



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105474406 A

(43) 申请公布日 2016. 04. 06

(21) 申请号 201480033927. 3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 04. 14

H01L 31/02(2006. 01)

(30) 优先权数据

H01L 31/0224(2006. 01)

61/811, 736 2013. 04. 13 US

H01L 27/142(2014. 01)

61/895, 326 2013. 10. 24 US

H01L 31/05(2014. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

H01L 31/18(2006. 01)

2015. 12. 14

H02S 40/32(2014. 01)*H01L 31/044*(2014. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/034057 2014. 04. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/169295 EN 2014. 10. 16

(71) 申请人 速力斯公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 M·M·穆斯利赫

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有

限公司 44205

代理人 冯剑明

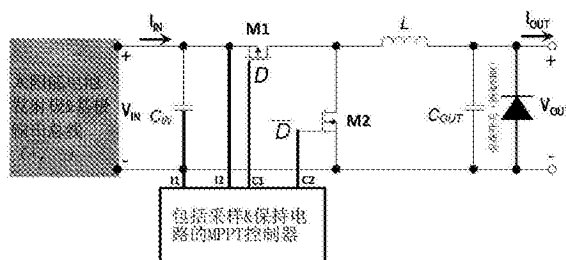
权利要求书5页 说明书48页 附图54页

(54) 发明名称

智能光伏电池和模块

(57) 摘要

提供一种用于发电的太阳能光伏模块层压板。多个太阳能电池被嵌入模块层压板内且被设置为在所述模块层压板内形成至少一个电互连的太阳能电池串。多个功率优化器被嵌入该模块层压板内且电互连至所述多个太阳能电池上以及由所述多个太阳能电池供电。每一个分布式功率优化器能够运行在不具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的直通模式或者具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的开关模式,并且具有用于分布式遮蔽管理的至少一个相关的旁路开关。



1. 一种用于发电的太阳能光伏模块层压板,所述模块层压板包括:

- 嵌入在所述模块层压板内的多个太阳能电池,所述多个太阳能电池电互连以在所述模块层压板内形成至少一个电互连的太阳能电池串,其中所述多个太阳能电池中的每一个为单片划分的太阳能电池(iCell),所述单片划分的太阳能电池包括多个子电池,所述多个子电池电互连以为所述太阳能电池提供,相比非划分的太阳能电池而言的,按比例放大电压和按比例缩小电流的组合的电能;

- 与所述多个太阳能电池相关的多个旁路开关,提供分布式遮蔽管理,用于增强从所述光伏模块层压板的电能采集。

2. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括离散的肖特基势垒整流器(SBR),所述离散的肖特基势垒整流器(SBR)与所述多个太阳能电池电互连,使得对所述多个太阳能电池中任一个的遮蔽导致,通过与所述遮蔽的太阳能电池相关并相连的离散的肖特基势垒整流器的正向偏置,产生对该遮蔽的太阳能电池的旁路。

3. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括离散的pn结二极管,所述离散的pn结二极管与所述多个太阳能电池电互连,使得对所述多个太阳能电池中任一个的遮蔽导致,通过与所述遮蔽的太阳能电池相关并相连的离散的肖特基势垒整流器的正向偏置,产生对该遮蔽的太阳能电池的旁路。

4. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括离散的晶体管开关,所述离散的晶体管开关与所述多个太阳能电池电互连,使得对所述多个太阳能电池中任一个的遮蔽导致,通过与所述遮蔽的太阳能电池相关并相连的离散的晶体管开关的关闭,产生对该遮蔽的太阳能电池的旁路。

5. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括单片集成的旁路开关(MIBS),所述单片集成的旁路开关(MIBS)与所述多个太阳能电池一起制造且电互连,使得对所述多个太阳能电池中任何部分的遮蔽导致,通过与所述太阳能电池的所述遮蔽部分相关并相连的单片集成的旁路开关的关闭,产生对所述太阳能电池的该遮蔽部分的旁路。

6. 根据权利要求5所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括单片集成的旁路开关(MIBS),所述单片集成的旁路开关(MIBS)包括肖特基势垒整流器(SBR)。

7. 根据权利要求5所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括单片集成的旁路开关(MIBS),所述单片集成的旁路开关(MIBS)包括pn结二极管。

8. 根据权利要求5所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括单片集成的旁路开关(MIBS),所述单片集成的旁路开关(MIBS)包括晶体管开关。

9. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括单片集成的旁路开关(MIBS)和离散的旁路开关的组合,所述单片集成的旁路开关(MIBS)与所述多个太阳能电池一起制造且电互连,所述离散的旁路开关与所述多个太阳能电池电互连,使得对所述多个太阳能电池中任何部分的遮蔽导致,通过与所述太阳能电池的所述遮蔽部分相关并相连的单片集成的旁路开关或离散的旁路开关的关闭,产生对所述太阳能电池的该遮蔽部分的旁路。

10. 根据权利要求9所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述旁路开关包括肖特基势垒整流器(SBR)。

11. 根据权利要求9所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述旁路开关包括pn结二极管。

12. 根据权利要求9所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述旁路开关包括晶体管开关。

13. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个太阳能电池中的每一个与所述多个旁路开关中的至少一个相关并相连。

14. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述至少一个电互连的太阳能电池串包括多个电串联连接的太阳能电池, 其中所述太阳能电池中的每一个与所述多个旁路开关的中至少一个相关并相连。

15. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述至少一个电互连的太阳能电池串包括多个电并联和串联组合连接的太阳能电池, 其中所述太阳能电池中的每一个与所述多个旁路开关的中至少一个相关并相连。

16. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述太阳能电池为背接触太阳能电池。

17. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述太阳能电池为附接有背板的背接触太阳能电池。

18. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述模块层压板为单片模块且所述电池为附接有背板的背接触太阳能电池。

19. 根据权利要求9所述的太阳能光伏模块层压板, 其中每个单片划分的太阳能电池具有多个单片集成的旁路开关(MIBS), 所述多个单片集成的旁路开关(MIBS)与所述单片划分的太阳能电池内的所述多个子电池一起制造且电互连。

20. 根据权利要求19所述的太阳能光伏模块层压板, 其中一离散的旁路开关与每一个所述单片划分的太阳能电池相关并相连。

21. 根据权利要求19所述的太阳能光伏模块层压板, 其中一离散的旁路开关与多个电互连的单片划分的太阳能电池相关并相连。

22. 根据权利要求20所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述离散的旁路开关与所述单片集成的旁路开关的组合提供分布式遮蔽管理能力, 连同增加的电能采集以及在所述太阳能光伏模块层压板内减少的功耗。

23. 根据权利要求9所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述单片集成的旁路开关(MIBS)和所述多个离散的旁路开关的组合提供具有改善的整体可靠性、改善的容错性以及改善的从所述太阳能光伏模块层压板的电能采集的分布式遮蔽管理。

24. 一种用于发电的太阳能光伏模块层压板, 所述模块层压板包括:

- 嵌入所述模块层压板内的多个太阳能电池, 所述多个太阳能电池被设置以在所述模块层压板内形成至少一个电互连的太阳能电池串;

- 嵌入在所述模块层压板内的多个功率优化器, 所述多个功率优化器电互连至所述多个太阳能电池并由所述多个太阳能电池供电, 所述分布式功率优化器中的每一个能够运行在不具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的直通模式或具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的开关模式;

- 至少一个旁路开关, 用于与每个功率优化器相关并且配合的分布式遮蔽管理。

25. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个功率优化器包括最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器电路, 用于运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式中。

26. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个功率优化器包括最大功率点跟踪(MPPT)直流转直流转换器电路, 用于运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式中。

27. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个功率优化器包括最大功率点跟踪(MPPT)直流转直流降压式转换器电路, 用于运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式中。

28. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个功率优化器包括最大功率点跟踪(MPPT)直流转直流降压-升压式转换器电路, 用于运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式中。

29. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关为离散的肖特基势垒整流器(SBR)。

30. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关为离散的pn结二极管。

31. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关为离散的晶体管开关。

32. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关包括至少一个单片集成的旁路开关。

33. 根据权利要求32所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述单片集成的旁路开关为肖特基势垒整流器(SBR)。

34. 根据权利要求32所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述单片集成的旁路开关为pn结二极管。

35. 根据权利要求32所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述单片集成的旁路开关为晶体管开关。

36. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个太阳能电池为单片的岛型太阳能电池(iCells), 所述太阳能电池中的每一个包括多个子电池, 所述多个子电池电互连以为所述太阳能电池提供按比例放大电压和按比例缩小电流的组合的电。

37. 根据权利要求36所述的太阳能电池模块层压板, 其中每个所述电池的所述按比例放大的电压在约2V至15V范围内。

38. 根据权利要求36所述的太阳能电池模块层压板, 其中每个所述电池的所述按比例放大的电压在约2.5V至6V范围内。

39. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关与所述每个功率优化器的输出级相关并相连。

40. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板, 其中用于分布式遮蔽管理的所述至少一个旁路开关与所述每个功率优化器的输入级相关并相连。

41. 根据权利要求36所述的太阳能光伏模块层压板, 其中所述多个太阳能电池中的每一个进一步包括多个单片集成的旁路开关, 所述多个单片集成的旁路开关与所述多个太阳

能电池中的每一个一起制造且电互连。

42. 根据权利要求38所述的太阳能光伏模块层压板,所述多个功率优化器中的每一个进一步包括与其输入级相关并相连的用于分布式遮蔽管理的一个旁路开关。

43. 根据权利要求38所述的太阳能光伏模块层压板,所述多个功率优化器中的每一个进一步包括与其输出级相关并相连的用于分布式遮蔽管理的一个旁路开关。

44. 根据权利要求28所述的太阳能光伏模块层压板,其中每个所述最大功率点跟踪(MPPT)直流转直流降压式转换器电路包括在其输出级处用于储能和过滤开关波纹的一电感器和电容器的组合。

45. 根据权利要求28所述的太阳能光伏模块层压板,其中多个所述最大功率点跟踪(MPPT)直流转直流降压式转换器电路以电串联的形式连接以形成功率优化器的串联连接串,并且共用在所述功率优化器串联连接串的输出级处用于储能和过滤切换波纹的一电感器和电容器的组合。

46. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述太阳能电池为背接触太阳能电池。

47. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述太阳能电池为附接有背板的背接触太阳能电池。

48. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述模块层压板为单片模块且所述太阳能电池为附接有背板的背接触太阳能电池。

49. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,进一步包括嵌入在所述模块层压板内的至少一个远程接入模块开关(RAMS)功率电子电路,所述远程接入模块开关(RAMS)功率电子电路与所述至少一个电互连的太阳能电池串电互连且由其供电,充当一远程控制模块电能输送门开关。

50. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述多个功率优化器为单片硅CMOS集成电路。

51. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述多个太阳能电池中的每一个具有一与其附接的专用的功率优化器。

52. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中一功率优化器附接至并联连接的多个太阳能电池。

53. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式包括一比例算法,所述比例算法基于所述太阳能电池的开路电压的测量。

54. 根据权利要求24所述的太阳能光伏模块层压板,其中运行在具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的所述开关模式包括一比例算法,所述比例算法基于所述太阳能电池的短路电流的测量。

55. 根据权利要求1所述的太阳能光伏模块层压板,其中所述多个功率优化器中的每一个包括不具有电感器的直流转直流降压式转化器。

56. 根据权利要求24所述的太阳能电池模块层压板,其中所述开关模式以一固定的开关频率运行,所述固定的开关频率选自约300KHz至10MHz的范围。

57. 一种太阳能光伏系统,包括:

- 用于发电的多个电互连的模块层压板,每个所述模块层压板包括:
- 嵌入所述模块层压板内的多个太阳能电池,所述多个太阳能电池被设置为在所述模块层压板内形成至少一个电互连的太阳能电池串;
- 嵌入在所述模块层压板内的多个功率优化器,所述多个功率优化器电互连至所述多个太阳能电池并由所述多个太阳能电池供电,所述分布式功率优化器中的每一个能够运行在不具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的直通模式或具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的开关模式;
- 一具有最大功率点跟踪(MPPT)的功率转换装置,所述功率转换装置连接至所述多个电互连的模块层压板并接收来自所述多个电互连的模块层压板的功率。

智能光伏电池和模块

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2013年4月13日提交的美国临时申请61/811736和2013年10月24日提交的美国临时专利申请61/895326的权益优先权,该临时申请的全文内容通过引用并入于此。本申请也是2013年11月5日提交的美国专利申请号14/072759的部分继续申请,其要求该美国专利申请所要求的于2012年11月5日提交的美国临时申请号61/722620的权益,该临时申请的全文内容通过引用并入于此。本申请也是2012年11月20日提交的美国专利申请号13/682674的部分继续申请,其要求于2011年11月20日提交的美国临时申请号61/561928的权益,该临时申请的全文内容通过引用并入于此。

技术领域

[0003] 本发明一般涉及太阳能光伏(PV)电池和模块的领域,具体涉及包含功率电子器件的电池上(on-cell)电子器件,该功率电子器件用于光伏(PV)太阳能电池和模块。

背景技术

[0004] 晶体硅光伏(PV)模块当前,截至2012年,约占据超过85%的全球PV年需求市场和累积装机容量。晶体硅PV的制造工艺是基于晶体硅太阳能电池的使用,并始于单晶硅或多晶硅晶片。基于非晶硅的薄膜PV模块(例如,碲化镉,铜铟镓硒和无定形硅PV模块)可以提供低成本制造工艺的可能性,但是相比主流的晶体硅PV模块(对于市售的晶体硅PV模块,其提供14%至20%以上的典型效率范围),通常提供对于市售薄膜PV模块的更低的转换效率(在约达到14%的单位数范围内),并且对比完善的晶体硅太阳能PV模块,其现场可靠性的长期跟踪记录未经证实。在各种光伏技术中,前沿的晶体硅PV模块提供最佳的整体能量转换性能、长期现场可靠性、无毒性和生命周期可持续性。此外,最近的发展和进步已带动晶体硅PV模块的整体制造成本低于0.80美元/Wp。颠覆性的单晶硅技术——例如,基于采用可重复使用晶体硅模板的高效率超薄单晶硅太阳能电池、薄(例如, $\leq 50\mu\text{m}$)外延硅、采用背板层压的薄硅支撑以及多孔硅抬升剥离技术——提供了高效率保证(至少为20%的太阳能电池和/或模块效率)以及在大规模生产条件下使光伏组件制造成本低于0.50美元/Wp。

[0005] 图1A示出了典型的太阳能电池,例如晶体硅太阳能电池或者化合物半导体,如砷化镓太阳能电池的原理图。太阳能电池,可以表示为电流源,产生由光生成的电流,如IL所示,或者也称为短路电流Isc(在太阳能电池端子短路时流动),该太阳能电池与二极管并联,还与分流电阻并联,并且与串联电阻串联。该电流源产生的电流取决于太阳能电池上的阳光照射功率密度水平。在太阳能电池中,不期望的暗电流ID向着IL的相反方向流动,而且是由重组损耗产生。当太阳能电池的末端打开且没有连接到任何负载时,其电压被称为开路电压,如Voc所示。实际可行的太阳能电池等效电路还包括有限的串联电阻Rs和有限的分流电阻RSH,如图1B的电路原理图所示。在理想的太阳能电池中,串联电阻(Rseries)RS为零且分流电阻(Rshunt)RSH为无穷大。然而,在实际可行的太阳能电池中,有限的串联电阻是由于太阳能电池在其半导体和金属化元件中具有寄生串联电阻元件(即是说,其不是理想

的导体)。这些寄生电阻元件包括半导体层电阻和金属化电阻,因此在太阳能电池工作过程中产生欧姆损耗和功耗。例如由于面和边缘分流缺陷以及其它太阳能电池中的非理想因素的影响,从一个末端到另一个末端的非期望电流泄漏引起分流电阻。再次,理想的太阳能电池具有零串联电阻和无穷大电阻值的分流电阻。

[0006] 图2A也示出了太阳能电池等效电路模块、电流源、光生成电流和暗电流的原理图(没有示出寄生的串联和分流电阻);图2B所示为对电池进行或者没有进行阳光照明时,太阳能电池例如是晶体硅太阳能电池的典型电流-电压(IV)特性对应曲线图。 I_L 和 I_D 分别为太阳能电池的期望的活跃光生成电流和非期望的暗电流。

[0007] 在PV模块中使用的太阳能电池基本上是光电二极管——它们通过在半导体吸收体中的由光生成的载流子,直接将到达它们表面的阳光转换成电能。在带有多个太阳能电池的模块中,在PV模块内,任何遮蔽的电池不能产生与非遮蔽电池一样的电功率量。因为在典型PV模块中,所有电池通常以串联串的形式连接,在多个电池之间(遮蔽vs.非遮蔽电池)不同功率还会产生不同的由光生成的电流。如果尝试通过遮蔽的(或者部分遮蔽的)电池来驱动更大电流的串联的非遮蔽电池,遮蔽的电池也串联连接非遮蔽的电池,那么遮蔽的电池(或者部分遮蔽的电池)的电压实际上变成负(即,遮蔽的电池有效地变成反向偏压)。在反向偏压条件下,遮蔽的电池消耗或者显著散失电能而不是产生电能。由遮蔽或者部分遮蔽的电池消耗和散失的电能,将会引起电池发热,在遮蔽的电池所在的位置产生局部热点,最终可能引起电池和模块失效,因此导致现场大部分可靠性失效的问题。

[0008] 标准的(即,PV模块典型地包括60个太阳能电池)晶体硅PV模块,通常在模块中接成三个分别含有20个电池串联的串,每个模块是由外部的旁路二极管(通常是PN结二极管或肖特基二极管)来保护,旁路二极管设置在外部的接触盒中,外部接触盒以互相串联电连接的形式,形成最后的PV模块组件的电互连件以及串联连接模块的输出电引线。只要PV模块相应地接收在其表面上的均匀的太阳能光线,在模块中的电池将会产生几乎相等的功率量(和电流),且具有电池最大功率电压或者 V_{mp} ,而对于多数晶体硅PV模块该电压值约为0.5V至0.6V。因此,对于采用晶体硅电池的PV模块,每个强劲的20个电池进行串联连接,其最大功率电压或者 V_{mp} 约为10V至12V。在均匀的模块照明条件下,每个外部旁路二极管的末端将具有约-10V至-12V的反向偏压电压(当模块运作在最大功率点或者MPP时)并且旁路二极管保持在OFF状态(因此,接触盒中的反向偏压外部旁路二极管不影响模块功率输出)。在含20个电池的串中,如果电池串受到部分或者全遮蔽,会比无遮蔽的电池产生更少的电能(及更少的电流)。因为在电池串中的电池通常是串联连接的,遮蔽的太阳能电池变成反向偏压并且开始散失电能,因此会在反向偏压电池的位置产生局部热点,而不是产生能量。除非采取适当的预防措施,能量散失和引起的遮蔽电池局部发热,可能因为各种失效状态(例如反向偏压的遮蔽电池的失效、电池间互相连接的失效和/或模块层压材料例如密封胶和/或背板的失效)导致电池和模块的可靠性变差,而且在安装的PV系统中还存在火灾隐患。

[0009] 晶体硅模块通常使用外部旁路二极管,为了排除上述的由电池部分或者全遮蔽引起的热点所带来的影响,并且防止发生潜在的模块可靠性失效。遮蔽的电池的反向偏压导致的这种热点现象,可以永久地破坏受到影响的PV电池,如果射到PV模块中的PV电池表面的阳光不充分均匀(例如,由于一个或者多个电池受到全部或者甚至部分的遮蔽),甚至会引起火灾危险。旁路二极管通常设置在PV模块的子串上,典型地,标准的含60个电池的晶体

硅太阳能模块带有三个含20个电池的子串,每个含20个太阳能电池的子串设置有一个外部旁路二极管(该配置还可以是,含72个电池的晶体硅太阳能模块带有三个含24个电池的子串,每个含24个太阳能电池的子串设置有一个外部旁路二极管;对于含有其它数量电池的模块,也可以由其它配置)。这种在串联的电池串上设有外部旁路二极管的连接配置,防止反向偏压热点,并且在各种现实的遮蔽或者部分遮蔽和单独的条件下,使PV模块在寿命期内高可靠地工作。当没有电池遮蔽时,在电池串中,每个电池以相对匹配其它强劲状态中的电池的电流值作为电流源,并带有子串中的外部旁路二极管,其被模块中的子串的总电压偏压(例如在晶体硅PV系统中,20个串联的电池在旁路二极管上产生约10V至12V的反向偏压)。当遮蔽强劲状态的电池时,遮蔽的电池被反向偏压,对于包含遮蔽的电池子串,打开旁路二极管,由此使得来自非遮蔽子串中的良好太阳能电池电流流入到外部旁路电路中。在电池遮蔽的情况中,当外部旁路二极管(典型地,在标准的主流含60个电池的晶体硅PV模块联结盒中包含三个外部旁路二极管)保护PV模块和电池的时候,对于安装的PV系统,它们实际上还能够造成电能采集和能量产出的显著损失。

[0010] 图3A和3B所示为60个电池的晶体硅太阳能模块带有三个串联连接的含20个电池的子串2(每个子串中的20个电池串联连接),并且对模块中任意的电池进行遮蔽或者过度部分遮蔽的期间,以三个外部旁路二极管4来保护电池(图3A示出了单个遮蔽电池,即受到遮蔽的电池6,图3B示出了多个电池的部分遮蔽条件,部分遮蔽的行8)。例如,图3A所示为60个电池的模块在最下面一行有1个遮蔽的电池(一组含20个电池的子串受到遮蔽的影响),图3B所示为60个电池的模块在最下面一行有6个部分遮蔽的电池(三个含20个电池的子串受到遮蔽的影响)。在子串中(如图3A所示),如果一个或更多的电池被遮蔽(或者部分遮蔽成显著的遮蔽角度),对于带有遮蔽的电池的子串,那么旁路二极管通过防止热点来保护遮蔽的电池,还减少了约1/3的有效模块电能输出(如果三个中只有一个子串受到遮蔽的影响)。当三个含20个电池的子串中含有至少一个遮蔽的电池的时候,如果每个子串有至少一个电池被遮蔽(如图3B所示),触发全部三个旁路二极管并且对整个模块分流,因此阻止从模块提取电能。

[0011] 例如,在60个电池的晶体硅太阳能模块中,典型的外部PV模块联结盒可以封装三个外部旁路二极管。外部联结盒和相关的外部旁路二极管占据一部分整体PV模块材料清单(BOM)成本,可能占据约10%的PV模块BOM成本(即是去除太阳能电池成本的PV模块BOM成本百分比)。此外,在安装的PV系统中,外部联结盒还可能是现场可靠性失效和火灾危险的源头。而多数电流晶体硅PV模块显著地使用设置有外部旁路二极管的外部联结盒,有一些带有前触点电池PV模块的例子,前触点电池直接在PV模块组件内放置和层压三个旁路二极管,但是在模块的层压工艺中,与前触点太阳能电池分离(然而,仍然在每个含20个电池的前触点电池子串中使用一个旁路二极管)。该例子仍然对外部旁路二极管进行限制,即是,尽管在遮蔽单个电池的时候,旁路二极管分流复数个电池的整个子串,该复数个电池带有子串中的遮蔽电池,因此减少安装的PV系统的电能采集和能量产出。

[0012] 一个公知方法,用于在一列模块串中将模块上的由遮蔽引起的可靠性失效影响降到最低,该方法是在串联连接的模块上使用旁路二极管来实现,其效果如图4A和4B所示,示例的电路如图5所示。其与每个模块联结盒中的外部旁路二极管模块的效果相同。图4A所示为用于太阳能电池模块列的非遮蔽的电流路径,图4B所示为相同的太阳能电池模块列,带

有一个受到遮蔽的模块和提供替代电流路径的旁路二极管。图5是串联的太阳能电池的电路模型原理图,太阳能电池带有用在模块子串或串中的外部旁路二极管(每个太阳能电池以其等效原理图来表示)。如果没有电池受到遮蔽,旁路二极管保持反向偏压状态,并且太阳能电池串正常工作,完全投入太阳能模块发电。如果有任意的电池受到部分或者全遮蔽,遮蔽的电池被反向偏压并且旁路二极管被正向偏压,因此使遮蔽的电池出现热点或者损坏的可能性降到最低。换句话说,当模块变成遮蔽的时候,其旁路二极管变成正向偏压,引导电流来避免模块列串中的性能下降和可靠性问题。旁路二极管将整个遮蔽的模块(或者带有至少一个遮蔽的电池的子串)的电压维持在细微的负电压(例如-0.5V至0.7V),以限制模块串阵列输出端中的整体电能下降。

[0013] 图6所示为晶体太阳能电池在带有和不带有旁路二极管(此实例为pn结旁路二极管)时的电流-电压(I-V)特性曲线图。旁路二极管将应用在遮蔽的太阳能电池上的最大反向偏压电压限制为不大于旁路二极管的导通正向偏压电压。

[0014] 图7所示为晶体硅PV模块的实例,其类似于图4和图5,在60个电池的模块中在每个含20个电池的子串中带有有一个遮蔽的电池(例如遮蔽的电池10,总共三个电池被遮蔽),其中在三个含20个电池的子串中的三个遮蔽的电池,造成由模块提供的太阳PV电能的散失,这是因为旁路二极管将所有的三个含20个电池的子串分流以保护遮蔽的电池。在每个含20个电池的子串设置一个外部旁路二极管,使用这种配置时,当三个含20个电池的子串出现三个遮蔽的电池,尽管只有3/60的模块(或者60个电池只有3个)受到遮蔽的影响,却造成从PV模块提取的电能降至零的结果。再次,在现场中对于安装的PV系统,这种类型的带有外部旁路二极管的公知PV模块配置对能量产出和电能采集产生显著的害处。

[0015] 在带有多模块串晶体硅PV系统装置中,模块遮蔽影响和它们对电能采集和能量产出的有害影响可以比上面所示的单个模块列串的例子要更大。在具有由串联连接的模块组成的多个并联串的PV系统中,复数个并联串必须产生彼此大约相等的电压(即各个并联串的电压必须匹配)。因此,使全部并联连接的模块串工作在大约相同电压下的电气约束,不会允许遮蔽串触发自身的旁路二极管。所以,在许多情形下,遮蔽一个模块串中的PV模块,实际上可能减少全部串所产生的电能。作为一个典型实例,考虑一个非遮蔽的PV模块串和一个按照前面的实例所述的遮蔽的PV模块串。最大功率点跟踪(MPPT)功能将会使第一个PV模块串能够产生出全部电能,使第二个PV模块串产生出全部电能的70%。在这种方式中,这两个模块串都达到相同的电压(对于串联连接模块的并联连接串,来自并联串的电流是以相同的模块串电压的附加物)。因此,在本例中,使用带有MPPT的集中式直流转交流逆变器,在没有遮蔽模块时,由PV模块阵列产生的电能将会是能够产生的最大电能的85%。

[0016] 图8和9所示为PV系统装置的两个实施例。图8所示为3x6阵列的PV模块(每个模块带有50W的输出)的例子,其连接旁路二极管以产生600V、900W的PV输出。图9所示为3个带有旁路二极管的PV模块和阻塞二极管与蓄电池一起的串联连接,在传统的模块中,串联和并联连接的模块串通常可以采用旁路和阻塞二极管。然而,类似先前所述的例子,由于刚才叙述的问题,这些典型的PV模块装置遭受电能采集限制和安装的PV系统的能量产出下降。

[0017] 旁路二极管单片集成的另一个典型的例子带有前触点、化合物半导体(III-V)、用于集中器PV(或CPV)应用的多结太阳能电池。图10所示为旁路二极管单片集成的例子,带有多连结的化合物半导体CPV电池。该例子展示一种用作单片集成旁路二极管的化合物半导

体肖特基二极管,其在相同的锗(Ge)衬底上作为化合物半导体,还展示了用于CPV应用的多连结太阳能电池。在该例子中,肖特基二极管和化合物半导体、多连结太阳能电池都是设置在太阳能电池的相同侧(顶侧),并且具有不同的材料层堆叠,从而使太阳能电池制作工艺更复杂和高成本(因此,这样的实施例只是说明在CPV应用中,CPV电池非常昂贵)。因此,在一样昂贵的锗衬底上与太阳能电池单片集成肖基特旁路二极管,基本上进一步增加整个工艺过程的复杂度和花费,而且对有效的太阳能电池和太阳能面板效率带来害处,这是因为集成肖特基旁路二极管的侧面与电池的活跃阳光照射侧面相同。在前触点化合物半导体多连结太阳能电池上单片集成旁路肖基特二极管,需要在太阳能电池和旁路开关中的不同的材料层堆叠,因此,基本使整个单片的太阳能电池处理过程复杂化,增加太阳能电池制作工艺的步骤数,并且增加制造成本。然而,在CPV太阳能电池中,对于太阳能电池的制作,这样显著附加的过程复杂性和成本增加是可以接受的,但是在不是非常高浓度的CPV太阳能电池中,例如在晶体硅太阳能电池中,不具有经济可行性。图11所示为旁路二极管单片集成的例子,带有多连结的化合物半导体CPV电池。该例子展示一种用作单片集成旁路二极管的pn结二极管,在相同的锗(Ge)衬底上作为化合物半导体,以及展示多连结太阳能电池。在该例子中,pn结二极管和化合物半导体、多连结太阳能电池都是在太阳能电池的相同侧(顶侧),并且具有不同的材料堆叠,从而使太阳能电池制作工艺更复杂和高成本(因此,这样的实施例只是说明在CPV应用中,CPV电池非常昂贵)。因此,在一样昂贵的锗衬底上与太阳能电池单片集成pn结旁路二极管,进一步增加整个工艺的复杂度和花费,却为有效的太阳能电池和太阳能面板效率带来害处,这是因为集成旁路二极管的侧面与电池的活跃阳光照射侧面相同。再次,在前触点化合物半导体多连结太阳能电池上单片集成旁路pn结二极管,需要在太阳能电池和旁路开关中的不同的材料层堆叠,因此,基本使整个单片的太阳能电池处理过程复杂化,增加太阳能电池制作工艺的步骤数,并且增加制造成本。然而,在CPV太阳能电池中,对于太阳能电池的制作,这样显著附加的过程复杂性和成本增加是可以接受的,但是在不是非常高浓度的CPV太阳能电池中,例如在晶体硅太阳能电池中,不具有经济可行性。

[0018] 通常,对于特殊应用,对于非常高浓度CPV应用,尽管额外的花费以及单片集成太阳能电池而附加的制造工艺复杂性,旁路二极管(肖基特二极管或者pn结二极管)的单片集成是可接受的;描述的方式用于昂贵的化合物半导体多连结太阳能电池,会过分地昂贵并且对于主流的平板(非浓缩的或者低于中等浓度的)太阳能PV电池和模块是不能接受的。而且,如前所述,因为旁路二极管单片集成的方法消耗太阳能电池所的区域,所以减少有效的阳光吸收,减少了阳光吸收区域,因此减少有效的电池效率。

[0019] 对比更传统的模块级DC转AC的微逆变器功率优化器或者模块级DC转DC的转换器功率优化器的功能,各种解决方案已试图提供增加电能采集和能量产出的功能。其中一种技术是通过程序控制以模块内的电池之间的互相连接,从而增加基于电池的PV模块的能量产出,这种技术例如是来自重点能源的自适应太阳能模块(ASM)技术。在一些例证中,对比更传统的MPPT功率优化器,在模块遮蔽的情况下,其可以获得更高水平的PV能量采集。然而,这种技术采用模块级/外部转换器盒(微逆变器或者直流转直流转换器)和相关的互连技术,其可能使每个PV模块花费30美元至100美元。模块级转换器盒提供从直流至直流或者从直流至交流的能量转换,并且可以整合到PV模块组件内,从而在模块内部提供可重构或者程序可控的的电池互连。然而,模块级转换器盒不能与单独的电池集成,例如不能在电池

背部集成,也不能与单独的电池组合。

发明内容

[0020] 因此,有必要开发具有电子器件的背接触太阳能电池,该电子器件增加电能采集和促进能量产出。根据本发明的主题,提供了电能采集系统,其基本上消除或减少与先前开发的太阳能电池和模块电能采集系统相关的缺点。

[0021] 根据本发明的一个方面,提供一种用于发电的太阳能光伏模块层压板。多个太阳能电池被嵌入模块层压板内且被设置以在所述模块层压板内形成至少一个电互连的太阳能电池串。多个功率优化器被嵌入该模块层压板内且电互连至所述多个太阳能电池上以及由所述多个太阳能电池供电。每一个分布式功率优化器能够操作在不具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的直通模式(pass-through mode)或者具有局部最大功率点跟踪(MPPT)的开关模式(switching mode),并且具有用于分布式遮蔽管理的至少一个相关的旁路开关。

[0022] 根据此处提供的描述,本发明主题的这些和其它方面,以及附加的新颖特征,将是显然的。此概要的意图不是要做到所要求主题的全面描述,而是提供一些主题的功能性简述。本领域技术人员通过对以下附图及说明进行审查后,在此提供的其它的系统、方法、特征和优势将或变得清楚。其目的是将这些另外的系统、方法、特征和优势都包括在本说明内,并落入任意权利要求的范围内。

附图说明

[0023] 根据下文的详细描述并结合附图,本发明主题的特征、特性以及优势将会变得更加明显,其中相同的附图标记表示相同的特征,并且其中:

[0024] 图1A和1B所示为太阳能PV电池的等效电路的电路原理图;

[0025] 图2A所示为理想的太阳能电池(没有示出串联或分流电阻)的等效电路模块的原理图,图2B所示为暗和阳光照明条件下的太阳能电池电流-电压(IV)特性的对应曲线图;

[0026] 图3A和3B所示为典型的60个电池的晶体硅太阳能模块,其分别带有一个遮蔽的电池和多个部分遮蔽的电池;

[0027] 图4A所示为用于太阳能电池模块串的非遮蔽的电流路径,图4B所示为相同的太阳能电池模块串,其中图4B中带有遮蔽的模块和提供替代旁路电流路径的旁路二极管;

[0028] 图5为用在模块子串中的外部旁路二极管的原理图,其中太阳能电池以其等效电路图示出;

[0029] 图6为晶体太阳能电池在带有和不带有旁路二极管时的电流-电压(I-V)特性曲线图;

[0030] 图7所示为晶体硅太阳能PV模块的例子,该晶体硅太阳能PV模块在串联连接的太阳能电池的不同的子串上共有三个遮蔽的电池;

[0031] 图8和9所示为PV系统装置的两个实施例;

[0032] 图10和11所示为旁路二极管(肖特基二极管或者PN结二极管)与多连结(multi-junction)化合物半导体CPV电池单片集成的实施例;

[0033] 图12所示为在一制造工艺流程中突出薄硅的背接触/背连结的结晶体硅太阳能电池的关键处理步骤;

[0034] 图13所示为分布式电池遮蔽管理系统的原理图,每个太阳能电池配有一个旁路二极管(太阳能电池以其等效电路图示出);

[0035] 图14为可用作旁路开关(或者用作旁路开关电路的一部分)的金属氧化层半导体场效应晶体管(MOSFET)的IV特性曲线图;

[0036] 图15所示为根据本发明主题而实现的ISIS分布式电池遮蔽管理的原理图(具体为使用MOSFET或者包含MOSFET的电路作为旁路开关的实施例);

[0037] 图16所示为根据本发明主题的ISIS分布式电池遮蔽管理解决方案的原理图(具体为使用双极结型晶体管——BJT或者包含BJT的电路作为旁路开关的实施例);

[0038] 图17为包含背板支撑层的背接触/背结晶体半导体太阳能电池的横截面图;

[0039] 图18为类似图17的背接触/背结晶体半导体太阳能电池的横截面图,带有至少一个电池上电子元件安装和附着到背板层上;

[0040] 图19所示为背板的顶视图和太阳能电池的典型叉指背接触(IBC)金属化图案;

[0041] 图20所示为图19中的太阳能电池的背板的顶视图,该太阳能电池具有直接附着到电池末端或者汇流条的旁路开关,该旁路开关通过向发射极和基极汇流条提供高电导率的旁路开关引线,使热点最少化;

[0042] 图21所示为图19中的太阳能电池的背板的顶视图,带有直流转直流MPPT功率优化器或者直流转交流MPPT功率优化器,它们直接安装和附着到背板侧上的、发射极和基极汇流条上的电池末端;

[0043] 图22所示为太阳能电池IV特性曲线和最大功率点(MPP),该最大功率点对应给定的阳光照明等级下的最大电能采集;以及

[0044] 图23所示为代表太阳能模块的功率-电压特性曲线,以及在不同的太阳能模块照明强度下的峰值最大工作功率点;

[0045] 图24-27所示为表示与太阳能电池最大功率点相关的电流和电压测量曲线;

[0046] 图28所示为代表一低成本且有效的MPPT V_{mp} 对 V_{oc} 跟踪比例算法;

[0047] 图29所示为详细的最大功率点跟踪(MPPT)算法;

[0048] 图30所示为表示一具有12个太阳能电池模块的PV系统,每个太阳能电池模块使用分布式遮蔽管理旁路开关和嵌入式MPPT功率优化器功能;

[0049] 图31所示为表示一具有两对6个串联连接的太阳能电池模块的PV系统,每个太阳能电池模块使用分布式遮蔽管理旁路开关和嵌入式MPPT功率优化器功能;

[0050] 图32A至37A所示为电池级电路原理图,其表示关于MPPT功率优化器、电感器/电容器以及旁路开关的多个实施例;

[0051] 图32B至37B所示分别为图32A至37A中的电池的模块级电路原理图;

[0052] 图38所示为表示在各种遮蔽条件下的60个电池的太阳能模块的实际电能采集曲线,该60个电池的太阳能模块具有3组含20个串联连接的电池;

[0053] 图39所示为表示一太阳能电池的最大峰值功率的实际结果曲线;

[0054] 图40所示为 4×4 均匀岛型(isled)(瓦片型(tiled))主太阳能电池或icell的顶视图或平面图的示意图;

[0055] 图41A和41B是附接有背板的太阳能电池在不同的太阳能电池加工阶段期间的代表性示意性横截面视图;

[0056] 图42是基于外延硅和多孔硅剥离加工的代表性附接有背板的icell制造工艺流程;

[0057] 图43是使用起始的结晶(单晶或多晶)硅晶片的高水平太阳能电池和模块制造工艺流程实施例;

[0058] 图44A所示为岛型主电池的向阳面视图的示意图;

[0059] 图44B和44C是详细显示关于一个岛的背接触/背结岛型太阳能电池的MIBS边缘或完整外周二极管太阳能电池实施例的横截面图;

[0060] 图45所示为一具有以 2×8 混合并联设计连接的 4×4 子电池阵列的顶部视图;

[0061] 图46表示图45的使用一MPPT直流转直流降压式转换器的icell;以及

[0062] 图47显示图44A-具有微型电池或岛和完整外周闭环边缘二极管(pn结二极管或肖特基势垒二极管)-使用MPPT直流转直流降压式转换器的MIBS使能的太阳能电池的电池。

具体实施方式

[0063] 下面的描述并不作为本发明的限制,而是为了对本文公开技术进行一般性描述。本文公开技术的保护范围应由权利要求书确定。附图中所描述的为本文公开的示例性实施例,在多幅图中,同样的数字代表同样或相应的部分。

[0064] 而且,虽然此处公开技术利用特定实施例描述,如使用单晶硅衬底的背接触晶体硅及其它描述的制作材料,但是本领域技术人员可以将本文所述的原理,应用到前接触电池、其它包含半导体材料(如砷化镓、锗等)的材料、技术领域、以及/或者实施例,而不需要通过大量的实验验证。

[0065] 如上所述,当前最先进的太阳能电池保护和热点预防,在出现遮蔽的时候为模块提供可靠的运作,以及在公知的晶体硅(或者其它电池基)PV系统中提供最大电能提取的解决方案,其通常基于使用下列的一个或者组合:旁路二极管,最常见是PV模块中串联连接的每一个太阳能电池子串带有一个外部旁路二极管(典型地,在每个晶体硅PV模块中,有三个外部旁路二极管设置在外模块联结盒内);位于模块级的最大功率点跟踪(MPPT),在每个PV模块中使用外部的一个外部微逆变器(或者替代为直流转直流转换器);以及可编程控制的模块内部电池之间互连的技术,用于增加电池基PV模块的能量产出。

[0066] 尽管多个旁路二极管可以保护遮蔽的电池、防止热点并且防止由热点和反向偏压电池导致的模块失效,它们还引起显著的能量产出减少,这是因为,在出现模块遮蔽或单占(soling)的时候,在实际现场操作中出现模块电能提取损耗。例如,假设一标准的60个电池的模块,单个遮蔽的电池能够引起1/3的模块电能损失(因为旁路二极管会将带有遮蔽电池的整个的含20个电池的子串进行旁路),然而在非遮蔽的正常条件下,单个电池的量只占有1/60的模块电能。类似地,有三个遮蔽的电池,假设在60个电池的PV模块中,每个含20个电池的子串带有一个遮蔽的电池(如图7所示的例子),全部三个旁路二极管被触发,那么从模块提出的电能降至零(或者是100%模块电能损失),然而在正常的非遮蔽的工作条件下,三个遮蔽的电池量只占有模块的3/60(1/20)。

[0067] 对此,本文公开的解决方案是提供智能PV电池和智能PV模块,其包括例如是下列元件或者下列元件的组合,用于增加PV模块电能采集和增加PV装置的能量产出,以及获得其它相关好处。分布式遮蔽管理解决方案使旁路开关安装和集成到每个太阳能电池的背部

(例如电池背板上),层压或嵌入到模块组件中——因此无需外部的带有外部旁路二极管的联结盒,而且还增加模块整体可靠性。分布式功率优化器和提高能量产出解决方案,在每个太阳能电池的背部(例如电池背板上)集成一个直流转直流转换器功率优化器或者一个直流转交流微逆变器功率优化器。电池级功率优化器电子器件(例如单片的单芯片解决方案)可以安装和集成在背接触太阳能电池的背部背板上,并且层压/嵌入到模块组件内。在各种公开的功率优化器实施例中,不管遮蔽条件如何,从每个电池提取的电能都可以达到最大化,从而获得分布式遮蔽管理解决方案。

[0068] 公开的系统和方法使智能PV电池和智能PV模块能够集成低成本分布式电池级(电池状)功率电子器件,减少系统成本(使安装的系统成本小于1美元/W),并且以能量产出的方式改善性能(使平准化电力成本或者LCOE能够小于0.05美元/kWh-0.1美元/kWh)。成本和效率在太阳能电池制造中占据主要角色,如前所述,晶体硅光伏(PV)模块当前占据整个全球PV市场份额的85%以上。当前,起始的硅晶片成本占据约40%的晶体硅PV模块制造成本。

[0069] 图12为一工艺流程,其突出薄晶体硅太阳能电池制造工艺的关键处理步骤,充分地减少硅的使用以及除去传统的制造步骤,从而获得低成本的、高效率的、带有层压的背板,用于智能电池和智能模块的背结/背接触单晶硅电池,并且采用可重复使用的模板以及沉积在多孔硅脱模层上的外延硅。智能电池包括至少一个或者一组电子元件(例如,直接安装和附着在背板上的旁路开关和/或直流转直流或者直流转交流MPPT功率优化器。

[0070] 该工艺始于可重复使用的硅模板(通常由p型单晶硅晶片制成),在其中形成多孔硅的薄牺牲层(例如,经由电化学蚀刻工艺,通过存在电流的HF/IPA湿化学中的表面改性工艺来实现)。接着形成牺牲的多孔硅层同时作为高质量的外延籽晶层和随后的分离/剥离层,形成原位掺杂单晶硅的薄(通常厚度范围从几微米到70微米,最优选为不大于50微米)层(例如,在包括硅气体如三氯硅烷或TCS和氢的环境中,通过使用化学气相沉积或CVD工艺的常压外延来实现),该过程也被称为外延生长。完成大多数的电池工艺步骤后,形成非常低成本的背板层粘合到薄外延(epi)层,用于永久的电池支撑和加固以及支撑太阳能电池的高导电率电池金属化层。典型地,制作背板材料为:薄的(例如大约50至250微米)、柔性的、电绝缘聚合材料板,例如满足工艺集成和可靠性需求的廉价预浸材料(通常用在印刷电路板)。然后将已近处理完成的背接触、背结、背板强化、大面积(例如具有至少125mm×125mm和更大的太阳能电池面积)的太阳能电池进行分离,并沿着机械性弱的牺牲多孔硅层从模板抬升(例如,通过机械释放MR过程来实现),同时该模板可以被重复使用多次,从而进一步减少太阳能电池单元的制造成本。向阳面在模板脱离后被暴露,然后可以在向阳面上实施最终的电池处理(例如,完成前部纹理化和钝化以及抗反射涂层沉积工艺)。

[0071] 背结/背接触电池组合的设计,结合背板嵌入的互连,以及加固的背板,提供了可行的电池结构,其采用完善的电子装配方法,如表面贴装技术(SMT),可靠地在电池级集成非常低成本的功率电子器件。除了作为永久的结构支撑/加固并且为高导电率薄晶体硅太阳能电池提供嵌入的高导电率(铝和/或铜)互连,这些背板技术还允许,在电池背板上集成非常低成本的功率电子元件,如旁路开关和MPPT功率优化器,而没有妨碍电池的向阳面(即没有效率损失,这是因为安装在电池背部背板的电池基电子没有占据活跃的照明区域),同时以验证的背接触模块组件和层压技术来保持兼容性。

[0072] 背板材料可以优选为非常低热膨胀(低CTE)系数的聚合物板材,从而不会在薄硅

层上引起极端的热应力。此外,背板材料必须满足用于后端电池制造过程的工艺集成的需求,尤其是电池前部湿纹理化过程中的耐化学性以及在前部钝化和ARC层的沉积过程中的热稳定性。此外,电绝缘背板材料必须满足模块级层压工艺和长期稳定性的需求。虽然各种合适的聚合物(如塑料、氟树脂、预浸料等)和非聚合物材料(如玻璃、陶瓷等)可以作为考虑而且能够用作背板材料,但是最优的选择取决于很多考虑,包括但不限于:成本、工艺集成的容易性、可靠性、适应性等。选择预浸料作为背板材料是有益的。预浸板料常用作印刷电路板的基础材料。预浸板料是由树脂和减膨胀系数(CTE-reducing)的纤维或颗粒的结合而制成。优选地,背板材料可能是便宜的、低CTE(通常为 $CTE < 10 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$,更优选为 $CTE < 5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$)、薄的(通常为50至250微米,优选为50至100微米)预浸板料,其在化学纹理化中具有相对的耐化学性,以及温度至少高达 180°C 甚至优选地至少高达 280°C 的热稳定性。典型地,使用真空层压机将预浸板料附着到太阳能电池背部,此时仍然处于模板上(在电池升起过程之前)。然后在上面加热和加压,使预浸板料永久地层压或附着在已处理的太阳能电池的背部。然后,通常使用脉冲激光划线工具沿着太阳能电池的外周(模板边缘附近)划定抬升剥离边界,然后采用机械剥离或抬升工艺,将背板层压的太阳能电池从可重复使用的模板分离。随后的工艺步骤可以包括:(i)在太阳能电池向阳面上完成纹理化和钝化工艺,(ii)在太阳能电池背部(也是太阳能电池背板)完成太阳能电池高导金属化。在太阳能电池背板上形成高导金属化(通常包括铝和/或铜,但优选地不包括银,为了减少太阳能电池制造和材料成本),使其同时包含发射极和基极。

[0073] 例如,在此描述的太阳能电池设计和制造工艺,具有通过电隔离的背板层隔开的两层金属化。在背板层压工艺前,实质上,在背接触太阳能电池上的最后一道工序是直接在电池背部形成太阳能电池基极和发射极触点金属化图案,优选地使用丝网印刷的薄层或者离子溅射的(PVD)铝(或铝硅合金)材料层。第一金属化层(M1)限定太阳能电池触点金属化图案,如细间距叉指背接触(IBC)导体指状物,该导体指状物限定IBC电池的基极和发射极区域。M1层用作提取太阳能电池电流和电压,然后将太阳能电池的电能转移到将会形成在第一金属层之后(M1之后)的第二层高导太阳能电池金属化(M2层)。形成层压的背板后,背板支撑的太阳能电池随后从模板脱离,然后完成前部纹理化和钝化工艺,最后的工艺是在背板上形成高导M2层。在背板上钻(优选使用激光钻)多个(通常是100至1000个)通孔。这些通孔设在预先指定的M1的区域,通过形成在这些通孔中的导电插塞,在图案化的M2和M1之间进行后面的电连接。然后,形成图案化的高导金属化层M2(通过离子溅射和电镀中的一种或它们的组合来实现—M2包括铝和/或铜)。对于叉指背接触(IBC)太阳能电池,其带有细间距(例如,在M1上有100个指状物的(IBC指状物,图案化的M2层优选地设计成与M1正交,即M2的指状物基本上与M1的指状物垂直。此外,由于该正交变换,M2层的指状物数量远小于M1层的指状物(例如,M2的指状物大约少10至50倍)。因此,M2层的图案比M1层的图案更粗糙而且带有更宽阔的IBC指状物。在本实施例中,为了去除与电池上的汇流条有关的电气遮蔽的损耗,太阳能电池汇流条设置在M2层上(而不在M1层上)。因为,在太阳能电池背部,基极和发射极都是互相连接并且使得汇流条在M2层上可用,本发明的实施例能够有效地在背板上集成一个或多个功率电子元件,以接入背板上的太阳能电池的基极和发射极两者的末端。

