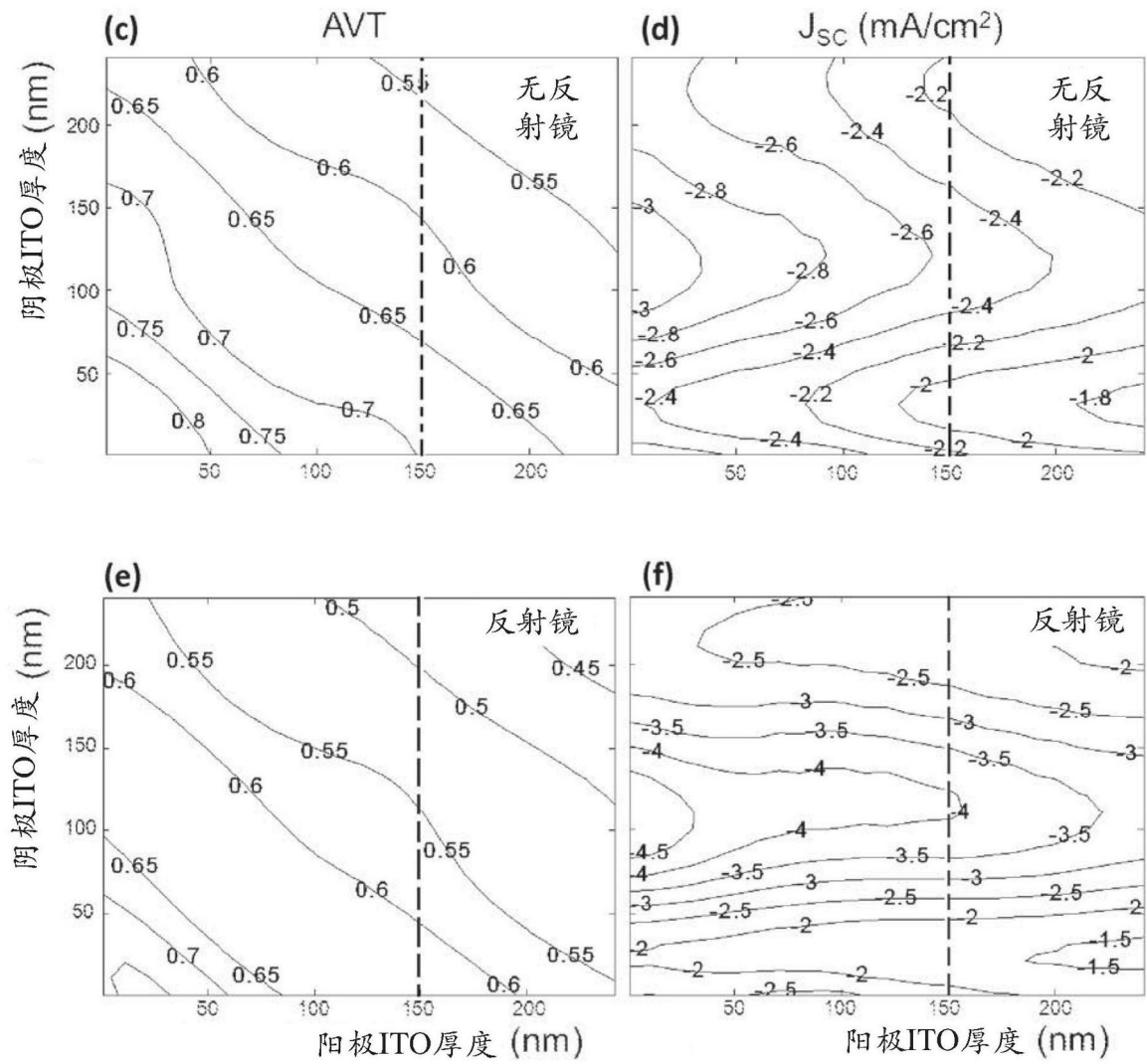


图6

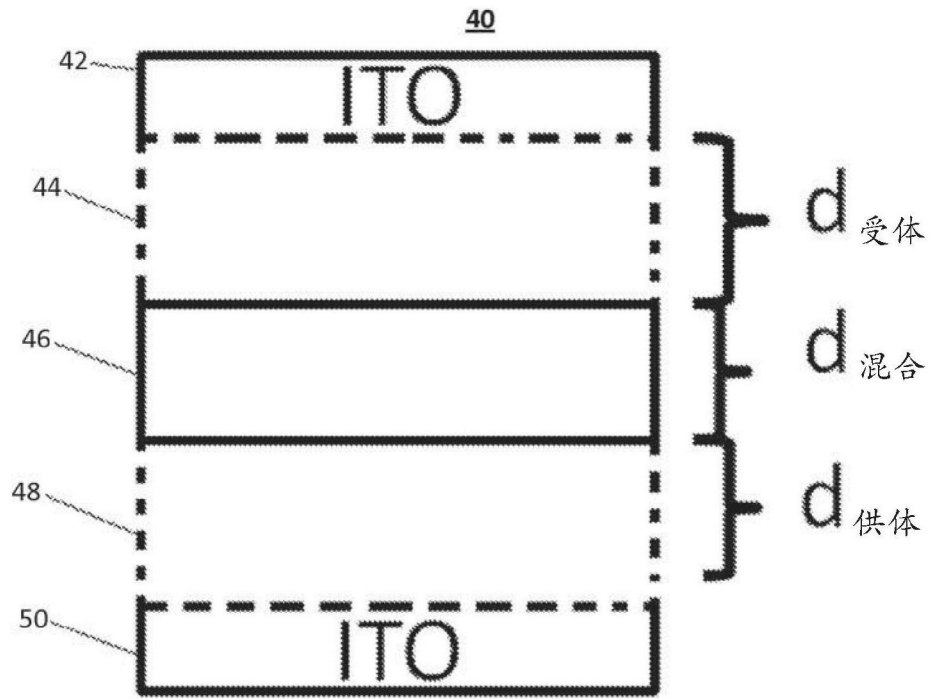