[0074] 类似一种非常低成本的印刷电路板,所公开的太阳能电池背板与背板上的太阳能电池的两极可被有效地用于电气组装并且在电池背部集成电子元件,而没有妨碍太阳能电

池的向阳面并且没有降低太阳能电池的可靠性,因此有助于实现分布式遮蔽管理以增强能量产出、分布式的基于电池的MPPT功率优化、降低的LCOE,以及经由对全部电池和模块的更智能的电力管理来提高PV系统的可靠性。背板不仅能够直接安装、附接和支撑太阳能电池上的薄膜形式的电子元件,它还有效地从敏感太阳能电池减少元件及其附件的任何有害应力的影响。本文描述的实施例能够使智能太阳能电池和智能模块,例如背接触太阳能电池中包括背接触/背结IBC电池,带有永久附着的(例如,层压的)背板。智能电池包括电子元件,例如在每个电池上集成有一个位于电池背板上的旁路开关和/或一个直接附着在背板上的直流转直流或直流转交流MPPT电源优化器。

[0075] 智能电池单元遮蔽影响抑制(ISIS)

[0076] 由于PV系统的串联线路,在系统的光吸收表面上的少量阻碍可能会引起大量输出损失。各种代表性的例子说明电池和模板遮蔽造成功率采集能力丧失。例如,一个公开的研究表明,对0.15%、2.6%和11.1%的PV模块表面区域进行妨碍会分别引起3.7%、16.7%和36.5%的输出功率损失,因此在遮蔽情况下会造成安装的PV系统能量产出显著地减少。如前所述,由于遮蔽使一个受到妨碍的电池的电流下降时,遮蔽的电池会拖低其它所有在串或子串中与其串联的电池的电流(除非在模块的设计中采取纠正措施)。一种新型的ISIS或公开主题的遮蔽管理设计,在每个太阳能电池背板上集成有一块便宜的电子器件(例如,一个非常低成本的功率电子旁路开关,如功率肖特基二极管或MOSFET或其它合适的低正向电压/低反向漏电流/低启动电阻旁路开关),以直接接入和电气连接到两条太阳能电池的汇流条(基极和发射极),能够在任何妨碍或遮蔽的电池周围自动重新改变电路路径,从而减少对列串和PV模块的影响——由此最大化电能采集和整体能量产出。此外,本文所公开的ISIS系统和方法可以通过吸收应力来提高整体电池和模块的可靠性,该应力来自模块内不匹配的电流引起的热量累积。如本文所公开的集成的ISIS,不需要带有外部旁路二极管的联结盒,因此降低了所产生的智能模块的成本/W_p。另外,作为支撑衬底的背板用于电子元件的有效隔离和减弱(decouple)来自敏感的半导体电池层的元件放置和焊接的应力影响,因此最大限度地减少热应力、机械应力以及在电池背板和背部安装ISIS旁路开关而引起的应力的任何有害影响。

[0077] 分布式最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器。

[0078] 最大功率点(MPP)是电流电压连续体上的点,其中,在各种太阳能光照条件下,从日出至日落(或从日出时分“唤醒”太阳能电池,直到日落时分使电池“睡眠”),模块产生最大可能的输出功率。电流和电压值随太阳辐射通量变化和其它全天工作条件(例如环境温度等)而变化,为了在MPP条件下工作(提取最大模块电能),自动MPP跟踪器调整IV曲线上的电压和电流的工作点;而且,MPP跟踪器还优选地调整其输出电流/电压比,以匹配所有串联连接的太阳能电池(和模块)电流值。本发明创造性地提供了非常低成本最大功率点跟踪(MPPT)功率优化电路的真正分布式实施例,这是通过在电池层在每个电池背部经由背板集成智能电子器件来实现。如果利用每个模块中的一个外部微逆变器(或替代地,一个直流转直流转换器)和使用每个外部微逆变器(或替代地,一个直流转直流转换器)的模块级MPPT,那么这种配置例如可能会从第一串产生100%电能,从第二串产生97%的电能。这将实现从PV装置的全部电能中获得98.5%的电能采集,其对比传统的集中式逆变器的MPPT配置有显著的改善。

[0079] 在本文公开扩展和应用到电池级MPPT的功率优化时,在各种照明和电池遮蔽条件下,这种解决方案不仅能够从每个和每一个电池中大幅提高电能采集,从而比传统方法更进一步最大化整体的模块能量产出,还能够封装给定模块内的不匹配的电池(该电池来自不同的制造容器,带有不同的参数,如 V_{mp} 和/或 I_{mp} 值)以及消除系统级的模块不匹配的影响。

[0080] 所公开的系统的各种实施例,经由分布式电池ISIS和/或电池MPPT功率优化器电子器件,通过在电池级集成智能功率电子器件功能,使成本显著下降,包括低于0.20美元/ W_p 的配置功率电子、低于0.50美元/ W_p 的用于维持系统和装置(总BOS)平衡以及 $LCOE < 0.10$ 美元/kWh(实际上获得 $LCOE$ 功能费用小于0.05美元/kWh)。如前所述并对比公开的系统和方法,常规功率电子器件仅存在于模块级(附着到PV模块的外部直流转直流转换器盒或直流转交流微逆变盒),或者存在于安装的PV系统级(更传统的集中式逆变器MPPT)。根据本发明主题的实施例,通过新颖和独特的分布式电池级MPPT功率优化器和背结电池实现的最大功率提取优化,获得比当前的PV解决方案更多显著得益和好处,该背结电池包括背接触/背结IBC电池及背板技术(背板设有两条太阳能电池电引线或两条汇流条,并提供用于太阳能电池向阳面相对面的电子元件放置支持)。本发明主题仅以少量增加成本的方式实现这些显著的得益,从而大大降低 $LCOE$,这是因为减轻了现有制造工艺中的工艺集成(在电池背部,功率电子元件,如旁路开关和MPPT功率优化器元件可直接安装在底板上而无需昂贵的制造步骤),同时显著增加的能量产出(包括消除电池和模块的不匹配)。而目前的模块级的直流转直流转换器盒往往要求达到25%的能量产出增加率,这些解决方案通常导致成本高于0.20美元/ W_p ;相比之下,本文公开的新颖实施例(即独特的分布式电池ISIS和电池MPPT功率优化解决方案)显著地增加整体的PV模块和安装的PV系统的功率输出和系统能量产出,同时降低执行成本使其低于0.20美元/ W_p 。

[0081] 此外,本文公开的分布式电池功率优化解决方案提供有:

[0082] -改善逆变器的可靠性-管理电压和电流达到可预测的水平,消除集中式逆变器上的压力(即,没有过压),并提高了整体转换效率。此外,真正的分布式电池MPPT功率优化的解决方案的结果使得集中式逆变器的设计得到简化并降低其成本。

[0083] -抗孤岛效应——完全嵌入智能功率电路可以在模块中、多个模块中、多个模块之间和PV装置外部位置实现分布式跟踪和通信,允许紧急情况下自动关闭,实现更容易、更安全的安装和维护。

[0084] -能够忽略遮蔽并且能够设计柔性的串长度及板,将意味着更少昂贵的系统设计分析和整体装置成本更便宜。

[0085] -电池/组件的监控,引导改善的维修、清洗、性能预报和预防性维护措施。

[0086] 采用太阳能电池整合旁路开关的智能电池遮蔽影响抑制(ISIS)解决方案:以下描述各种ISIS实施例。对于选择旁路电子开关用于公开的分布式电池遮蔽管理(ISIS)系统,并且在分布式开关中没有显著的功率散失损耗,涉及该选择的考虑和规范,包括但不限于:

[0087] -电池旁路开关的导通状态压降在某些情况中远比一个正向偏置的二极管的压降要小。例如,假如 $V_{mp} = 575mV$ 和 $I_{mp} = 9.00A$ (大概相当于 $V_{oc} = 660mV$ 和 $I_{sc} = 9.75A$),50mV的导通状态电压引起0.45W的导通状态功耗(power dissipation),其比二极管的导通状态功耗要少10%(该计算不包括与开关的 R_{series} 相关的任何损失)。

[0088] -电池旁路开关以非常小的导通状态串联电阻来最少化导通状态开关功耗:优选地,导通状态开关 R_{series} 小于或等于 $10\text{m}\Omega$ (例如 $R_{series}=5\text{m}\Omega$,开关的欧姆功耗 $=0.405\text{W}$)。

[0089] -双极结型晶体管(BJT)或MOSFET或任何合适的开关电路,包括这样的元件,以提供相对低的压降和小的 R_{series} 。

[0090] 例如,具有以下功能的旁路开关可以用作电子元件:

[0091] -当旁路开关处于启动(ON)状态(正向偏压)时,功耗低。例如,功耗可以不大于一部分平均电池生产功率。例如,对于 5Wp 的电池,当全部电池串电流流通遮蔽的电池的旁路开关的时候,选择一旁路开关以限制功耗至不超过 1W 。

[0092] -当旁路开关处于关闭(反向偏压)的时候,有低反向漏电流。

[0093] -薄的元件封装(例如 $<2\text{mm}$ 或者甚至 $<1\text{mm}$)。

[0094] 能够承受电池串的满载电流。图13以原理图示出了分布式电池遮蔽管理系统,其在此参考为智能电池遮蔽影响抑制或ISIS,在每个太阳能电池(以其等效电路图示出)中采用一个低 V_f (低正向偏压电压)旁路二极管(还可以是一个低 V_f 旁路开关,如低 V_f 肖特基二极管),该太阳能电池附着到每个电池背部背板和层压在模块中。对比每个多电池的子串带有一个旁路二极管的公知配置(通常在公知的配置中,每个含20个电池的子串带有一个旁路二极管),这个分布式旁路开关配置,无需外部连结盒旁路二极管,并且提高整体能量产出、提高PV装置中的模块性能。因为每个电池使用一个旁路开关(如整流二极管,如在本实施例的肖特基二极管),因此可以将串联的模块内部的所有电池连接成单串(例如,对于含有60个电池的模块串联连接成一个60个电池的串)。因此,使用根据本发明主题的ISIS结构,而无需在模块内设有多个子串。

[0095] 图14所示为具有合适特性的功率金属氧化层半导体场效应晶体管(MOSFET)可被使用为(独立件或者用作开关电路的一部分)具有用于分布式旁路开关的高效旁路开关,该分布式旁路开关附着到电池背板用于集成的遮蔽管理解决方案(ISIS)。例如,采用增强型MOSFET作为开关,当 $V_{GS}>0$ 时MOSFET打开,当 $V_{GS}=0$ 时MOSFET关闭:

[0096] -当 V_{GS} 为零时,MOSFET处于关闭状态,且其输出电压(V_{DS})等于 V_{DD} 。

[0097] -当 $V_{GS}>0$ 或者等于 V_{DD} ,MOSFET的基点(Q)沿负载线移至点A。由于通道电阻下降,漏极电流 I_D 上升到其最大值。 I_D 变成不依赖于 V_{DD} 而是只依赖于 V_{GS} 的常值。因此,晶体管类似闭合的(ON)开关,并且由于晶体硅的 $R_{DS(on)}$ 值,通道ON电阻不会完全减少到零,而是变得非常小。

[0098] -当 V_{GS} 为低电压(LOW)或者为零时,MOSFET的基点从A移动到B。通道电阻变到非常大,因此MOSFET变成关闭状态(OFF)。如果 V_{GS} 在这两个值之间切换,MOSFET相当于单刀单投开关。

[0099] -适当的功率MOSFET的 R_{series} 电阻值通常小于 0.01Ω (或者小于 $10\text{m}\Omega$)。

[0100] 功率MOSFET开关通常具有浪涌电流保护,而对于大电流的应用,可以使用双极结型晶体管。

[0101] 图15所示为根据本发明主题的ISIS分布式电池遮蔽管理执行的原理图,在每个太阳能电池中使用一个非常低 V_f 功率的基于MOSFET的旁路开关(开关包括MOSFET或者单片电路包括MOSFET),该旁路开关附着到每个电池背部和层压到模块内。再次,对比每个多电池的子串带有一个旁路二极管的配置(通常在公知的配置中,每个含20个电池的子串带有一

个旁路二极管),这个分布式旁路开关配置,无需外部连结盒旁路二极管,并且将会提高模块的能量产出。在该系统中,如果没有电池受到遮蔽,旁路二极管保持反向偏压状态,并且太阳能电池串正常工作且完全投入太阳能模块发电。如果有任意的电池受到部分或者全遮蔽,那么遮蔽的电池被反向偏压并且旁路开关被开启,消除太阳能电池出现热点或者损坏的可能性。

[0102] 图16所示为根据本发明主题的ISIS分布式电池遮蔽管理解决方案的原理图,在每个太阳能电池中使用一个非常低 V_f 功率的基于双极结型晶体管(BJT)的旁路开关(开关包括BJT或者单片电路包括BJT),该旁路开关附着到每个电池背部和层压到模块内。双极型晶体管的基极和集电极连接在一起。再次,对比每个多电池的子串带有一个旁路二极管的配置(通常在公知的配置中,每个含20个电池的子串带有一个旁路二极管),这个分布式旁路开关配置,无需外部连结盒旁路二极管,并且将会提高模块的能量产出。在该系统中,如果没有电池受到遮蔽,旁路晶体管开关保持OFF状态,并且太阳能电池串正常工作且完全投入太阳能电池的发电。如果有任意的电池受到部分或者全遮蔽,那么遮蔽的电池被反向偏压并且旁路开关被开启(ON),消除遮蔽的电池出现热点或者损坏的可能性。

[0103] 虽然本发明主题的实施例可以应用到任何类型的PV电池和模块,ISIS特别地有利于与背接触型太阳能电池(无论是前结型或者背结型)一起使用,并在电池背部采用背板安装。通过电池背部的电绝缘背板层,能使电子元件安装在电池背部,而不会出现影响活跃的电池区域的机械或热应力的问题。因为活跃的电池和电子元件是设置在背板的相对两侧,并由于这样的电子元件放置,使得活跃的电池照明区域引起的效率损害降到最少或者没有出现。

[0104] 图17是背接触/背结晶体半导体太阳能电池的典型横截面图,该太阳能电池例如是薄的单晶硅太阳能电池(例如具有 $\leq 50\mu\text{m}$ 的单晶硅吸收层),其层压或附着有电隔离背板层,在电池的向阳面的相反侧(对应背部)带有高电导的电池互连(例如,包括铝和/或铜金属化)。在图17中所示的背接触/背结晶体半导体太阳能电池,包括薄的或者超薄的晶体硅半导体衬底22,衬底22可以是大面积的电池,例如尺寸为 $125\text{mm} \times 125\text{mm}$ 或者 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ (或者其它从 150cm^2 到 1000cm^2 任意大尺寸)的衬底。电池向阳面是电池接收光线的表面,可以包括前部纹理,以及钝化和抗反射涂层22。在安装背板之前,例如以叉指背接触铝金属化指状物图案的方式(例如含有数百个细间距金属化而没有任何电池上汇流条的指状物)将相对细间距的电池上金属化(M1金属化层)指状物24设置在电池背部。例如,背板26可以是电池背部的永久层压背板,其厚度处在 0.05mm 至 0.50mm (例如 0.05mm 至 0.25mm)的范围内,使得在电池背部的电子元件安装没有在活跃的电池上产生应力问题。背板26可以包括导电插塞(例如铝和/或铜插塞,嵌在背板内或者设置在背板上,用于将电池背部背板上的高导电池互连件28电连接到电池上叉指背接触金属化(M1金属化)指状物24。图20突出一个高导电池互连件28(M2金属化层)的实施例,例如以正交变换双汇流条IBC金属化图案的形式,例如,带有厚度范围在几个微米至 $100\mu\text{m}$ 之间的铝和/或铜指状物,以及从四对到几十对的基极/发射极金属化指状物。

[0105] 图18是类似于图17所示的电池的背接触/背结晶体半导体太阳能电池的横截面图,带有电池上电子元件(以单晶元件配置示出),包括电绝缘层30、电池上电子元件34以及设置在电池背部的电传导引线32。如图所示,电子元件34安装在背板上(或者背板内),并且

电引线32连接到电池互连件。设置在电池背板上的电池级电子元件可以是旁路开关并且可选地为MPPT直流转直流(或MPPT直流转交流)功率优化器。如图18中的电池所示,功率电子零件设置在电池的背部,并且通过背板进行吸震/与活跃的电池吸收器隔离。可选的提供电绝缘的电绝缘层30可以是喷涂或丝网印刷层或者是贴附板。如果没有电绝缘层30,电引线32可以用绝缘套包覆,从而只在预定的位置使引线电连接(通过焊接或者用可导电环氧树脂)。为了提供电子元件34的集成遮蔽管理和/或MPPT功率优化(例如直流转直流或直流转交流功率优化器)元件和太阳能电池引线之间所需的电互连,电导引线32(例如一个旁路开关有两条引线)可以电附着到电池引流条(和/或IBC指状物)。电池上的电子元件34可以包括旁路开关和/或直流转直流MPPT或者直流转交流MPPT功率优化器。还可以采用其它可能的状态监测和汇报电子元件。在太阳能电池上,附着到电池的MPPT功率优化器可以通过远程编程来关闭和开启,重新安排电流和/或电压输出,并且提供太阳能电池状态(包括但不限于电池功率、温度等)。

[0106] 图19所示为背板和太阳能电池(如图17和18所示)的IBC金属化(M2金属化)图案的顶视图,换句话说,图19所示为太阳能电池的背板侧(与向阳面相对)。如此图所示,背板侧包括高导电池金属化互连件(M2金属化层),图示的发射极汇流条42和对应的发射极金属化指状物44和基极汇流条46和对应的基极金属化指状物48,设置在背板表面40(背板表面40在图17和18中所示为背板26)。在图19的背接触/背结IBC结构中,在背板的两侧上,互连图案为带有两个汇流条(发射极和基极汇流条)叉指图案。如前所述,因为从电池上到背板上互相连接的金属化图案正交变换(orthogonal transformation),在背板上的叉指高电导率指状物的数量可以比电池上的金属化指状物(如图17和18中的电池上金属化指状物所示)的数量要少(例如,背板上的指状物数量比电池上IBC指状物的数量少大约10至50倍),并且在背板上的指状物基本上与电池上的指状物垂直。在背板上,指状物可以附着到背板上或者可以嵌入到背板内,并且汇流条可以设置在背板上。功率电子元件可以安装和附着到这个背板表面(如果需要,可以带有电绝缘)同时将电引线连接到背板表面上的基极和发射极汇流条(例如通过焊接、导电环氧凸块或者其它合适的连接技术)。

[0107] 图20所示为图19中太阳能电池背板的顶(背板侧与向阳面相对)视图,在背板侧(电池背部)上,带有的合适的薄型旁路开关直接附着到太阳能电池基极和发射极末端。通过电引线52使电池上旁路开关50连接到高导电池金属化(M2)互连件,电引线52通过焊接点56连接到基极汇流条42和发射极汇流条46。如图所示,例如,在背板的两侧,M2互连图案可以是带有两个汇流条的叉指图案,旁路开关可以具有非常薄平面的封装(例如,封装厚度优选为小于1mm)和高电导率末端(例如以平带条的形式)。每个旁路开关的末端可以是电焊接或通过导电环氧树脂以附着到每个汇流条上的一个或多个点(图示的多个点),从而当旁路开关受到遮蔽而触发和开启的时候,能够使通过电池的欧姆损耗降到最小。在背板上,旁路开关的电引线可以合适地从叉指的指状物实现电绝缘。

[0108] 例如,用于直接安装在电池背板上的旁路开关的市面上有售的代表性实施例,以形成实现分布式遮蔽管理解决方案(ISIS)智能电池和组件,该实施例包括:薄封装(0.74mm)、适用于旁路二极管(旁路开关)的低正向电压(低 V_f)10A肖特基二极管;以及极其低正向电压(极其低 V_f)元件,适合用作接近理想的旁路开关。

[0109] 此外,低正向电压(低 V_f)开关称为采用MOSFET技术的超势垒整流器(SBR),可以适

用为直接安装在电池背板上的旁路开关,以形成智能电池和模块,实现分布式遮蔽管理解决方案(ISIS)。SBR比传统的肖特基势垒二极管提供更低正向偏压电压和更低反向漏电流。此外,对比传统的pn结二极管,SBR可以提供热稳定性和可靠性特性,但对于ISIS应用,其具有附加的出众特性。替代地,低正向电压(低 V_f)开关称为超势垒整流器(SBR),还可以适用为直接安装在电池背板上的旁路开关,以形成智能电池和模块,实现本发明主题的分布式遮蔽管理解决方案。用于SBR开关技术的低正向偏压和小反向漏的组合,可以使它成为用于ISIS的旁路开关的一个非常有吸引力且合适的候选。

[0110] 而另一个用于直接安装在电池背板上的旁路开关的市售代表性实施例,以形成实现分布式遮蔽管理解决方案(ISIS)智能电池和组件,该实施例包括采用MOSFET技术的低正向电压(低 V_f)开关,其称作冷却旁路开关(CBS)。各种封装可用于市售的低正向电压(低 V_f)肖特基二极管以及采用MOSFET技术的低正向电压开关,其称作冷却旁路开关(CBS)。

[0111] 通过直接将功率优化器电子器件分布在电池背板上,实现电池直流转直流MPPT功率优化或者直流转交流MPPT功率优化:图21所示为图19中的太阳能电池背板带有M2互连图案的顶视图,带有直流转直流MPPT功率优化器或者直流转交流MPPT功率优化器,并直接附着到背板侧上的电池末端。在这个图示的实施例中,功率优化芯片(可以是直流转直流或直流转交流电源优化器)被示为具有两个输入端(带有连接到太阳能电池基极和发射极汇流条的输入)和两个输出端(其提供功率优化芯片的调整输出电流/电压并且连接到底板上的外部成对的汇流条)。在电池上功率优化器64的输入端上(例如,直流转直流MPPT或直流转交流MPPT功率优化器)是通过正极输入端引线66和负极输入端引线68连接到高导电池金属化互连件,分别通过焊点56连接到太阳能电池的正极(发射极)汇流条42和负极(基极)汇流条46。负极输出电引线58和正极输出电引线70,分别通过调整的输出端连接到负极输出引线62和通过焊点60连接到正极输出引线64,从而连接到电池电源优化器64。电池上功率优化器64有效地提供用于太阳能电池的可变阻抗输入,以便操作所述太阳能电池在任何时候处于其最大功率点,以预先指定的恒定电流级(对应在串联连接电池中匹配的电流)或预先指定的恒定电压级(对应在并联连接电池中匹配的电压),同时在其输出端提供最大电池功率。

[0112] 如图21所示,电池的背板侧包括例如由铝和/或铜制成的高导电池金属化互连(M2层)。M2互连图案可以是叉指图案,在背板表面的两侧带有两个汇流条(发射极和基极汇流条)。MPPT功率优化电子元件(例如单芯片封装)具有薄的扁平封装(例如,优选具有小于1mm厚度的封装)和高电导率的末端(例如平带条)。MPPT功率优化器电子器件的每个输入端可以通过导电环氧树脂来的方式电焊接或附着到每个汇流条(发射极和基极的母线)上的一个或多个点,从而减少电池中的欧姆损耗。类似地,MPPT功率优化器电子的每个输出端可以通过导电环氧树脂来的方式电焊接或附着到每个输出汇流条上的一个或多个点,从而减少电池中的欧姆损耗。

[0113] 如图21所示,输出汇流条62和64是可选的。如果使用这两个输出汇流条,在电池制造过程中,它们可与其它电池背板M2互连指状物以及发射极和基极汇流条于同一时间在背板上形成。如果不使用输出汇流条,在PV模块组装和整合到电池互连的过程中,MPPT功率优化电子器件的输出端可以直接用作电池输出端。

[0114] 根据本发明主题的一个方面,在电池背板上附着安装MPPT功率优化电子(直流转

直流或直流转交流)。图22所示为太阳能电池IV特性曲线和最大功率点(MPP),该最大功率点对应给定照明(例如,1sun的照明)的最大电能采集(MPP是不同的,对于不同等级的太阳能电池照明度)。一个实施例,图23为典型的太阳能模块IV曲线图,其所示为~0.4sun到~1sun的不同的太阳能模块光照强度下的功率vs.电压特性。为了从日出到日落期间最大限度地提高电能采集,按照本发明的主题的电池实施例,使MPPT功率优化器电子器件能够放置在每个电池背面(背板),以最大限度地提高PV模块和PV系统的能量产出,同时实现非常高的系统级可靠性和非常低的LCOE。

[0115] 有一些市售的单芯片直流转直流MPPT功率优化器电子器件适用于本文所公开的电池(电池级)MPPT功率优化应用。可替换地,可以设计和制造一个为给定的太阳能电池进行了优化的单片(或接近单片)MPPT功率优化器。尽管一些示例性芯片可能有矫枉过正的设计,以及提供过多的功率能力,其用于电池单元背面/底板上的分布式电池级MPPT功率优化器电子器件的实施,可以使用更低的功率(例如,最大为5至10瓦)单芯片解决方案以直接安装并附着在电池背板。

[0116] 通过将分布式MPPT功率优化器设置在电池背板上和将它们层压在太阳能模块内,本文公开的分布式MPPT直流转直流(或直流转交流)功率优化解决方案提供了广泛的功能和优点包括,但不限于以下内容:

[0117] -对比模块级直流转直流逆变器盒或者直流转交流微逆变器盒或者集中式逆变器MPPT功率优化,总体缓解遮蔽影响和大幅提升PV模块和安装的PV系统的电能采集。

[0118] -无需单独的旁路二极管或旁路开关。

[0119] -从遮蔽的电池采集电能而不是对遮蔽的电池进行分流和旁路。

[0120] -允许按不同的装箱(bin)参数制作由不匹配/参差的电池组成的PV模块。

[0121] -为制造的模块减少每一瓦特的有效成本。

[0122] -无需模块级MPPT直流转直流(或者直流转交流)功率优化器。

[0123] -在最后的模块层压之前,分布式MPPT功率优化器(直流转直流或者直流转交流)安装和附着到每个电池背板,使得在电池级能够实现完整的远程接入状态监测、诊断和控制。每个电池可以被远程监测和控制(例如,关闭电池或重新开启电池)并且电池和模块的状态可被实时监测。

[0124] -可以通过无线通信(WiFi)或者通过PV模块功率引线上方的RF/AC调制来实现电池级通信。

[0125] -对比其它模块和安装的PV系统中的电池,分布式电池MPPT功率优化电子器件可提供电池的实时状态以及它们的相应性能。

[0126] -远程接入信号可以寻址和重新安排用于各种任务的分布式MPPT功率优化电子器件,如关闭或启动(例如,在维修、安装、启动等过程中)整体PV模块或系统,或调整所需MPPT模块的电流和/或电压等。

[0127] -在现场中,可为安装的PV系统提供实时的测量指标,如电池温度(在背板侧上)。

[0128] 已经很大程度上说明本文所描述的实施例结合了背接触/背结晶体硅太阳能电池,并使用非常薄的单晶硅吸收层和背板,但应该理解到,对于本领域技术人员,所公开的主题的各方面可应用于其它的太阳能电池和模块的实施例,包括但不限于以下内容:包括这种电池的前接触太阳能电池和PV模块;如那些由GaAs、GaN、Ge和/或其它元素的晶体和

化合物半导体所制成的非晶硅太阳能电池及模块;以及,基于晶片的太阳能电池,包括由晶体半导体晶片(如晶体硅晶片)制成的背接触/前结、背接触/背结和前结的太阳能电池。

[0129] 然而,正如前面所指出的,作为本发明主题的方面,使用背接触电池的有益效果是,实施背接触电池基本上不会最终影响到模块制造。此外,在电池的背侧上面,发射极和基极的互连引线都可以进一步实现整体的电池上电子器件的简化,以促进能量采集,以及实现额外的电池级检测和控制功能。

[0130] 本文所提供的太阳能电池增强的分布式电能采集解决方案使用下列在PV模块层压板内的嵌入组件的一个或一组合:1)用于分布式遮蔽管理的一局部电池级(或与一具有N个电池的组相关,如至少 $N=2$,以并联或串联或混合并联/串联的形式电互连)旁路开关;2)一局部电池级(或与一具有N个电池的组相关,如至少两个电池,以并联或串联或混合并联/串联的形式电互连)MPPT功率优化器。可集成所述MPPT功率优化器和旁路开关以提供增加的太阳能模块电能采集(即增加的能量产出)和使用与一单独的太阳能电池(或在某些情况中,以串联或并联或混合并联/串联的方式连接的N个太阳能电池)相关并相连的低成本且可靠的功率电子组件的分布式遮蔽管理。因此,例如,一分布式(如电池级)MPPT功率优化器和集成的旁路开关可以一起运行以从与遮蔽电池串联的未遮蔽电池处采集最大功率以及采集由该遮蔽电池产生的任何可用的部分功率。所述旁路开关还可以防止在不产生任何可采集的电能的完全遮蔽的太阳能电池上产生热点。

[0131] 进一步地,可修改太阳能电池参数以减少电池上的功率电子元件的占用空间和成本。重要地,增加或按比例放大电池电压以及减少或按比例缩小电池电流可减少在所述电池以及模块级的功率电子元件尺寸、成本以及功耗损失。因此,按比例放大太阳能电池电压以及按比例缩小太阳能电池电流提高和增加了电池上电子器件性能以及减少其尺寸和成本。在一个实施例中,可通过一岛型主太阳能电池(或一单片岛型或单片瓦片型太阳能电池)实现,所述岛型主太阳能电池包括多个单片制作的子电池,所述子电池以串联或混合的并联-串联设置的方式被电互连在一起,以按比例放大电压以及按比例缩小电流(在本文中引用和描述为一岛型电池或iCell)。

[0132] 另外,本文所公开的电子元件,如旁路开关和/或MPPT功率优化器及它们的集成组合,可被定位在一支撑背板上,且连接至每个电池基或多个电池基上的每个太阳能电池(例如,两并联连接的太阳能电池共用一个MPPT功率优化器和/或旁路开关组合,至高达N个并联连接的电池,其中N通常为2至12,且其中所述太阳能电池以并联、串联、或混合的并联-串联形式连接)。换句话说,元件本身可与一个单独的电池或多个并联连接的电池(例如,两个并联连接的电池)相关。电池和/或以并联或串联连接的太阳能电池组合的设计可使得嵌入式功率电子元件的运行电压为2.5V至15V,且更具体地为2.5V至6V,以实现更低成本的元件。

[0133] 通过所述iCell设计修改电池电压和电流可提供在电子元件的定位和电池连接上增强的可变性,可以明显减小元件尺寸以降低模块层压复杂性,且还可明显降低元件成本。

[0134] 进一步地,本文所述的分布式旁路开关实施例包括一单片集成的旁路开关(本文中引用和描述为MIBS)。进一步地,本发明旁路开关实施例可散失低于太阳能电池发电的10%(所述电池处于正常发电模式),使得消除全遮蔽电池的局部热点(以及增加PV模块层压板的电能采集)。在某些情况下,分布式的单片集成旁路开关可与如上所述的一岛型主电池

(也称为单片-岛型或瓦片型太阳能电池-称为iCell)的子电池单独相关,以进一步提高子电池级的电能采集。

[0135] 此外,所述嵌入式(嵌入在太阳能模块密封剂/层压板内)元件(旁路开关和分布式MPPT功率优化器)可使用一单片模块相连设计和工艺(例如,与背接触太阳能电池金属化互连件集成,以减少或消除搭接,且对于附接有背板的背接触太阳能电池由所述太阳能电池背板支撑)被定位/与太阳能电池附接或作为一离散的元件附接在每块单独的电池背面(例如,SMT或使用电器总线连接器)。重要地,所述背板(如预浸板料)解耦/缓冲来自电子元件的敏感的有源半导体(如硅)吸收,以及允许更稳健且可靠的制备(例如,焊接或导电环氧),大体上提高了现场的电池和模块可靠性(由于产生小得多的影响半导体吸收的更小占用空间元件的CTE错配感生应力),不包括所述太阳能电池的可靠性,而是提供附接有背板的背接触太阳能电池的基极和发射极末端的接入。在如本文所述的两级金属化结构中,粗糙的第二级金属化层(可被用于完成太阳能电池金属化以及在单片模块安装中的电池与电池的互连)允许可靠的电子元件布局。

[0136] 下述的太阳能模块电能采集方案使用一局部电池级(单独的电池或在某些情况下多个并联和/或串联连接的电池)MPPT功率优化器。在一实施例中,所述MPPT功率优化器元件可被直接附接/定位在电池背板上以及嵌入在模块层压板内(例如,如上所述),或在其它地方作为一离散的元件嵌入在模块层压板内。MPPT功率优化器可与一个电池或多组含N个(N为2和12之间)电互连的电池(例如,一个MPPT功率优化器用于两个并联连接的单片岛型太阳能电池)相关。

[0137] 在实际的现场安装和应用中,在模块遮蔽部分的遮蔽的电池通常仍接收明显的漫反射日光,且能产生附加的电力,若不使用一分布式功率优化器设计来采集的话其将会被浪费。便携式且可运输的发电应用具体包含模块每天所经历的具有变化的辐照图特性的显著的日光和夜光辐照度分布非均匀性模式。本文所公开的MPPT功率优化器增加了在这种现实条件下对PV可用电能的采集。因此,可受益于所公开的MPPT功率优化器的太阳能电池应用有很多,包括但不限于:具有连续式(in-line)而不具有结束端(end-of-the-line)的电池测试和分类的单片太阳能模块(允许增加在电池级的太阳能发电的可变性);便携且可运输的特色应用(例如,自动化的、便携式充电器等。);包括非平面的模块形式(例如,BIPV屋顶瓦片、曲面屋顶等);允许全区域屋顶覆盖的住宅屋顶(非均匀太阳能辐照度、可变的遮蔽);商业屋顶,以及;BIPV正面应用(建筑物正面通常可包含显著的辐照度非均匀性)。

[0138] 进一步地,本文所公开的结合单片岛型或瓦片型的太阳能电池的分布式遮蔽管理方案允许一模块在日出前“醒来”和日落后“睡眠”(与传统模块相比),由于单独的电池可被旁路且不会拉低模块(或一串联连接的太阳能电池串)的电能产出。本文所公开的MPPT功率优化器增强了那个优点,允许黎明前开始发电且持续到下午。

[0139] MPPT功率优化器的主要功能包括:一直流转直流转换器核(优选直流转直流降压式或二次降压转换器);一MPPT控制器/功率优化器,以及;一旁路开关。在一实施例中,MPPT功率优化器可形成为一CMOS集成电路,如单片CMOS IC。直流转直流转换器核可为一降压式(输出电压总不高于输入电压,通常为低于),升压式(输出电压高于输入电压,输出电流低于输入电流),或降压式/升压式(两种功能)转换器。在某些情况下,可优选一降压式转换器,因为其通常可能更便宜且尤其是对于更高电压的太阳能转换器,如单片岛型太阳能电

池,其为可取的设计实施例。直流转直流转换器结合MPPT控制器/优化器一起使用。MPPT优化器包括一算法,用于寻找在所有条件下IV曲线上(见图22)的太阳能电池的最大功率点,所述条件包括太阳能电池接收的不同太阳能辐照度级以及不同的太阳能电池环境温度。该MPPT算法允许直流转直流转换器调整其输入条件,使得太阳能电池有效接收或经历一对应太阳能电池最大功率点(MPP)偏压条件的有效负载阻抗(或太阳能电池共用一单个优化器,如两个并联连接的单片岛型太阳能电池)。重要地,MPPT功率优化器可与一旁路开关集成(如公开的分布式旁路开关方案,其包括与一单电池或以并联、串联或并联/串联连接的N个电池相关的一旁路开关)。旁路开关可具有取决于电池电流的一超低的正向偏压(如小于0.4V以减少当太阳能电池完全遮蔽时的功耗,此时由于有可采集的负功率被MPPT功率优化器所采集使得旁路开关被激活),例如一肖特基势垒整流器(SBR)或肖特基二极管。

[0140] 现参考图22中的电压电流曲线进行描述,每当相关的太阳能电池(例如,一遮蔽的太阳能电池)的电流与没有被限制或遮蔽的电池电流相比下降到低于某一阈值(例如,5-10%的电流下降,当没有使用局部电池级MPPT功率优化器时),以及低于MPPT功率优化器能够获得最大功率点且采集有用电能(当使用局部电池级MPPT功率优化器时)的最小电流级时,旁路开关可接通(engage)。该电流阈值基于电池峰值功率和短路电流之间的电池差异值。换句话说,来自中央逆变器的中央MPPT功率优化器设置串联连接的串电流为一合适值以获得未遮蔽太阳能电池的最大功率。

[0141] 进一步地,MPPT功率优化器可自治运行,没有必要与模块层压板内的其它嵌入式MPPT功率优化器同步控制-换句话说,每个MPPT功率优化器基于电路原理自治且局部地控制相关的太阳能电池(或多个电互连的太阳能电池)。在系统级,一远端MPPT功率优化器管控附接到其输入的多个串联连接的太阳能模块层压板,例如,可使用一串逆变器的MPPT输入来管控那些产生没有任何限制的全功率的太阳能电池的MPPT(随后详细描述的关系)。换句话说,在本发明的实施例中,对于在一模块层压板的串联连接串中的“强的”或未遮蔽的太阳能电池,通过主功率转换器装置(如具有MPPT输入的串逆变器)执行MPPT功能,而对于“弱的”或遮蔽的太阳能电池(或接收较少阳光而产生比接收全部可用阳光的更强的未遮蔽的电池更少电能的太阳能电池),通过附接至太阳能电池上的MPPT直流转直流功率优化器局部执行MPPT功能。对于强的或未遮蔽的电池,与电池相关的那些直流转直流功率优化器运行在具有极低插入损耗的非开关的直通模式,直到如果且当强电池被减弱(例如,通过遮蔽),从而与模块层压板的串联连接串中的其它强电池相比产生更少的电能,或太阳能电池运行点超出所允许的容限脱离其MPP条件。

[0142] 参考图22描述MPPT跟踪算法。可以根据两个比例系数算法的其中一个建模一易于实现的(因此,低成本的)MPPT算法:周期性测量开路电压 V_{oc} 或短路电流 I_{sc} 以预测最大功率电压 V_{mp} 或最大功率电流 I_{mp} (换句话说, $V_{mp}=a*V_{oc}$, $I_{mp}=b*I_{sc}$)。进一步地, P_{max} (峰值功率)不是一固定点,而是根据一天中的不同时间点基于太阳能辐照度级和环境温度的变化而变化。通常地,当温度上升时, V_{oc} 下降,电流上升,由太阳能电池产生的功率稍微下降(见图23)。此外,可在贯穿全天的各种条件下通过开路的太阳能电池对 V_{oc} 进行简单采样(或者可通过电池短路对 I_{sc} 进行采样)。因此,通过对 V_{oc} 乘以比例参数“a”可得到 V_{mp} ,通过对 I_{sc} 乘以比例参数“b”可得到 I_{sc} 。

[0143] 换句话说,太阳能电池的最大功率点(MPP)随着太阳能辐照水平以及太阳能电池

运行温度变化而变化。可在电池级MPPT降压式转换器中使用的一个算法基于一采样和保持电路,其以一定的时间间隔(例如,每 $T=1$ 至60秒一次)测量(采样和保持至下一采样)太阳能电池 V_{oc} (开路电压),其在约100微秒至高达约1毫秒范围内的一相对较短时间段执行 V_{oc} 采样测量(例如,通常使用小于该范围时间的0.1%用于对太阳能电池 V_{oc} 进行采样,同时电池为开路用于采样和保持测量)。然后基于一预设的 V_{oc} 系数确定太阳能电池 V_{mp} (最大功率点或MPP电压)(即 $V_{mp}=\alpha \cdot V_{oc}$)。所提出的方法相当简单且实现成本低,能解释(account for)MPP随着光线层和太阳能电池温度的变化。如果必要,通过测量和使用电池运行温度 T (通过芯片上的电路测量)作为附加参数进一步限定该算法,例如: $V_{mp}=\alpha \cdot (V_{oc}-\alpha \cdot T)$ 。通常,人们可以使用 V_{oc} 和 T 的一预测函数 f ,其最适合用来测量 V_{mp} ,从而 $V_{mp}=f(V_{oc}, T)$ 。重要地,如在图22中可注意到的是,在最大功率点处的功率对电压的斜率为0,且在 V_{mp} 计算和 V_{mp} 跟踪中(已测量 V_{oc})允许一定程度的误差容忍度,因此在 V_{mp} 估测中提供实质公差,从而电压比例系数具有内建的容错性(例如,多达5%的 V_{mp} 误差或偏差,同时对于 P_{max} 仍能运行在非常接近MPP的位置)。

[0144] 与此相反,一算法可以几乎同样的方式基于电流。例如,该算法可基于一采样和保持电路,其以一定的时间间隔(例如,每 $T=1$ 至60秒一次)测量(采样和保持)太阳能电池 I_{sc} (短路电流),其在约100微秒至约1毫秒范围内的一相对较短时间段执行 I_{sc} 采样测量(例如,通常使用小于该范围时间的0.1%用于对太阳能电池 I_{sc} 进行采样,同时电池为短路)。然后基于一预设的 I_{sc} 系数确定太阳能电池 I_{mp} (最大功率点或MPP电流)(即 $I_{mp}=\beta \cdot I_{sc}$)。所提出的方法实现相当简单,且能解释MPP随着光线层和太阳能电池温度的变化。如果必要,通过使用电池运行温度 T (通过芯片上的电路测量)作为附加参数进一步限定该算法,例如: $I_{mp}=\beta \cdot (I_{sc}-\beta \cdot T)$ 。通常,人们可以使用 I_{sc} 和 T 的一预测函数 g ,其最适合用来测量 I_{mp} ,从而 $I_{mp}=g(V_{oc}, T)$ 。

[0145] 虽然MPPT算法可基于电流 I_{sc} 或电压 V_{oc} (且辐照度级为在发电中的主要系数),但在某些情况下可基于环境温度变化和发电及 V_{oc} 之间的直接关系选择 V_{oc} 。通常,当温度上升时, V_{oc} 下降,电流上升,太阳能电池产生的电能稍微下降-因此在环境温度的影响下, P_{max} 和 V_{oc} 朝相同方向偏移,且具有一基于环境温度变化的直接关系。因此,一简单的基于 V_{oc} 的比例算法可用于MPPT,以解释所有由于太阳辐照度和环境温度变化所产生的MPP变化。

[0146] 图24-27所示为支持一简单且经济有效的比例算法的曲线图,如本文所提供的。图24所示为表示对于室温(25°C)下的太阳能电池,其测量的 I_{sc} 对 I_{mp} 的关系曲线图,该图为描述性目的,显示了 I_{sc} 可近似等于 $0.94 \cdot I_{sc}$ 。图25所示为表示电池性能对温度的实际测量的曲线图,且该图用于描述性目的。图26所示为表示电池的实际测量曲线图,其表示了电压和温度变化之间的直接关系。图27所示为表示太阳能电池的实际测量曲线图,其显示了测量的 V_{oc} 和 V_{mp} 间的相关性。图27提供了对于一具体的太阳能电池的实际 V_{oc} 测量的实例,概述了 V_{mp} 和 V_{oc} 关系,且显示了 V_{mp} 线性近似为 $0.82 \times V_{oc}$ 仅导致0.36%的误差(给定峰值功率零斜率的容错性,在 V_{mp} 具有一定的误差而偏离峰值功率是可忽略的)。因此,图27支持在一宽范围的太阳能辐照度和温度条件下, V_{mp} 可使用小的峰值功率预测误差来被线性近似。进一步地,由于 P_{max} 对电压的实质上的小斜率(在峰值功率点处,斜率为零), V_{mp} 预测误差所产生的实际的峰值功率偏离是最小的。

[0147] 基于这些论述,一简单且经济有效的MPPT电压比例系数算法可基于如下:跟踪参数 $V_{mp} = a \cdot V_{oc}$; 计算温度影响: $a_T = 0.80$; 光照强度(太阳)影响: $a_{SUN} = 0.82$; 误差: $0.02 \cdot V_{oc}$, 在MPP处约为0.3%。因此,可使用 V_{oc} 来跟踪MPP, 其中只使用一个平均乘子参数 $a_{ST} \approx 0.81$ 以解释太阳能辐照度和温度变化的影响。因此,基于上面的描述,用于跟踪光照和温度变化所产生的MPP变化的一简单的 V_{mp} 对 V_{oc} 比例算法可被用于一具体的太阳能电池结构, 如一单片岛型太阳能电池(iCell)。进一步地,由于温度被包括在 a_T (导致从0.80增加到0.81)中,因此不需要MPPT内的电池温度测量,因此,进一步地简化和减少MPPT直流转直流功率优化器功率电子电路的复杂度和插入损耗。通过使用结合乘子 $a_{ST} \approx 0.81$ 的 V_{oc} 采样和保持测量,不需要复杂的电路就可以正确计算 V_{mp} 。对于不同的太阳能电池技术,实际的比例参数可以不同,但是本发明的算法可以应用到一宽范围的太阳能电池技术中。图28所示为代表一低成本且有效的MPPT的 V_{mp} 对 V_{oc} 跟踪比例算法实施例的简化图,其基于上面的论述用于解释光照强度和温度变化的影响。因此,本发明的MPPT跟踪算法降低了实现复杂度和成本,同时适当地对 V_{oc} 进行近似以及使用合理的精度跟踪太阳能电池最大功率点。图29所示为代表最大功率点跟踪(MPPT)算法实施例的一更完整的流程图,其用于解释光照强度和温度变化,且提供增强的时间平均的MPPT直流转直流转换效率(或降低的时间平均的插入损耗),其基于两种功能性状态的组合:(1)非开关直通模式(当通过中央功率转换装置,如连接到一串联连接的模块层压板串的一串逆变器MPPT输入,跟踪和设置一太阳能电池MPPT时),以及,(2)当通过局部电池级MPPT直流转直流功率优化器跟踪和设置太阳能电池MPPT时,MPPT直流转直流功率优化器单元的开关模式。

[0148] 为了最小化MPPT降压式转换器的插入损耗和最大化其效率,MPPT功率优化器/直流转直流降压式转换器(其通过与其相关的一个或多个电池供电)具有两种主要的有源功能性状态(直通模式以及开关模式),其间电池功率被监控(采样和保持),以及一附加的睡眠(SLEEP)模式(当太阳能电池不产生任何电能时,功率优化器被断电)。

[0149] 例如,当有光线且MPPT直流转直流(降压式)转换器不运行在有源开关模式(不开关)时,MPPT直流转直流转换器应当作为一通过门运行(从而最小化电阻器损耗),不做任何改变地传输电池电流和电压至其输出终端-这被称为直通模式。当没有光线(例如,完全遮蔽的电池或在日落和黎明之间)时,MPPT直流转直流转换器不被供电,从而处于睡眠模式。当电池醒来且开始发电(如在日出)和对MPPT功率优化器加电时,MPPT直流转直流转换器醒来-换句话说,MPPT直流转直流功率优化器由太阳能电池供电,且一旦太阳能电池在一天的开始处获得一发电的最小级时,就会对MPPT功率优化器电路供电以唤醒它。例如,当太阳能电池的输出电压超过一预设电压时: $V_{cell} \geq V_0$, 其中 V_0 代表在极低光强条件下的太阳能电池电压(如拂晓时)。对于一理想的太阳能电池: $V_{oc} \approx (kT/q) \ln(I_L/I_0)$, 其中 $V_T = kT/q$, 且 $I_L \approx I_0 \exp(V_{oc}/V_T)$ 。如果选定 V_0 为对应太阳能电池产生其STC电流的1/1000th的条件时,则: $1/1000 = [\exp(V_0/V_T)] / [\exp(V_{oc}^{STC}/V_T)]$ 。因此, $1/1000 = \exp[(V_0 - V_{oc}^{STC})/V_T]$, 则 $V_0 = V_{oc}^{STC} + (\ln 0.001)V_T = V_{oc}^{STC} - 0.173V$ 。

[0150] 对于一具体的太阳能电池, V_0 可基于 $V_{oc}^{STC} - 0.173V$ 被近似。因此,对于一具体的太阳能电池,可基于一近似的 V_{oc} 和 V_{mp} 选择一MPPT直流转直流唤醒电压。例如,对于一单片岛型太阳能电池实施例, $V_{oc} = 5.6V$ 且 $V_{mp} = 4.6V$, 则在2.5V和4.2V之间的一唤醒电压(wake up voltage)可适用于唤醒MPPT功率优化器电路。在这种情况下,当太阳能电池电压逐渐增

加到 $V_0=3.5V$ 时,MPPT直流转直流醒来,当太阳能电池电压下降到低于 $V_0=3.5V$ 时,MPPT直流转直流开始睡,其中MPPT降压式转换器可在直通模式中醒来,然后继续运行在该直通模式中直到太阳能电池的运行功率点超出所允许的偏离最大功率点(在该点处,MPPT功率优化器转到运行的开关模式)的容限百分比(例如,设置该容限在约1%到5%范围内,如2%)。

[0151] 当直流转直流降压式转换器正在转换(如在几百KHz至10MHz范围内)以用于电池电压输出与参考电压匹配时,有相对较高的插入损耗(例如,约3%到10%的插入损耗,对应一约90%至97%开关模式传输效率)。相较之下,在直通模式中,插入损耗(基于串联电阻)可被设计小于1%(在某些情况下甚至小于0.5%),从而得到大于99%传输效率(传输效率为MPPT直流转直流降压式转换器/功率优化器的功率效率)。因此,最小化MPPT直流转直流功率优化器的插入损耗和最大化其传输效率是至关重要的。

[0152] 可使用下面基于一有源双功能性状态MPPT功率优化器(直通模式和开关模式)的算法来最大化MPPT直流转直流转换器/功率优化器电路的时间平均的有效转换效率(功率传输效率)。

[0153] 1.在运行负载的条件下测量(采样和保持)太阳能电池输出电压。2.测量(采样和保持)太阳能电池开路电压 V_{oc} 。3.确定 $V_{mp}=a_{ST} \cdot V_{oc}=0.81V_{oc}$:如果电池工作在MPP,则 ΔV 为0:如果 $\Delta V=|V_{out}-V_{mp}|/V_{mp}$ 为小于一预指定所允许的容忍偏差值 k (例如, $k=0.05$ 或5%且 $\Delta V=|V_{out}-V_{mp}|/V_{mp}<0.05$),则MPPT直流转直流转换器不执行任何有源开关操作(保留在具有非常低的插入损耗的观察/直通模式),功率对电压斜率在峰值功率处为0(MPP的高容差):如果 $\Delta V=|V_{out}-V_{mp}|/V_{mp}$ 为大于(或等于)一预指定值 k (例如, $k=0.05$ 且 $\Delta V=|V_{out}-V_{mp}|/V_{mp}\geq 0.05$),则MPPT直流转直流降压式转换器通过调整直流转直流转换器开关占空比及产生的太阳能电池电压执行局部MPPT跟踪以匹配 V_{mp} 。

[0154] 例如,如果MPPT直流转直流优化器的转换效率为 η 且其运行时间段约为 F ,MPPT优化器有效的时间平均的效率为 $(1-F)+\eta \cdot F$ 。例如,如果优化器工作(处于开关模式)25%的时间($F=0.25$),且如果该优化器的开关模式(连续模式)转换效率为 $\eta=96\%$,以及该优化器处于假设转换效率为100%(假设在直通模式中为零插入损耗)的直通模式中的工作时间为75%,则该优化器有效的时间平均的效率为: $(1-0.25)+0.96 \times 0.25=0.75+0.24=0.99$ 或优化器有效传输效率=99%。在直通模式的转换效率可近似为99%的情况中,MPPT直流转直流有效的时间平均的效率(或功率传输效率)为 $(.75 \times .99)+(.96 \times 0.25)=98\%$ 。

[0155] 采样和保持监控发生在开关和直通模式期间,且当没有电能时被关闭,此时MPPT处于睡眠模式(在没有太阳能电池发电的晚上)。

[0156] 对于本发明的嵌入式分布式MPPT直流转直流功率优化器的主要运行模式为如下:

[0157] 1)在直通模式中,优化器不转换,从而可以忽略插入损耗(例如, $<1\%$)。在实际中,太阳能电池大部分时间运行在直通模式,从而允许开关模式以约300KHz到10MHz且具体在约500KHz到5MHz范围的相对高的频率运行,导致更小的占用空间和更低的成本电路,其需要极小储能装置(电容器和电感器)。在这种模式中,电路可具有小于0.5-1%的插入损耗。

[0158] 2)在一开关模式期间,MPPT直流转直流功率优化器通过调整开关占空比调整直流转直流输入条件,使得太阳能电池有效接收一负载阻抗,该负载阻抗对应太阳能电池的最大功率点偏压条件。

[0159] 3)电池产生电能基本为零(例如,晚上)和或旁路开关被激活的睡眠模式。

[0160] 重要地,MPPT直流转直流功率优化器使其输出电流与其它串联连接的功率优化器(或那些具有处于直通模式中的MPPT直流转直流功率优化器的电池)的输出电流匹配,并且根据电池产生的电能向上(直到接近其输入处的电池电压)或向下调整其输出电压,以及在电路仍然起作用的最低电压输出处接通旁路开关,其中在该最低电压输出处,MPPT功率优化器转换到直通模式。换句话说,当所产生的电池电能低于MPPT直流转直流功率优化器有效运行的临界值时(例如,由于大量的遮蔽和太阳能辐照度的降低),激活旁路开关,从而旁路该太阳能电池及其相关的MPPT直流转直流功率优化器。

[0161] 本发明公开的分布式MPPT直流转直流功率优化器的关键方面和实施例包括:对每个分布式(在某些情况下自治的)MPPT直流转直流功率优化器使用两种主要运行状态:(1)一提供局部MPPT功能的直流转直流开关运行模式,其基于当一给定的电池与MPPT直流转直流功率优化器串联连接串中的较强的电池(即,那些产生更多功率或由于没有遮蔽条件的全功率)相比表现较弱时(即相比相同模块层压板的串联连接串上的强电池产生较少的功率,例如,由于接收较少的光线,如由于一些遮蔽),对处于固定开关频率的电池级的开关占空比的调整,以及(2)一直通运行模式,其允许没有任何局部的直流转直流切换以及没有任何局部的电池级MPPT的太阳能电池的电能的直接传输,允许中央(例如,在功率转换装置中的串逆变器)MPPT来控制功率优化器串联连接串中的强电池。由于当连接至一优化器的一给定的太阳能电池(或太阳能电池组)相比在串联连接串中的其它“强”太阳能电池变弱时(或产生较少电能)(或相比优化器串联连接串中的其它电池具有一电流错配或较少的电流)时,局部开关模式才被执行,因而这种结构允许非常高效的运行效率或功率传输效率(或非常低的分布式优化器插入损耗)。此外,这些双模式允许MPPT直流转直流转换器功率优化器在开关模式中高得多的开关频率运行(由于其没有一直切换),这允许进一步的益处,即包括基本上更小的输入和输出储能电容器和小得多的输出储能电感器(进一步减少分布式嵌入式MPPT功率优化器的占用空间)。

[0162] 本发明公开的MPPT功率优化器的自治运行意为MPPT功率优化器彼此独立运行,且以基本相同的频率,因此,他们不需要接收一频率同步信号,且不需要与在功率优化器的串联连接串中彼此相关的相位控制。

[0163] 如上所述,本文所公开的分布式MPPT功率优化器使用两种运行模式,其允许局部开关模式MPPT,使用开关模式中(具有小于100%的切换占空比)的MPPT直流转直流功率优化器操作来执行局部MPPT功能,或非开关直通模式中的非开关模式MPPT功率优化器操作,其允许远端MPPT管控具有直通模式直流转直流功率优化器的太阳能电池。远端MPPT功能可由具有其自身MPPT功能的中央或串逆变器(或转换器)执行。通过中央或串逆变器(转换器)和与所述中央或串逆变器(转换器)相关的多个电互连(串联连接的)的MPPT功率优化器的组合,具有局部MPPT的开关模式和具有远端的中央MPPT的直通模式之间的选择是自动完成的。

[0164] 通过局部MPPT直流转直流降压式转换器和,直流转交流逆变器(例如,串逆变器或中央逆变器)的系统级MPPT输入或直流转直流转换器(例如,串转换器或中央转换器)的系统级MPPT输入,的共同使用,实现开关模式和直通模式的双模式运行。为了使这种多状态运行模式能够用于最大有效的系统级功率传输效率,同时使MPPT运行能够用于PV系统的所有太阳能电池中,本文所公开的算法可使用分布式MPPT(结合多个MPPT直流转直流功率优化

器)和具有中央MPPT的中央(产生其全部可用电能的强型的未遮蔽的电池)直流转交流逆变器或直流转直流转换器的组合。

[0165] 本文公开的主题还可使用一旁路开关(例如,一旁路二极管或一旁路晶体管)与每个MPPT直流转直流功率优化器结合用于分布式遮蔽管理。该旁路开关可为与太阳能电池分开的输入级旁路开关、与太阳能电池分开的输出级旁路开关、和/或与太阳能电池自身单片集成的MIBS。在过度遮蔽即MPPT直流转直流功率优化器不能有效地从太阳能电池采集有用的电能的情况中(且这种操作为低于MPPT直流转直流转换器功率优化器电路的性能极限),旁路开关将会激活,从而旁路该太阳能电池和MPPT直流转直流优化器以允许系统电流流动而不在所影响的太阳能电池中产生热点。

[0166] 本文所公开的MPPT算法结合一采样和保持电路采用易于实现的比例算法。为了确定MPPT直流转直流降压式转换器的理想运行条件(直通模式对MPPT直流转直流开关模式,以实现对于实际系统运行的最大功率传输效率或最小插入损耗,同时使用一节能算法实现在每个单独的太阳能电池级处的分布式MPPT),该算法测量在太阳能电池负载的情况下的开路电压(V_{oc})和实际的输出电压。进一步地,该MPPT直流转直流降压式转换器能够在开关模式中以高得多的开关频率运行(因为其只有一小部分时间处在开关模式中),由于每当电池处于强模式且是没有障碍的(未遮蔽的),太阳能电池MPPT功能通过中央逆变器(或串逆变器)MPPT执行,同时MPPT直流转直流功率优化器处于用于强电池的直通模式中。

[0167] 一些实施例可使用一共用的输出并联电容器和一共用的输出串联电感器的组合,其具有多个串联连接的MPPT直流转直流转换器。共用的输出存储电感器和电容器的组合可过滤掉和减少电流和电压纹波。

[0168] MPPT功率优化器可作为自治装置运行(意为电池MPPT直流转直流降压式转换器并不是频率同步的;因为MPPT直流转直流转换器以高得多的开关频率运行,使得能够实现自治的运行模式)用于最简单的、最小占用空间的芯片以及最低的分布式MPPT直流转直流降压式转换器实现成本。同步增加了分布式MPPT功率优化器设计复杂度以及成本,理论上应当避免。本文所公开的实施例可使用多个具有固定的(预设的)开关模式频率(开关频率不变,占空比变化以调整MPP)的串联连接的自治MPPT直流转直流功率优化器,所述固定的开关模式频率在约300kHz至高达约10MHz范围内,优选在约0.5MHz至到达5MHz范围内。开关模式运行的频率优选为固定且不变的。通过基于MPPT算法改变和调整开关占空比实现局部MPPT。

[0169] 因此,由于缺少与电荷泵电路、用于实施MPPT的微处理器、ADC相关的电路复杂性,且还由于用于MPPT直流转直流降压式转换器的高得多的运行开关频率,本文所公开的MPPT功率优化器可作为基本单片的单片硅集成电路来实施(本质上由于具有少得多且小得多的电容器的更简单电路)。通过使用两种主要运行模式(开关模式和直通模式)的算法使得能够实现较高的运行频率(因此,小且简单得多以及低得多的实现成本),对于MPPT直流转直流功率优化器,其提供一非常低的时间平均的有效插入损耗。

[0170] 使用与一远端/中央/系统级MPPT功率优化器结合的本应用分布式遮蔽管理旁路开关和嵌入式MPPT功率优化器可构造各种PV系统结构。该远端MPPT功率优化器可以是作为一串联连接的MPPT功率优化器串的任何功率优化器,例如,在中央功率逆变器级且和功率逆变器集成(例如,一具有MPPT功率优化器的串逆变器)。理论上,在多数情况下,系统中的

电池未被遮蔽、以未被遮蔽的全功率容量运行,局部单独的分布式嵌入式电池级MPPT直流转直流功率优化器主要运行在直通模式以减少局部分布式嵌入式MPPT功率优化器的插入损耗。直通模式具有一非常低的插入损耗,在某些情况下远低于1%的功率插入损耗。在这种情况下,通过远端/中央MPPT功率优化器控制未遮蔽电池。换句话说,对于产生全功率的电池,局部分布式嵌入式MPPT功率优化器算法运行在直通模式以最小化插入损耗,且允许通过远端MPPT功率优化器管控(电流和电压)产生满功率的电池。当一单独的电池产生较低功率(例如,被遮蔽或弄脏的电池)时,例如,峰值功率的90-97%,局部MPPT优化器从远端MPPT功率优化器实施控制,从直通模式变化到开关模式,以使遮蔽电池与在峰值功率处产生且通过远端MPPT功率器保持管控的串联中的电池电流匹配。因此,远端/中央MPPT功率优化器决定了用于最大功率点的全局条件,该全局条件管控充分发电的太阳能电池。局部电池级分布式嵌入式MPPT功率优化器运行在直通模式且只在电池功率下降时接入。换句话说,除非分布式嵌入式电池级MPPT接入(即变换到开关模式),否则电池由远端/中央MPPT管控。

[0171] 例如,图30表示一具有12个太阳能电池模块(例如,60个电池的模块)的PV系统,每个太阳能电池模块使用分布式遮蔽管理旁路开关和嵌入式MPPT功率优化器功能,并且使用示例性模块发电来表示;所示PV系统的每个交流逆变器输入(即四个输入串逆变器)使用三个串联连接的全电压模块。每个逆变器输出与一远端/中央MPPT功率优化器集成,该远端/中央MPPT功率优化器管控产生全功率的电池。该交流逆变器为一多输入的单(或三)相约4W的交流逆变器,其传输120/240V单相交流电到一交流电负载/电线网。重要地,该模块连接可以以多种结构构造。例如,图31表示一具有两对含六个串联连接的太阳能电池模块(例如60个电池的模块)的PV系统,每对使用分布式遮蔽管理旁路开关和嵌入式MPPT功率优化器功能;所示PV系统的每个交流逆变器输入(即两个输入串逆变器)使用六个串联连接的(半)电压模块。每个交流逆变器输出与一远端/中央MPPT功率优化器集成,该远端/中央MPPT功率优化器管控产生全功率的电池。该交流逆变器为一多输入的单(或三)相约4W的交流逆变器,其传输120/240V单相交流电到一交流电负载/电线网。

[0172] 可以有与电感器/电容器以及旁路开关有关的多个实施例。例如,在一个有成本效益的嵌入式MPPT功率优化器实现的实施例中,使用在多个串联连接的MPPT功率优化器输出端的一电感器/电容器对(作为一储能装置用于平滑/过滤在切换期间产生的纹波)。换句话说,每个电池(或N个并联连接的电池,例如 $N=2$)具有一个MPPT直流转直流降压式功率优化器(能量采集器),且在多个串联连接的MPPT直流转直流降压式功率优化器输出端具有一个电感器和一个电容器(共用的L/C)(即没有必要在每个单独的/局部的功率优化器输出端使用专用的电感器和电容器)。共用的L/C可用在每个PV模块的输出端且被层压在模块内(例如,每个含60个电池或70个电池或90个电池的模块、或每个含12个电池的BIPV(光伏建筑)墙面板/瓦片模块共用一个LC)。消除在每个单独的MPPT功率优化器输出端专用的电感器和电容器元件的话,由于减少的元件总数,降低了每块电池的整体成本以及实现分布式MPPT直流转直流降压式功率优化器每瓦的成本,且增强了模块的整体可靠性。在每个单独的MPPT功率优化器输出端专用的电感器和电容器元件的消除还使得每个MPPT功率优化器能够成为一完全单片集成电路封装,这消除了随每个MPPT功率优化器附接的附加元件的需要。

[0173] 或者,每个MPPT功率优化器可集成一电感器/电容器对以减少电感器/电容器的电流/电压需要,且在某些情况下减少与较高的电感器/电容器相关的成本。

[0174] 图32A至37A所示为电池级电路原理图,其表示了与MPPT功率优化器、电感器/电容器、以及旁路开关相关的多个实施例。图32B至37B所示分别为图32A至37A中的电池的模块级电路原理图。可以基于成本和复杂性考虑选择具体的实施结构。在所示图中,MPPT直流转直流降压式转换器封装包括 V_{in} 和 V_{out} 之间的元件(可包括或不包括旁路开关,例如SBR、肖特基势垒整流器等)。该MPPT输出用于电池到电池的互连。在图32A至37A所提供的示例性实施例中,使用下面的功能性元件作为参考:降压式转换器或减缓的(电压二次降压的)转换器设计;包括两个开关(MOSFET)的典型的降压式转换器MPPT功率优化器,具有MPPT算法、两个电容器以及一个电感器的门驱动控制电路;该控制电路包括最大功率点跟踪(MPPT)算法,所述算法包括采样和保持电路以及开关驱动电路,基于该开关驱动电路产生开关信号(包括开关频率和占空比,例如从几KHz到10MHz,更具体为1.3-3MHz)并送至MOS晶体管(用于所示两个开关晶体管的门驱动信号),以及; C_1 与 C_2 为MPPT开关控制输出, I_1 与 I_2 为MPPT采样及保持输入,在直通模式中,晶体管开关M1关闭且晶体管开关M2打开(100%占空比或没有切换)。

[0175] 图32A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器电路原理图,其具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 且具有用于分布式遮蔽管理的输出级旁路二极管。图32B所示为多个串联连接的MPPT直流转直流功率优化器原理图,其具有在每个串联连接的优化器的输出级的专用的电感器和电容器以及输出级旁路开关,正如图32A所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直流转直流功率优化器具有其本身的专用输出级电感器L和电容器 C_{OUT} 。

[0176] 图33A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 且具有用于分布式遮蔽管理的输入级旁路二极管。图33B所示为多个串联连接的MPPT直流转直流功率优化器原理图,其具有在每个串联连接的优化器的输出级的专用的电感器和电容器以及输入级旁路开关,正如图33A所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直流转直流功率优化器具有其本身的专用输出级电感器L和电容器 C_{OUT} 。

[0177] 图34A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其不具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 而具有用于分布式遮蔽管理的输出级旁路二极管。图34B所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其不具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 而具有用于分布式遮蔽管理的输出级旁路二极管,正如图34A中所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直流转直流功率优化器不具有其本身的专用输出级电感器和电容器。换句话说,该MPPT直流转直流功率优化器(N个串联连接)在输出端共用一个电感器L和一个电容器C。

[0178] 图35A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其不具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 而具有用于分布式遮蔽管理的输入级旁路二极管。图35B所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其不具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} 而具有用于分布式遮蔽管理的输入级旁路二极管,正如图35A中所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直

流转直流功率优化器不具有其本身的专用输出级电感器和电容器。换句话说,该MPPT直流转直流功率优化器(N个串联连接)在输出端共用一个电感器L和一个电容器C。

[0179] 图36A和37A使用一单片集成的旁路开关(MIBS),其为分布式的且与一岛型太阳能电池的每一个子电池相关(换句话说,一岛型太阳能电池,每个太阳能电池岛或子电池具有一单片集成的旁路开关),正如随后详细讨论的那样。图36A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} ,且具有与一岛型太阳能电池的子电池相关的单片集成的旁路开关(MIBS),所述单片集成的旁路开关(MIBS)用于分布式遮蔽管理。

[0180] 这里应当注意的是,一单片集成的旁路开关可与一太阳能电池集成,或为分布式的且与一岛型太阳能电池的每个子电池单独集成。因此,MIBS与太阳能电池本身集成,因此集成在MPPT直流转直流降压式转换器封装内的一外部旁路开关是可选的。换句话说,在当电池使用一MIBS时,每当电池被完全分流/旁路时,充当一输入级或输出级旁路开关的可选的外部旁路开关(用于增加的容错性),与MPPT直流转直流降压式功率优化器一起用于提供在太阳能电池中减少的功耗。

[0181] 图36B所示为多个串联连接的MPPT直流转直流功率优化器原理图,其具有在每个串联连接的优化器输出级的专用的电感器和电容器以及分布在一岛型太阳能电池的子电池上单片集成的旁路开关,正如图36A所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直流转直流功率优化器具有其本身的专用输出级电感器L和电容器 C_{OUT} 。

[0182] 图37A所示为一MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器原理图,其不具有专用的输出级电感器L以及电容器 C_{OUT} ,而具有与一岛型太阳能电池的子电池相关的用于分布式遮蔽管理的单片集成的旁路开关(MIBS)。图37B所示为多个串联连接的MPPT直流转直流功率优化器原理图,其不具有在每个串联连接的优化器的输出级的专用的电感器和电容器,而具有分布在一岛型太阳能电池的子电池上单片集成的旁路开关,正如图37A所示的那样。所示的每个优化器与一个太阳能电池或一对并联连接的太阳能电池配合使用,每个MPPT直流转直流功率优化器不具有其本身的专用输出级电感器和电容器。换句话说,该MPPT直流转直流功率优化器(N个串联连接)在输出端共用一个电感器L和一个电容器C。

[0183] 太阳能电池模块具有在层压板内的电池,所述电池可以串联或成对并联且每一对为串联连接(60个电池的模块分成并联连接的30对,每一对共用一旁路开关和MPPT降压式优化器,成对意味着模块电压减少了一半,而电流则增加了一倍)。

[0184] 本发明公开的方案可单独或结合使用以提高和控制太阳能系统电能产生和传输。例如,局部遮蔽管理ISIS采用每个电池带一个旁路开关,用于系统电能采集。若采用与每个电池带有一个局部MPPT功率优化器结合的局部遮蔽管理ISIS,可进一步增加系统电能采集。通过减少整个系统的太阳能电池热点,提高太阳能系统采集效率的同时还提高了可靠性。当使用一集成的瞬态电压抑制器(TVS)时,本文所公开的用于模块功率控制的嵌入式远端接入开关RAMS电子器件进一步提高了系统可靠性。RAMS还提供用于增加的模块控制和监控。

[0185] 图38所示为表示具有3组含20个串联连接的电池的60个电池的太阳能模块在各种遮蔽条件下的实际电能采集曲线:电能采集结果80和82表示传统太阳能电池的电能采集,

其对应每个串联连接串具有一旁路开关;而电能采集结果84则表示本申请的太阳能模块的电能采集,其具有与每个电池相关的一局部旁路开关。电能采集结果80表示传统太阳能模块的电能采集,其具有串联连接的电池遮蔽管理以及三个含20个电池的串中的随机电池遮蔽。注意在一传统模块内的三个串的5-10%随机遮蔽处,电能采集下降到零,这是因为每个串由于串中的一个电池的遮蔽或部分遮蔽而被旁路。换句话说,由于三个电池(例如,每个电池连接在含20个电池的不同串联串中)的部分遮蔽,模块电能采集可能下降到零。电能采集结果82表示传统太阳能模块的最佳结果,其具有串联连接的电池遮蔽管理以及包含在一含20个电池的单串串联串中的离散电池遮蔽。注意因为每个串联连接串由于个别的电池遮蔽而被分流,电能采集分三步增量地下降。换句话说,模块电能采集在串联连接级增量地下降。因此,具有串级遮蔽管理的传统电池的电能采集取决于遮蔽图案。

[0186] 电能采集结果84表示在上述两种遮蔽类型,随机和离散的情况下,具有与每个太阳能电池相关的局部电池级旁路开关的太阳能模块的电能采集。当在每个电池级的实际的电能采集下降时,该电能采集结果表示为线性的。注意由于局部电池旁路开关包含对单独的电池级的遮蔽作用(当与串联连接的电池级,例如,在60个的电池模块中的含20个电池的串相比时),该结果是相同的且不依赖于串的。

[0187] 图39所示为,在具有与每个太阳能电池相关的旁路开关的局部遮蔽管理模块中(所有电池串联连接)的不同遮蔽条件下,表示一太阳能电池的最大峰值功率的实际结果的曲线图。被提供75%的电池屏蔽(约25%的阳光照明)的一覆盖物遮蔽/覆盖的电池数量分为如下几类:没有电池被覆盖、1/3电池被覆盖(即在含30个电池的串联连接模块中有10个电池被覆盖)、2/3电池被覆盖,以及所有电池被覆盖。与此相反,使用具有一串联连接旁路开关的传统太阳能模块(所有电池串联连接,且每个模块带一个旁路开关),其在如图39所示的不同的遮蔽条件下,最大峰值功率与所有电池被覆盖的情况是相似的(没有覆盖的情况则与所示结果相似)。

[0188] 本发明公开的局部的和电池级的遮蔽管理方案可被设计和集成为可靠的且容错的元件。容错意为连续的系统功能,即万一元件发生故障(例如,万一分布式旁路开关发生故障以及相关电池被遮蔽),其不会产生“热点”-换句话说,甚至在不太可能发生的旁路开关(例如SBR)发生故障和/或旁路开关与电池的相互连接(例如SBR与电池)发生故障的情况下,该系统仍保持功能并传输电能而不损害长期的模块可靠性和寿命。

[0189] 在第一级,分布式旁路开关的可靠性可通过如下提高:1)使用可靠的旁路开关元件(例如,SBR、肖特基二极管、P/N结二极管、晶体管开关等),2)提高元件附接的可靠性,例如使用无带连接的表面安装技术(SMT)和使用占用空间小的元件以最小化CTE错配以及CTE错配导致的互连失效;3)设计电池级遮蔽管理方案,使得旁路开关元件(以及相关的MPPT功率优化器,如果适用的话)运行在最大电流和温度额定值内。在一个实施例中,增大太阳能电池自身的电压,且尤其是减小太阳能电池自身的电流能够实现减少的元件尺寸和占用空间(例如,实现元件尺寸小于2mm的方块)减少电池自身的电流还减少了运行在最大额定电流外的元件相关的故障。

[0190] 下面所述旁路开关实施例用于提供具体的有代表性的旁路开关运行参数和约束准则:可基于附加的考虑,如电池/模块设计和成本,使用这些准则以提供示例性的电池效率和可靠性。重要地,基于不同的重要性给定每个旁路开关参数,且在一个区域的参数改进

可能导致牺牲在另一区域的参数。进一步地,应当注意的是,通过减少太阳能电池自身的电流可以修改和改进旁路开关的约束和要求。在一个实施例中,电池级旁路开关可以是一表面安装的硅超势垒整流器(SBR),其包括但不限于下列运行参数:1)一小的占用空间 $1.47\text{mm} \times 1.10\text{mm} = 1.54\text{mm}^2$,厚 0.5mm ,重 2.35mg (比用于具有一典型电压和电流的传统太阳能电池的同类SBR小几倍);2) -65°C 至 150°C 的运行温度范围;3)通过公知的行业可靠性标准认证;4)电流和温度的设计余量在约65%的范围;5)提供较高温度下改进的稳定性的低反向漏电流;6)对于极小的欧姆损耗的超低 $V_f(\leq 0.35\text{V})$ 以及没有局部热点:使用STC下激活的SBR的低的最大功耗;7)每个为可软焊的;8)无铅,符合RoHS,无卤素和无镉;以及,9)在高温下出色的低反向漏电流的稳定性。

[0191] 容错要求在元件或连接发生故障的情况下PV模块的持续功能,具有持续大量电能采集而不损害长期的模块可靠性。容错分布式遮蔽管理可以通过使用具有非破坏性的“低电压”(软)反向击穿的太阳能电池来改善,其基于引起开放模式故障的旁路开关元件或连接故障,一遮蔽的电池自身可作为一“低损耗”旁路开关且传输处于反向击穿的模块电流,同时限制功率损耗。这种模式下的功率损耗可被保持至低于两倍正常电池发电以防止可靠性故障。

[0192] 进一步地,当电池被遮蔽时,其自身可选地被设计具有一低/软的反向击穿电压(即较低的反向偏压,例如以产生不超过两倍电池发电的功率损耗作为准则和参考)。注意本申请的旁路二极管的功率损耗可以是低至电池功率10%,例如在4W的电池中功率损耗为 $0.3\text{--}0.4\text{W}$ 。

[0193] 然而,万一局部的旁路开关元件或连接发生故障(例如焊点断裂),该系统将继续发挥作用。考虑以下故障模式和结果:

[0194] -旁路开关元件故障-开路:太阳能电池被遮蔽时的软/低反向击穿。

[0195] -旁路开关连接故障-开路:太阳能电池被遮蔽时的软/低反向击穿。

[0196] -旁路开关元件故障-短路:太阳能电池被永久短路及旁路。

[0197] -旁路开关连接故障-短路:太阳能电池被永久短路及旁路。

[0198] 在某些情况下,按比例放大电压和缩小电流使得能够使用小/少得多的昂贵元件(实现层压改善和减少元件封装及模块厚度)和减少与较大的元件相关的功率损耗损失。在电池级局部地减少元件尺寸可减少功率损耗损失(在某些情况下产生一小部分功率损耗损失)。进一步地,减少MPPT芯片尺寸提高可靠性和实用性。

[0199] 可使用一具有岛型子电池且本文称为ice11的太阳能电池以增加(按比例放大)电压和减少(按比例缩小)电流。

[0200] 由一层初始的连续半导体层或衬底形成物理隔离或区域隔离的岛(即,初始的半导体被划分成支撑在共用的连续背板上的多个衬底岛)-因此得到的岛(例如,使用沟槽隔离区或穿过半导体衬底的切口彼此隔离的沟槽)是单片的-附接至连续背板(例如,柔性背板,诸如电绝缘预浸料层)并由其支撑。完整的太阳能电池(称为主电池或主ice11)包括多个单片集成的岛/子电池/微型电池,在某些情况下附接至柔性背板(例如,由预浸料材料制成的背板,例如具有相对良好的与半导体材料匹配的热膨胀系数或CTE,提供增加的太阳能电池柔性和柔韧度,同时抑制或甚至消除半导体层中微裂纹产生和裂纹扩散或断裂。进一步地,柔性单片岛型(或岛的单片集成组)电池(也称为ice11)在整个太阳能电池加工步骤

和最后的太阳能电池金属化期间提供改良的电池平面度和相对小或可忽略的电池弯曲,所述加工步骤诸如任何可选的半导体层减薄蚀刻、纹理蚀刻、纹理后清洗、PECVD钝化和抗反射涂层(ARC)工艺(而且在一些加工实施例中,由于减轻或消除了热引发的电池翘曲,也使得可以对衬底进行向阳面朝上的PECVD加工)。尽管本文公开的太阳能电池可用来生产覆盖有刚性玻璃的PV模块,但本文公开的结构和方法也使得可以由单片岛型主电池(即icell)形成柔性的轻量PV模块,其在模块层压期间以及也在PV模块现场操作期间实质上减少或消除太阳能微破裂。这些柔性的轻量PV模块可用在各种市场和应用中,包括但不限于住宅屋顶(包括住宅建筑集成化光伏或BIPV屋顶墙面板/瓦片)、商业屋顶、地面装配的公共设施规模的发电厂、便携式且可运输的PV发电机、汽车(诸如太阳能PV天窗)和其它特色应用。

[0201] 本文公开的创新方面尤其可个别地或组合提供以下优势:

[0202] -岛型太阳能电池(icell)使得可基于电池岛/瓦(或子电池)的数量(例如, $N \times N$ 阵列)来缩放太阳能电池的电压和电流的比例,尤其按比例增加太阳能电池的电压(换句话说,增加主电池的输出电压)和按比例减小太阳能电池的电流(换句话说,减小主电池的输出电流),在多种其它优势中尤其包括减少金属化薄板电导或厚度要求(因此,减少金属化材料和加工成本)、降低对诸如嵌入式遮蔽管理二极管(例如,较低电流的肖特基或pn结二极管)或嵌入式最大功率点追踪(MPPT)功率优化器(如嵌入式MPPT直流转直流微型转换器或MPPT直流转交流微型逆变器)的相关嵌入式电子元件的最大额定电流要求。这可以减小如旁路开关的嵌入式功率电子元件的尺寸(例如,占用空间和/或封装厚度)和成本(具有较高额定电流的旁路开关与具有较低额定电流的旁路开关相比典型地具有较高的成本),而且由于电流减小(例如,在旁路开关被激活且正向偏置以保护被遮蔽的太阳能电池时流经旁路开关),改良嵌入式功率电子装置(诸如用于分布式遮蔽管理的旁路开关或用于从PV模块的分布式增强功率/能量收集的MPPT功率优化器)的性能。较低额定电流(例如,约1至2A)的肖特基势垒二极管典型地比10A至20A的肖特基势垒二极管成本低得多,可具有小得多的封装且消耗少得多的功率。本文公开的实施例(例如,对于主电池或icell使用 $N \times N$ 岛),其中同一太阳能电池功率,配置用于提供较高的电池电压(高达 $N \times N$ 的按比例增加系数)和较低的电池电流(高达 $N \times N$ 的按比例减小系数)的电互连可减小得到的太阳能电池电流,同时增加太阳能电池电压,以使得可使用成本较低、较小且功率损耗较少的旁路二极管。例如,考虑最大功率点电压 $V_{mp} \approx 0.60V$ 且最大功率点电流 $I_{mp} \approx 9.3A$ (其中太阳能电池产生 $P_{mp} \approx 5.6$ 的最大功率点功率)的结晶硅主电池或icell。具有 5×5 阵列微型电池($N=5$)的主电池或icell,所有岛或子电池都电串联($S=25$)连接,例如使用如本文进一步描述的在太阳能电池背面上的第一级金属(M1)和电绝缘背板层上的第二级金属(M2)的组合)将产生 $V_{mp}=15V$ 且 $I_{mp}=0.372A$ 的改进电池-换句话说,主电池或icell的电压以25的系数按比例增加且主电池或icell的电流以同样25的系数按比例减小(与具有相同主电池尺寸但不具有本文公开的icell结构的太阳能电池相比)。

[0203] -由于具有较高电压和较低电流的主电池(icell)由多个岛或微型电池制成,因此具有诸如动态范围响应的优越性能的具有较高转化效率、嵌入式/分布式的较低成本,以及较小占用空间的最大功率点追踪(MPPT)功率优化器(直流转直流或直流转交流)芯片可嵌入模块层压板中和/或直接在太阳能电池的背面上集成(例如,在本文公开的附接有背板的icell的背板上)。在一个实施例中,icell可使用廉价的单芯片MPPT功率优化器(直流转

直流微型转换器或直流转交流微型逆变器)。

[0204] -允许廉价实施分布式的电池级的集成遮蔽管理,每个icell连接一个嵌入式旁路开关,现场为安装的PV模块提供较高的有效电能产出。在一个实施例中,这可以包括沿每个岛外周形成的单片集成旁路开关(MIBS),以使得在部分遮蔽期间只有受影响/被遮蔽的瓦或微型电池被分流,而剩余的瓦或微型电池产生并传递电能。

[0205] -岛型太阳能电池(icell)的电流按比例减小-例如,以 $N \times N$ 岛的系数减小-由于欧姆损耗减少而使得所需的图案化金属化薄板电导系数和厚度减小。换句话说,金属化薄板电导系数和厚度要求由于欧姆损耗实质性减少而放松。较薄的太阳能电池金属化结构具有多种与太阳能电池加工相关的益处,而且可提供显著的制造成本减少(例如,每个电池需要的金属化材料少得多)以及减少与相对厚(例如,对于指叉型背接触或太阳能电池而言为数十微米)的金属化结构和导电金属与半导体材料之间的CTE错配相关的热应力和机械应力。金属化材料(诸如铜或铝)与半导体材料相比通常具有高得多的CTE。例如,铝、铜和银(高电导率金属)的线性CTE分别为约 $23.1\text{ppm}/^\circ\text{C}$, $17\text{ppm}/^\circ\text{C}$, 以及 $18\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。然而,硅的线性CTE为约 $3\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。因此,在这些高电导率金属化材料与硅之间存在相对大的CTE错配。金属化材料与硅之间的这些相对大的CTE错配可导致严重的电池制造产率和PV模块可靠性问题,尤其在对太阳能电池使用相对厚的金属化结构时(如在IBC太阳能电池中使用的厚镀铜)。

[0206] 图40所示为是icell图案(显示为正方形岛和正方形icell)以及 $N \times N = 4 \times 4 = 16$ 岛(或子电池、微型电池、瓦)的均匀尺寸(等尺寸)正方形岛的代表性示意性平面视图(正面或向阳面视图)的图。此示意图示出了由沟槽隔离区划分的多个岛(显示成 $4 \times 4 = 16$ 岛)。图40所示是 4×4 均匀岛型(瓦片型)主太阳能电池或icell 120的顶视图或平面图的示意图。其由电池外周边界或边缘区122界定、具有边长 L 且包括十六个(16)均匀正方形岛,所述正方形岛由相同的原始连续衬底形成且认定为与主电池背面上的连续背板(背板和太阳能电池背面未显示)附接的 I_{11} 至 I_{44} 。每个岛或子电池或微型电池或瓦由显示为沟槽隔离或岛划分分界线124的内部岛外周边界(例如,沿整个主电池半导体衬底厚度切割且具有实质上小于岛边尺寸的沟槽宽度的隔离沟槽,沟槽宽度不大于数个100微米且在某些情形下小于或等于约 $100\mu\text{m}$ -例如,在几微米至高达约 $100\mu\text{m}$ 的范围内)来界定。主要的电池(或icell)外周边界或边缘区122具有 $4L$ 的总外周长度;然而,包括所有岛的外周尺寸的总的icell边缘边界长度包括电池外周边界122(也称为电池外周)和沟槽隔离边界线124。因此,对于正方形岛实施例中的包括 $N \times N$ 岛或微型电池的icell而言,总的icell边缘长度为 $N \times$ 电池外周。在显示具有 $4 \times 4 = 16$ 岛的icell的图40的代表性实例中, $N = 4$,因此总的电池边缘长度为 $4 \times$ 电池外周 $4L = 16L$ (因此,此icell具有比传统太阳能电池大4倍的外周尺寸)。对于尺寸为 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ 的正方形主电池或icell而言,正方形岛的边尺寸为约 $39\text{mm} \times 39\text{mm}$ 且每个岛或子电池具有每个岛 15.21cm^2 的面积。

[0207] 图41A和41B是附接有背板的太阳能电池在不同的太阳能电池加工阶段期间的代表性示意性横截面视图。图41A示出了附接有背板的太阳能电池在加工步骤之后且在形成划分沟槽区之前的简化横截面视图。图41B示出了附接有背板的太阳能电池在某些加工步骤之后且在形成划分沟槽区来界定沟槽划分岛之后的简化横截面视图。图41B示出了图40的icell沿图40的视图轴线A关于icell图案(显示为正方形岛和正方形icell)的示意性横截面视图,其指示 $N \times N = 4 \times 4 = 16$ 岛(或子电池、微型电池、瓦)的均匀尺寸(等尺寸)正方形

岛。

[0208] 图41A和41B分别是背板上的单片主电池半导体衬底在形成沟槽隔离或划分区之前和由主电池形成的背板上的单片岛型或瓦片型太阳能电池在形成沟槽隔离或划分区之后的示意性横截面图。图41A包括半导体衬底130,所述半导体衬底具有宽度(半导体层厚度)W且附接至背板132(例如,电绝缘连续背板层,例如预浸料的柔性薄板)。图41B是岛型太阳能电池(ice11)的横截面图—显示为沿图40电池的A轴的横截面图。如所示,图41B包括岛或微型电池I₁₁、I₂₁、I₃₁、以及I₄₁,其各自具有沟槽划分的半导体层宽度(厚度)W且附接至背板132。微型电池的半导体衬底区通过内部的外周划分边界即沟槽划分边界线124物理隔离和电隔离。岛或微型电池的半导体区I₁₁、I₂₁、I₃₁、以及I₄₁由图41A中所示的相同连续半导体衬底单片形成。图41B的ice11可由图41A的半导体/背板结构来形成,其通过沟槽穿过半导体层至附接的背板(沟槽划分的岛或微型电池由连续背板支撑)以所需微型电池形状(例如,正方形微型电池或岛)形成内部外周划分边界。沟槽划分半导体衬底来形成岛并未划分连续背板薄板,因此得到的岛仍然由连续背板层或薄板支撑并与其附接。例如可以通过脉冲激光烧蚀或切片、机械锯切片、超声波切片、等离子体切片、水射流切片或另一种合适的工艺(切片、切割、刻划和挖沟可互换地用来指沟槽隔离工艺以在连续背板上形成多个岛或微型电池或瓦的工艺)来进行穿过初始连续半导体衬底厚度的沟槽划分形成工艺。再次,背板结构可包括背板支撑薄板结合图案化的金属化结构的组合,其中背板支撑薄板为半导体层提供机械支撑且为得到的ice11提供结构完整性(使用柔性背板薄板的柔性太阳能电池或使用刚性背板薄板的刚性太阳能电池或使用半柔性背板薄板的半柔性太阳能电池)。再次,尽管对于连续背板支撑薄板与图案化的金属化结构的组合我们可使用术语背板,但更常见的是我们使用术语背板指与半导体衬底背面附接并支撑ice11半导体衬底区和整个图案化的太阳能电池金属化结构的背板支撑薄板(例如,预浸料的电绝缘薄板)。

[0209] 如前文所示,结晶(单晶和多晶)硅光伏(PV)模块目前占总的全球太阳能PV市场的约85%以上,而且这些结晶硅PV模块的起始结晶硅晶片成本目前占总的PV模块制造成本的约30%至50%(确切比率取决于技术类型和各种经济因素)。而且尽管本文提供的主要实施例被描述成背接触/背结(指叉背接触或IBC)太阳能电池,但本文公开的单片岛型太阳能电池(或ice11)创新是可扩展的,而且适用于各种其它太阳能电池架构,诸如金属化穿孔卷绕(MWT)背接触太阳能电池、半导体异质结(SHJ)太阳能电池、前接触/背结太阳能电池、前接触/前结太阳能电池、钝化发射极和后接触(PERC)太阳能电池以及其它前接触/前结太阳能电池,所有上文提到的电池设计都使用结晶硅(例如,单晶硅或多晶硅,最终的电池硅层厚度在几微米至高达约200微米的范围内)或另一种结晶(单晶或多晶)半导体吸收体材料(包括但不限于锗、砷化镓、氮化镓或其它半导体材料或其组合)。本文公开的单片岛型太阳能电池(或ice11)创新是可扩展的,而且适用于复合半导体多结太阳能电池。

[0210] 公开的单片岛型太阳能电池或ice11的主要优势在于它们可以在电池加工期间单片制造且易于集成进现有的太阳能电池制造工艺流程中。本文公开的岛型主电池实施例可结合多种附接有背板的太阳能电池设计、加工方法和半导体衬底材料来使用,包括使用图12中所示的外延硅剥离工艺流程制造的附接有背板的背接触太阳能电池。图12示出了一通用背接触太阳能电池制造加工流程的示意图,其强调一种所述电池制造工艺的重要加工步骤—一种使用相对薄(在几微米至高达约100微米的厚度范围内)的外延硅剥离加工的结晶

硅太阳能电池制造工艺,其实质上减少了硅材料的使用且消除了传统的结晶硅太阳能电池制造步骤中的几个加工步骤以产生低成本、高效的背结/背接触结晶硅太阳能电池和模块。具体地,图12的工艺流程示出了附接有背板的结晶硅太阳能电池的制造,其具有附接至太阳能电池背面的背板(例如,层压至太阳能电池的背面的预浸料背板薄板),对于太阳能电池和模块而言,任选地允许在多孔硅的种子和释放层上使用可重复使用的结晶(单晶或多晶)硅模板和外延硅沉积形成智能电池和智能模块设计(即,允许嵌入式分布式的电子元件以增强从太阳能电池和模块电能采集),其可利用和集成本文公开的单片岛型电池(ice11)结构和方法。

[0211] 图12的太阳能电池工艺流程可用来形成单片岛型太阳能电池或ice11。图12中所示的工艺从可重复使用的(将重复使用至少数次,在某些情形下约10次至高达约100次之间)结晶硅模板,例如p型单晶或多晶硅晶片开始,所述晶片上形成具有可控孔隙度的多孔硅的一层薄的(零点几微米至高达微米)牺牲层(例如通过在电流存在下以HF/IPA或HF/乙酸湿化学进行电化学蚀刻工艺以供模板表面改性)。多孔硅层可具有至少两层,一层孔隙度较低的表面层和一层孔隙度较高的掩埋层。起始材料或可重复使用的结晶硅模板可以是单结晶(也称为单晶)硅晶片,例如使用诸如浮区(FZ)、直拉(CZ)、磁稳定CZ(MCZ)的晶体生长方法形成,且进一步可选地可包括在所述硅晶片上生长的外延层。或者,起始材料或可重复使用的结晶硅模板可以是多晶硅晶片,例如使用浇铸或条带形成,且进一步可选地可包括在所述硅晶片上生长的外延层。模板半导体掺杂类型可以是p或n(常是相对重的p型掺杂以促进多孔硅形成),而且晶片形状尽管最常见正方形,但可以是任何几何或非几何形状,诸如准正方形(伪正方形)、六边形、圆形等。

[0212] 牺牲多孔硅层(其充当高品质外延种子层以及后续的分离/剥离层用于得到的外延硅层)形成后,在牺牲多孔硅层上形成一薄的(例如,层厚度在数微米至高达约100微米的范围内,且在某些情形下外延硅厚度小于约50微米)原位掺杂(例如,经磷掺杂以形成n型外延硅层)的结晶(单晶或多晶)硅层,也称作外延生长。例如通过可以在包括硅气体(诸如三氯硅烷或TCS)和氢气(和所需掺杂剂气体,诸如PH₃用于n型磷掺杂)的环境中使用化学气相沉积或CVD工艺的常压外延来形成原位掺杂的结晶(单晶模板上的单晶层或多晶模板上的多晶层)硅层。

[0213] 在完成一部分太阳能电池加工步骤(包括在某些情形下,背面掺杂的发射极形成、背面钝化、掺杂的基极和发射极接触区用于至基极和发射极区的后续金属化接触以及太阳能电池金属化)后,可将一层相当廉价的背板层附接至薄的外延层以供永久性的电池支撑和增强以及支持形成太阳能电池的高电导率电池金属化结构(例如,使用双层金属化结构,即在背板附接之前在太阳能电池背面上使用图案化的第一层金属或M1,以及在背板附接之后和在从可重复使用的模板剥离释放附接有背板的太阳能电池之后在附接有背板的太阳能电池的背面上使用图案化的第二层金属或M2)。连续背板材料可由薄的(例如,厚度在约50微米至约250微米厚的范围内)、柔性且电绝缘的聚合物薄板制成,如在印刷电路板中常用的满足电池工艺集成和可靠性要求的廉价预浸料材料。然后沿机械性弱的牺牲多孔硅层(例如通过机械释放或MR剥离工艺,断开较高孔隙度的多孔硅界面以使得可剥离释放)从可重复使用的模板分离并剥离(释放)经过部分加工的背接触、背结(IBC)附接有背板的太阳能电池(例如,太阳能电池的面积为约100mm×100mm、125mm×125mm、156mm×156mm、

210mm×210mm或更大,或太阳能电池面积在约100cm²至数个100cm²且甚至更大的范围内),而且可对模板进行护理(例如,清洗)并重复使用多次(例如,约10次至100次之间)以减少总体的太阳能电池制造成本。然后可在附接有背板的太阳能电池上进行剩余的剥离后太阳能电池加工,例如首先在从模板剥离并释放后暴露的太阳能电池向阳面(或正面)上进行。太阳能电池正面或向阳面加工例如可包括完成正面纹理化(例如,使用碱性或酸性纹理化)、纹理化后表面制备(清洗)及使用沉积工艺形成正面钝化和抗反射涂层(ARC)。正面钝化和ARC层可使用等离子体增强的化学气相沉积(PECVD)工艺和/或另一种合适的工艺方法来沉积。

[0214] 本文公开的单片岛型电池(ice11)结构和方法可整合到装置制造中,如示例性公开的太阳能电池制造工艺流程,而实质上并未改变或增加制造工艺步骤或工具,因此实质上并未增加制造太阳能电池的成本且实质上并未改变主要的太阳能电池制造工艺流程。实际上,本文公开的单片岛型电池(ice11)结构和方法可以减少制造太阳能电池的成本,例如通过减少金属化成本(使用较少的金属化材料和较低成本的金属化工艺)和/或通过改良太阳能电池和模块的制造产率(由于实质上减轻了太阳能电池的微裂纹或断裂)。