图7

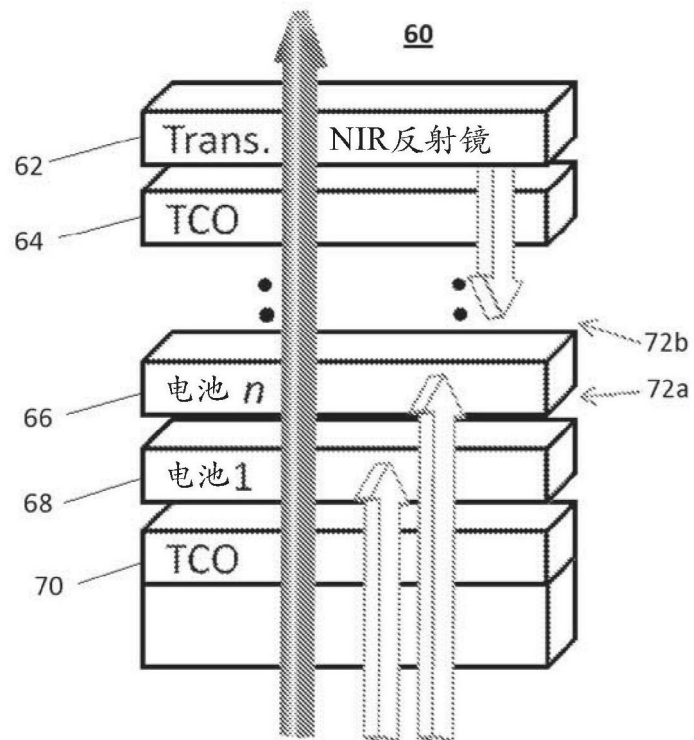


图8

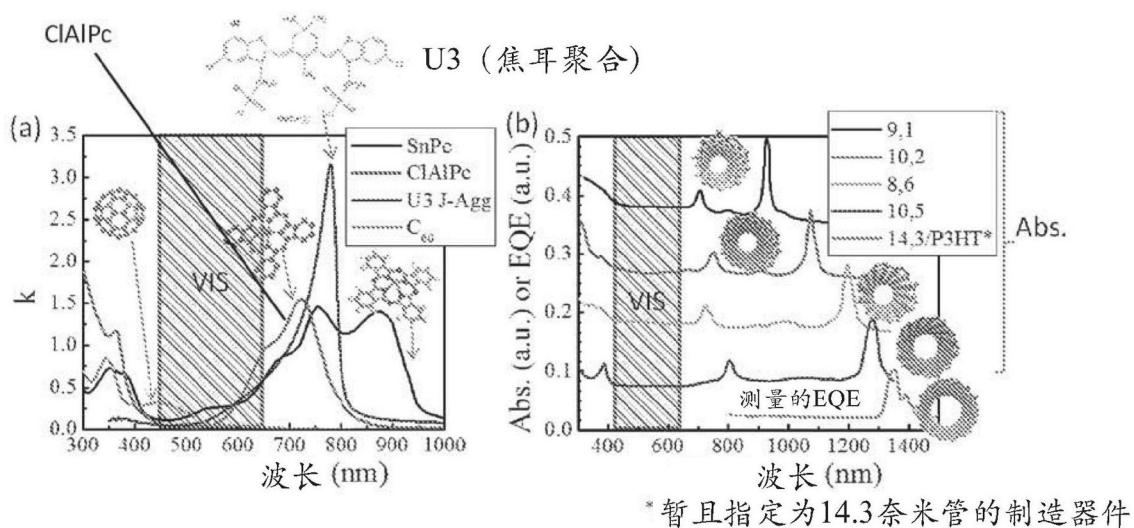