[0215] 在一个实施例中,可使用如脉冲激光烧蚀(例如,脉冲纳秒激光刻划)或机械刻划方法或等离子体刻划方法的合适方法,穿过主电池硅衬底层的厚度(例如,外延硅层厚度可在约数微米至高达约100微米的范围内),由正面或向阳面(在附接有背板的外延硅衬底层剥离释放之后)对主电池半导体衬底进行刻划(也称为挖沟或切割或切片)以形成划分沟槽边界且产生多个沟槽划分的岛或微型电池或子电池或瓦的内部岛。可进行脉冲激光烧蚀刻划(或如前文所述的另一种合适的沟槽刻划方法)以便穿过半导体衬底层的厚度刻划形成相对窄的(例如,宽度小于100微米)沟槽隔离边界,始终穿过薄硅层的整个厚度且基本上在背板处/上停止(连续背板材料层的去除和刻划相当小或可忽略)一因此单片产生支撑在连续背板层上的完全划分的单片岛(或子电池或微型电池或瓦)。用于在具有约数微米至高达约200微米范围内厚度(主电池衬底厚度或宽度在图2中显示为W)的主电池衬底中形成多个岛及其相关沟槽划分边界的划分沟槽形成方法例如包括:脉冲激光刻划(或切片、或挖沟),如通过脉冲纳秒激光烧蚀(使用合适的激光波长,如UV、绿光、IR等);超声波刻划或切片;机械沟槽形成,如通过使用机械锯或刀片;图案化的化学蚀刻(湿法蚀刻和等离子体蚀刻);丝网印刷蚀刻浆料,接着进行蚀刻活化并冲洗蚀刻浆料残余物,或已知或上文提到的沟槽形成方法的任意组合。用于沟槽形成的脉冲激光烧蚀加工可提供几种优势:实现对岛或微型电池边界进行直接图案化同时具有相对高的加工产量、使得可形成相对窄的沟槽(例如,小于约100微米的沟槽宽度)且无任何可消耗的工艺(因此,加工成本极低)。然而,无论用来划分多个岛或子电池的沟槽形成方法如何,都应特别小心以减小沟槽宽度或使其最小化一例如,可期望使划分沟槽宽度小于约100微米,以使得太阳能电池由于ice11划分沟槽的面积损失相对小至占总ice11面积的可忽略部分(例如,小于总ice11面积的约1%)。这将确保由于划分沟槽产生的ice11总面积效率的损失几乎可忽略(例如,小于1%相对值)。脉冲纳秒激光烧蚀加工能够高产量地形成沟槽宽度远低于100微米(例如,约10至60微米)的沟槽。例如,对于例如通过脉冲激光烧蚀挖沟形成的主电池面积为156mm×156mm和4×4=16岛(或微型电池)且划分沟槽的沟槽宽度为50微米(0.05mm)的正方形ice11而言,总的沟槽平面表面面积 A_{trench} 与总的主电池面积(或ice11面积 A_{ice11})的面积比R可如下计算: $R =$

$A_{\text{trench}}/A_{\text{icell}} = 6 \times 156\text{mm} \times 0.05\text{mm} / (156\text{mm} \times 156\text{mm})$ 或 $R = 0.00192$ 。因此,这代表面积分数 R 为 0.00192 或约 0.2% 。这是一个极小的面积比,确保了由于划分沟槽区域而导致的总面积 icell 效率的损失可忽略。实际上,总面积 icell 效率损失在这些条件下将小于 0.2% 相对值,因为冲击到沟槽隔离或划分区域上的直接和/或漫反射的阳光可至少部分地且可能大部分在岛半导体边缘区上被吸收且有助于光生过程。

[0216] 本文所述的单片岛型(瓦片型)太阳能电池制造方法和结构适用于各种半导体(例如包括但不限于结晶硅,如薄的外延硅或薄的结晶硅晶片)太阳能电池(例如,具有电池半导体吸收体的厚度在数微米至高达约200微米范围内的各种设计的前接触或背接触太阳能电池),包括使用外延硅剥离工艺(如较早前所述)形成的太阳能电池或使用结晶硅晶片,如单晶(CZ或MCZ或FZ)晶片或多晶晶片(浇铸或条带生长的晶片)形成的太阳能电池。

[0217] 对于背接触/背结正方形电池(例如使用外延硅剥离加工或具有背板增强的结晶硅晶片电池形成的高效背接触/背结IBC电池)而言,主电池岛(也称为瓦、铺筑材料、子电池或微型电池)可在共用的主电池(icell)连续背板上形成(例如,使用脉冲纳秒激光对结晶硅衬底进行刻划)为 $N \times N$ 正方形岛、 $N \times M$ 长方形岛、 K 三角形岛或任意几何形状岛或其组合的阵列。在使用外延剥离工艺制造的太阳能电池的情形下,可在经过部分加工的附接有背板的主电池剥离释放之后,且在剩余工艺步骤如正面表面纹理化和纹理化后表面清洗之前即刻进行岛划分沟槽形成工艺,或在正面纹理化和纹理化后表面清洗之后,且在形成前表面钝化和抗反射涂层(ARC)的工艺之前即刻进行。在湿法蚀刻纹理化工艺(用以形成太阳能电池正面纹理以减少光反射损失)之前通过脉冲激光刻划或另一种合适方法(诸如较早前所述的其它方法之一,包括但不限于机械切片)进行形成划分或隔离沟槽的工艺(即,挖沟工艺)具有通过湿法蚀刻除去由任何挖沟工艺引起的硅边缘损害和在湿法纹理化蚀刻工艺期间除去受损的硅(在纹理化蚀刻工艺期间也蚀刻几微米的硅,包括在划分沟槽侧壁任何受损的硅)的额外优势。

[0218] 在一些太阳能电池加工实施例中,包括本文中详细描述的那些代表性工艺流程,可能不需要另外单独的制造工艺设备用来形成单片岛型主电池(icells)。换句话说,在每个 icell 中形成沟槽划分的微型电池或岛可在太阳能电池制造方法相当容易且无缝地集成。而且在某些情形下,单片岛型太阳能电池(icell)制造工艺可通过减少太阳能电池制造成本来改进太阳能电池制造加工流程,例如通过减少太阳能电池金属化的成本如通过除去对镀铜工艺和镀铜的相关制造设备和设施要求的需要。

[0219] 图43是基于外延硅和多孔硅剥离加工的代表性背板附接的 icell 制造工艺流程。此加工流程是用于使用两太阳能电池金属化(M1和M2)图案层制造附接有背板的背接触/背结太阳能电池(icell)。示出此实例用于具有选择性发射极的太阳能电池,即使用掺杂较轻硼的硅酸盐玻璃形成的具有较轻发射极掺杂的主要的图案化的场致发射极(第一BSG层具有由工具3沉积的较小硼掺杂)和使用掺杂更重硼的硅酸盐玻璃的掺杂更重硼的发射极接触区(第二BSG层具有由工具5沉积的较大硼掺杂)。尽管示出此实例用于使用双BSG选择性发射极工艺的IBC太阳能电池,但 icell 设计适用于宽范围的其它太阳能电池结构和工艺流程,包括但不限于无选择性发射极的IBC太阳能电池(即在场致发射极和发射极接触区中的发射极硼掺杂相同)。示出此实例用于具有n型基极和p型发射极的IBC icell 。然而,可改变极性以便太阳能电池相反地具有p型基极和n型发射极。

[0220] 图42是用于制造背接触背结结晶单片岛型硅太阳能电池(ice11)的代表性制造工艺流程实施例。具体地,图42提供形成外延(epi)太阳能电池,可选地具有单片集成的旁路开关(MIBS)pn结二极管且具有双重硼硅酸盐玻璃(BSG)选择性发射极。如此流程中所示,在电池释放边界刻划和电池剥离释放之后,且在对暴露的释放边(也称为所得ice11的正面或向阳面)进行纹理化之前,在工具13处形成微型电池沟槽隔离区。或者,可在工具14中纹理化且纹理化后清洗之后,且在正面钝化(显示为PECVD)之前形成微型电池沟槽隔离区。在湿法蚀刻纹理化(使用工具14进行纹理化和纹理化后清洗)之前进行脉冲激光刻划可具有通过湿法蚀刻除去由任何激光引起的刻划硅边缘损害和除去受损硅的额外优势。

[0221] 使用外延硅剥离工艺形成单片岛型(瓦片型)背接触/背结(IBC)太阳能电池的代表性工艺流程可包括以下制造步骤:1)从可重复使用的结晶(单晶或多晶)硅模板开始;2)在模板上形成多孔硅(例如,在HF/IPA或HF/乙酸中使用阳极蚀刻的具有较低孔隙度表面层和较高孔隙度掩埋层的双层多孔硅);3)使用原位掺杂沉积外延硅(例如,n型掺杂磷的外延硅);4)进行背接触/背结电池加工,同时外延硅衬底留在其模板上,包括形成图案化的场致发射极结、背面钝化、掺杂基极和发射极接触区用于后续 μm 金属化的太阳能电池欧姆接触以及形成第一金属化层(也称为M1)-参考图42关于背接触/背结(IBC)太阳能电池制造工艺流程的实例,其包括使用用于形成选择性发射极的双重BSG(BSG是例如通过常压化学气相沉积或APCVD工艺形成的掺杂硼的硅酸盐玻璃或掺杂硼的氧化硅层)工艺流程(可使用形成选择性发射极的其它方法代替双重BSG工艺,例如使用丝网印刷的掺杂剂浆料)的选择性发射极工艺(具有更轻掺杂的场致发射极和更重掺杂的发射极接触区);5)在背接触电池背面上附接或层压背板层或薄板;6)将背板边界周围的边界(剥离释放边界)至少部分地经激光刻划释放进外延硅层厚度,且随后通过剥离工艺(例如,机械释放剥离以通过断开机械性弱的较高孔隙度多孔硅层从可重复使用的模板分离附接有背板的外延硅衬底)释放;7)使用脉冲纳秒激光烧蚀(或如较早前所述的其它合适的沟槽隔离形成方法之一)从太阳能电池的向阳面(与背板面相反)进行挖沟(也称为刻划或切割或切片)工艺以将硅衬底单片划分成多个微型电池或岛-例如划分成包括 $4 \times 4 = 16$ 个微型电池的岛阵列(也可选地修剪主电池外周边界,例如使用脉冲激光切割,以建立具有界限清楚的光滑电池边界边缘的精确主电池或ice11尺寸);8)继续进行剩余的后期制造工艺,如:在碱性和/或酸性化学中的湿法硅蚀刻/纹理化(此工艺在正面上进行纹理化,同时耐化学的背板保护太阳能电池的背面免受纹理化化学损害)、包括湿法清洗的纹理化后的表面制备(此工艺进行正面表面清洗,同时耐化学的背板保护太阳能电池的背面免受湿法清洗化学损害)、例如通过等离子体增强化学气相沉积(PECVD)或用于ARC沉积的PECVD(例如,氢化氮化硅)与用于钝化层沉积的另一种工艺(如原子层沉积(ALD))的组合来沉积正面表面钝化和抗反射涂层(ARC)层(如直接在已清洗和纹理化的硅表面上且在氮化硅ARC层下方的薄的30nm的氧化铝、非晶形硅或非晶形氧化硅子层-如果使用多层正面钝化/ARC结构,如上文提到的钝化层之一被氮化硅ARC层覆盖的双层结构,那么也可以通过使用真空集成工艺的PECVD来沉积整个堆叠)。正面钝化和ARC层沉积不仅将覆盖微型电池或岛的正面表面,而且也将覆盖沟槽划分的岛或微型电池的侧壁,因此通过改善沟槽侧壁以及岛的顶表面的钝化和光捕获特性而实质性地改善ice11的钝化和ARC特性。在完成正面纹理化/清洗/钝化和ARC沉积工艺之后,剩余的太阳能电池制造工艺步骤包括在附接有背板的太阳能电池背面上完成第二金属化层(M2)。为了完

成此任务,例如使用激光钻孔根据预先设计的通孔图案在薄的(例如,25微米至高达250微米的背板厚度)电绝缘连续背板层(例如,25微米至100微米厚的层压预浸料薄板)中钻出多个通孔。太阳能电池(例如,156mm×156mm icell)背板上的通孔数量可是大约几百至几千的数量级。通孔可具有几十微米至几百微米范围内(例如,约100微米至300微米)的平均斜孔尺寸(例如,每个通孔的平均直径)。定位穿过电绝缘背板层的激光钻出的通孔以使其落在指叉型基极和发射极金属化指状物上(由第一级的图案化金属化形成,其通过丝网印刷金属浆料或通过物理气相沉积并图案化金属层,所述金属层如铝或铝硅合金)。这些通孔将充当在背板附接/层压之前直接在太阳能电池背面上形成的第一层图案化金属化或M1与将在形成激光钻出的通孔后即刻形成的第二层图案化金属或M2之间的互连通道或插塞。在某些情形下,对于本文公开的icell,可通过几种方法之一形成第二级的图案化金属化M2,方法包括但不限于以下中的一种或其组合:(1)包括例如铝和/或铜(也可以使用其它金属)的廉价高电导率金属的物理气相沉积或PVD(热蒸发和/或电子束蒸发和/或等离子体溅射),然后进行脉冲激光烧蚀图案化,(2)包括例如铝和/或铜(也可以使用其它金属)的廉价高电导率金属的物理气相沉积或PVD(热蒸发和/或电子束蒸发和/或等离子体溅射),然后进行金属蚀刻图案化(例如,丝网印刷蚀刻浆料或丝网印刷抗蚀剂,然后进行金属湿法蚀刻工艺,且接着除去抗蚀剂),(3)丝网印刷或模版印刷合适的金属浆料(如包括铜和/或铝的浆料),(4)喷墨印刷或气溶胶印刷合适的金属浆料(如包括铜和/或铝的浆料),(5)图案化电镀合适的金属,例如镀铜。图案化的第二层金属化(M2)也可以包括薄的封盖层(例如,通过等离子体溅射或丝网印刷或电镀形成的薄的小于1微米的NiV或Ni封盖层)以保护主要的图案化M2(例如,含有铝和/或铜的高电导率金属)和提供用于焊接的合适表面或视需要提供导电粘合剂。本文所述的背接触/背结(IBC)太阳能电池可使用两层图案化金属化(M1和M2),其中第一图案化金属化层M1根据细间距图案在每个微型电池或岛上形成指叉型基极和发射极金属化指状物(例如,基极-发射极M1指状物间距在约200微米至2毫米的范围内,且在某些情形下在约500微米至约1毫米的范围内),且第二图案化金属化层M2根据预指定的电流和电压比例因子形成最终的icell金属化并使岛或微型电池互连。图案化的M2实质上可与图案化的M1正交或垂直图案化且具有比图案化M1指状物大得多的指状物间的间距。这实质上将便于根据低成本、高产率的制造工艺来制造图案化的M2。图案化的M2不仅形成最终的icell图案化金属化,也形成穿过激光钻出的通孔的导电介层插塞以基于所需的icell金属化结构完成M2与M1的互连。

[0222] 还可以延伸icell的概念以使得第二层图案化的金属化M2不仅可用来完成个别的主电池(或icell)电互连,而且使共用同一连续背板层的多个icell单片互连,因此产生通过icell实施例促进并实现的单片模块结构且具有多种其它益处。关于外延硅剥离icell代表性实施例的图5A示出了用于制造单片icell的工艺流程,每个icell与其本身的单独预切割连续背板层附接,且每个个别的附接有背板的icell在其背板层压后通过整个后期工艺流程进行加工。使用此方法加工的icell随后将在该工艺结束时进行测试和分类,而且可以通过使用搭接和/或串接电池使icell彼此互连,例如以电串联形式,而组装成PV模块(也包括焊接和/或导电粘合剂以使多个太阳能电池彼此互连作为PV模块装配的部分),然后完成模块层压和最终的模块装配和测试。参考图5A关于外延硅剥离icell代表性的实施例,产生新颖的单片模块结构的icell实施的替代性实施例包括通过由工具12进行的背板层压(或

附接步骤)使多个相对近距的icell(例如,相邻icell与icell的间距在50微米至高达约2毫米的范围内,且通常在约100微米至1毫米的范围内)在其背面上附接或层压至较大的连续背板薄板。工具12后的剩余工艺步骤在其背面上共用同一连续背板层的多个icell上同时进行(而非在个别单独的icell上进行,每个icell具有其本身单独的背板)。在完成最后的金属化(图案化第二层金属M2)之后,单片图案化M2不仅在共用较大连续背板层的多个icell中完成每个icell的金属化图案,而且也根据任何所需的设置完成多个icell彼此之间的电互连,例如使icell彼此之间全部以串联或混合的并联/串联设置互连。此实施例使得能够制造icell并使多个icell在共用的连续背板层上可单片电互连,因此除去了在最后的模块装配期间需要后续的使icell彼此焊接/搭接/串接。例如,为了制造 $6 \times 10 = 60$ 个电池的模块,在完成图案化第一层金属(M1)之后-在图5A中的工具11工艺之后-即刻将 $6 \times 10 = 60$ 个icell的阵列在其背面上附接/层压至适当尺寸的连续背板薄板(例如,预浸料薄板),且剩余的工艺步骤(从如工具12所示的背板层压/附接工艺开始且通过剩余的后期工艺步骤完成第二层图案化金属M2)全部在包括多个(例如, $6 \times 10 = 60$)icell的附接有背板的大薄板上进行。在包括 $6 \times 10 = 60$ 个icell的此单片模块实例中,如果每个icell具有约 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ 的尺寸而且相邻icell之间的间距约为1mm,那么将用于与 6×10 icell阵列背面附接/层压的连续背板层或薄板(例如,厚度在约50至100微米范围内的芳纶纤维/树脂预浸料薄板)应具有约 $942\text{mm} \times 1570\text{mm}$ 的最小尺寸(例如,薄板可制得稍微过大以允许背板在单片模块的侧边内延伸,例如此 $6 \times 10 = 60$ 个icell的单片模块实例中约 $1\text{m} \times 1.6\text{m}$ 的背板薄板尺寸)。作为另一实例,为了制造 $6 \times 12 = 72$ 个电池的模块,在完成图案化第一层金属(M1)之后-在图5A中的工具11工艺之后-即刻将 $6 \times 12 = 72$ 个icell的阵列在其背面上附接/层压至适当尺寸的连续背板薄板(例如,预浸料薄板),且剩余的工艺步骤(从如工具12所示的背板层压/附接工艺开始且通过剩余的后期工艺步骤完成第二层图案化金属M2)全部在包括多个(例如, $6 \times 12 = 72$)icell的附接有背板的大薄板上进行。在包括 $6 \times 12 = 72$ 个icell的此单片模块实例中,如果每个icell具有约 $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ 的尺寸而且相邻icell之间的间距约为1mm,那么将用于与 6×10 icell阵列背面附接/层压的连续背板层或薄板(例如,厚度在约50至100微米范围内的芳纶纤维/树脂预浸料薄板)应具有约 $942\text{mm} \times 1884\text{mm}$ 的最小尺寸(例如,薄板可制得稍微过大以允许背板在单片模块的侧边内延伸,例如此 $6 \times 12 = 72$ 个icell的单片模块实例中约 $1\text{m} \times 1.9\text{m}$ 的背板薄板尺寸)。使用第二层图案化金属M2使共用连续背板层上的多个icell单片互连使得总体太阳能电池和PV模块制造成本进一步减少以及改进PV模块在现场操作期间的预计可靠性(由于排除了焊接搭接、串接)。

[0223] 本发明的实施例可适用于使用如图5A的代表性工艺流程所概述的此类型加工流程的太阳能电池,以及许多种其它的太阳能电池设计(如前文所述)和太阳能电池制造工艺流程,包括但不限于由起始的单晶晶片(例如,直拉或CZ、浮区或FZ)或多晶晶片(来自浇铸结晶砖块或通过带拉工艺形成)或外延生长或其它衬底制造方法制造的太阳能电池。此外,icell实施例可适用于除如前文所述的硅以外的其它半导体材料,包括但不限于砷化镓、锗、氮化镓、其它复合半导体或其组合。

[0224] 图43是使用起始的结晶(单晶或多晶)硅晶片的高水平太阳能电池和模块制造工艺流程实施例。图43示出了使用两层金属化:MI和M2制造附接有背板的背接触/背结(IBC)icell的高水平icell工艺流程。第一层或第一级的图案化电池金属化M1在背板层压至已部

分加工的icell(或在如较早前所述制造单片模块时,较大的连续背板附接至多个已部分加工的icell)之前基本上作为多个电池前段制造工艺中的最后加工步骤来形成。在图5B的顶部4个框中概述的电池前段制造工艺通过图案化M1层基本上完成了背接触/背结太阳能电池背面结构。图案化的M1被设计成与icell岛(微型电池)相符且包括细间距指叉型金属化图案,如关于图42中概述的外延硅icell工艺流程所述。在图43中,从顶部开始的第五个框包括将背板层或薄板附接或层压至经过部分加工的icell背面(或在制造单片模块时附接或层压至多个经过部分加工的icell的背面)-在外延硅剥离工艺的情形下,此加工步骤基本上等同于图42中由工具12进行的步骤。在图43中,从顶部开始的第六个和第七个框概述后段或背板附接后(也称为层压后)的电池制造工艺以完成剩余正面(可选的硅晶片减薄蚀刻以形成更薄的硅吸收体层(如果需要)、划分沟槽、纹理化、纹理后清洗、钝化和ARC)以及通孔和第二级或第二层的图案化金属化M2。在图5B的第六个和第七个框中概述的“层压后”工艺(或在背板附接后进行的电池后段制造工艺)基本上对应于对于图42中所示的外延硅剥离工艺流程而言由工具13至18进行的工艺。图5B中的底部框描述最终将得到的icell装配成柔性的轻量PV模块或装配成刚性的覆盖有玻璃的PV模块。如果工艺流程产生包括由图案化M2(如较早前关于外延硅剥离工艺流程所述)单片互连在一起的多个icell的单片模块,那么在图43的底部框中概述的剩余PV模块制造工艺将简化,因为共用较大的连续背板的多个互连icell和用于电池与电池互连的图案化M2金属化已电互连,而且不需要使太阳能电池彼此搭接和/或串接和/或焊接。得到的单片模块可层压成一柔性的轻量PV模块(例如,在正面上使用如ETFE或PFE的薄的柔性含氟聚合物覆盖薄板代替刚性/重的玻璃覆盖薄板)或刚性的覆盖有玻璃的PV模块。

[0225] 岛或微型电池的设计可包括各种几何形状,如正方形、三角形、长方形、梯形、多边形、蜂巢六边形岛或许多种其它可能的形状和尺寸。可选择icell中岛的形状和尺寸以及岛的数量以提供对于以下考虑因素之一或组合而言最佳的属性:(i)主电池(icell)中的总体裂纹消除或减轻;(ii)增强主电池(icell)的柔韧性和柔性/可弯曲性而无裂纹形成和/或扩散且太阳能电池或模块性能(功率转化效率)无损失;(iii)通过减小主电池(icell)电流并增加icell电压(通过单片icell中岛的串联连接或混联一串联连接,导致电压按比例增加且电流按比例减小)降低金属化厚度和电导率要求(且因此,降低金属化材料消耗和加工成本);和(iv)对得到的icell提供相对最佳的电压与电流范围组合以促进且使得可以在icell上和/或在包括icell的层压PV模块中实施廉价的分分布式嵌入式电子元件,包括但不限于每个icell至少一个旁路开关(例如,整流pn结二极管或肖特基势垒二极管)、最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器(每个模块中嵌入至少多个MPPT功率优化器,其中每个MPPT功率优化器专用于至少1个至多个串联连接和/或并联连接的icell)、PV模块电源开关(在安装的PV阵列中的电源线上具有遥控器以视需要切换PV模块开或关)、现场操作PV模块期间的模块状态(例如,功率输送和温度)等。例如且如较早前所述,在与其它要求一起考虑时的某些应用和情况下,可能需要在主电池(icell)外周附近具有较小的(例如三角形)岛以减少得到的icell和柔性的轻量PV模块的裂纹扩散和/或改善柔性/可弯曲性。

[0226] 将主要电池/主电池划分成岛或子电池阵列(如 $N \times N$ 正方形或伪正方形或 K 三角形或其组合的阵列)并使这些岛以电串联或电并联与电串联的混合组合形式互连减小每个岛或微型电池的总主电池电流-例如,如果所有正方形岛都以电串联连接则以 $N \times N = N^2$ 的

系数减小,或如果所有三角形岛都以串联连接则以K的系数减小。而且在主要电池/主电池或icell具有最大功率(m_p)电流 I_{mp} 和最大功率电压 V_{mp} 的同时,每个串联连接的岛(或以并联连接且然后以串联连接的岛子群)将具有最大功率电流 I_{mp}/N^2 (假设 N^2 个岛串联连接)和最大功率电压 V_{mp} (岛电压无变化)。设计第一和第二金属化层图案,别为M1和M2,以便在共用的连续或连续背板上的岛以电串联连接,产生具有最大功率电流 I_{mp}/N^2 和最大功率电压 $N^2 \times V_{mp}$ 或电池(icell)的最大功率为 $P_{mp} = I_{mp} \times V_{mp}$ (与无微型电池划分的主电池的最大功率相同)的主要电池/主电池或icell。

[0227] 因此,单片岛型主电池或icell架构由于减小的太阳能电池电流而减少欧姆损耗,且如果适用或需要,一般允许较薄的太阳能电池金属化结构和更薄的M2层。进一步地,主电池或icell的电流减小和电压增加使得相对廉价的、高效的最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器电子器件可直接嵌入PV模块中和/或集成在太阳能电池背板上。

[0228] 假设主要电池/主电池或icell具有S正方形或伪正方形图案的岛(其中S是整数并假设 $S = N \times N$)或P三角形岛(其中P是整数,例如2或4),其中P沟槽隔离三角形岛的每个相邻组形成正方形的岛子群。形成正方形子群的P三角形岛的每个相邻组可电并联连接,且S子群组电串联连接。得到的主要电池将具有 I_{mp}/S 的最大功率电流和 $S \times V_{mp}$ 的最大功率电压。实际上,岛的电流减小和电压增加也可使得相对廉价的、高效的最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器电子器件可直接嵌入PV模块中和/或在太阳能电池背板上集成。此外,icell的创造性方面也使得可基于向模块中实施廉价的旁路二极管(例如,pn结二极管或肖特基二极管)实现分布式的遮蔽管理,例如在最终的PV模块层压之前每个太阳能电池嵌入一个旁路二极管。在金属化实施例中,M1金属化层可为在每个岛中所含的无母线细间距(基极与基极间的间距在大致约200微米至2毫米的范围内,且更具体在约500微米至1500微米的范围内)指叉型A1和/或A1/Si金属指状物图案(通过丝网印刷或PVD和PVD后图案化形成)。对于每个岛而言,M1指状物可从划分沟槽隔离边缘略微凹陷(例如从岛沟槽隔离边缘凹陷或偏移约50微米至几百微米)。换句话说,主电池中每个岛的M1指状物都彼此电隔离并物理分开(对应于特定岛的M1图案在本文中可称为M1单元电池)。

[0229] 岛(全部岛,并联-串联混合的,或全部并联的)的电互联结构可通过M2图案设计限定,其中M1充当所有主电池岛的电池上接触的金属化,而M2提供高电导率金属化以及icell或主电池内的岛的电互连。

[0230] 此外,主要/主太阳能电池或icell的电压增强/电流减小提供嵌入每个模块中且与每个icell和/或每个岛相关的相对廉价的、高性能、高效的最大功率点跟踪(MPPT)功率优化器电子器件的集成-从而在具有被遮蔽、部分被遮蔽和未被遮蔽岛的主电池上提供增强的功率和能量采集能力。类似地,每个icell或甚至每个icell中的每个岛本身都可具有廉价的旁路二极管(pn结二极管或肖特基势垒二极管)以提供分布式的遮蔽管理能力,用于在遮蔽和部分遮蔽条件下增强太阳能电池保护和功率采集。与全串联或混合并联-串联连接相比,由全并联M2图案提供的岛的全部并联电连接也提供如上文所述单片岛型太阳能电池的诸多优点中的一些,尤其是增加得到的icell和PV模块的柔性和可弯曲性。

[0231] 在一些实施例中,单片岛型主电池或icell可使单片集成的旁路开关(MIBS)与每个icell和/或icell中的每个岛集成以提供高性能的轻量、薄样式、柔性、高效(例如,大于20%)太阳能模块,其具有分布式的遮蔽管理-例如在每个岛的外周周围形成的pn结二极

管,如边缘pn结二极管。或者,MIBS装置可为金属接触肖特基二极管,如在每个岛的外周周围形成的边缘肖特基二极管,所述每个岛由例如铝或铝硅合金在n型硅上肖特基接触制得的。pn结MIBS二极管图案可以是许多种可能的图案设计之一。例如,在一个MIBS二极管图案中,边缘二极管p+发射极区域是夹在n型基极区之间(或由n型基极区包围)的连续闭环带。

[0232] 尽管标准的刚性玻璃模块(例如,使用镀铜的电池和离散的遮蔽管理元件)可用来减少岛型太阳能电池(icell)的模块制造成本,进一步地,可以通过并入MIBS、除去镀铜和离散的旁路二极管元件来实现进一步减少重量和成本。对于单片岛型主电池而言的MIBS集成益处包括由于加工简化(无电镀、裂纹更少)且总体预计可靠性增强(例如通过从电池中除去离散的元件)而使材料成本减少以及制造风险实质上减轻且制造产率更高。因此,单片岛型MIBS集成的主电池模块可以通过显著的系数减少重量、减少体积/尺寸(和厚度)并增加模块的功率密度(W/kg)-进一步减少安装系统的系统平衡(Balance of System,BOS)成本。

[0233] 单片岛型MIBS集成的主电池模块可提供某些或全部以下优势:无需外部组件的分布式MIBS遮蔽管理;每单位面积相对小的平均模块重量,例如在约 1.2kg/m^2 (约 0.25lb/ft^2)的数量级上,这比标准的刚性c-Si模块至少轻10倍;约 155W/kg (约 70W/lb)的模块功率密度,这比标准的刚性c-Si模块至少高10倍;对于各种应用而言高效(大于20%)的轻量柔性模块;模块运输重量和体积(每次MW运输)分别减少约10倍和40倍;总体BOS成本减少,使得安装PV系统的成本与安装使用标准刚性c-Si模块的PV系统的成本相比较低;以及BOS和与运输和处理、人力、安装硬件和接线成本相关的多方面成本减少。

[0234] MIBS形成与划分沟槽隔离形成工艺集成并同时进行。如果使用边缘二极管设计,那么单片集成的旁路开关(MIBS)边缘也可以提供减轻或消除在太阳能电池制造期间和/或之后微裂纹在太阳能电池中产生和/或扩散的额外益处。

[0235] 使边缘旁路二极管与岛分开并隔离的穿过硅划分沟槽的整个外周视激光束的直径(或如果使用除激光挖沟以外的工艺,则为挖沟工艺的能力)和半导体层的厚度而定,例如可具有几微米至高达约100微米范围内的隔离宽度。通过脉冲纳秒(ns)激光刻划形成的典型沟槽隔离宽度可为约20至50微米,尽管沟槽隔离宽度可更小。尽管脉冲激光烧蚀或刻划是用以形成沟槽隔离区的有效且得到证明的方法,但应注意对于所有沟槽形成工艺也可以使用其它的非机械和机械刻划技术而不是激光刻划以形成沟槽隔离区域。替代的非激光方法包括等离子刻划、超声波或声学钻孔/刻划、水射流钻孔/刻划、或其它机械刻划方法。

[0236] 图44A所示为表示具有多个岛(实例显示 4×4 岛)和与这些岛集成的单片集成旁路开关或MIBS装置的岛型主电池的向阳面视图的示意图。这是使用完整外周旁路二极管的MJBS的实施例,这些旁路二极管使用完整外周隔离沟槽与太阳能电池隔离以用于共用连续背板的icell。

[0237] 图44A所示为表示具有多个完整外周闭环MIBS旁路二极管(例如通过岛划分隔离沟槽274与岛I11电隔离的MIBS旁路二极管272)的岛型MIBS(单片集成旁路开关)主电池270(icell实施例显示为正方形岛的 4×4 阵列)的向阳面平面视图的示意图。每个岛(I11至I44)由完整的外周划分沟槽(通过激光烧蚀/刻划形成或通过如上文所述的另一种合适技术刻划),如电池隔离沟槽276隔离以形成具有 4×4 的岛阵列的icell(包括多个微型电池或岛的太阳能电池),其共享一共用的连续背板并由常见的原始连续且随后划分开的太阳能电池

半导体衬底形成。

[0238] 图44A表示具有微型电池或岛和完整外周闭环边缘二极管(pn结二极管或肖特基势垒二极管)的MIBS使能的太阳能电池(ice11)的向阳面视图。每个微型电池岛I11至I44具有相应的完整外周隔离沟槽(276)和完整外周MIBS边缘二极管(如对于电池I11而言为MIBS旁路二极管272和外周隔离沟槽274)-因此每个微型电池或岛具有相应的MIBS边缘二极管,或换句话说,每个岛或微型电池具有一个MIBS边缘二极管。岛或微型电池可通过电池金属化图案设计以串联形式电连接,尽管也可能是如并联或串联与并联的混合组合的其它连接。

[0239] 作为代表性实例,图44A显示相同尺寸和形状的微型电池的 4×4 阵列且每个微型电池具有相应的完整外周闭环边缘二极管。一般来说,这种架构可使用 $N \times N$ 阵列的微型电池和相应的完整外周闭环边缘二极管,其中N是等于或大于2的整数以形成微型电池阵列。而且尽管图44A对于完全正方形的太阳能电池显示对称的 $N \times N$ 微型电池阵列,但微型电池或岛阵列设计可具有 $N \times M$ 微型电池的非对称阵列。微型电池或岛可以是正方形(对于正方形主电池, $N=M$)或长方形(当N不等于M和/或主电池是长方形而非正方形)或各种其它的几何形状。

[0240] 进一步地,主电池的微型电池(再次,主电池指的是共用同一连续背板且全部来自随后由划分沟槽划分成多个微型电池或岛区的同一原始太阳能电池半导体衬底的微型电池或岛阵列)可选地可具有实质上相等的面积,尽管这并非要求。岛或微型电池阵列的半导体层使用通过如激光刻划或等离子体刻划的合适刻划技术形成的划分沟槽隔离彼此电隔离。此外,每个微型电池或岛半导体衬底使用沟槽隔离与其相应的完整外周闭环MIBS二极管半导体衬底划分并隔离。主电池上的所有沟槽隔离区都可在同一制造工艺步骤期间形成,例如在电池制造工艺流程期间使用单激光刻划工艺步骤。

[0241] 图44B和44C是详细显示在完成用以形成如图44A中所示的MIBS使能的背接触/背结岛型主电池的制造工艺之后背接触/背结太阳能电池关于一个岛(或诸如图44A中的I11的单元电池)在共用的连续背板288上的MIBS边缘或完整外周二极管太阳能电池实施例的横截面图,包括在太阳能电池(和MIBS装置)的纹理表面上的正面钝化和ARC涂布,在MIBS装置中的太阳能电池中显示为钝化/ARC涂层280。此处未显示太阳能电池岛和MIBS结构的细节,如图案化的M1和M2金属化层。图44B显示使用pn结外周边缘二极管旁路开关的MIBS实施方式。沟槽隔离的MIBS边缘pn结二极管区282(由相应的隔离沟槽274与岛I11隔离)包括n掺杂(例如,磷掺杂)区和p+掺杂(例如,重硼掺杂)区且用作pn结二极管旁路开关。MIBS边缘pn结二极管区282可以是完整的外周边缘二极管,例如宽度在约200至600微米的范围内(如较早前所述也可能是较小或较大的尺寸)。MIBS边缘二极管和太阳能电池的相对尺寸并非按比例显示。在一个制造实施例中,图44B显示在完成MIBS使能的背接触/背结(IBC)太阳能电池的制造工艺后的背板层压(或背板附接)MIBS使能太阳能电池,包括通过图案化的第一级金属化或M1(例如,由丝网印刷或PVD铝或铝硅合金或另一种合适金属,包括镍等制得)、背板层压、外延硅剥离释放并从结晶硅可重复使用的模板分离(如果使用外延硅剥离工艺来形成衬底-在使用起始的结晶硅晶片时此工艺不适用)、形成沟槽隔离区(例如,通过脉冲激光刻划或切割)以界定MIBS边缘二极管边界、可选的硅蚀刻、纹理化和纹理化后清洗、钝化和ARC沉积(例如,通过PECVD或ALD与PECVD的组合)以及在背板上制造最终的图案化第二级金

属或M2(连同导电介层插塞一起)完成背接触/背结电池工艺。

[0242] 如在图44B中可见,用于形成太阳能电池的p+发射极区(场致发射极区和/或重掺杂发射极接触区)的工艺也可以用于形成用以MIBS pn结形成的p+结掺杂。例如由铝或诸如铝与某种硅添加物的铝合金制得的图案化M1金属(未显示)不仅为太阳能电池提供接触金属化或第一级金属化,而且对MIBS pn结二极管产生金属化接触(对于p+区和通过n+掺杂接触窗的n型衬底区)。MIBS pn结二极管的n掺杂硅区由相同的n型硅衬底形成,它也充当太阳能电池的基极区(例如,当使用无外延的起始n型结晶硅晶片时由n型硅晶片形成,或当使用外延硅剥离加工来形成太阳能电池和MIBS衬底时由外延沉积形成的原位掺杂n型结晶硅层形成)-衬底整体区掺杂也可以称为衬底的本底掺杂。图案化的M1和M2金属化结构完成所需的单片太阳能电池和MIBS pn结二极管电互连,而且也确保MIBS二极管末端与太阳能电池基板和发射极末端各自适当互连以提供电池级的集成遮蔽管理和针对遮蔽的连续太阳能电池保护。如图44B中可见,MIBS pn结二极管的侧壁边缘和顶表面也使用用于钝化太阳能电池的向阳面和边缘的相同钝化层和工艺来钝化(钝化/ARC涂层280)。图44A未显示太阳能电池和MIBS结构的某些细节,诸如图案化的M1和M2金属化、背面钝化层、M1接触孔、穿过背板的M1-M2通孔和在MIBS装置结构中用于n型衬底M1连接的n+掺杂接触窗。

[0243] 图44C显示使用外周肖特基边缘二极管旁路开关的MIBS实施方式。隔离的肖特基边缘二极管旁路开关区286(由相应隔离沟槽274与岛I₁₁隔离)包括n掺杂区和内部与外部n+区且用作肖特基二极管旁路开关。肖特基边缘二极管旁路开关区286可以是宽度在200至600微米范围内的完整外周边缘二极管(此尺寸可选择在大于或小于此范围)。

[0244] 在一个制造实施例中,图44C显示在完成MIBS使能的背接触/背结岛型主电池的制造工艺后的背板层压或附接有背板的MIBS使能的太阳能电池,包括通过图案化的第一级金属化或M1(例如,由可在重掺杂的硅上充当有效欧姆接触以及在轻掺杂的硅上充当有效肖特基势垒接触的合适导体,如铝或铝-硅合金制得)、背板层压、在使用外延剥离硅衬底时进行外延硅剥离释放并从结晶硅可重复使用的模板分离(当使用起始的结晶硅晶片而非外延剥离衬底时,此工艺不适用或不需要此工艺)、形成沟槽隔离(例如,通过脉冲激光刻划或切割)以界定MIBS边缘肖特基二极管边界、任选的硅减薄蚀刻、纹理化和纹理化后清洗、形成钝化和ARC(例如,通过PECVD或PECVD与如ALD的另一种工艺的组合)以及在背板上制造最终的图案化第二级金属或M2(结合导电M1-M2介层插塞)完成背接触/背结电池加工。

[0245] 如在图44C中可见,也用作太阳能电池的基极区的n型硅衬底(例如当使用外延剥离工艺时通过原位掺杂外延沉积形成,或当不使用外延剥离工艺时由起始的n型结晶硅晶片形成)也用作MIBS肖特基二极管的n型硅衬底区。例如由铝或如铝与某种硅添加物的合适铝合金制得的M1金属(未显示)不仅为太阳能电池产生M1欧姆接触金属化(对于穿过太阳能电池的n+掺杂接触开口的基极区和穿过p+掺杂接触开口的发射极接触区),而且对MIBS肖特基二极管产生金属化接触(在轻掺杂n型硅衬底区上的非欧姆肖特基势垒接触和通过重掺杂n+掺杂区至n型硅的欧姆接触)。MIBS二极管的轻掺杂n型硅衬底区由与用于太阳能电池且充当其基极区的相同n型衬底制成(例如,当使用外延硅剥离工艺时,n型衬底可通过原位掺杂n型外延硅沉积来形成,或当不使用外延硅剥离工艺时由起始的n型结晶硅晶片来形成)。用于至n型硅衬底的MIBS肖特基二极管欧姆接触的n型硅区的重掺杂的n+扩散掺杂可与太阳能电池的重掺杂的n+掺杂基极接触区同时并使用也用于产生太阳能电池的重掺杂

的n+掺杂基极接触区的相同工艺来形成(为后续图案化的M1金属化做准备)。图案化的M1与M2金属化结构组合完成太阳能电池和MIBS肖特基二极管电互连并确保MIBS二极管末端与太阳能电池末端适当连接以提供电池级的集成遮蔽管理和太阳能电池保护。如图44C中可见,MIBS肖特基二极管的侧壁边缘和顶表面也使用用于形成太阳能电池的向阳面和边缘上的钝化和ARC层-标记为钝化/ARC涂层280的相同钝化和ARC层以及工艺来钝化。再次,图44C未显示太阳能电池结构的某些结构细节,包括但不限于图案化的M1和M2金属化层。

[0246] 本文公开的单片岛型太阳能电池和任选的MIBS实施例采用结合共用的背板衬底的沟槽隔离以建立半导体衬底区(岛)之间以及可选的用于MIBS装置和相邻岛或太阳能电池区的划分和电隔离。产生沟槽隔离区的一种方法是脉冲(如脉冲纳秒)激光刻划。下文是对于使用激光刻划工艺来形成划分和电隔离衬底区的沟槽隔离区的重要考虑因素和激光属性的概述。

[0247] 用于形成沟槽隔离的脉冲激光刻划可使用常用且已证明用于刻划和切穿硅的合适波长的脉冲纳秒(ns)激光源(例如,绿光或红外线或另一种合适的波长从而以相对良好的选择性烧蚀半导体层以切穿相对背板材料的半导体衬底层)。激光源可具有平顶(也称为顶帽式)或非平顶(例如,高斯(Gaussian))激光束轮廓。可以使用在硅中具有高吸收性但可部分或完全穿透背板的脉冲激光源波长(因此,在完成穿过半导体层激光切割且光束到达背板薄板后切穿半导体层,而实质上不去除背板材料)。例如,我们可以使用可有效切穿硅衬底层且部分穿透背板材料的脉冲纳秒IR或绿光激光光束(因此,在沟槽隔离切割期间去除少量至可忽略量的背板材料)。

[0248] 可选择脉冲纳秒激光源的脉冲激光光束直径和其它特性以使得隔离刻划的宽度在几微米至高达几十微米的范围内,因为远大于约100微米的宽度将相当昂贵且导致贵重硅衬底面积的不必要浪费以及太阳能电池和模块的总面积效率的一些降低。因此,与高度期望的太阳能电池面积相比,使沟槽隔离面积最小化是有益的。实际上,脉冲纳秒激光切割可产生宽度在约20微米至高达约60微米的期望范围内的沟槽隔离区。例如,对于156mm×156mm的太阳能电池而言,对于作为电池面积一部分的沟槽隔离面积,30微米的沟槽隔离宽度对应于0.077%的面积比。这代表了与太阳能电池面积相比相当可忽略的面积,换句话说,这种小比率提供了可忽略的太阳能电池面积的浪费且确保了总面积太阳能电池和模块效率的损失可忽略。

[0249] 当使用起始的结晶硅晶片以如本文所述的背接触/背结太阳能电池制造工艺来制造太阳能电池(且在使用外延硅剥离工艺的太阳能电池的情形下,在完成背板层压工艺和后续将层压电池从可重复使用的模板剥离释放后,且在脉冲激光修剪太阳能电池之后或之前)时,用于形成沟槽隔离的脉冲纳秒(ns)激光刻划或切割可在背板层压工艺后即刻进行。在使用外延硅剥离工艺制造的太阳能电池的情形下,沟槽隔离刻划或切割工艺可选地可使用与用于预释放刻划外延硅层以界定剥离释放边界和/或用于释放后修剪层压的太阳能电池相同的脉冲激光工具和光源。因此,可不需要另外的激光工艺工具来形成沟槽隔离区。

[0250] 用于形成沟槽隔离的脉冲纳秒(ns)激光刻划也可以用于划分岛并界定在由边缘包围和界定的隔离太阳能电池岛以外的完全隔离的MIBS边缘二极管区。或者,脉冲ns激光刻划工艺可形成其它设计的MIBS二极管,如在多种MIBS二极管岛设计以及和许多种其它可能的MIBS图案设计中。

[0251] 脉冲激光刻划可用于切穿薄的(诸如200微米以下且更具体地100微米以下)硅衬底层(从向阳面)且实质上停留在背板材料薄板上。如果需要和/或要求,简单的实时原位激光刻划工艺端点测量,如使用反射率监控,可用于工艺控制和端点测量以最小化背板薄板中的挖沟或材料去除,同时使得能够完成穿过半导体层的激光切割。

[0252] 太阳能电池的侧壁和MIBS边缘二极管区随后在剩余的太阳能电池制造工艺步骤期间可经湿法蚀刻(例如,作为太阳能电池向阳面湿法蚀刻/纹理化工艺的一部分)、纹理化后清洗和钝化(通过沉积钝化和ARC层)。

[0253] MIBS二极管可以是用作MIBS旁路装置或遮蔽管理开关的pn结二极管。用于生产MIBS使能的太阳能电池的pn结MIBS二极管制造工艺尤其可具有以下属性和益处:

[0254] -在一些太阳能电池工艺设计中,用于实施MIBS的主要太阳能电池制造工艺流程基本上可无变化(或变化最小)(例如使用结晶硅起始晶片或结合可重复使用的结晶硅模板的外延硅和多孔硅/剥离工艺和电绝缘背板的背结/背接触结晶硅太阳能电池制造)。因此,对于连同本文公开的太阳能电池(ice11)一起实施MIBS基本上可无增加的工艺成本。

[0255] -在背接触/背结外延硅剥离电池工艺中,在完成包括大部分的背接触、背结电池工艺步骤的模板上电池工艺后,可进行以下工艺(作为各种可能的工艺流程的实例提供):(i)背板层压至太阳能电池背面;(ii)预释放薄外延硅衬底的沟槽刻划(例如使用脉冲纳秒激光刻划工具或者使用如等离子体刻划的另一种刻划工具)以界定外延硅的剥离释放边界;(iii)机械剥离释放背板支撑的电池并使其与可重复使用的结晶硅模板拆开;(iv)激光修剪(例如使用脉冲纳秒激光源)背板层压的电池以供精确修剪并结合其相关MIBS建立太阳能电池的最终所需尺寸;(v)在太阳能电池的向阳面上脉冲纳秒激光刻划(或等离子体刻划或另一种合适的刻划技术)以形成沟槽隔离区并界定内部太阳能电池岛和外周边缘二极管区,此步骤提供岛和相应的MIBS区;(vi)和后续电池加工,如向阳面纹理化和纹理化后清洗,接着为额外的电池工艺步骤,如PECVD向阳面钝化和抗反射涂层(ARC)层沉积和最终的电池金属化,如果适用则包括图案化的第二级金属化。当使用起始的结晶硅晶片而非外延硅剥离工艺时,工艺流程与上述流程相当类似,除了无可重复使用的模板、多孔硅、外延硅或释放工艺以外。在上文关于使用外延硅剥离工艺制造太阳能电池所述的工艺流程中,沟槽隔离刻划工艺和工具可与用于预释放沟槽刻划和/或释放后精确修剪背板层压的太阳能电池和MIBS衬底的工艺和工具基本上相同。

[0256] -可进行激光刻划沟槽隔离工艺(例如使用脉冲纳秒激光源)以在半导体层内产生穿过结晶硅层的整个厚度且实质上在背板上终止的完全穿过半导体的沟槽-因此形成用于MIBS二极管的电隔离n型硅边缘区和用于太阳能电池的n型硅岛区,假定为n型基极和p+发射极太阳能电池(对于背接触/背结IBC太阳能电池而言常见的掺杂类型)。

[0257] 在全串联连接的电池中,由于相邻串联连接列之间横向M2连接器上的电流,应使用导致欧姆损失足够低或可忽略的M2电池金属化设计。横向M2跳线或连接器(可结合图案化的M2层形成)用于使相邻的使用电串联的ice11列互连。

[0258] 图45所示为一具有以2x8混合并联设计连接的4x4子电池阵列的顶部视图。如所述,所公开的太阳能电池实现多得多的电流,这允许使用廉价的($\leq \$0.01/W_p$)遮蔽管理开关(旁路开关)以及廉价的、高效或高功率传输效率(例如大于98%)的MPPT直流转直流降压式转换器/功率优化器。图46所示为表示图45中使用根据本发明主题的MPPT直流转直流降

压式转换器/功率优化器的ice11,因此提供了低成本、分布式、嵌入式的智能模块功率电子器件方案。

[0259] 图47显示图44A的电池-具有微型电池或岛和完整外周闭环边缘二极管(pn结二极管或肖特基势垒二极管)-使用根据本发明主题的MPPT直流转直流降压式转换器功率优化器的MIBS使能的太阳能电池(ice11)的向阳面视图。图47中的太阳能电池为具有分布式MIBS的示例性实施例。

[0260] 下面详细描述考虑关于iCell与离散旁路开关的组合、iCell与分布式MIBS的组合、iCell与离散旁路开关及分布式旁路开关的组的比较。对于具有iCell的PV模块的分布式遮蔽管理可使用下列中的一种:

[0261] -离散的旁路开关(例如肖特基势垒整流器或SBR)与每个iCell(穿过汇流条)的组合

[0262] -分布式MIBS(例如与每个岛或子电池集成至一起的一单片SBR)与每个iCell的组合

[0263] -上面1和2的组合:分布式MIBS及一离散旁路开关与每个iCell的组合。

[0264] 若只使用一离散旁路开关与iCell的组合,则旁路的遮蔽iCell的功率损耗为正向偏置的旁路开关的功率损耗。例如,若使用一具有 $I_{mp}=1.16A$ 的 $2\times 8HPS$ iCell和具有的 $V_f=0.35V$ 的一SBR:则遮蔽的iCell的功率损耗 $=1.16A\times 0.35V=0.406W$ 。此遮蔽iCell的功率损耗约为未遮蔽iCell电能产生的8%,因此,当旁路开关被启动用于遮蔽的电池时其为一相对小的功率损耗。

[0265] 若只使用一离散旁路开关与iCell的组合,则完全旁路的遮蔽iCell的功率损耗为正向偏置的旁路装置的功率损耗。例如,若使用一具有 $I_{mp}=1.16A$ 的 $2\times 8HPS$ iCell和每个具有的 $V_f=0.35V$ 的分布式MIBS SBR:则遮蔽的iCell功率损耗 $=1.16A\times 0.35V\times 8=0.406W\times 8=3.25W$ 。此遮蔽的iCell+MIBS的功率损耗约为未遮蔽的iCell电能产生的62%。

[0266] 在当每个iCell只使用离散旁路开关或只使用分布式MIBS的某些情况下就电池和模块的可靠性和容错性而言,iCell、分布式MIBS(即iCell中的每个岛或子电池使用一旁路开关,如肖特基势垒整流器、SBR)和一个离散旁路开关(例如SBR)的组合可提供优势。例如,使用分布式旁路开关,没有焊接接头和没有会失效的外部离散元件。分布式MIBS二极管可以单片制作且具有与iCell相同的可靠性。对于遮蔽的/旁路的iCell,离散的旁路开关提供较低的功率损耗,而分布式MIBS则提供精确的容错性(万一离散旁路开关在iCell中发生故障)。用于分布式遮蔽管理组合的iCell和离散旁路开关以及分布式MIBS的组合提供实具容错的和高性能的分布式遮蔽管理,以及提供整个PV系统可靠性、容错性、低功率损耗遮蔽管理以及增强的电能采集能力的组合。

[0267] iCell、分布式MIBS以及MPPT直流转直流功率优化器的组合,与iCell、离散遮蔽管理旁路开关以及MPPT直流转直流功率优化器的组合比较,以用于PV模块增强的电能采集。

[0268] 太阳能模块中太阳能电池(例如iCell)能以如下概述的多种可能的结构中的一种实施分布式MPPT直流转直流(降压式)功率优化器(例如每个电池或每个电互连的电池群带一个MPPT功率优化器):

[0269] -选择1:MPPT直流转直流功率优化器不具有连接至iCell(不具分布式MIBS)的优化器电路中的输入级或输出级旁路开关-在某些情况中,可认为是一糟糕的选择,由于对于

完全遮蔽的电池没有分布式遮蔽管理的能力。

[0270] -选择2:MPPT直流转直流功率优化器具有连接至iCell的优化器电路中的输入级或输出级旁路开关(例如SBR)(不具有分布式MIBS)。

[0271] -选择3:MPPT直流转直流功率优化器不具有优化器电路中的输入级或输出级旁路开关,该优化器电路连接至具有分布式MIBS的iCell。

[0272] -选择4:MPPT直流转直流功率优化器具有优化器电路中的输入级或输出级旁路开关,该优化器电路连接至具有分布式MIBS的iCell-在某些情况中,可认为是最可取的选择:其提供分布式MPPT电能采集、遮蔽管理、容错性。

[0273] 当一太阳能电池(例如iCell)被相对均匀地遮蔽时,且减少的太阳能辐照相对均匀地覆盖整个iCell面积(即iCell中的所有子电池或岛能产生基本相近的电能或电流级)时,所有上文提到的选择1至4从受影响的(遮蔽的)iCell产生相近的电能采集。

[0274] 当只是一部分太阳能电池(例如iCell)被遮蔽时,例如影响iCell内的子电池的子集,而剩余的子电池并未被遮蔽且接收完全的太阳能辐照,选择3和4(那些具有分布式MIBS的iCell)产生比选择1和2(那些不具有分布式MIBS的iCell)更高的电能采集。选择3和4采集由未遮蔽的/未影响的串联连接的岛所产生的电能(减去遮蔽的串联连接岛的由于MIBS启动所产生的功率损耗)。

[0275] 提供示范性实施例的先前描述以使得本领域技术人员可进行或使用所要求的主题。对这些实施例的各种修改对于本领域技术人员是显而易见的,且本文定义的一般原则在不使用创造力的情形下可适用于其它实施例。因此,所要求的主题并不意在限制为本文所示的实施例,而应根据与本文公开的原理和新颖特征相一致的最广泛范畴。