图9

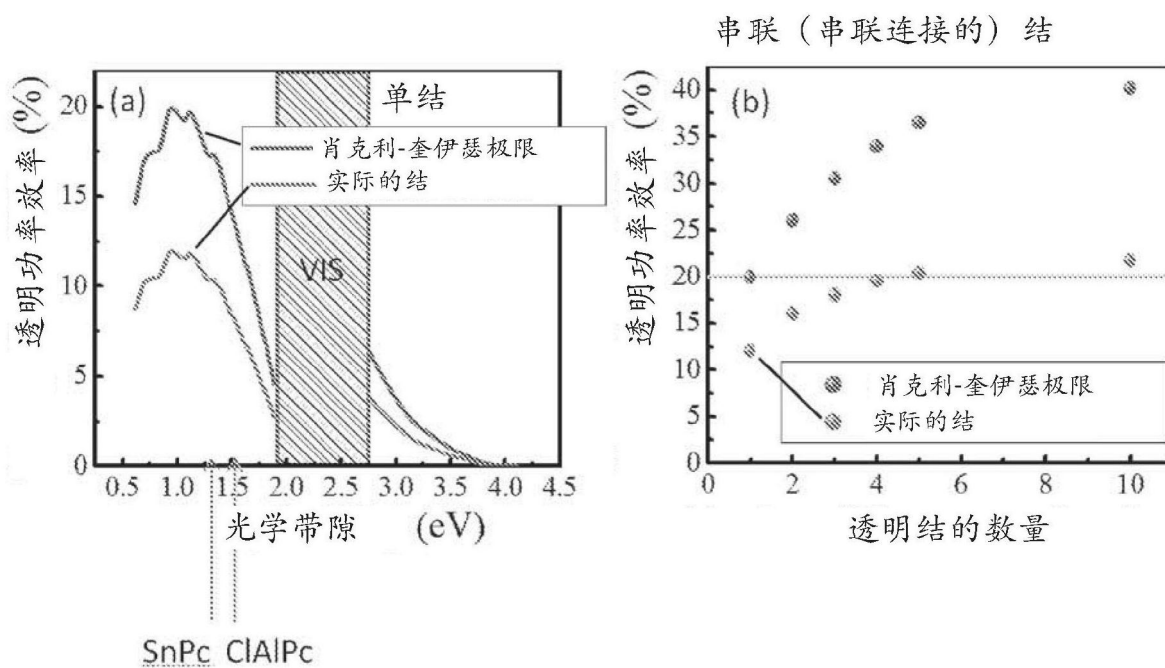


图10

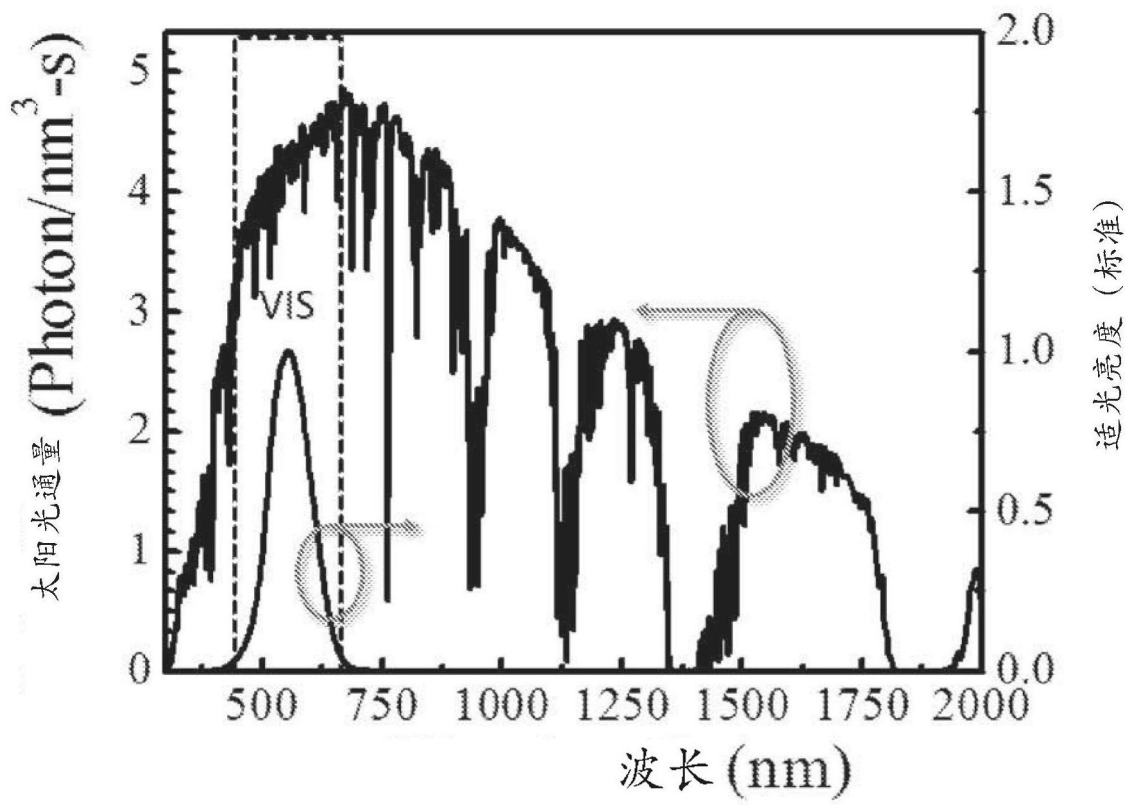


图11

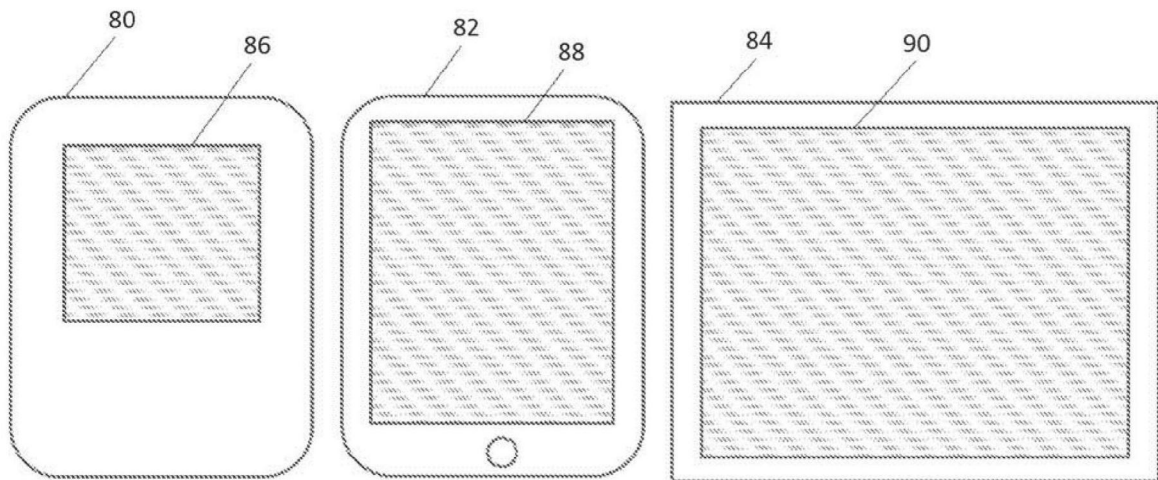


图12