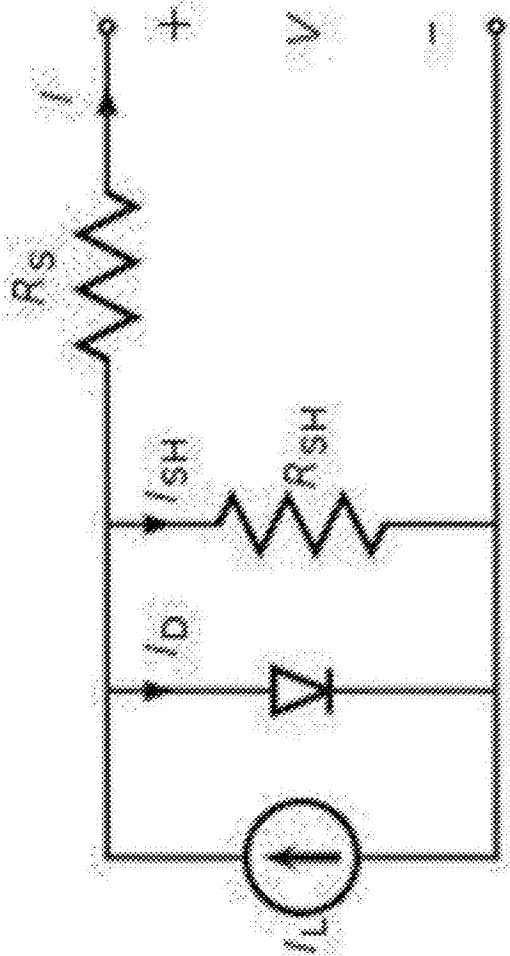


图1A

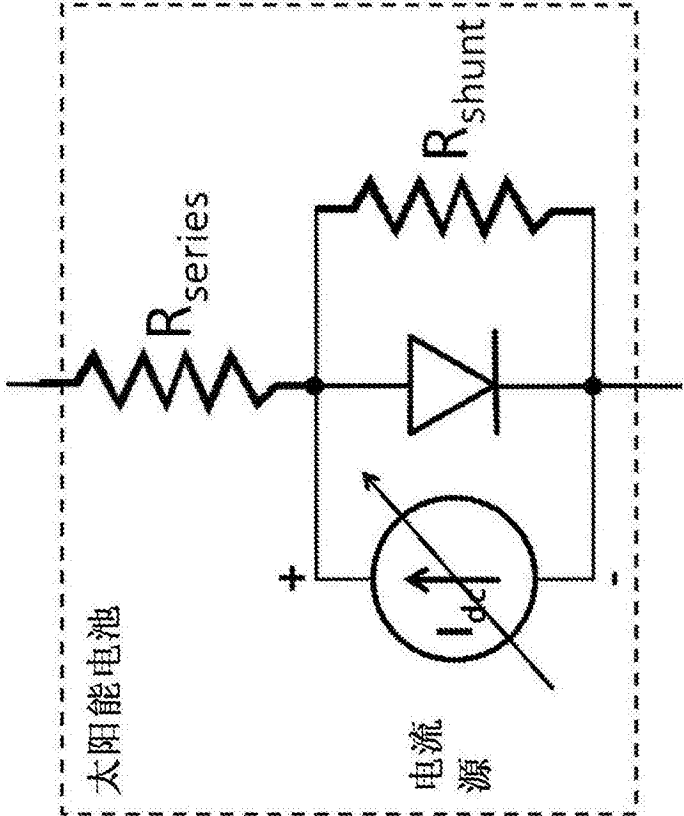


图1B

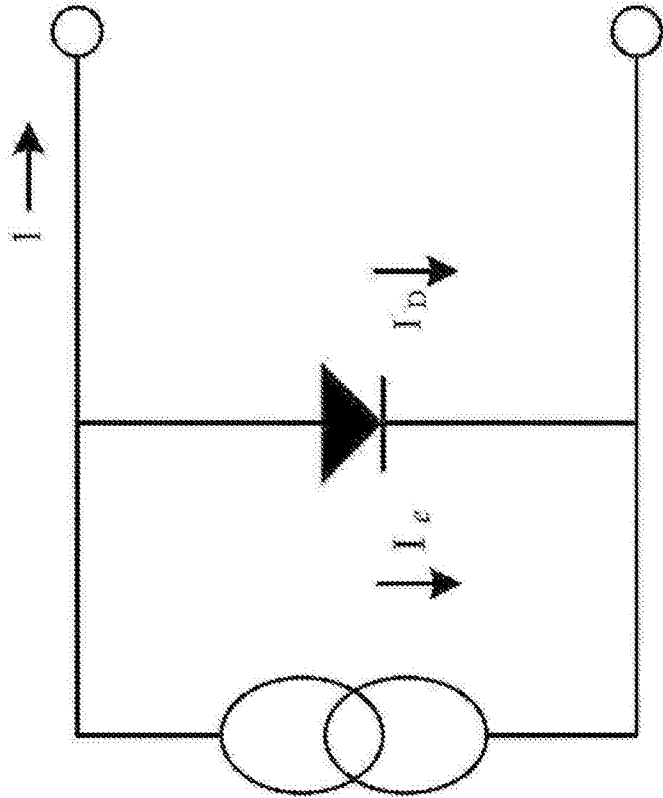


图2A

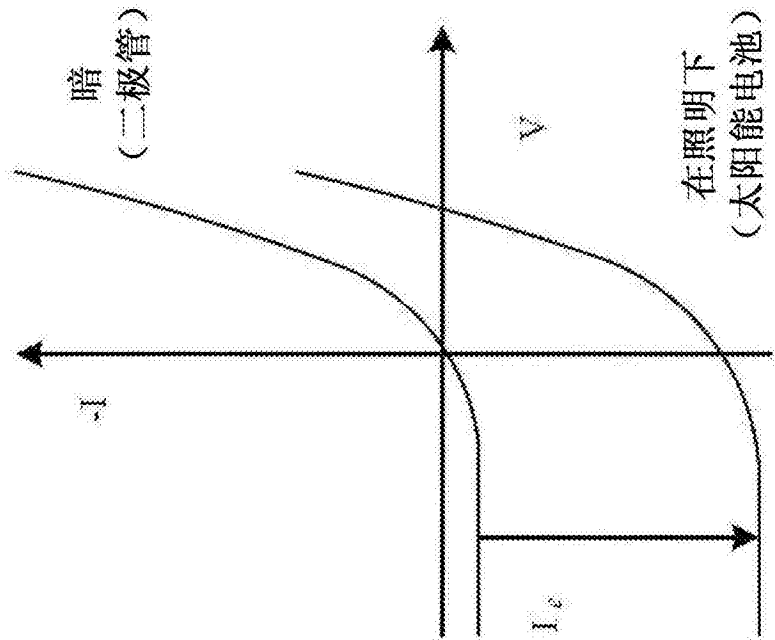


图2B

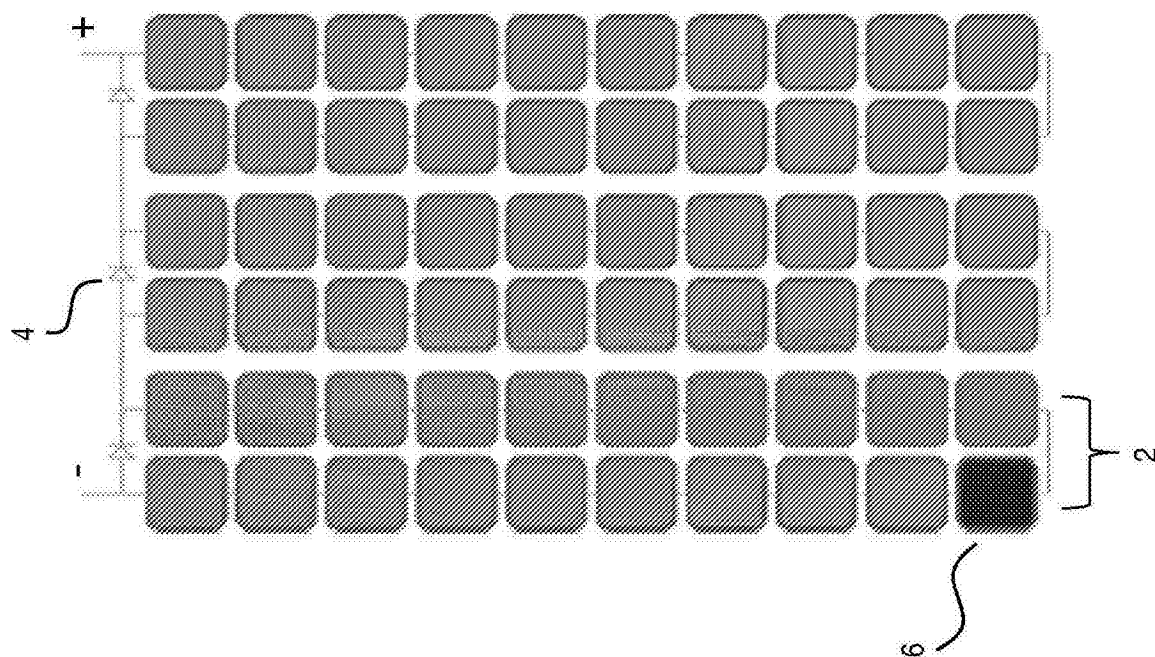


图3A

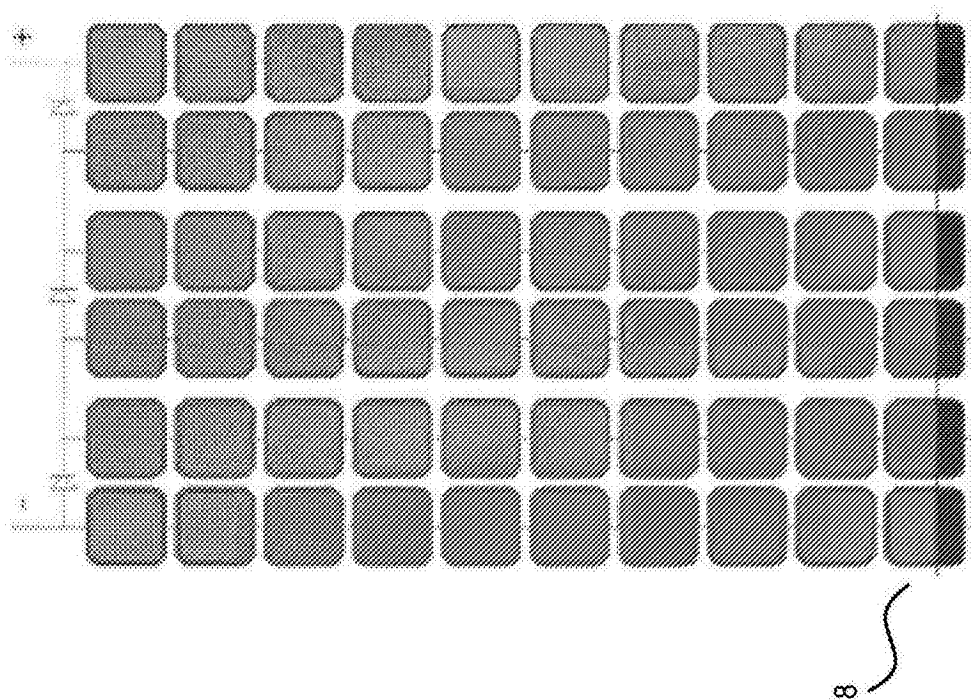


图3B

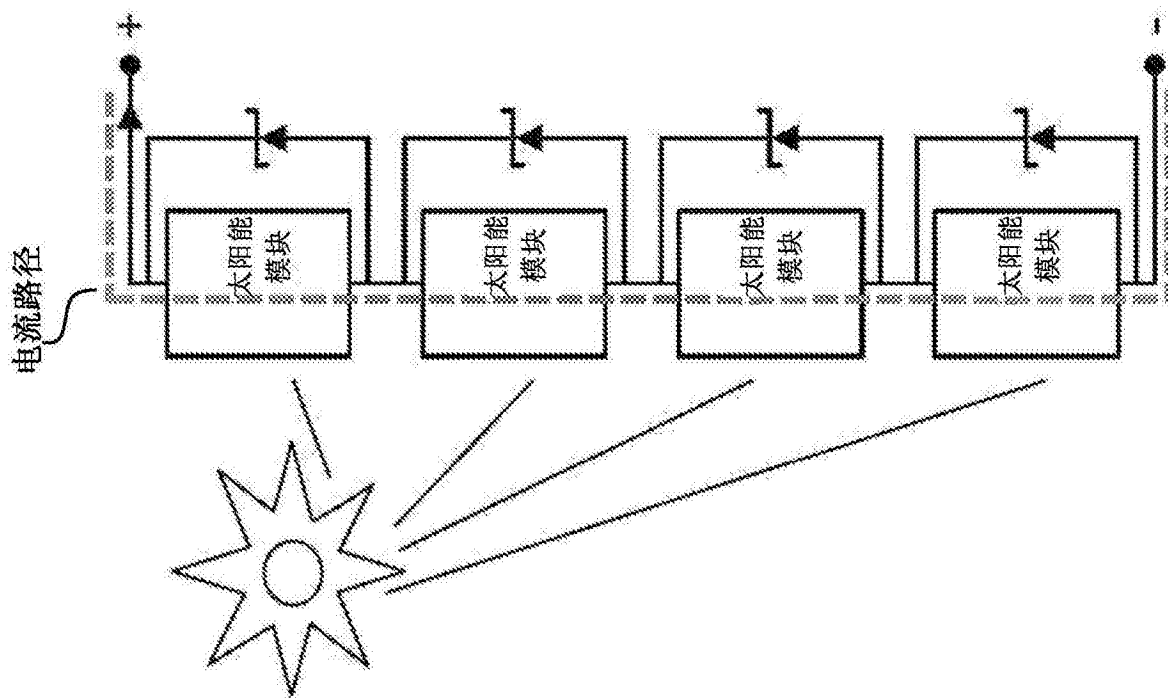


图4A

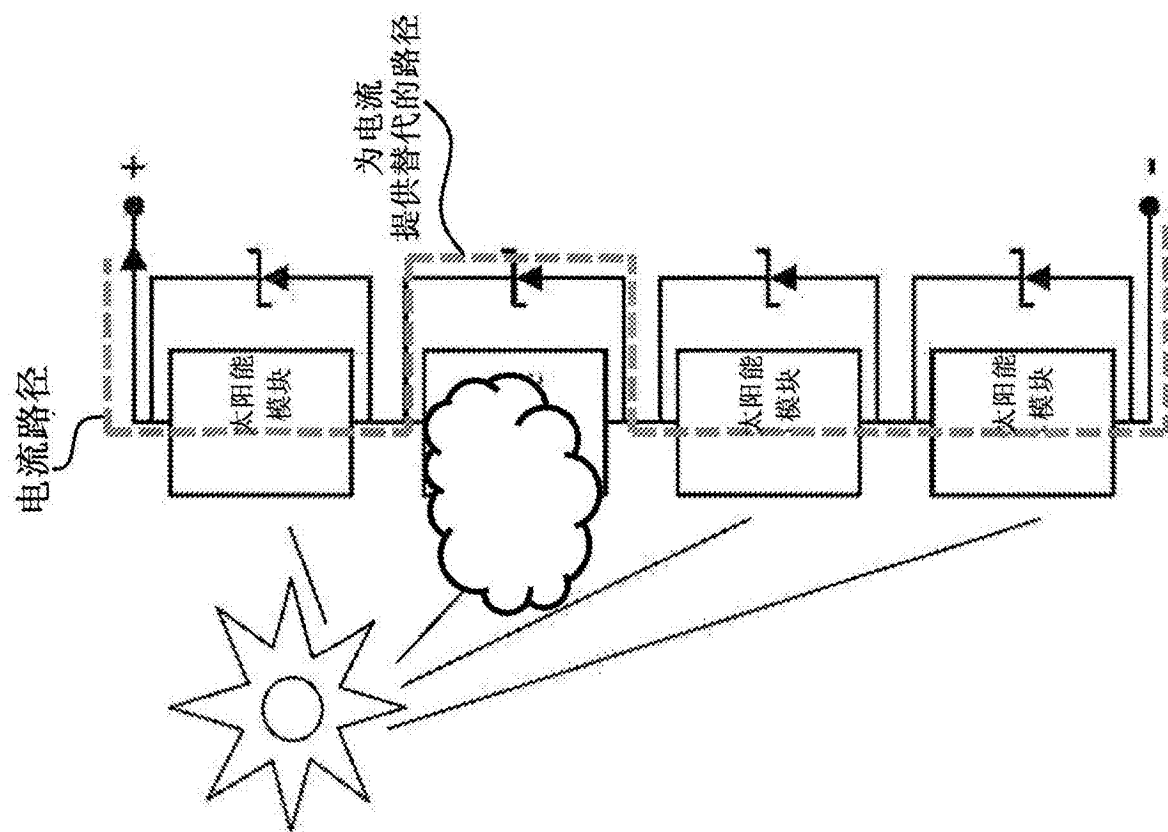


图4B

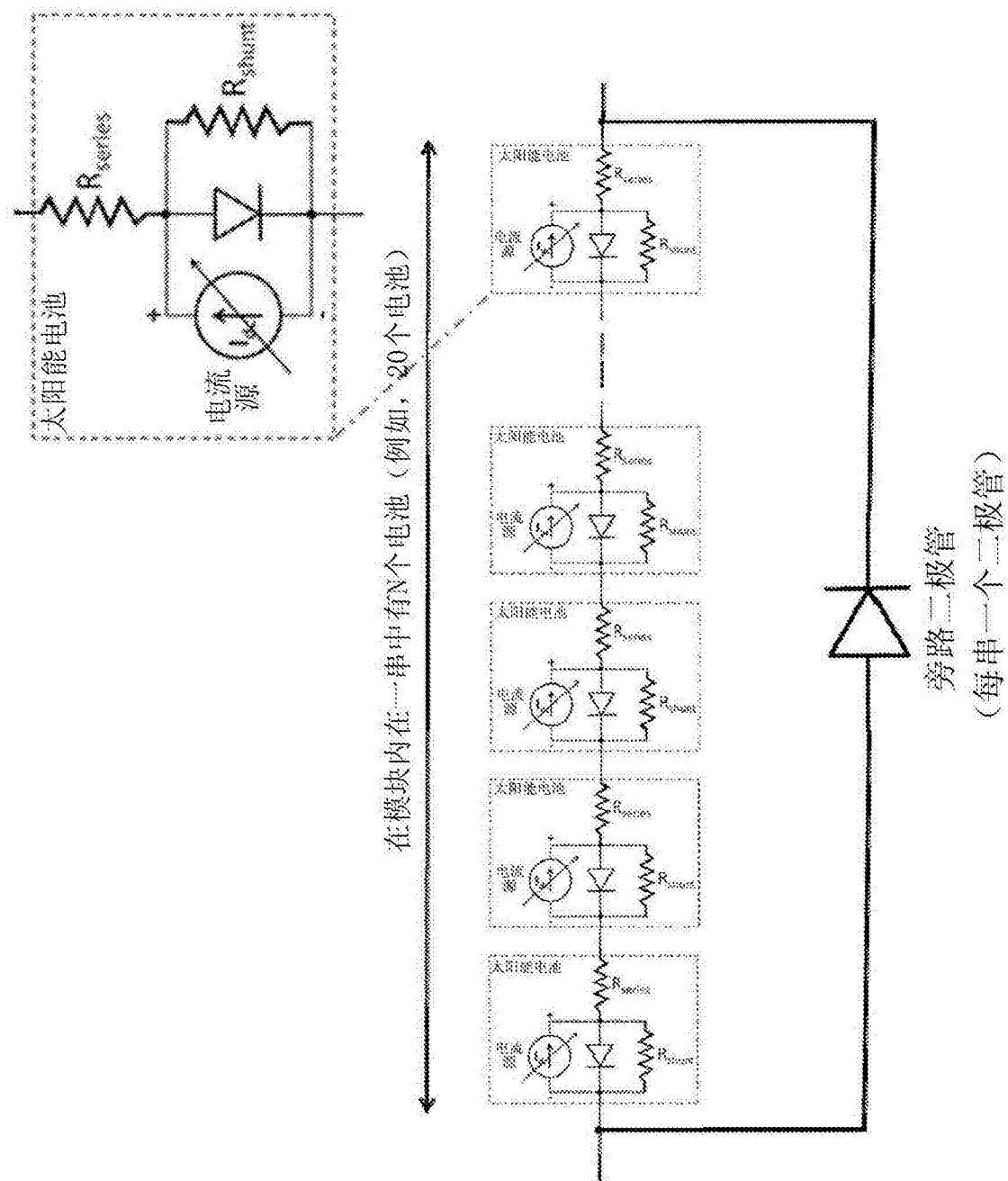


图5

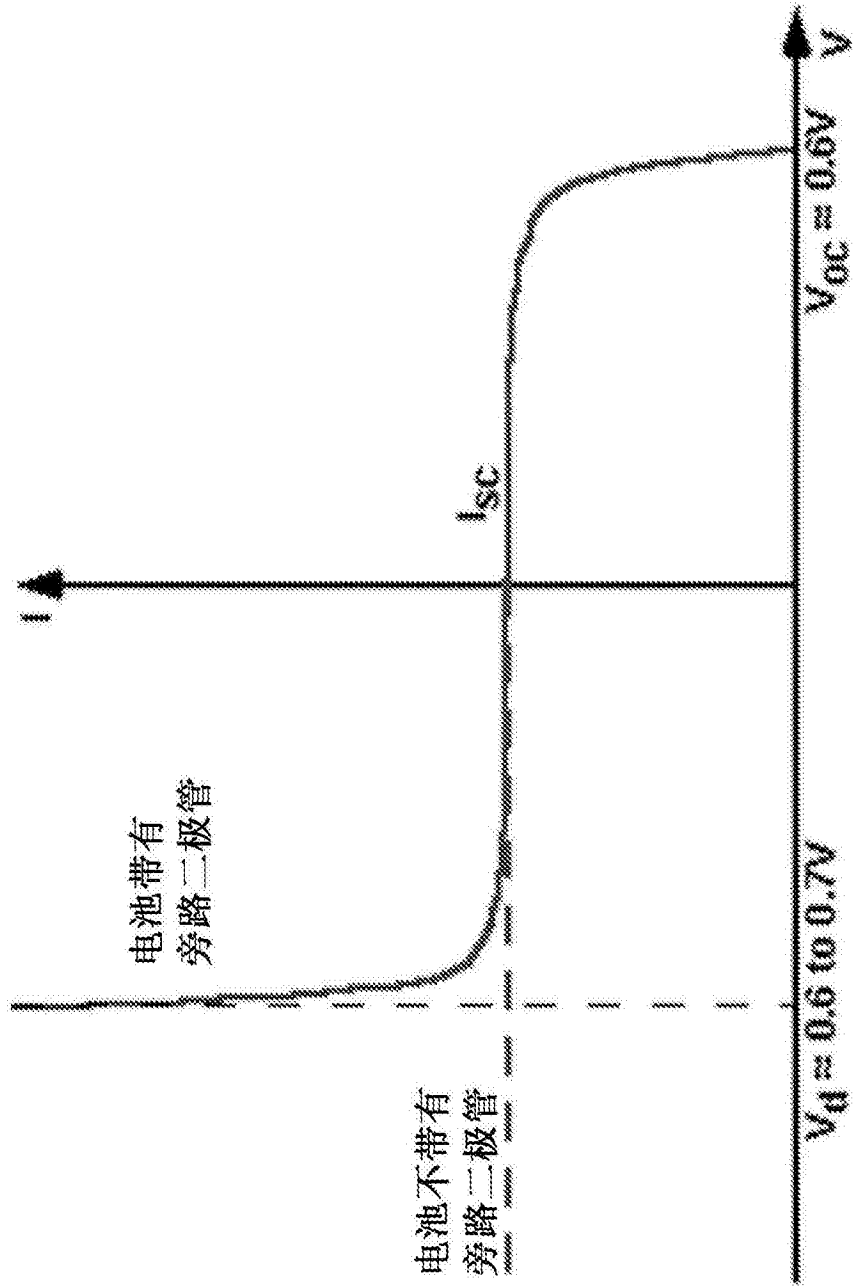


图6

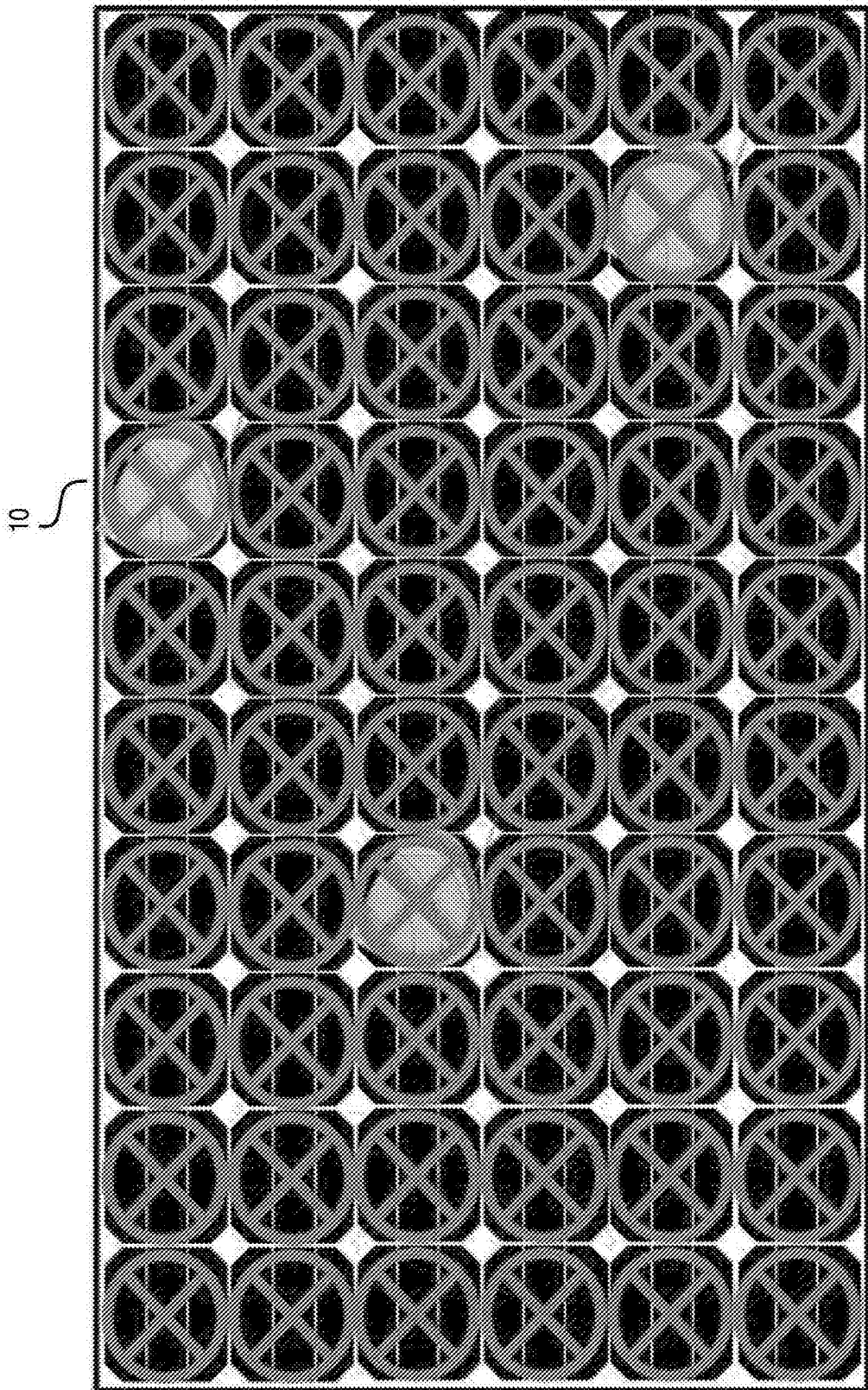


图7

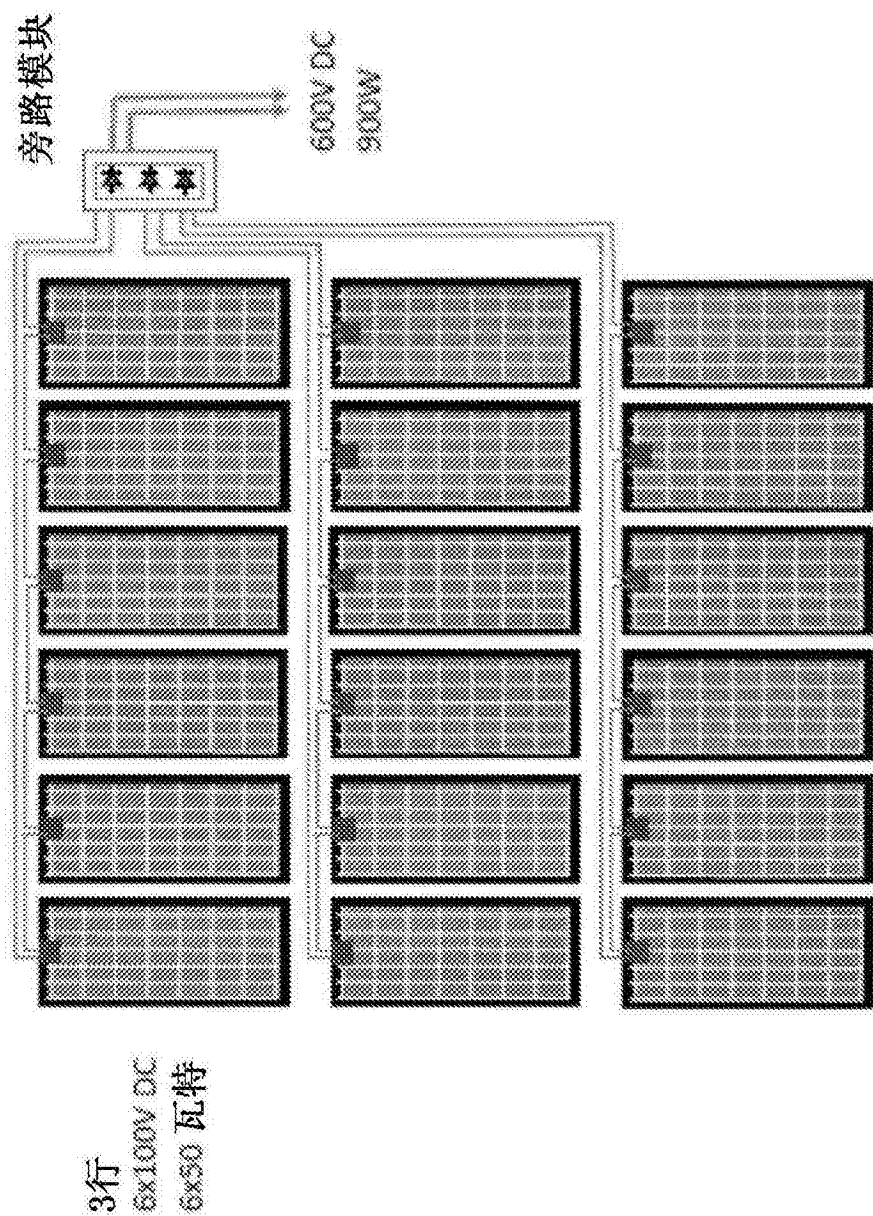


图8

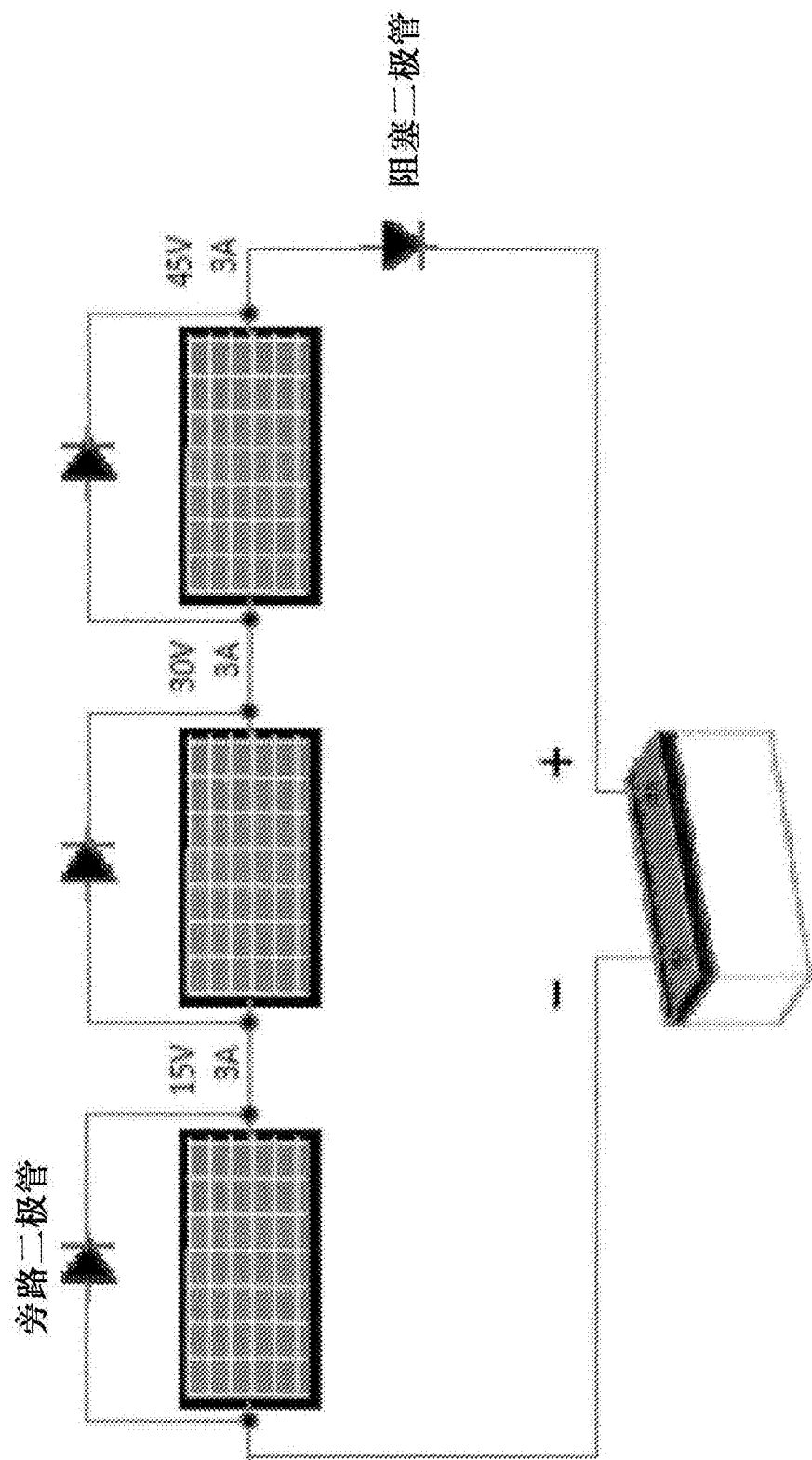


图9

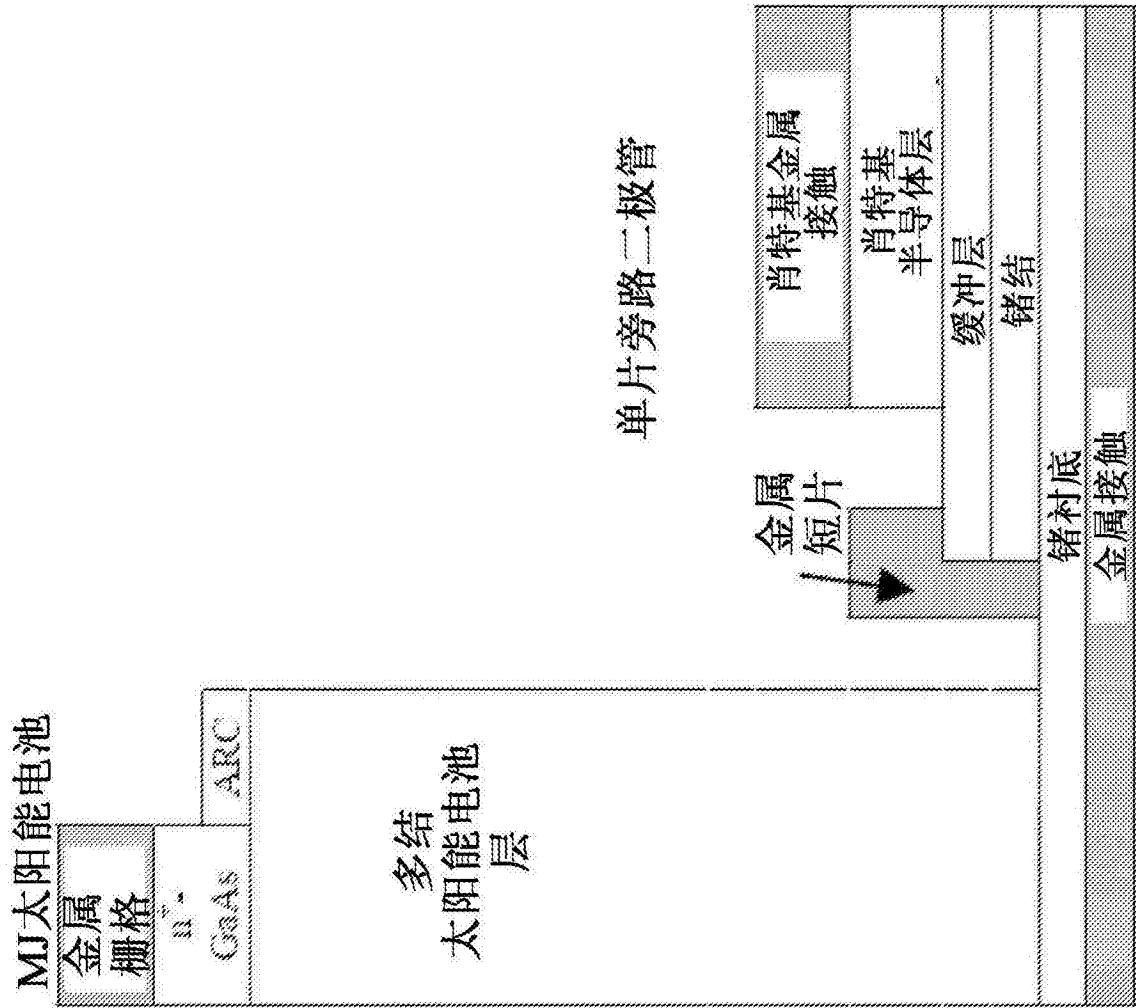


图10

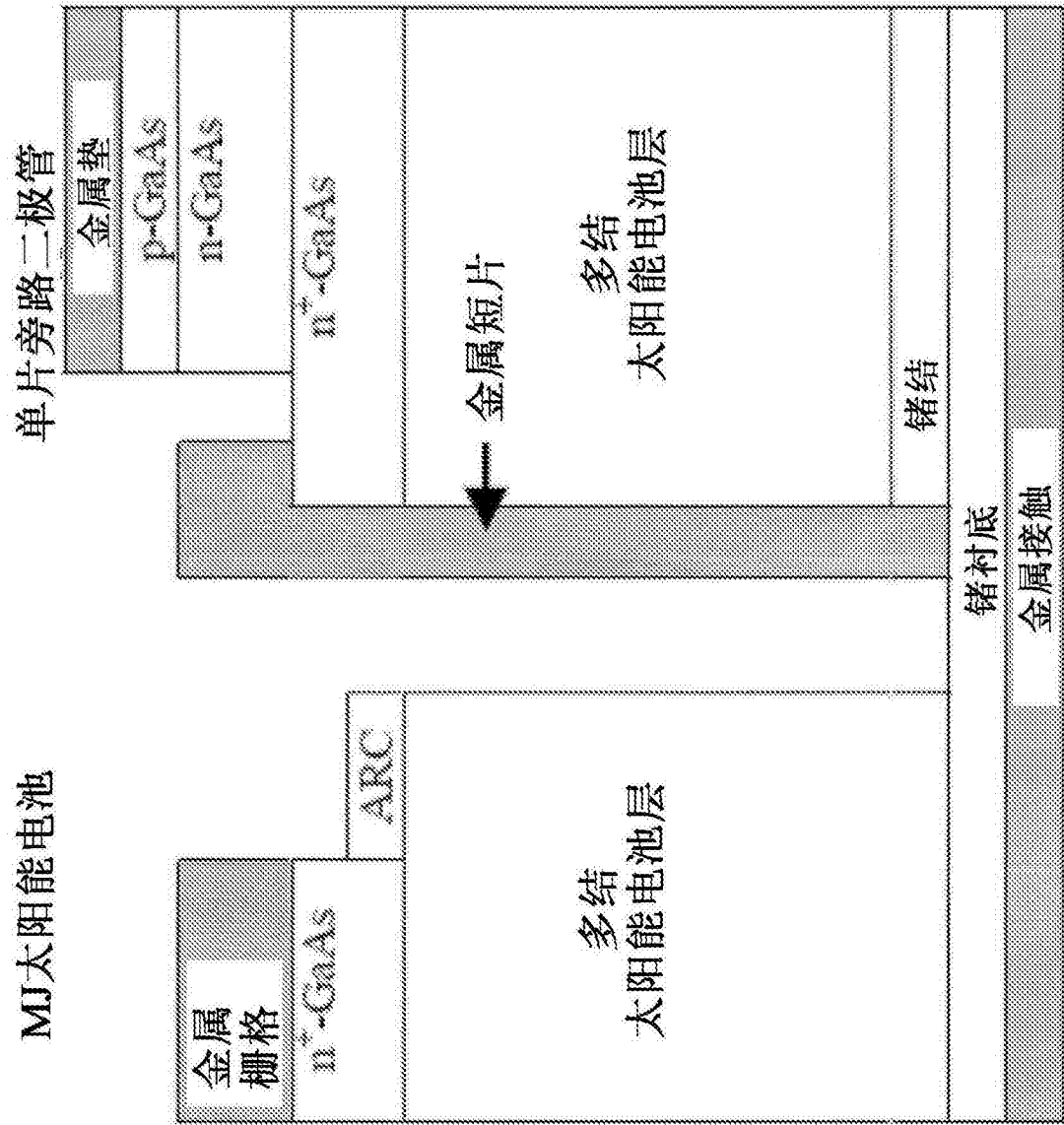


图11

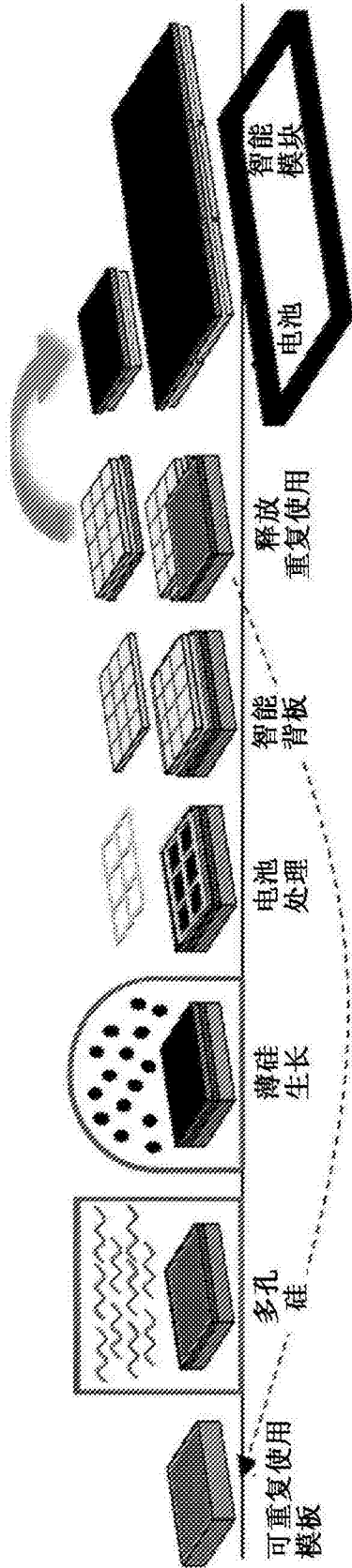


图12

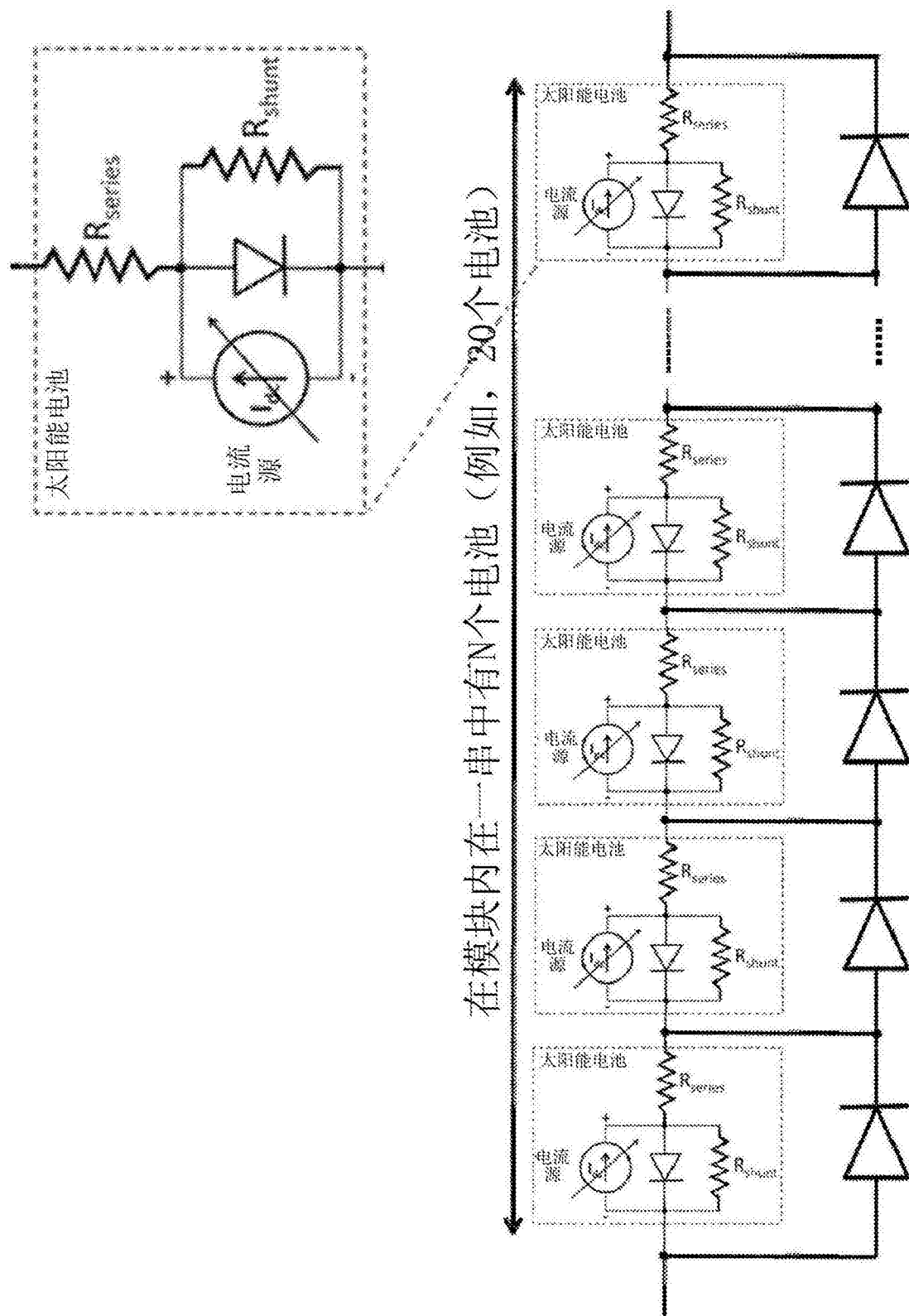


图13

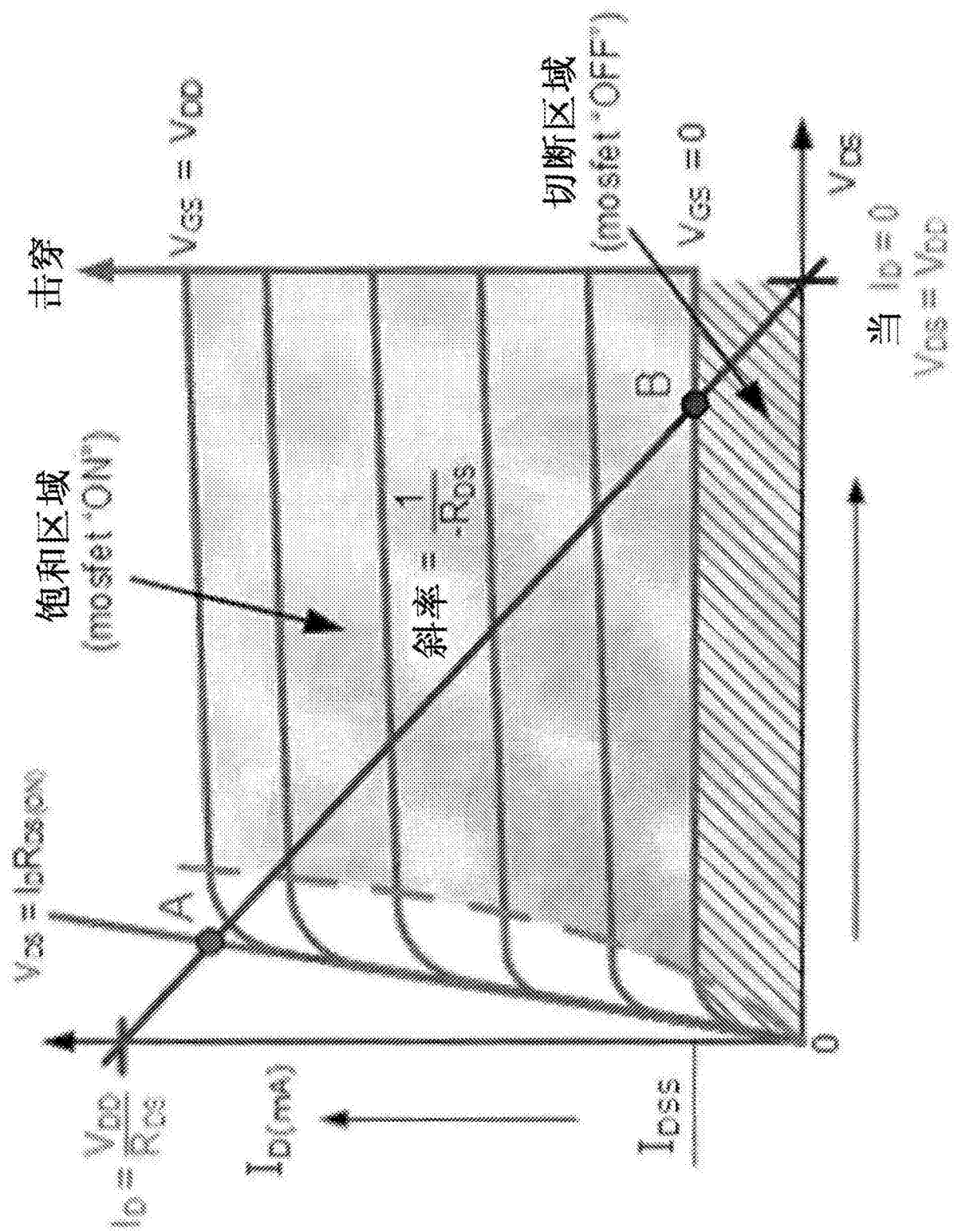


图14

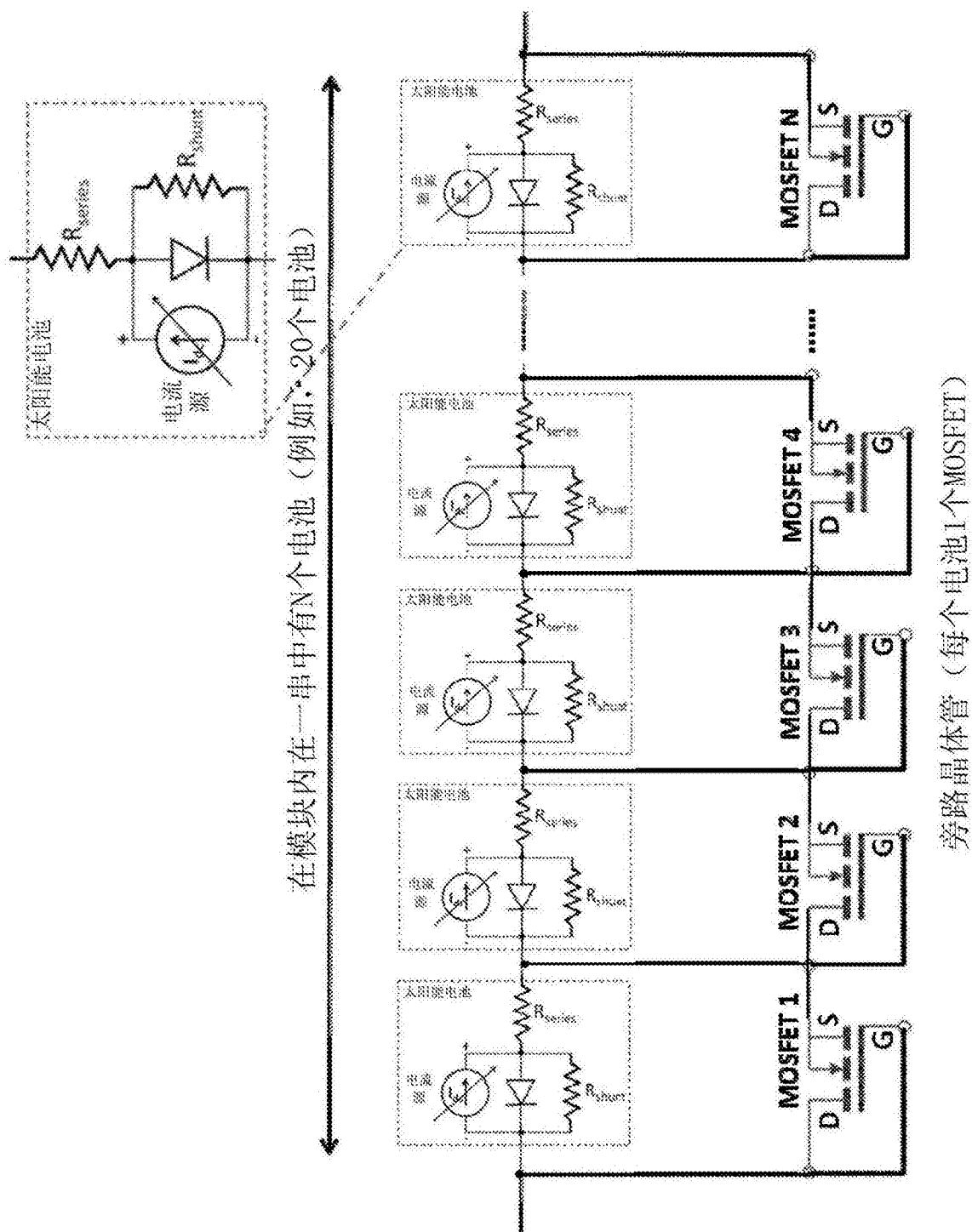


图15

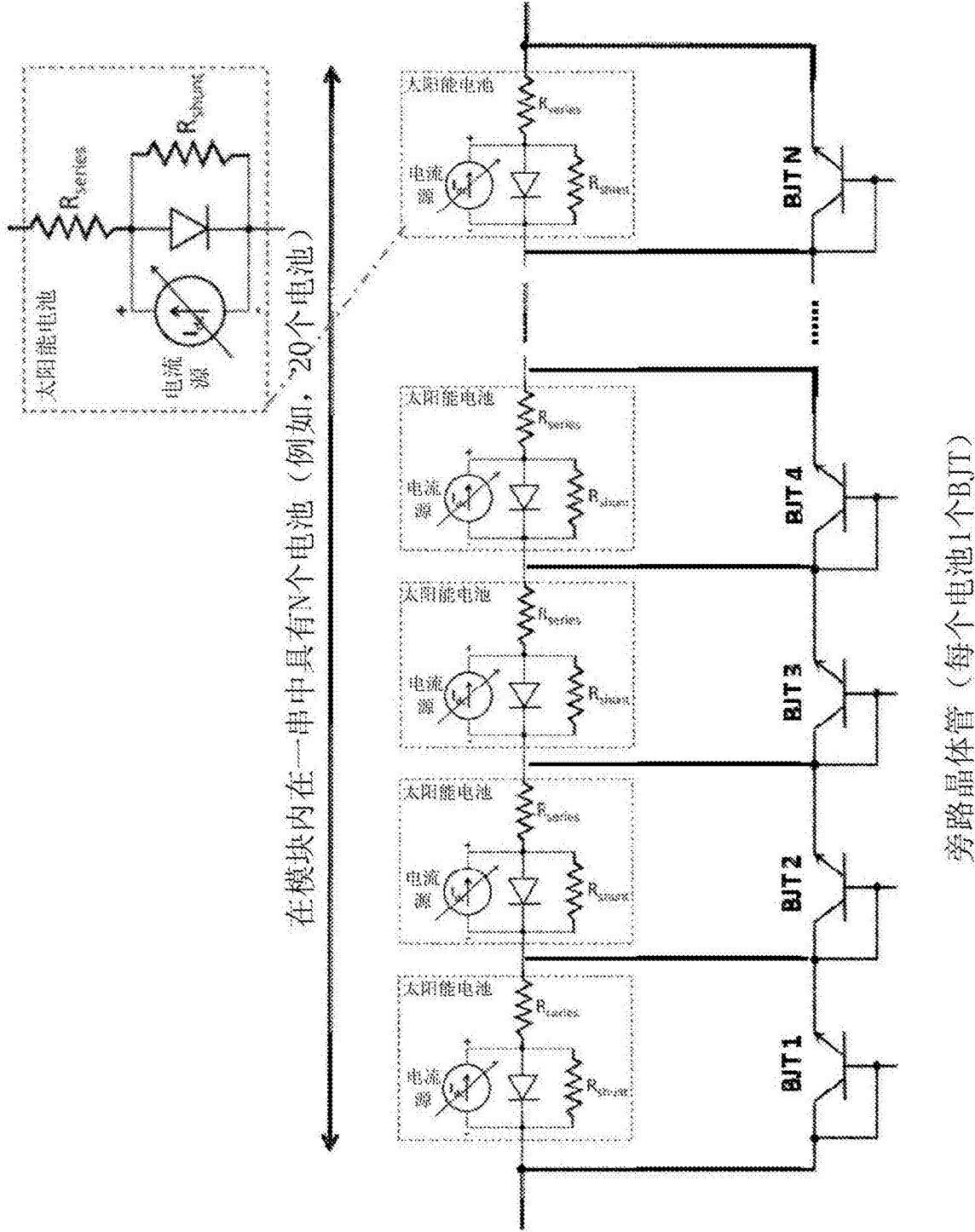


图16

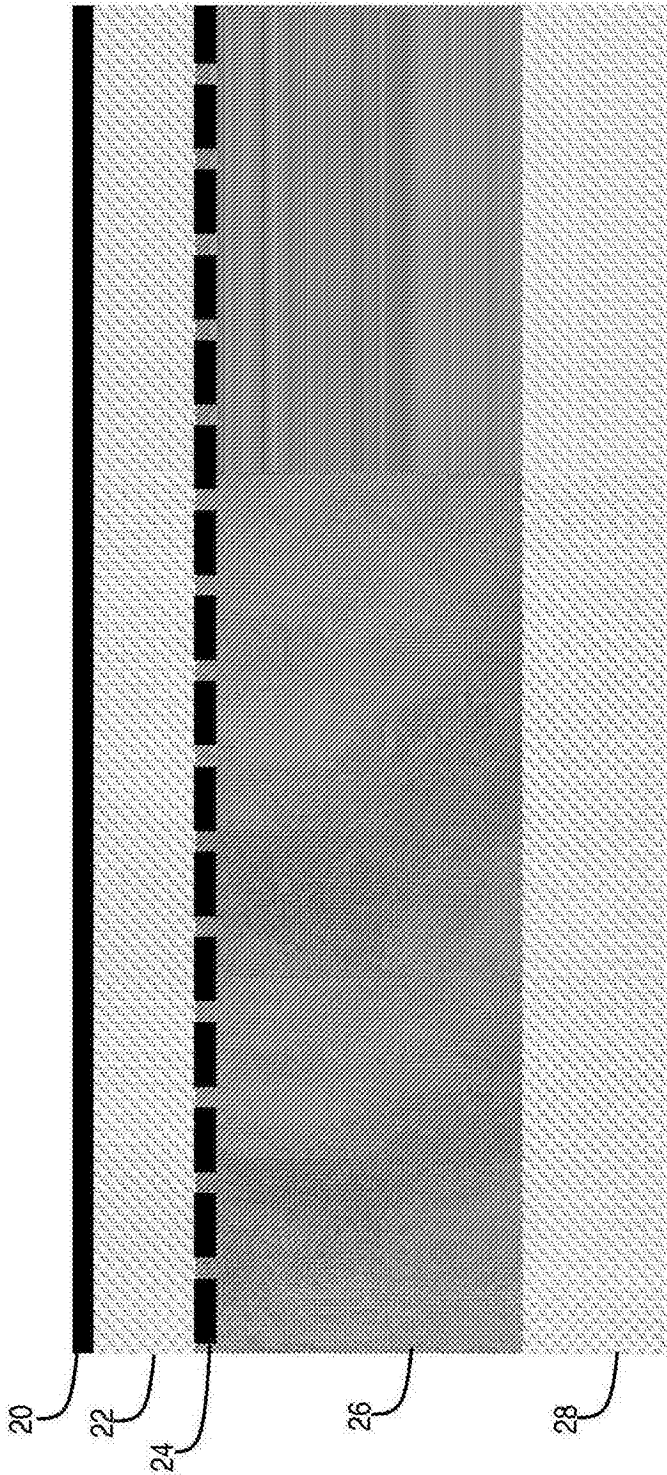


图17

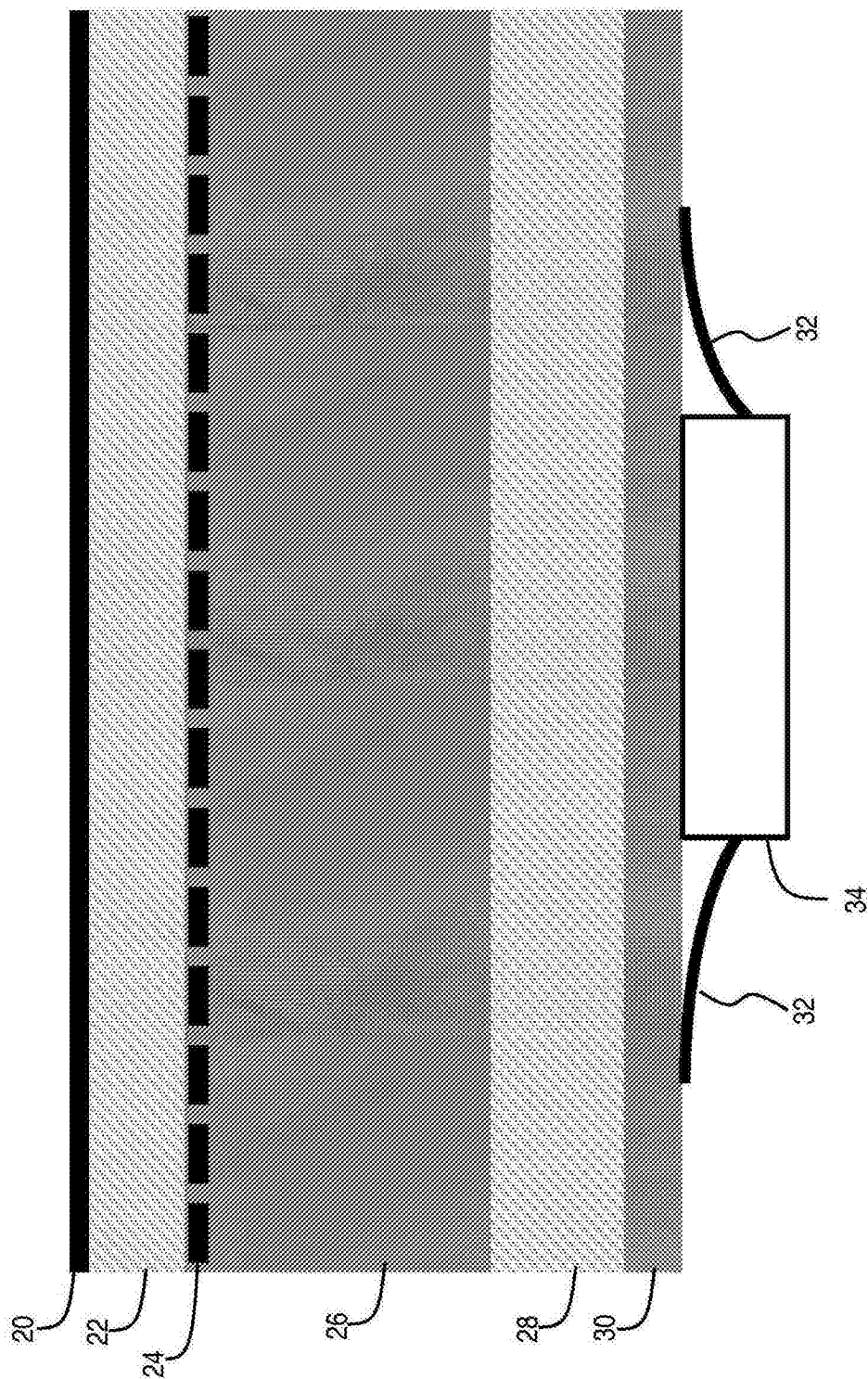


图18

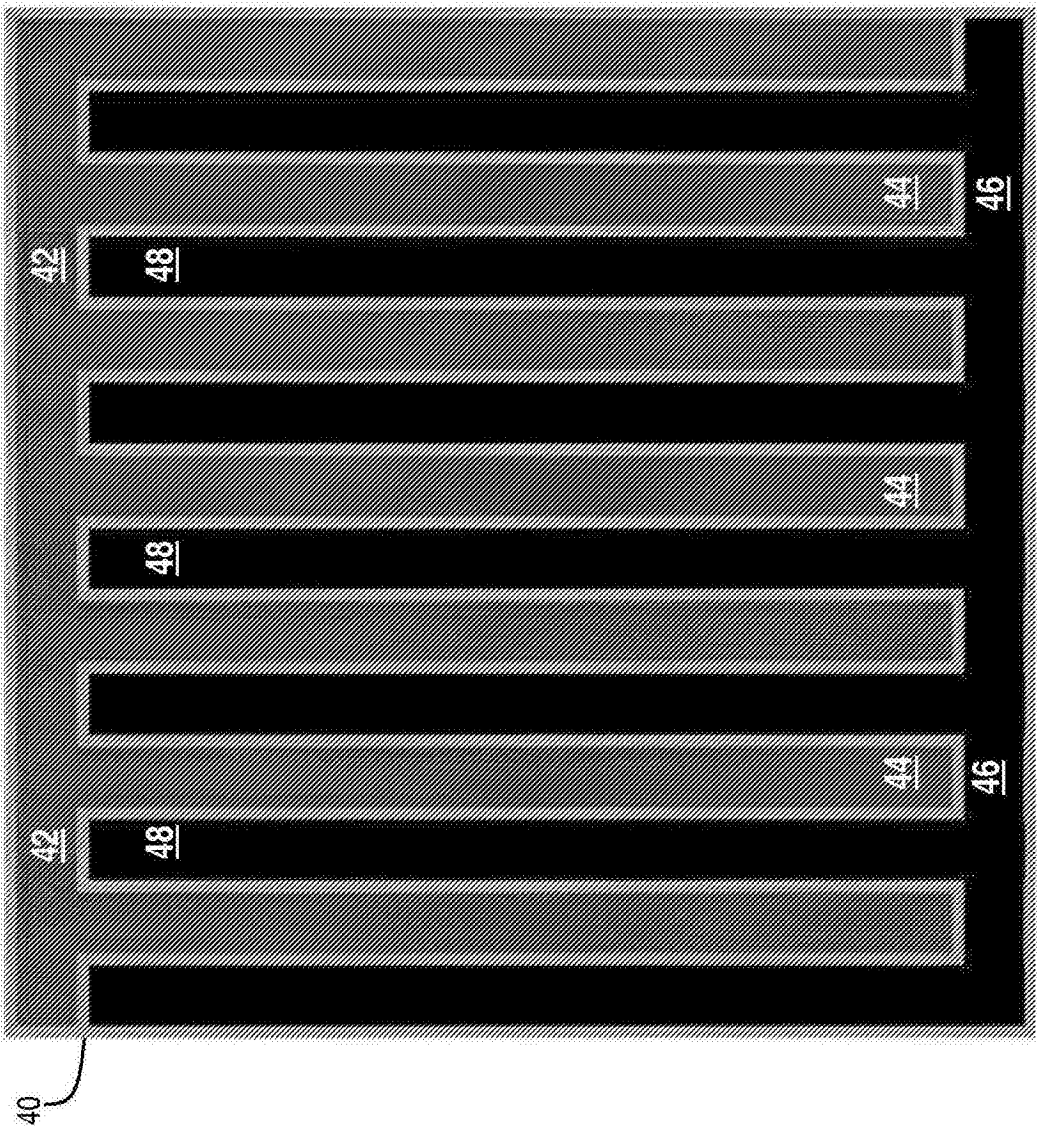


图19

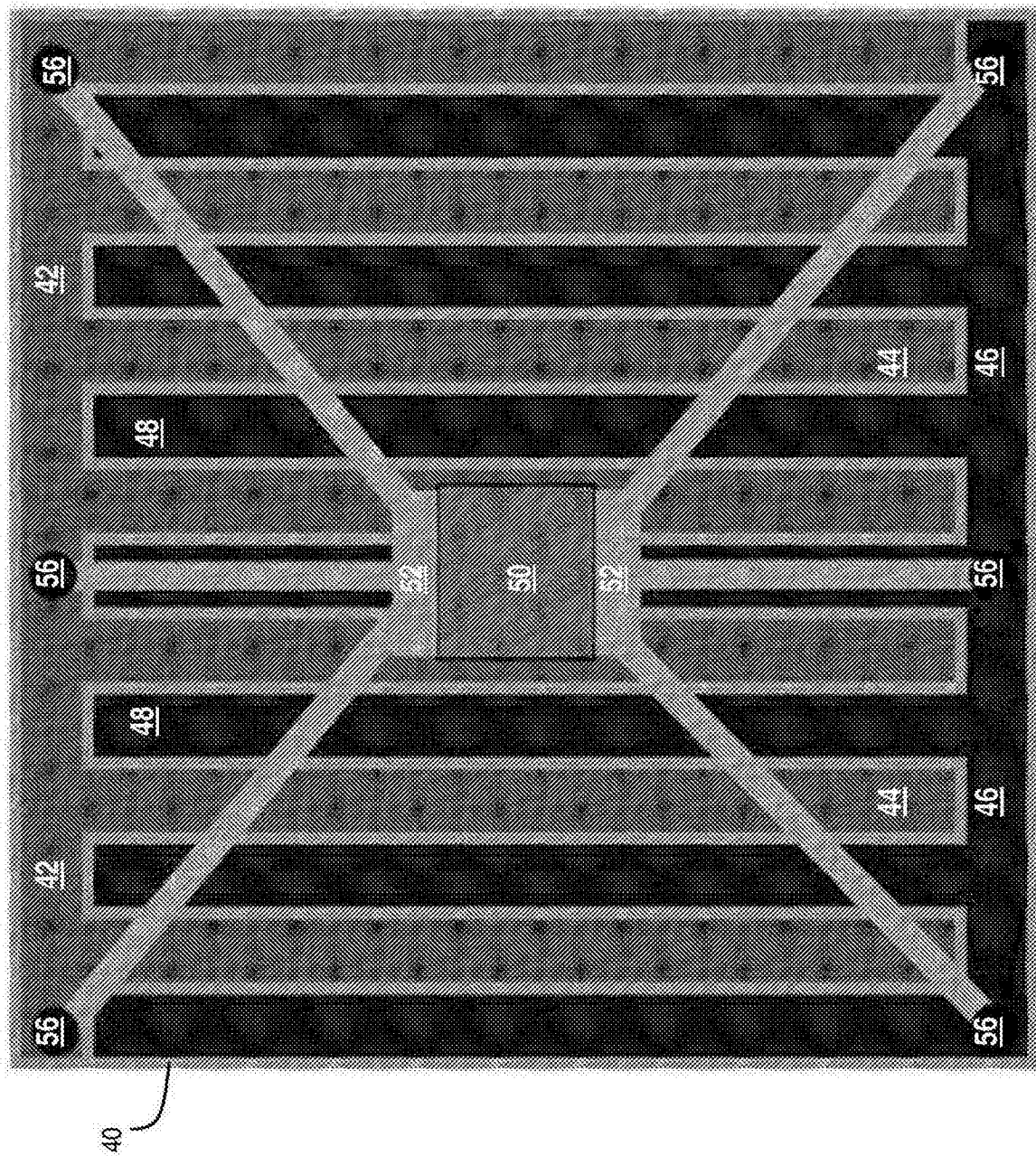


图20

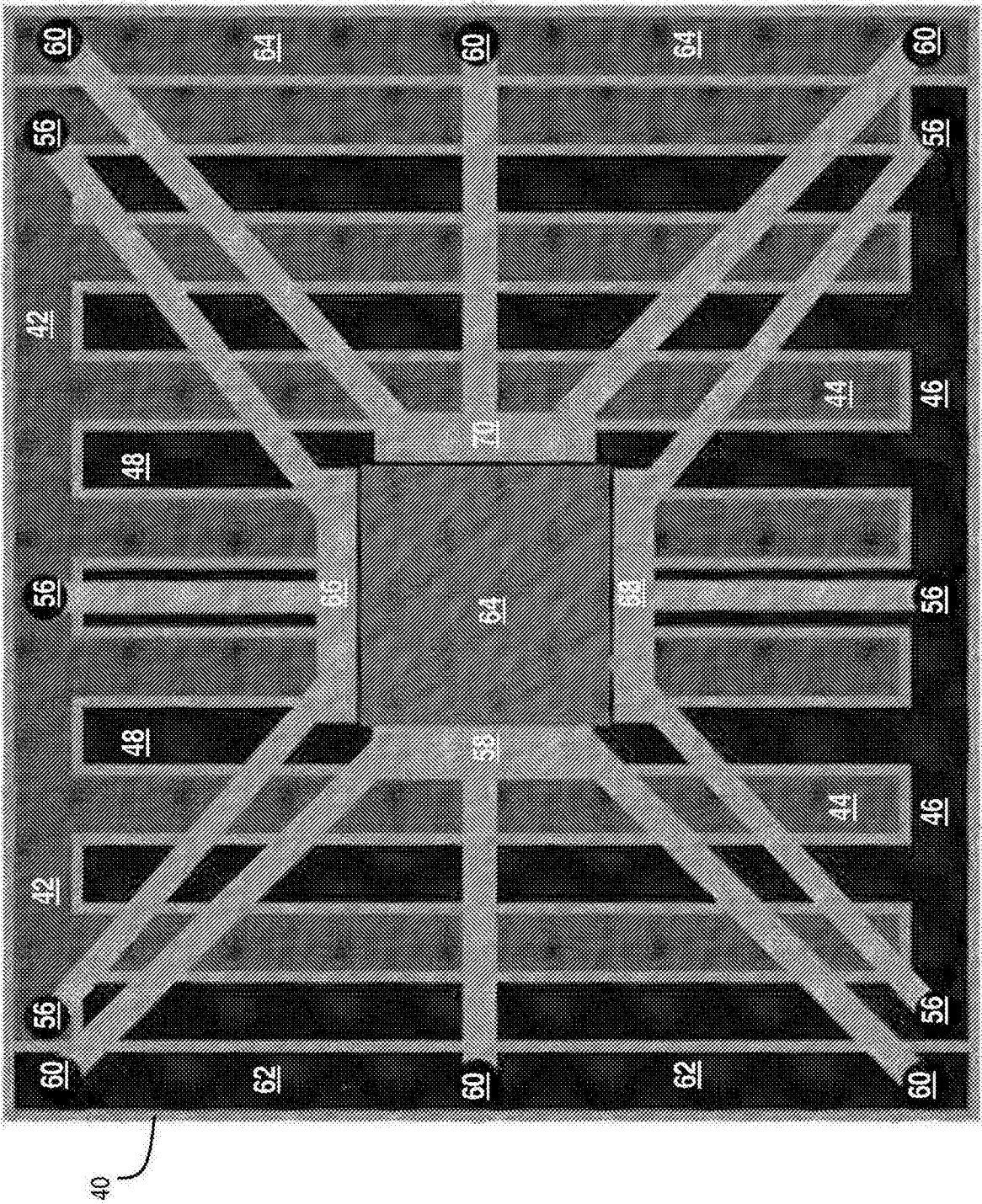


图21

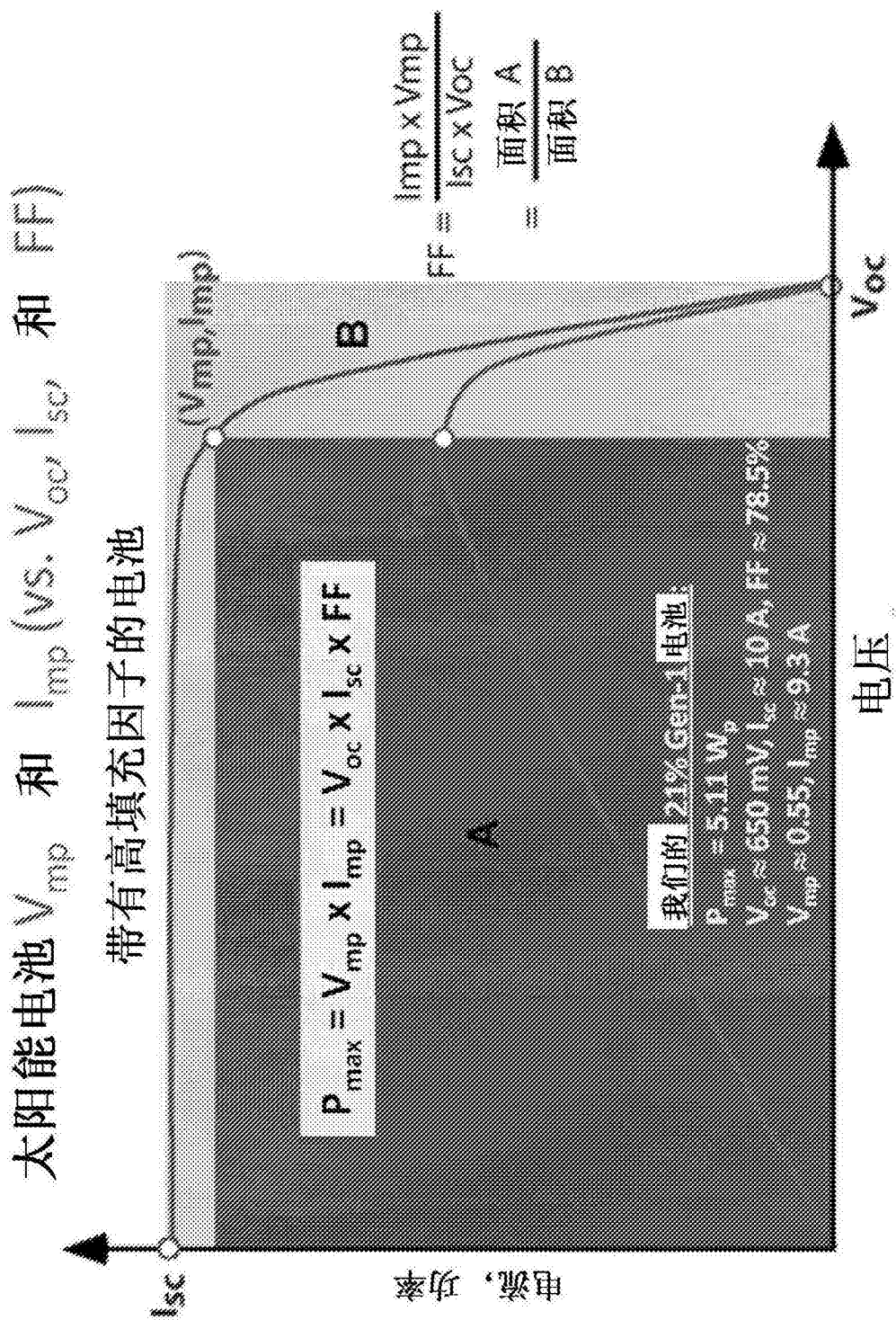


图22

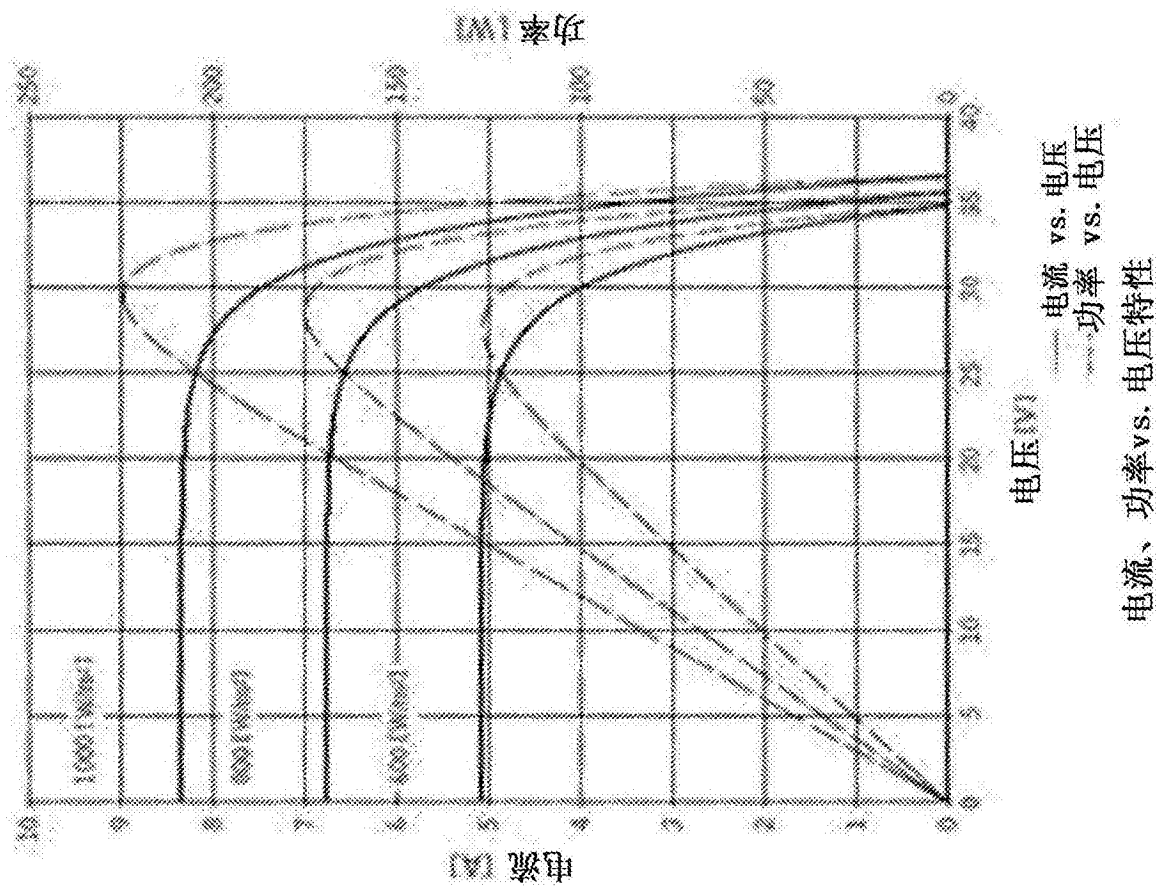


图23

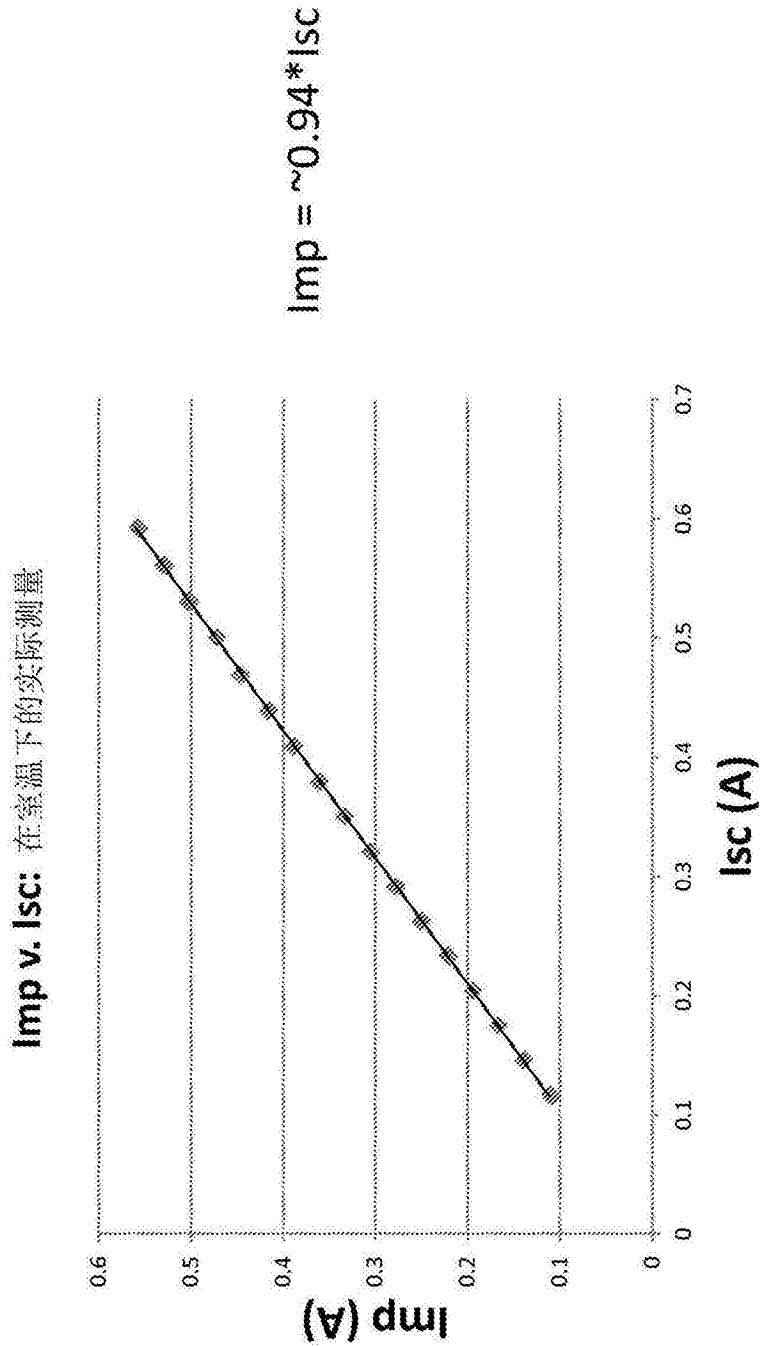


图24

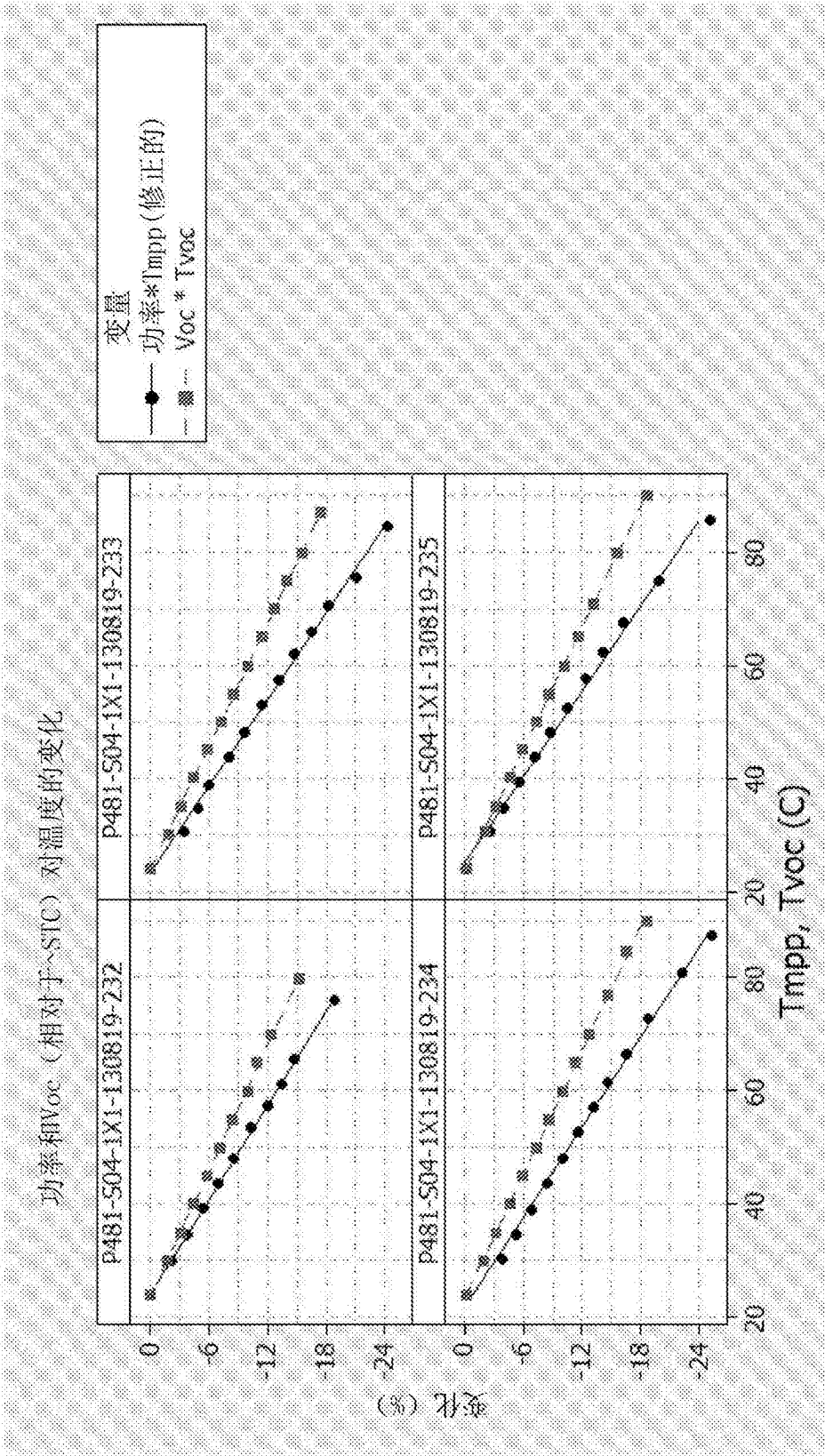


图25

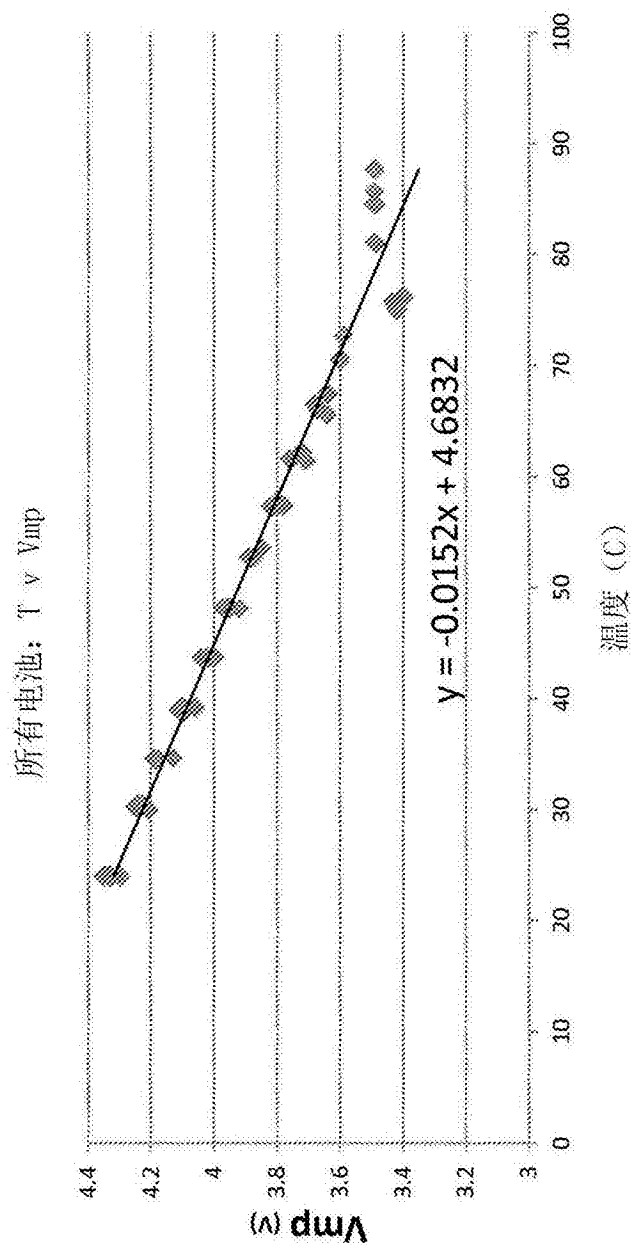


图26

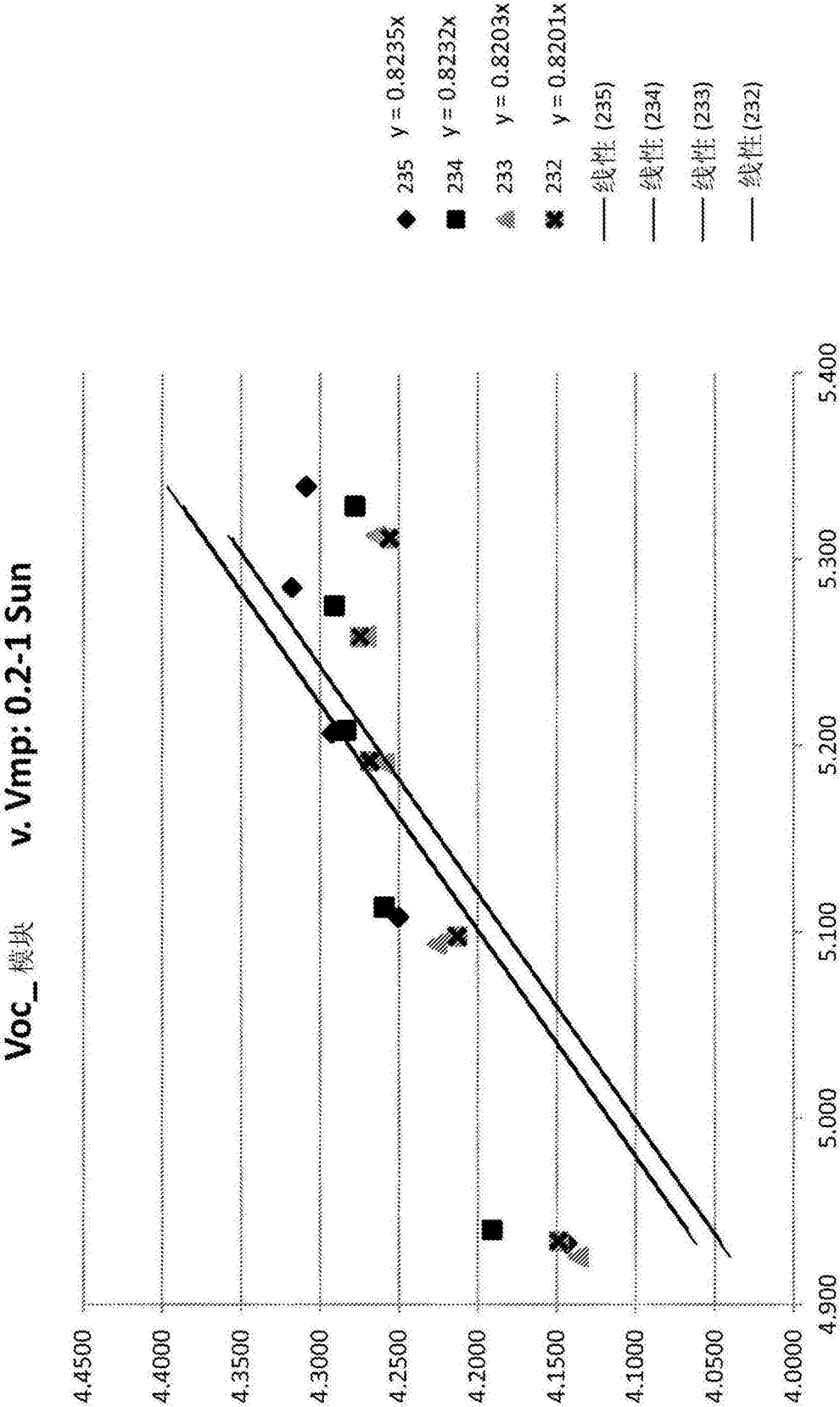


图27

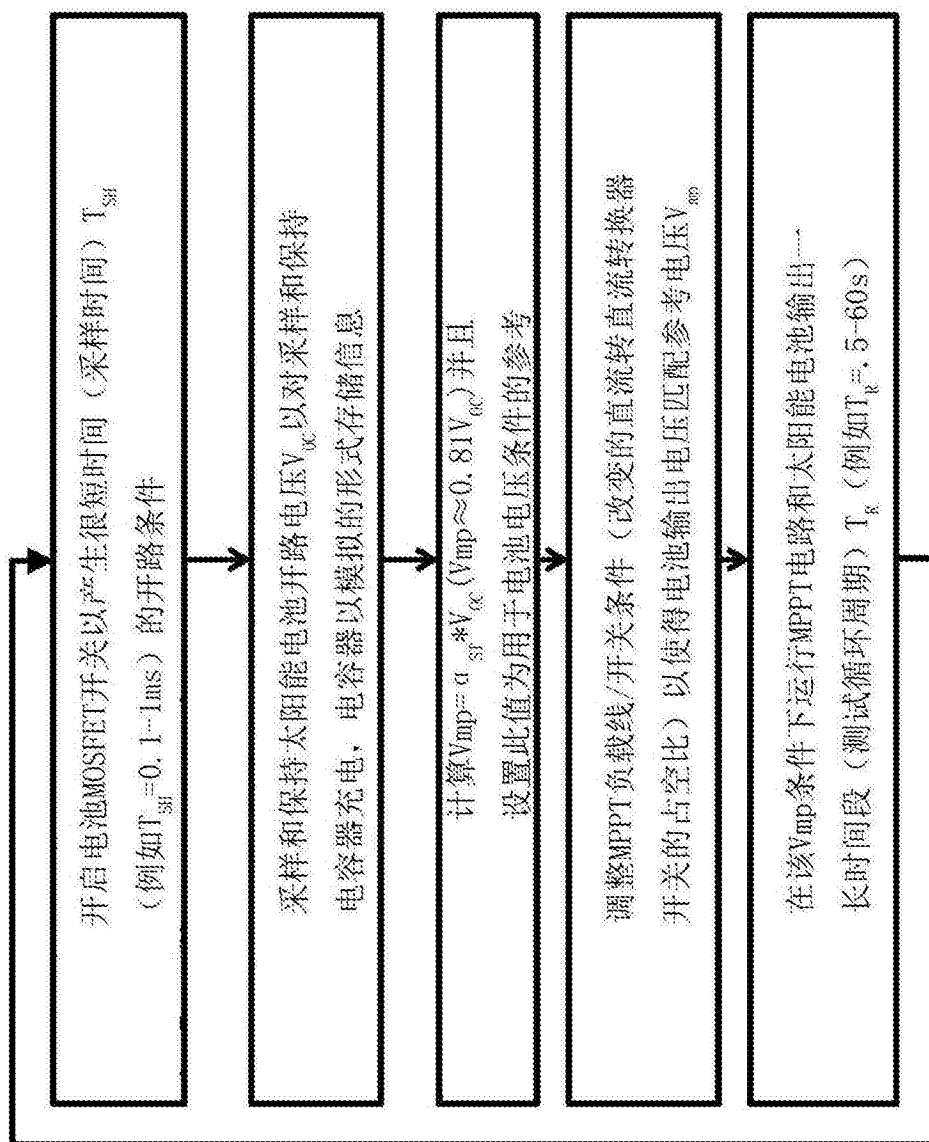


图28

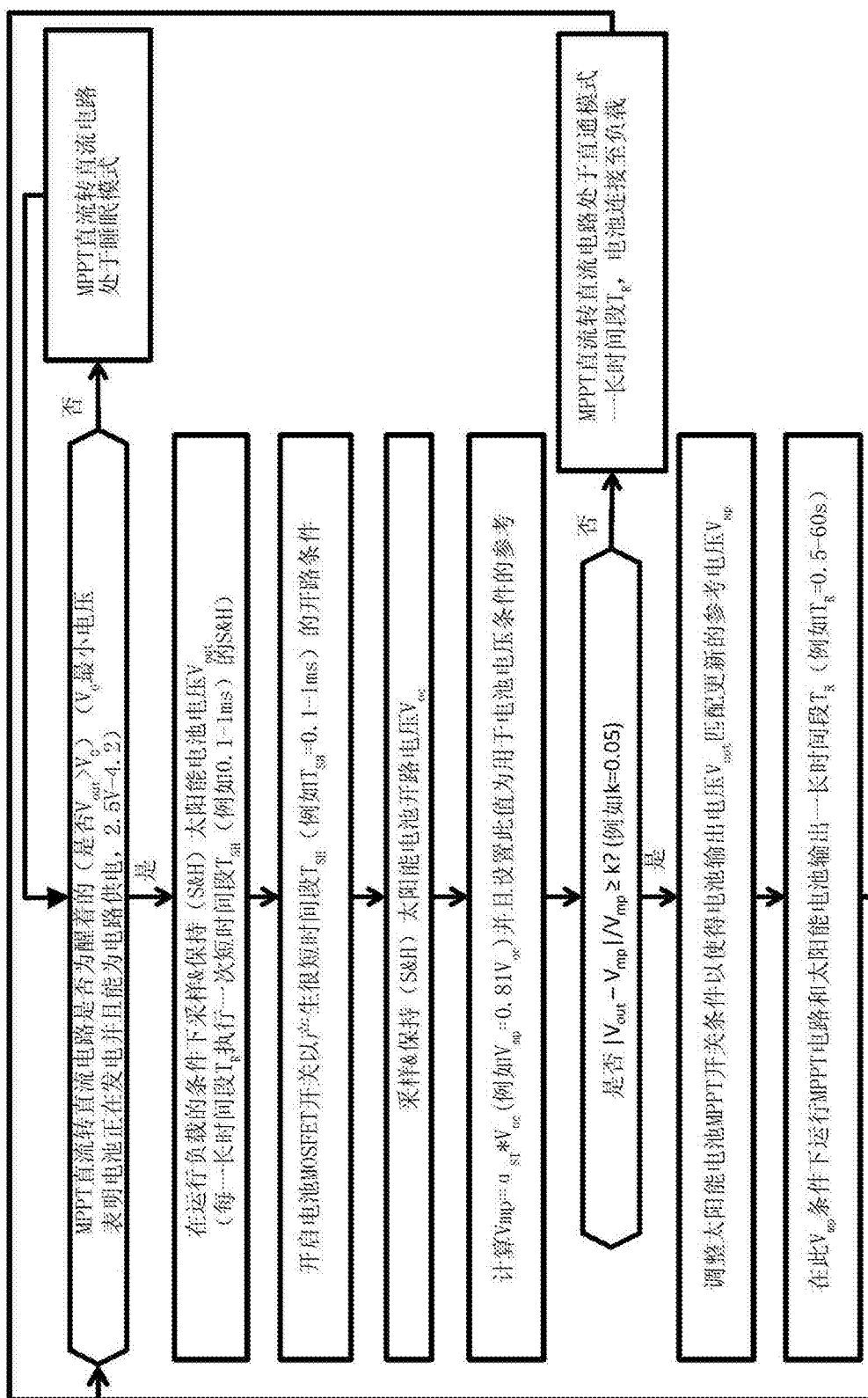


图29

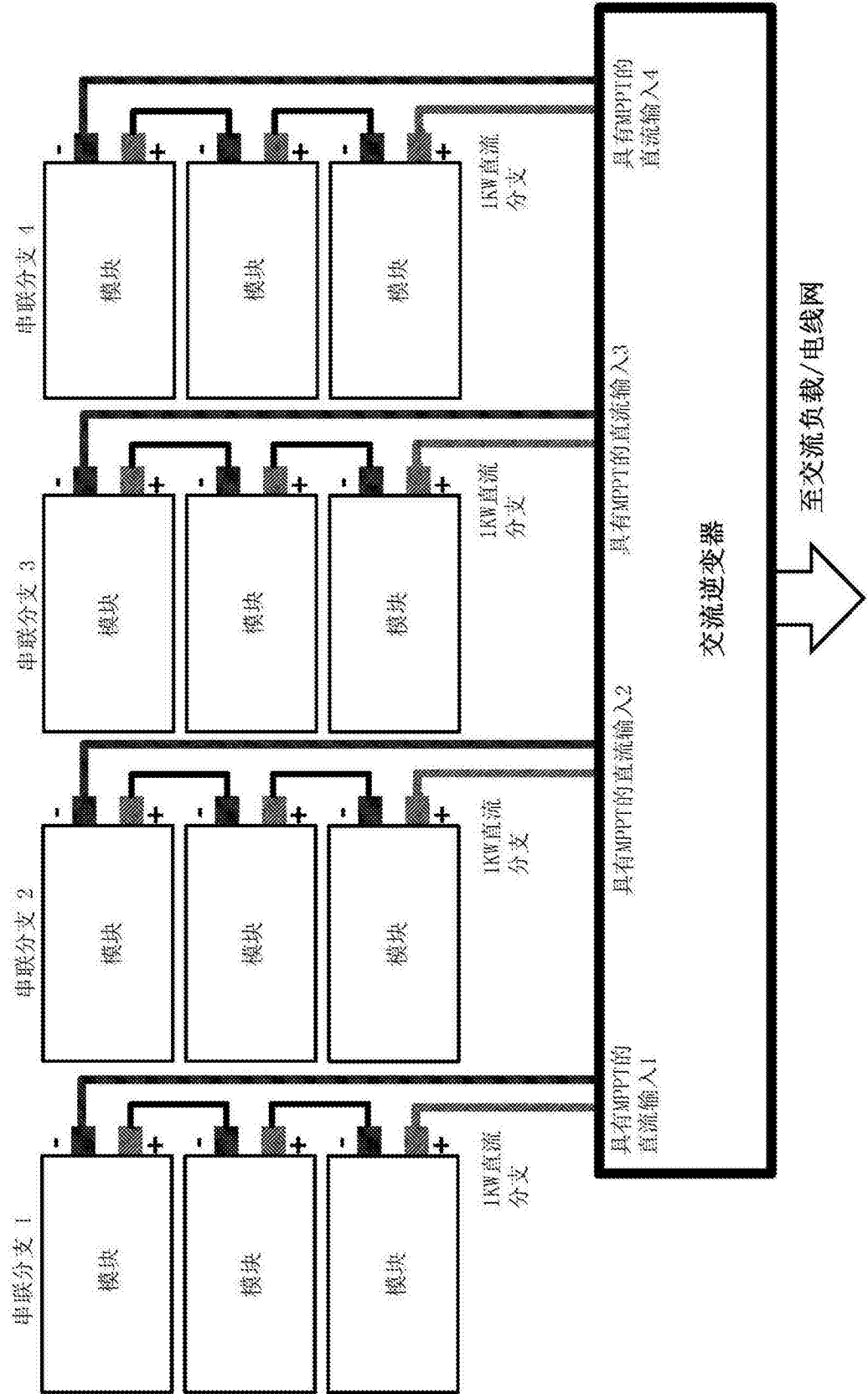


图30

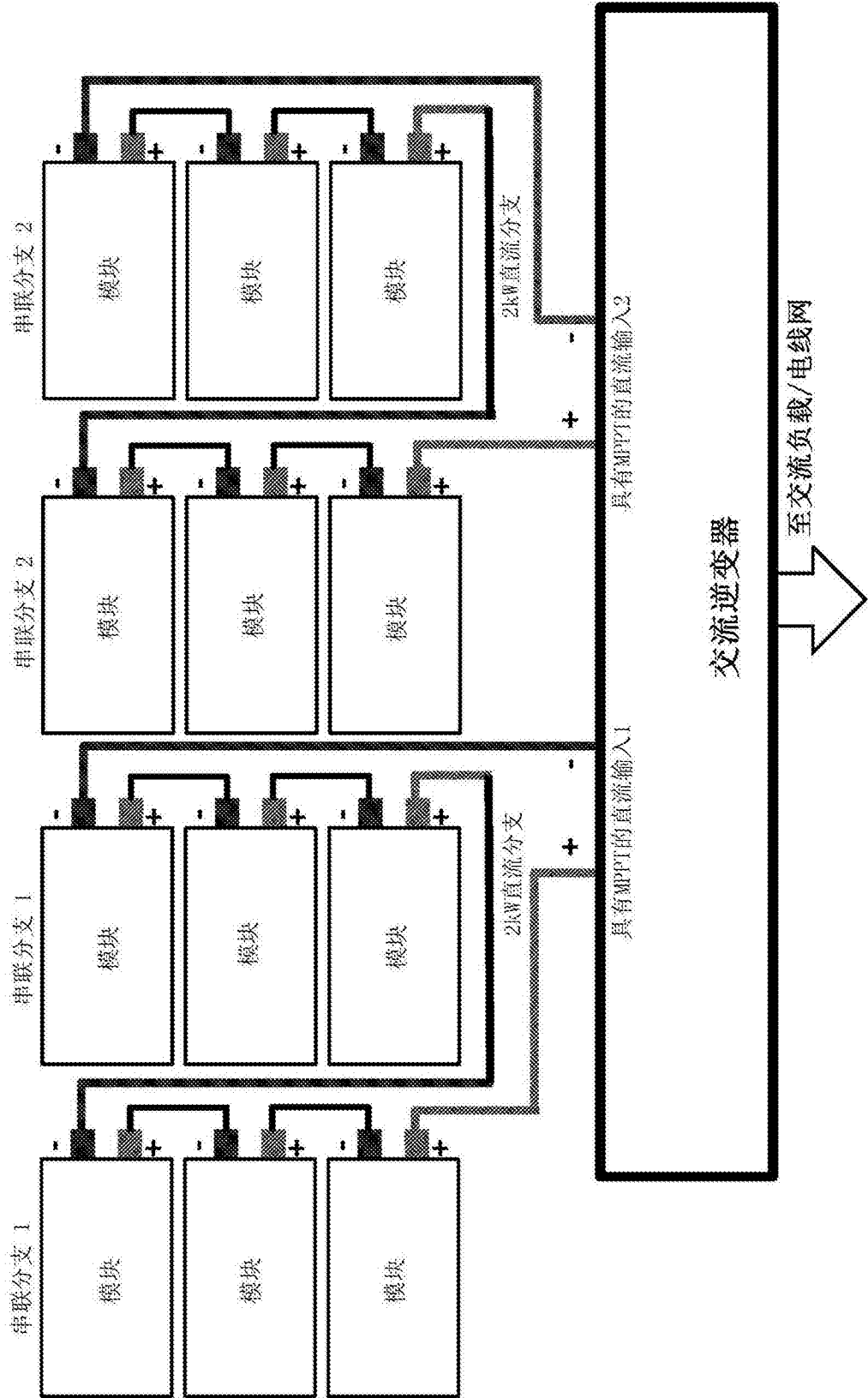


图31

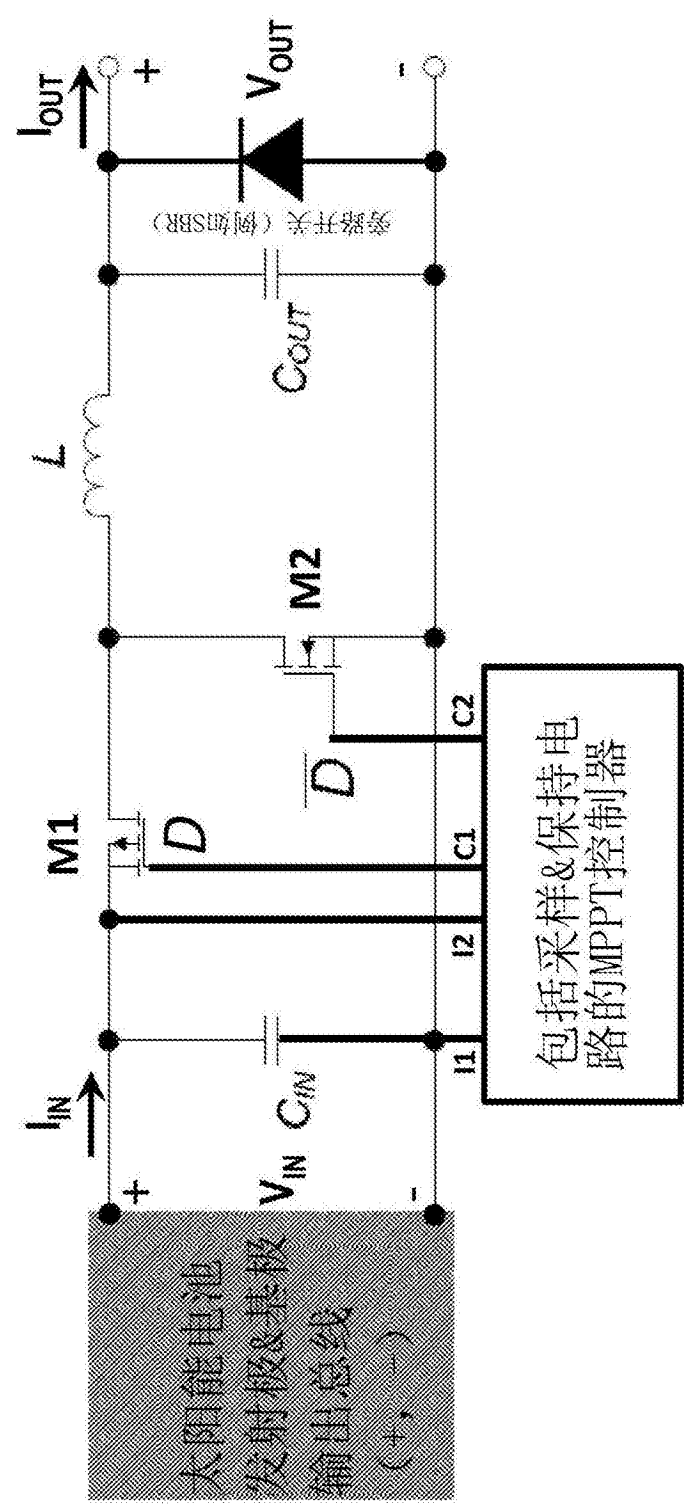


图32A

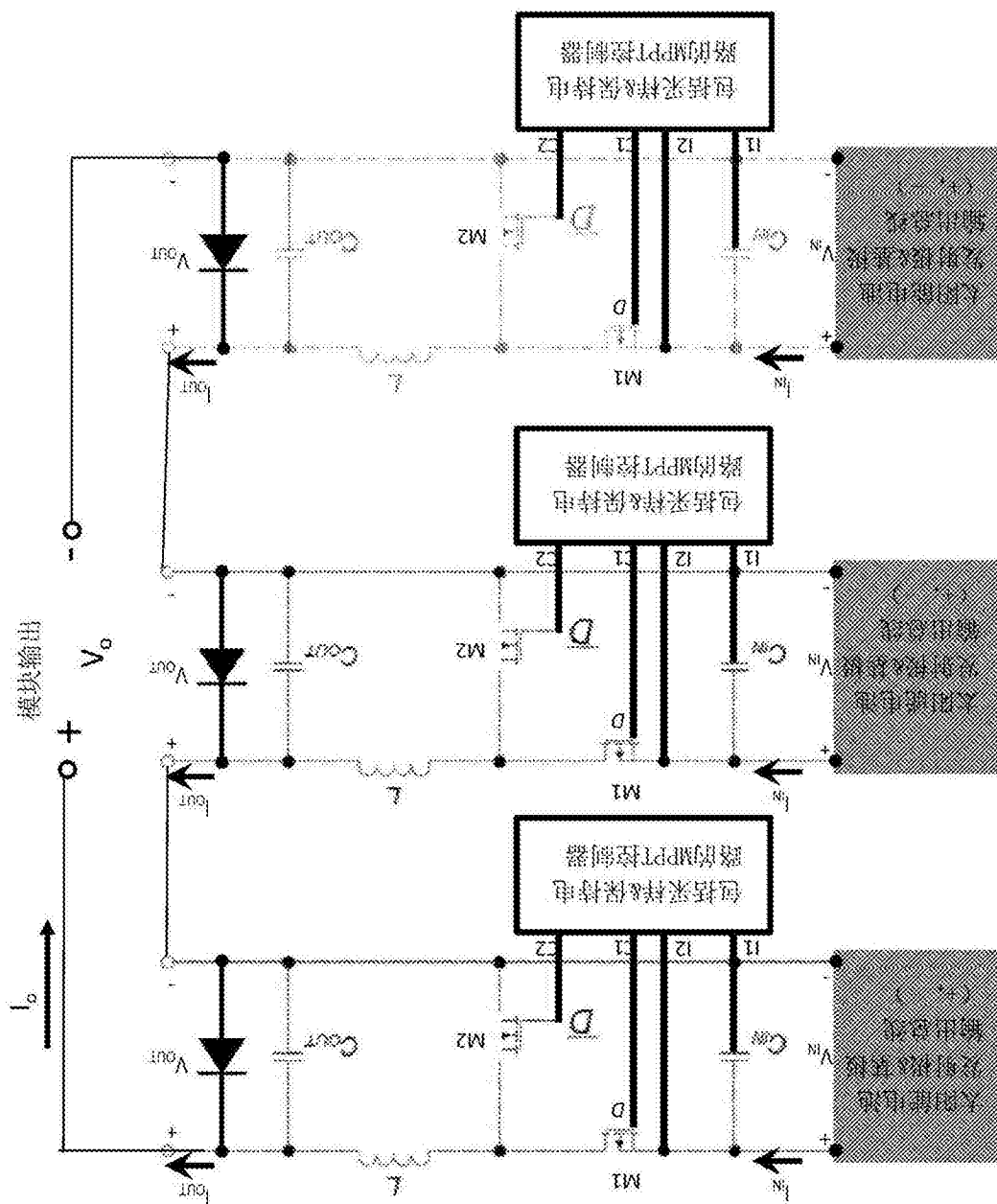


图32B

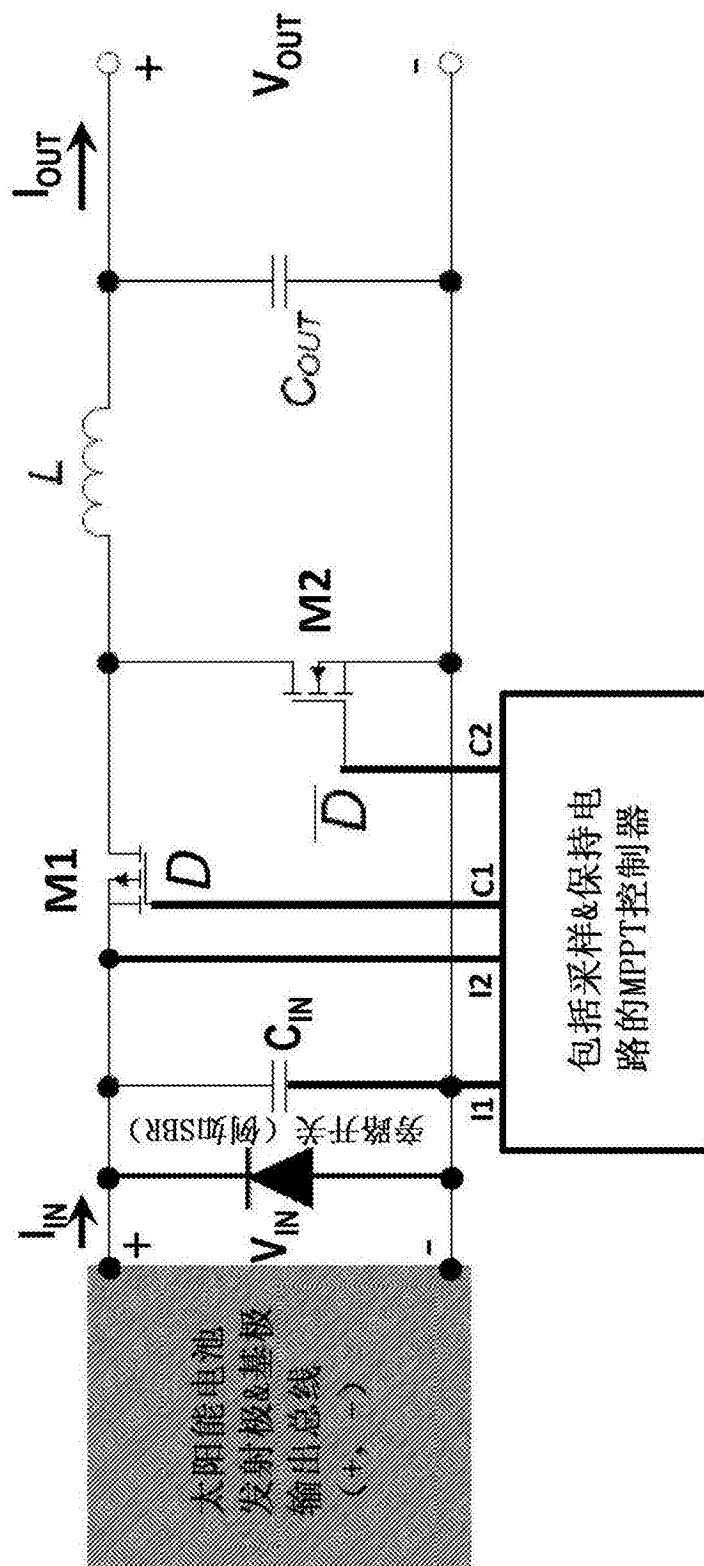


图33A

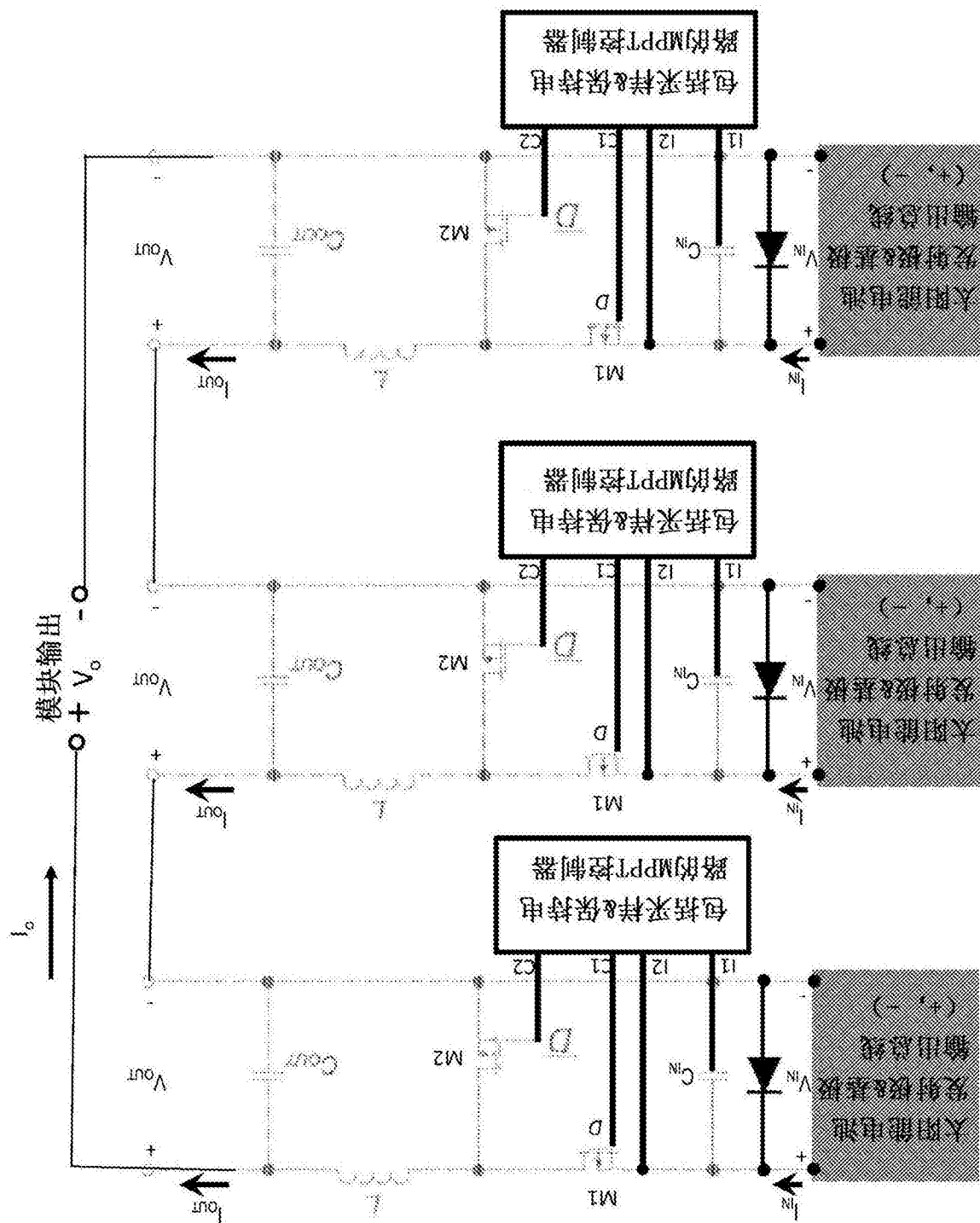


图33B

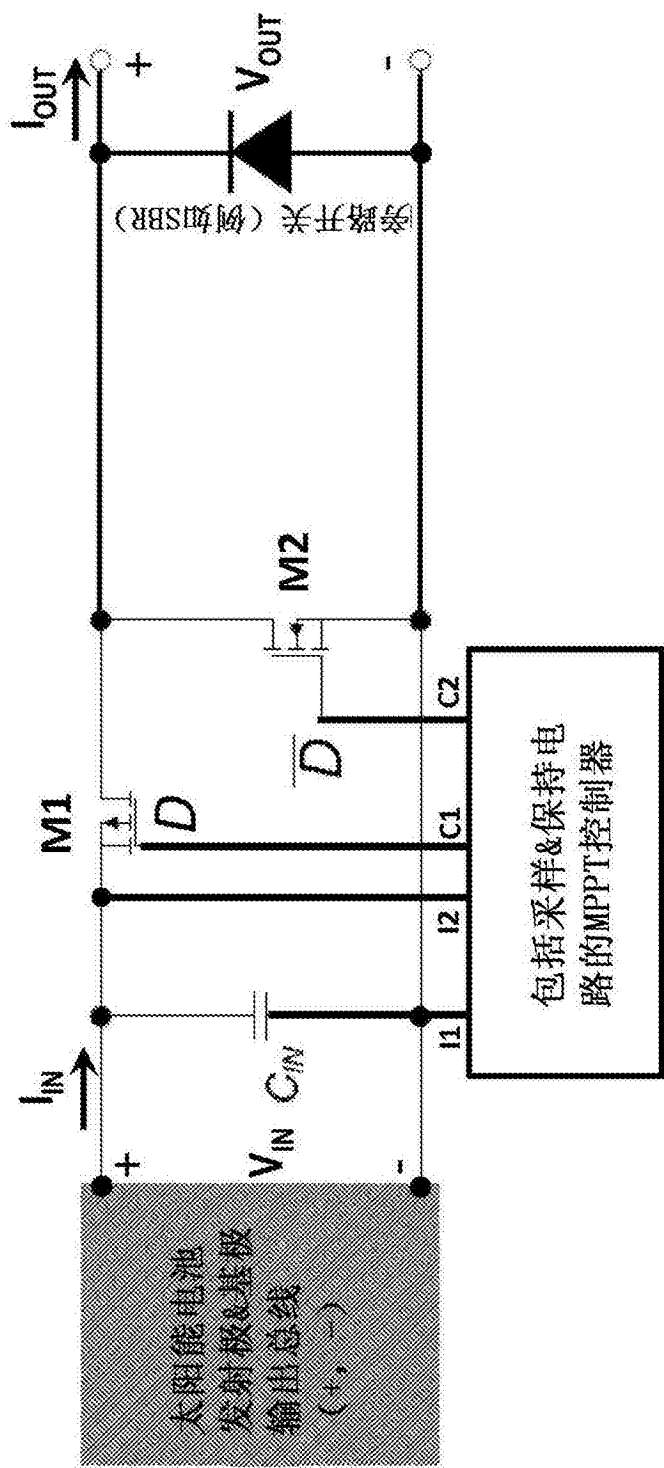


图34A

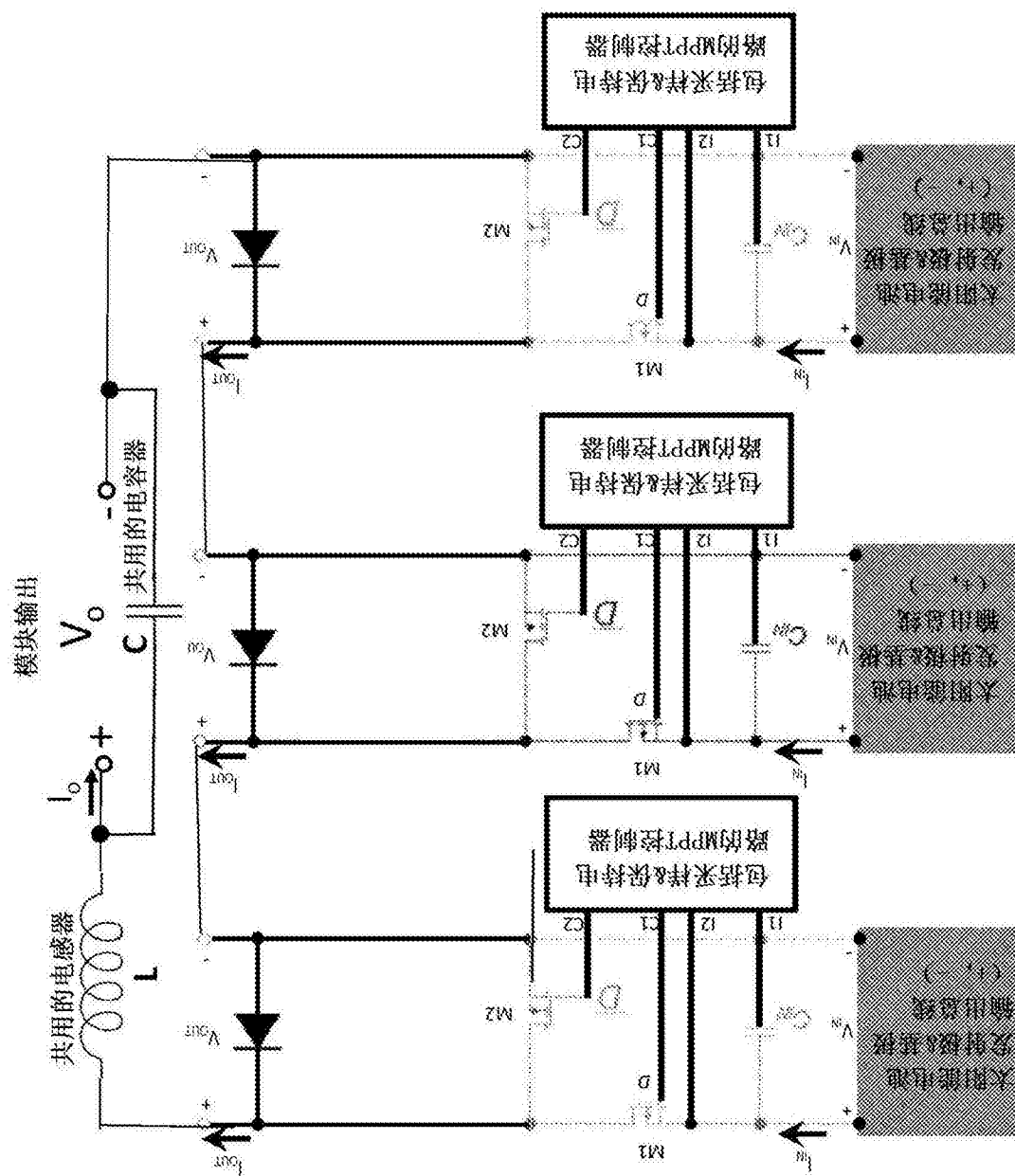


图34B

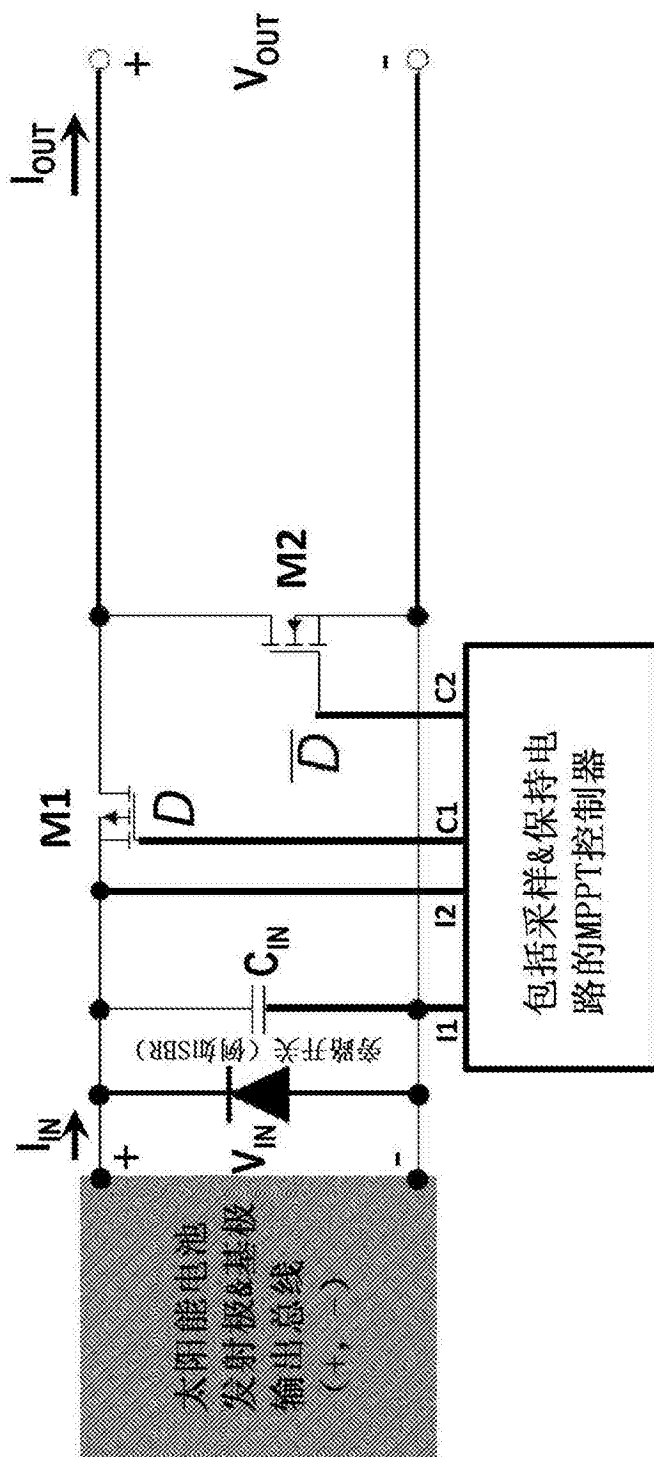


图35A

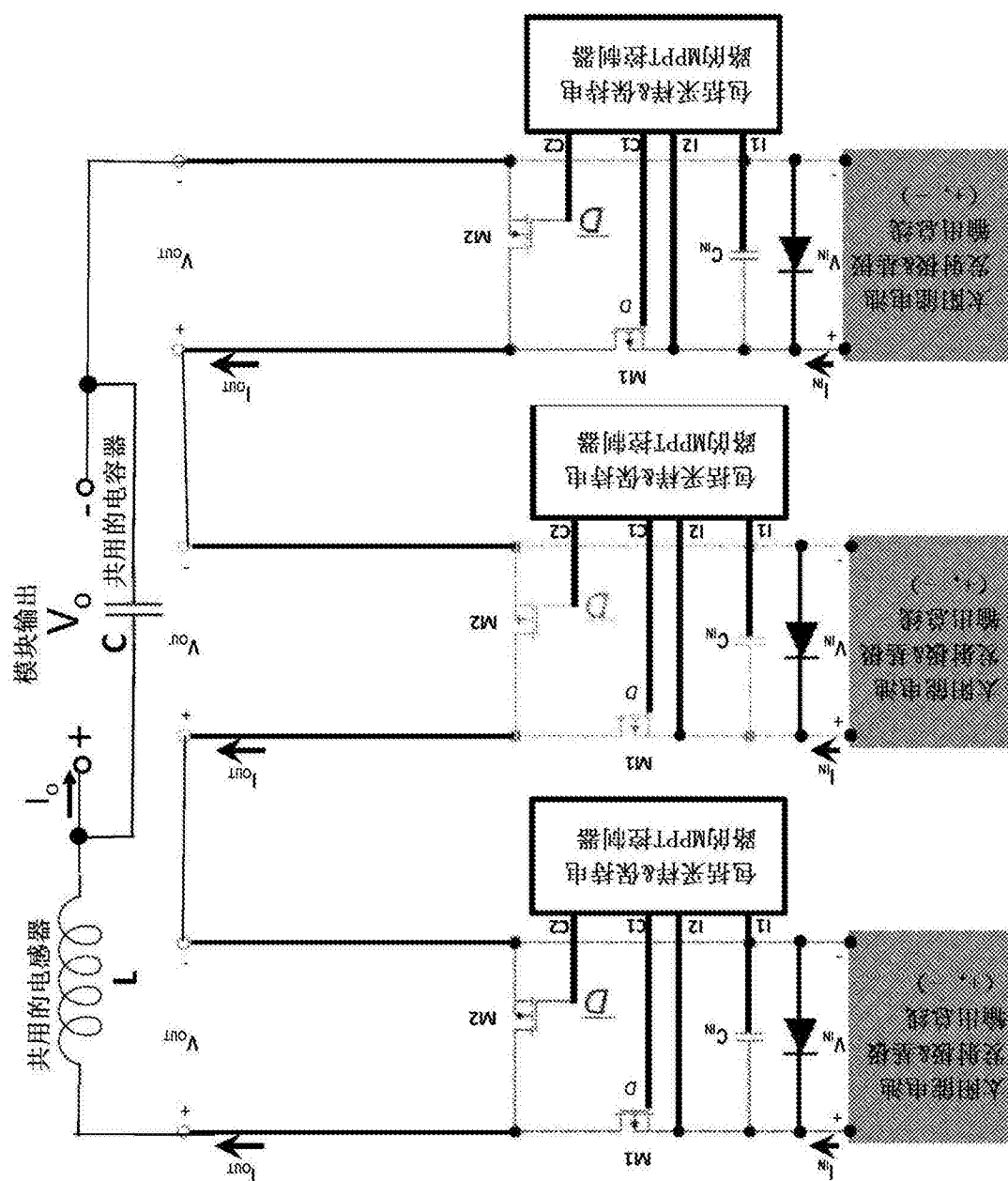


图35B

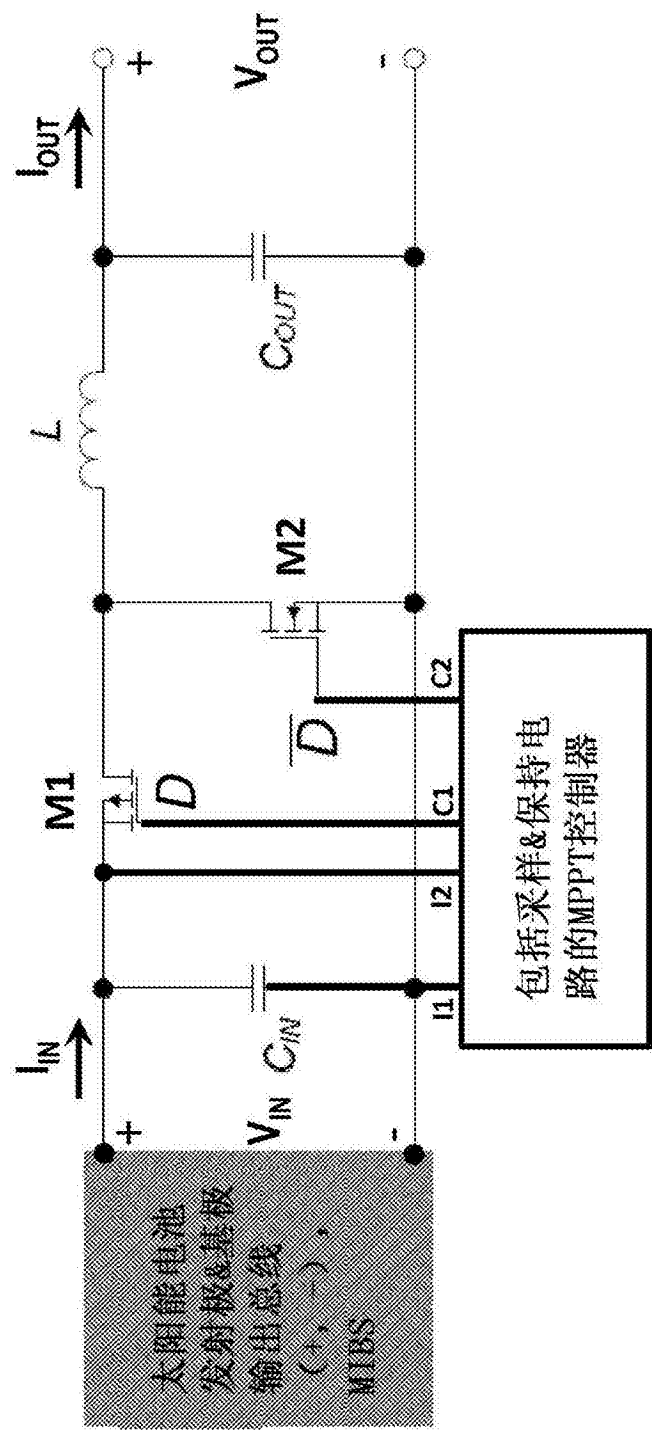


图36A

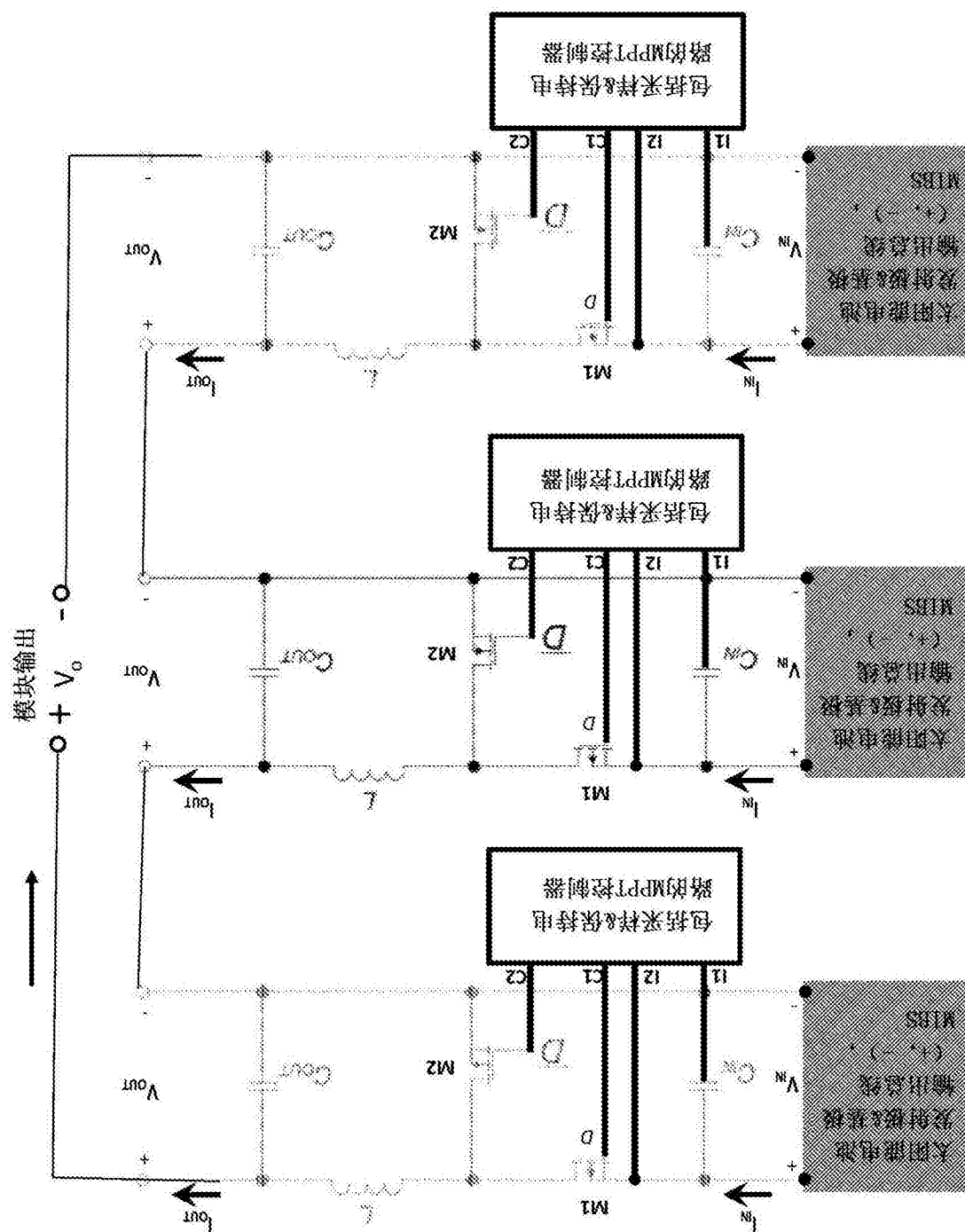


图36B

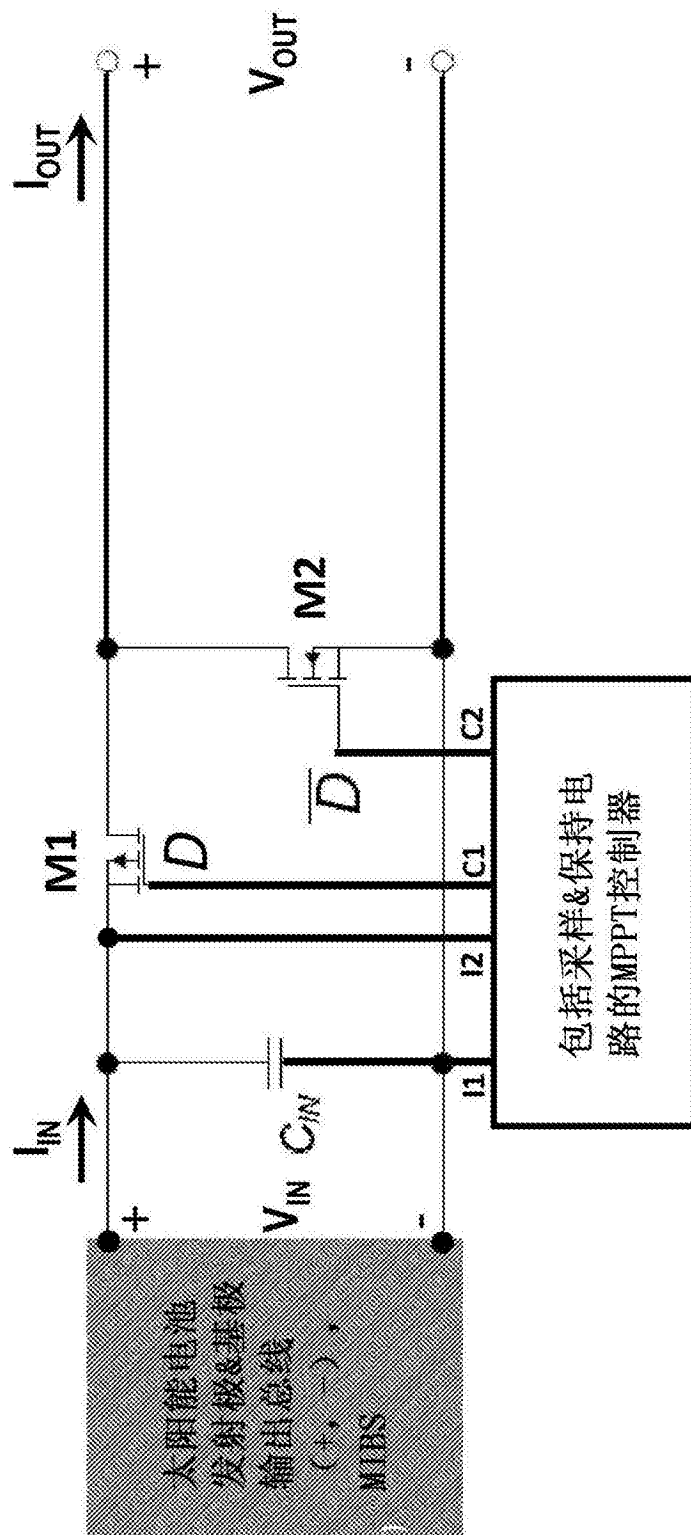


图37A

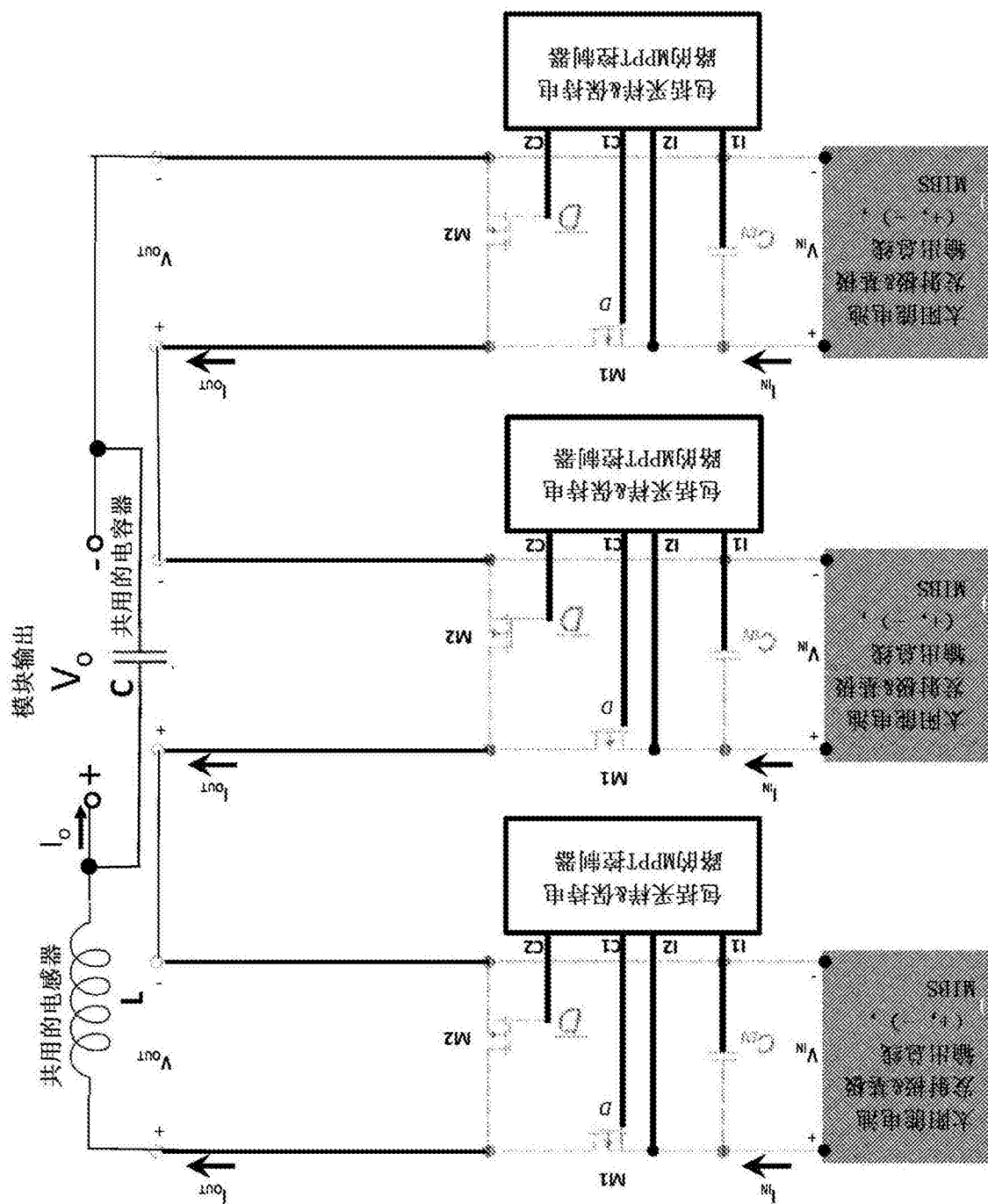


图37B

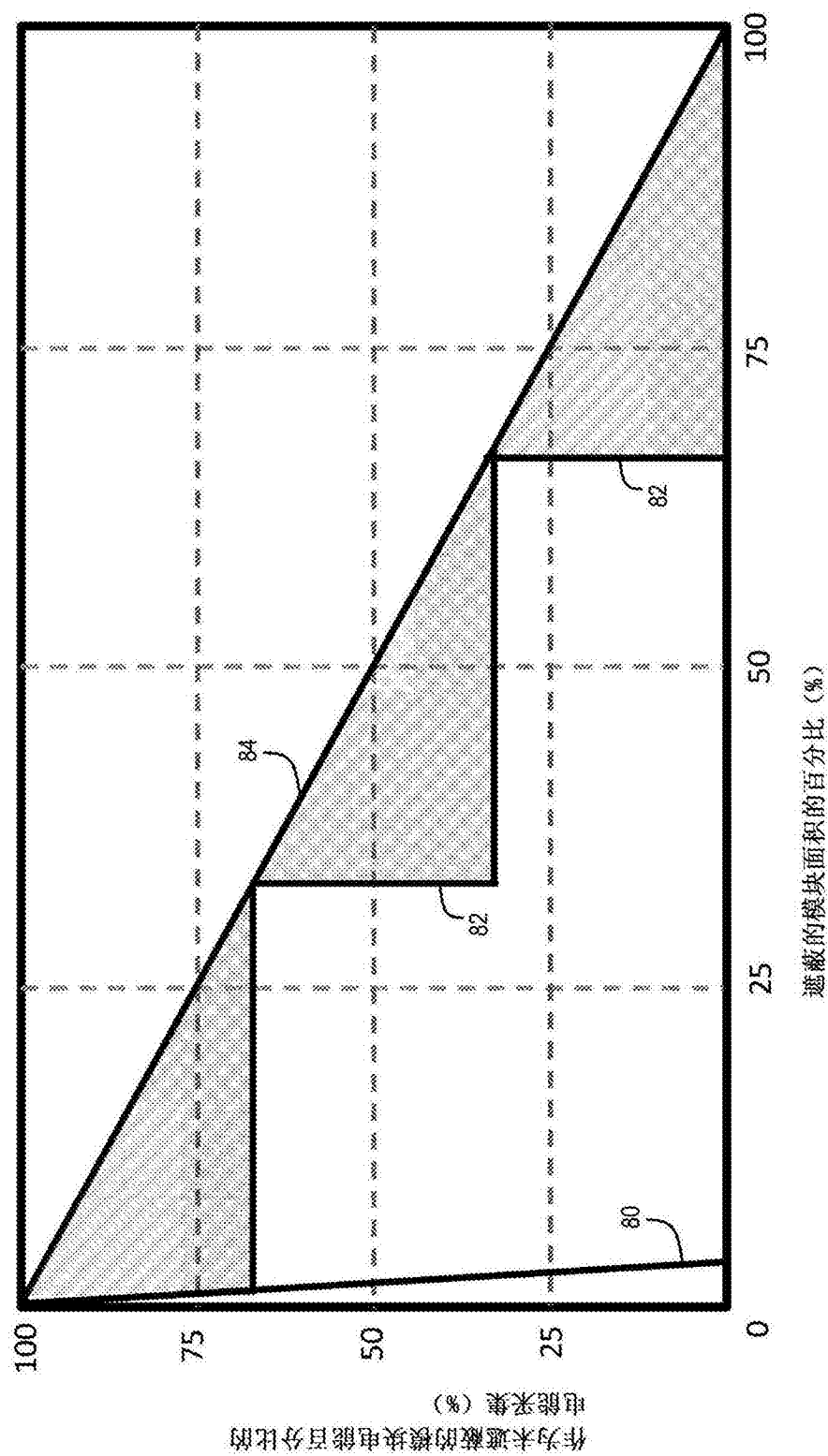


图38

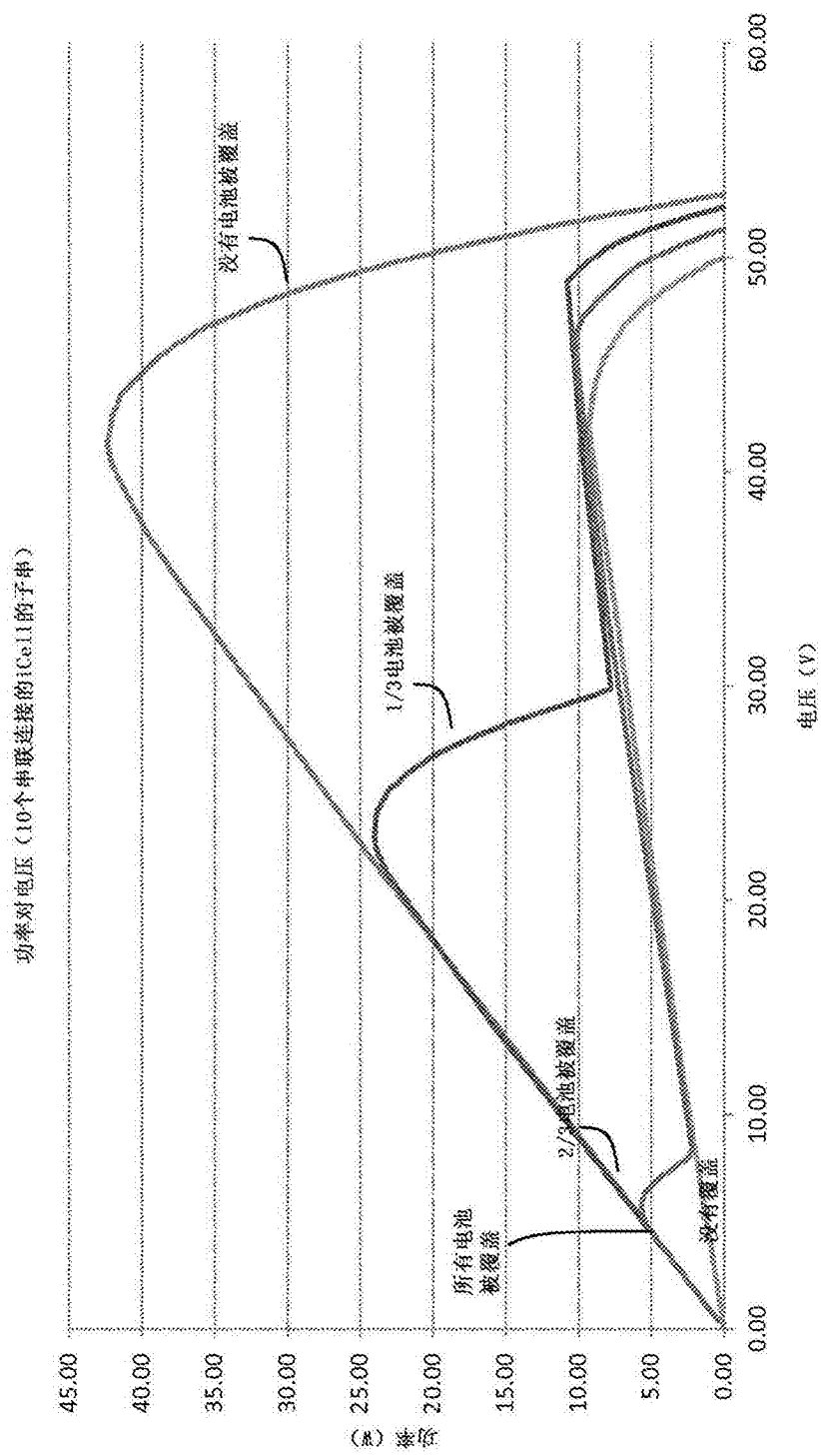


图39

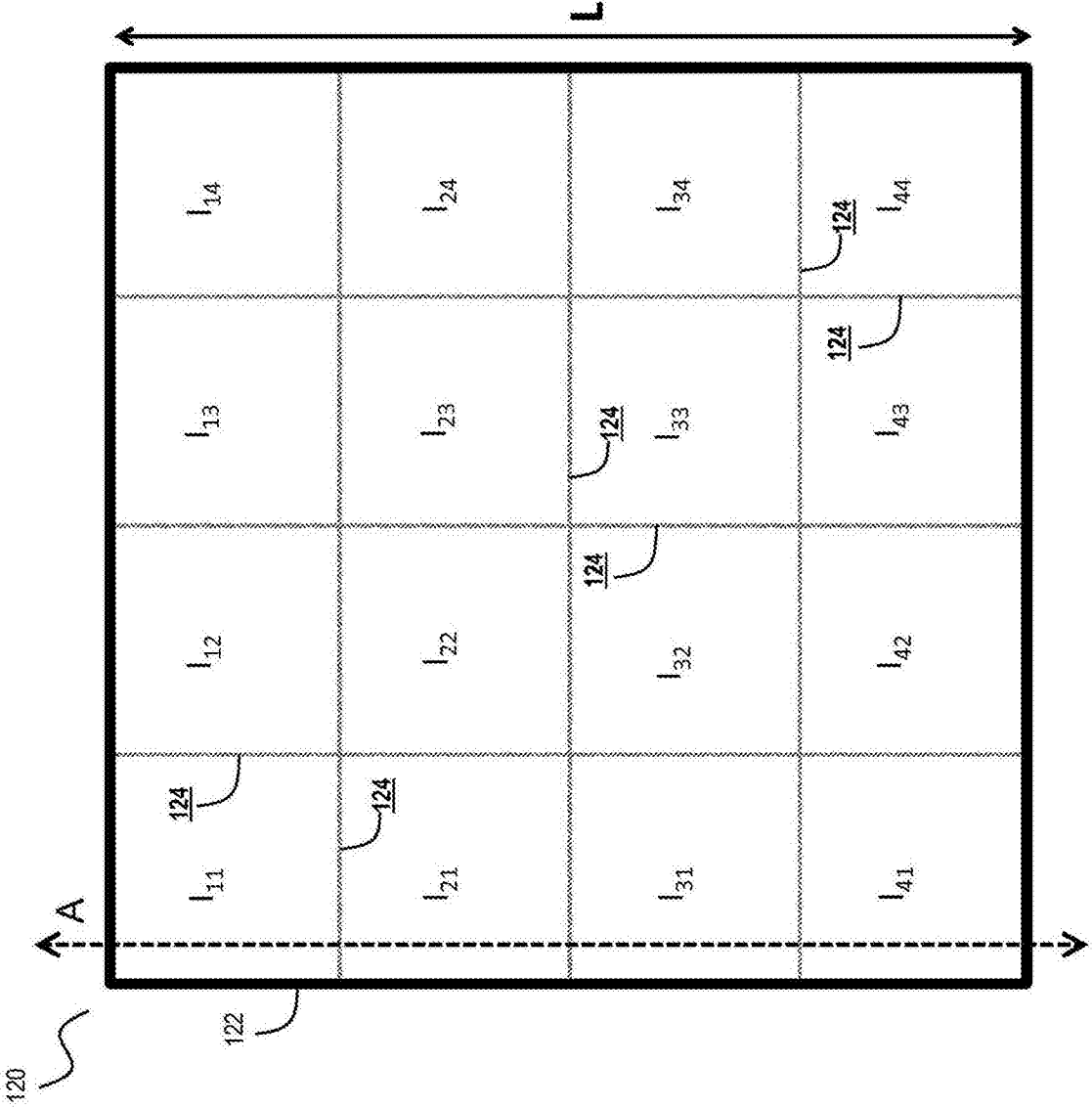


图40

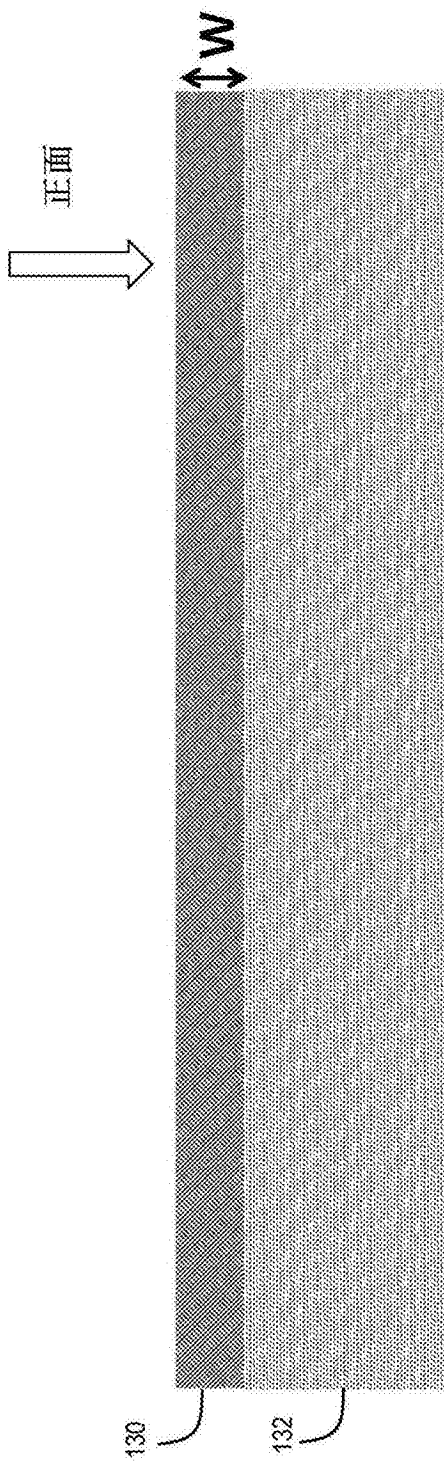


图 41A

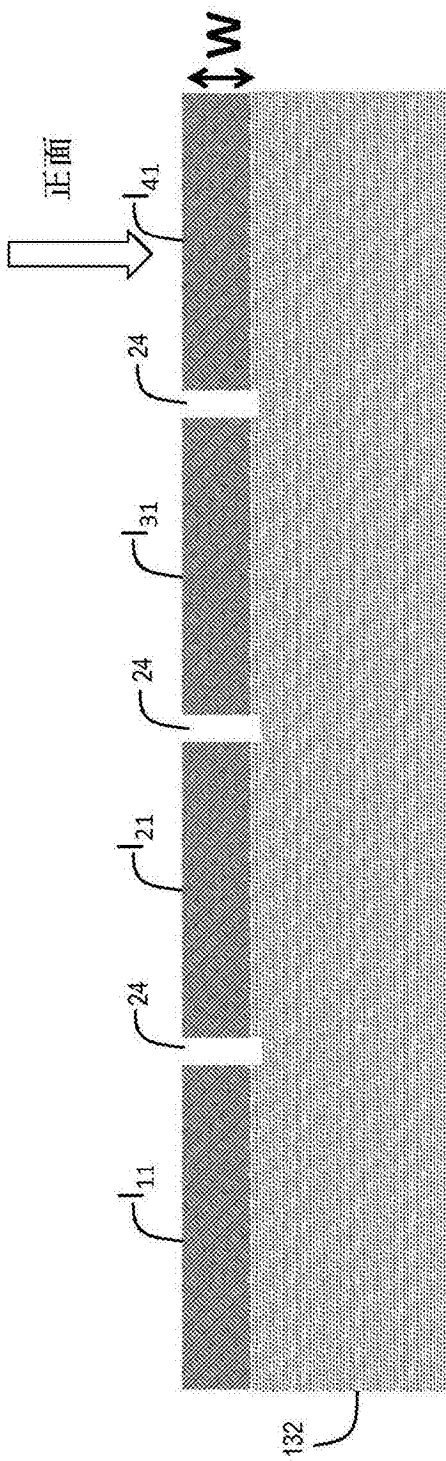


图 41B

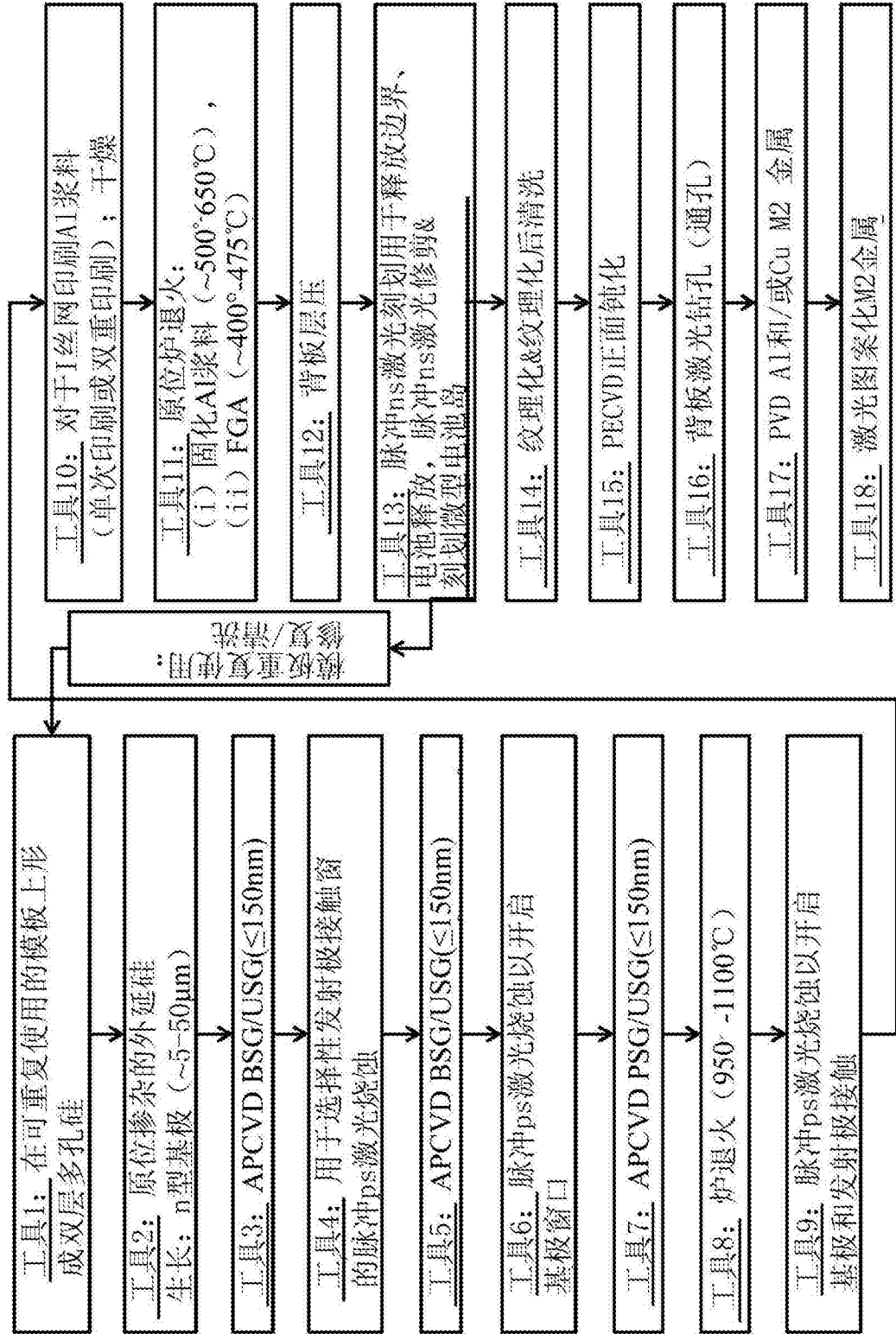


图42

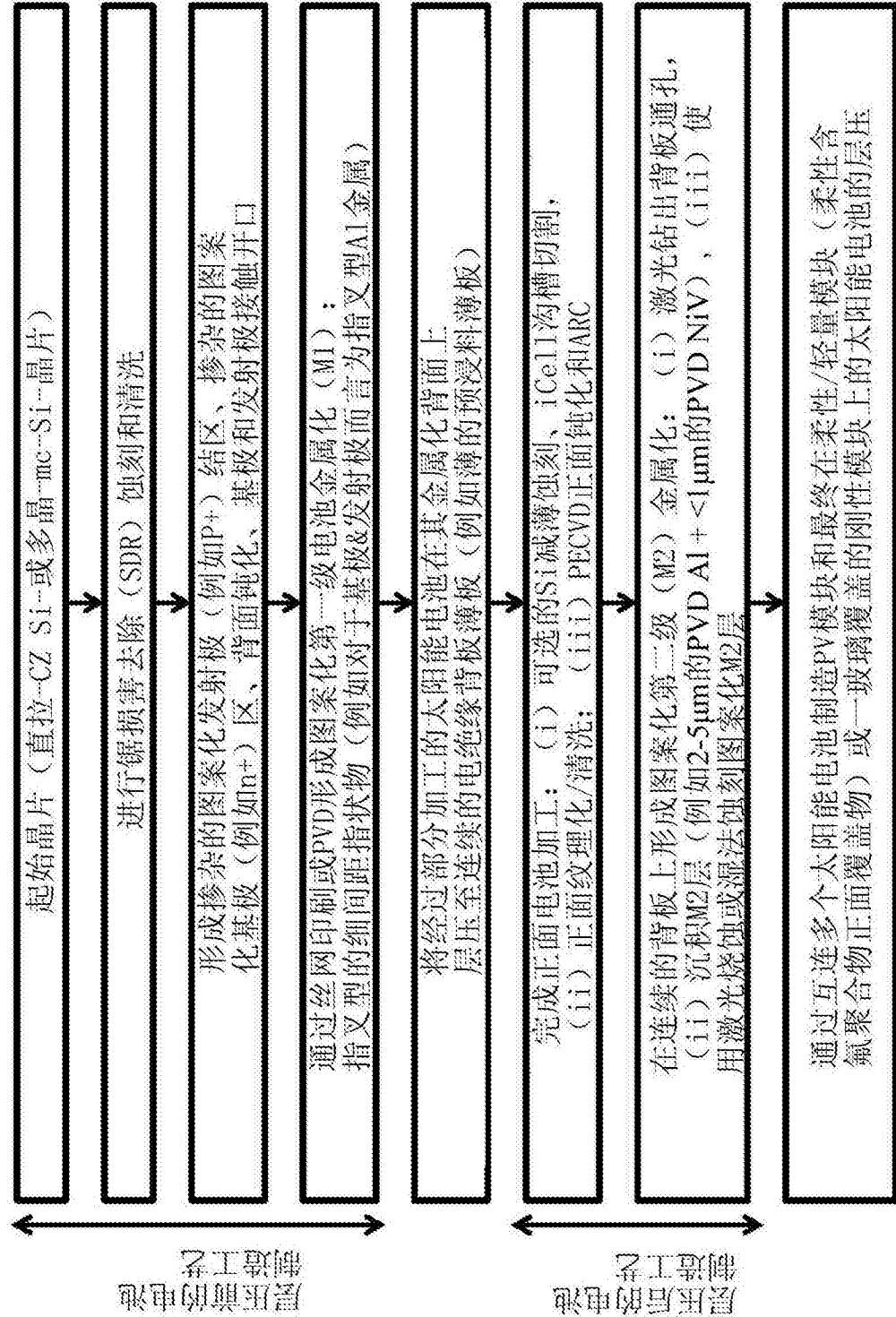


图43

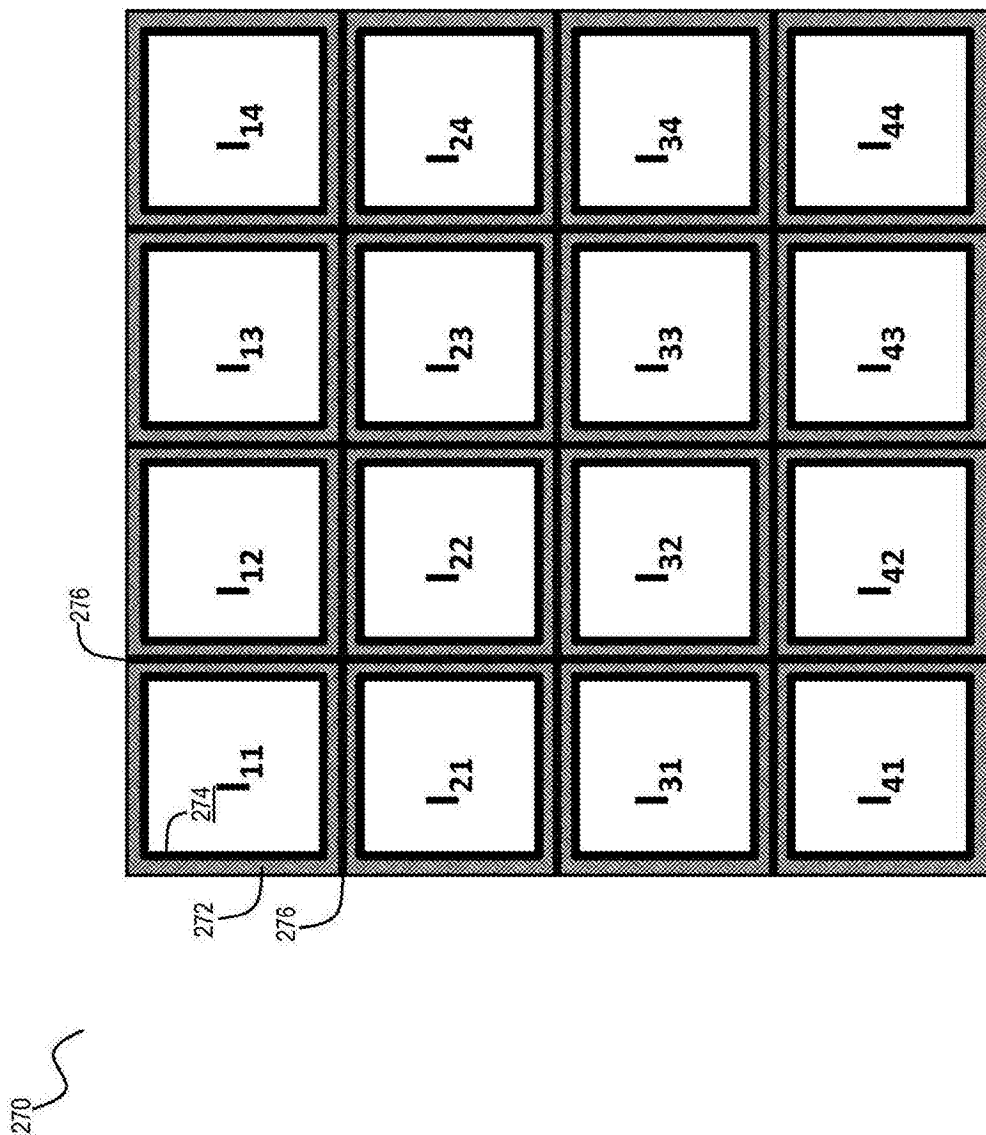


图44A

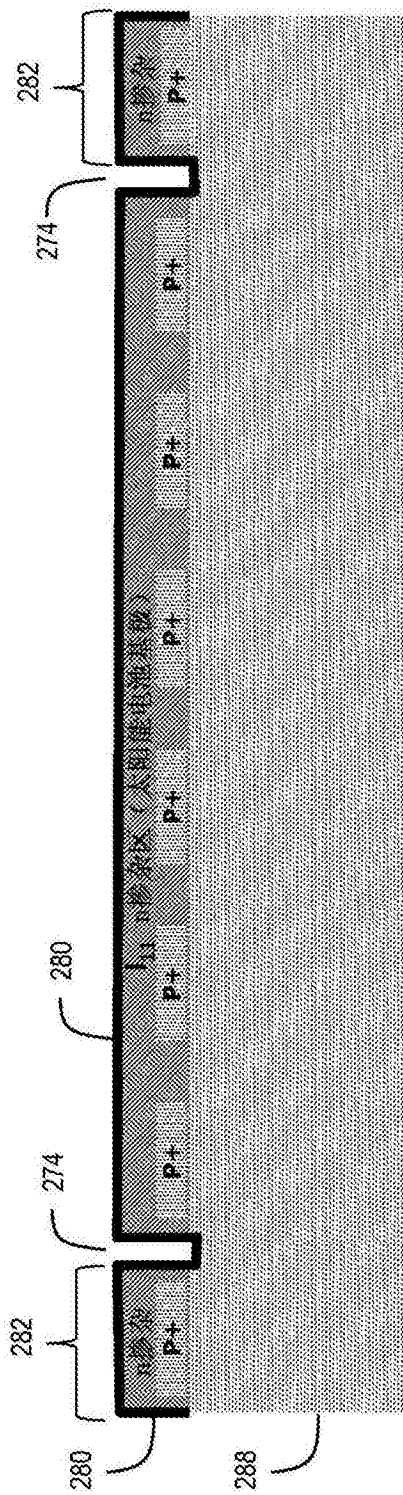


图 45B

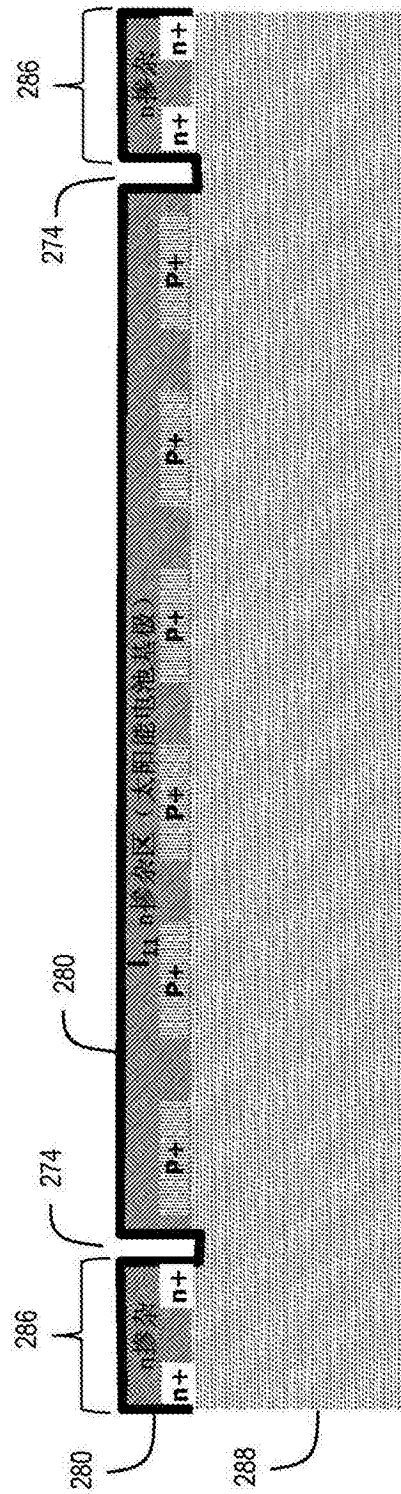


图 45C

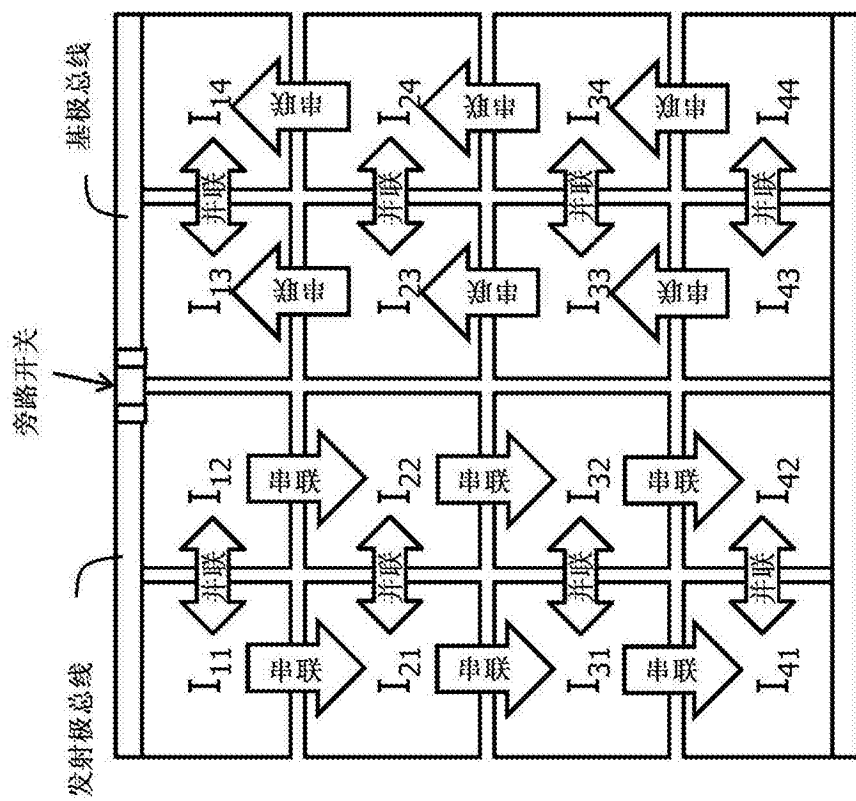


图45

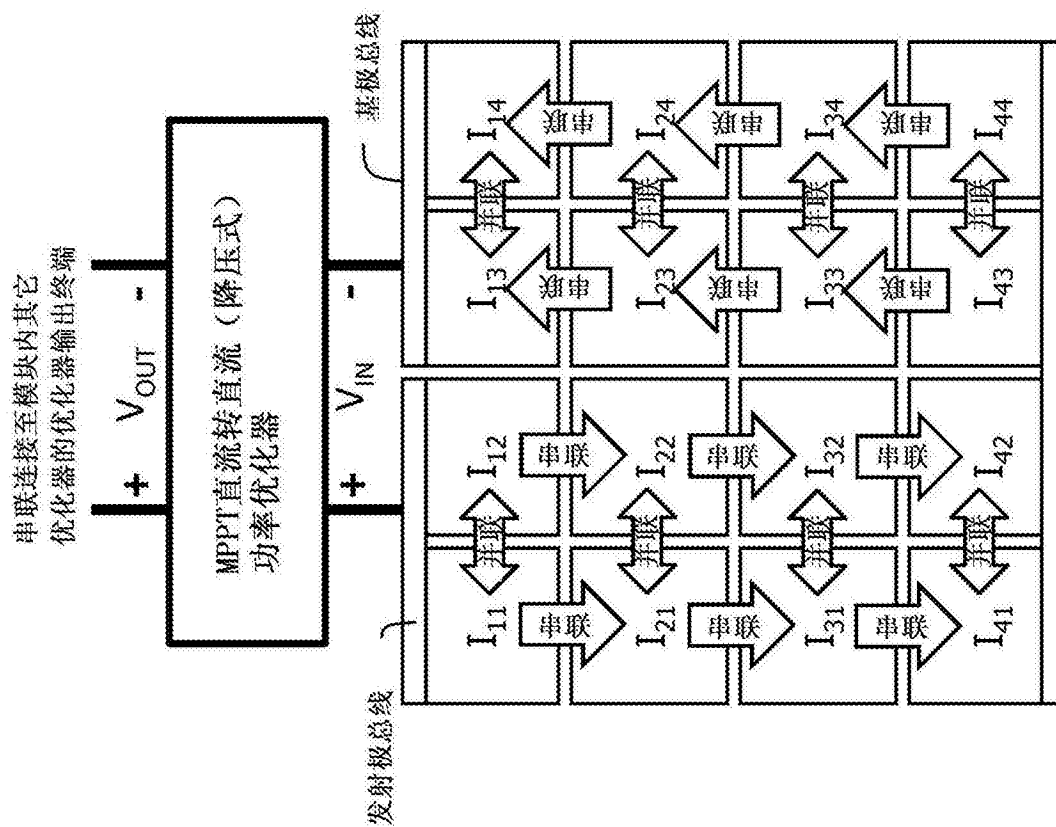


图46

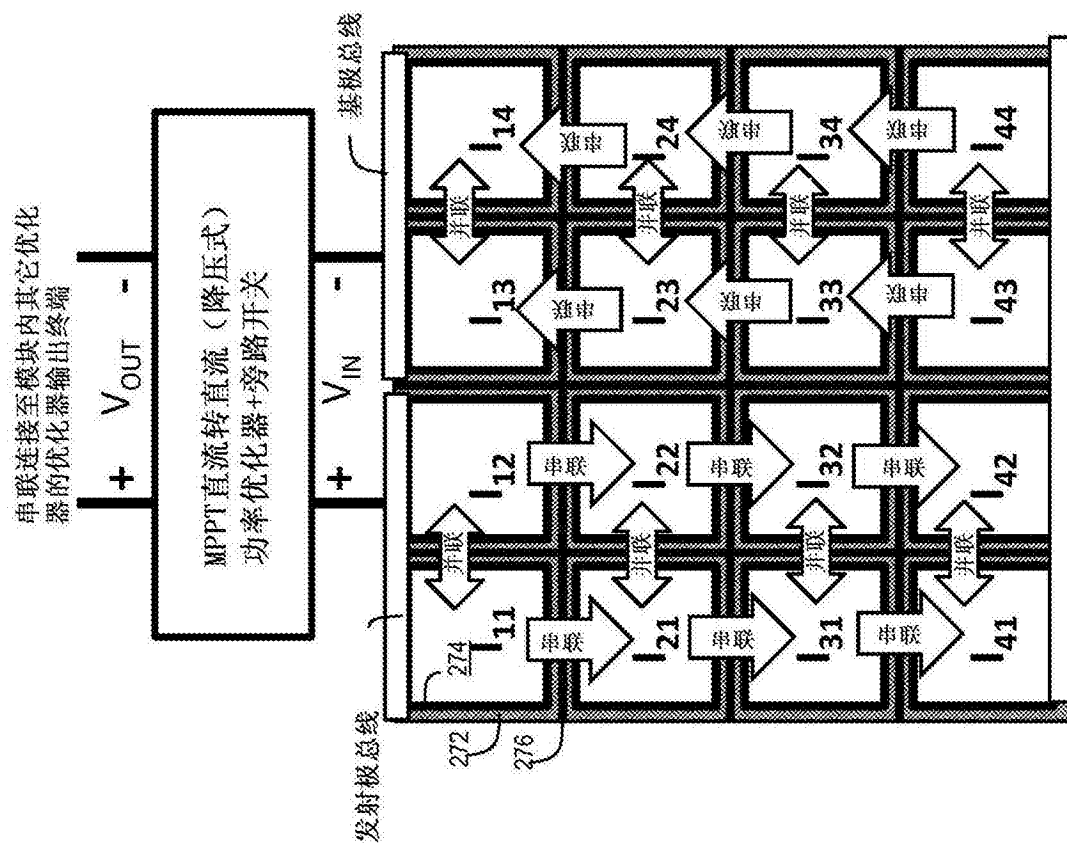


图47