

晶硅双面太阳电池技术及应用

李正平 沈文忠

(上海交通大学人工结构及量子调控教育部重点实验室 200240,

上海交通大学太阳能研究所 200240)

太阳电池一般是指基于半导体P-N结的光伏效应,将太阳光直接转换为电力的一种半导体器件,是光伏工业的核心器件。目前主流的太阳电池是基于P型硅材料的晶体硅太阳电池,其结构一般包括正面电极(正面栅线)、减反射膜(作用是减少光线的反射,让更多的光被硅材料所吸收)、发射极(N型半导体)、硅基体(P型半导体)、全金属铝覆盖的背表面场(Back Surface Field, BSF)和背面电极(背面栅线)。通常我们见到的太阳电池都为单面太阳电池,这类太阳电池能够很好地接受直接照射的太阳光,将光能转化为电能。单面太阳电池的整个背面都覆盖着金属,背面的反射光不能透过金属被硅材料所吸收,因此单面电池的背面不能发电。要想利用到反射的太阳光,必须要用到双面太阳电池才行。双面太阳电池是指硅片的正面和反面都可以接受光照并能产生光生电压和电流的太阳电池。目前工业上比较成熟的双面电池有N-PERT(Passivated Emitter, Rear Totally-diffused Cell)电池,即钝化发射极背表面全扩散电池(所谓钝化,就是降低半导体表面活性的技术),是一种典型的双面电池,N-PERT双面电池采用N型硅作基底材料。另外一种双面太阳电池是非晶硅/晶体硅异质结太阳电池(Heterojunction with Intrinsic Thin-layer, HIT),它是以N型单晶硅与非晶硅薄膜形成异质结(即两种不同的材料—单晶硅和非晶硅形成P-N结)。然而目前市场的主流产品还P型晶硅太阳电池,因此人们

也在积极探索用P型硅片制造双面太阳电池。但是以往的P型双面电池并没有体现出比常规太阳电池更高的转换效率($Eff\eta$,即太阳能电池接受光照的最大输出功率与入射到该电池上的全部辐射功率的百分比),从技术上和经济上都不合算。近年来,P型钝化发射极和背面电池(Passivated Emitter and Rear Cell, PERC)通过在电池背面增加一层氧化铝钝化膜(Al_2O_3),从而增强光线的内背反射,降低了背面复合,从而使PERC电池的效率能够有效提高。因此,近几年结合双面电池技术的PERC双面电池也引起了大家的关注,诸多光伏企业相继推出了自己的P-PERC双面太阳电池组件。

提高转换效率和降低生产成本是光伏工业的永恒主题,最终体现是用较低的成本发出更多的电力。晶硅双面太阳电池能够利用背面的光照,从而增加发电量,不失为一种有效利用太阳光的差异化太阳电池器件。本文将介绍N-PERT、N-HIT和P-PERC三种当前主流晶硅双面太阳电池技术,并介绍晶硅双面太阳电池的应用情况。

1. 双面太阳电池的发展

双面太阳电池的概念并不是新出现的,其历史可追溯到20世纪60年代。谁首先发明双面太阳电池还存在争议,一些文献认为苏联科学家翟齐伐(A. Zaitseva)和费得希伐(O. Fedoseeva)领导的研究

团队首先提出双面电池的概念^①。而在同时期日本科学家森(H. Mori)^②申请了一个类似双面结构太阳电池的专利,其电池结构是 P^+NP^+ ,在N型硅片两边都形成P-N结,同时在电池两边都有发射极和接触栅线电极,该结构被叫做三极管电池。在光伏技术发展的早期,双面太阳电池主要局限于空间应用。2000年以后,双面太阳电池技术又重新受到重视。日本日立公司^③在三极管电池结构基础上,制备出高效双面电池,其正面效率达21.3%,背面效率达19.8%。几乎同时,日本三洋公司(现已被松下并购)开始商业化其专利双面电池——带本征薄层的非晶硅/晶体硅异质结太阳电池(HIT)。德国康斯坦茨国际太阳能研究中心(ISC Konstanz)和荷兰能源研究中心(ECN)等机构也加入到晶硅双面太阳电池的产业化研究与推广。2010年左右中国英利公司开始量产N型双面电池,2015后有更多的中国光伏企业开始晶硅双面太阳电池的研发与生产,双面太阳电池技术迎来了新的发展。

2. 晶硅双面太阳电池技术

2.1 N-PERT 双面太阳电池

晶硅太阳电池可以用P型硅片,也可以用N型硅片来制作。采用N型硅作衬底,具有少子寿命高(少子,即少数载流子,也即非平衡载流子,对于P型半导体来说便是其中的电子,对于N型半导体来说便是其中的空穴,少子寿命即是电子或空穴的平均

生存时间)、对金属杂质的容忍度高等优点;同时由于N型硅是磷掺杂,不会出现P型硅电池中由于硼氧(B-O)复合体所造成的随着光照时间延长性能衰减的光致衰减(LID)效应。并且产业界量产平均转换效率大于23%的电池均为N型电池,因此N型硅电池越来越受到普遍的关注。

基于N型硅片的太阳电池一般都是双面电池,早期发展的双面电池主要是N-PERT电池。N-PERT双面太阳电池的结构如图1所示,其结构为:金属前电极、前表面减反射膜、钝化膜、硼掺杂发射极(P^+)、N-Si、磷掺杂背场(N^+ -BSF)、背面减反射膜和背面电极。N-PERT双面电池和单面电池相比,主要在于背面结构的不同,双面电池的背面采用高透过的 SiN_x 做钝化/减反射膜,同时背面金属电极和前面金属电极一样也为栅线结构;而单面电池的背面电极采用全金属覆盖。

N-PERT电池的基体是N-Si,基体的前表面通过扩散重掺杂形成 P^+ 发射极, P^+ 发射极与N-Si基体接触形成 P^+ -N结,基体的背表面通过扩散或者离子注入重掺杂形成 N^+ 背场, N^+ 背场与N-Si基体接触形成 N^+ -N高低结。 P^+ -N结和 N^+ -N高低结内部都存在内建电场,可以分离光照产生的电子-空穴对,被分离的电子通过背场上面的背电极、空穴通过发射极上面的前电极输出到外电路,驱动负载运行。当太阳光照到N-PERT双面电池的时候,会有部分光线被周围的环境反射照射到N-PERT双面电池的背面,这部分光可以透过 SiN_x 材料,被硅吸收,激发的

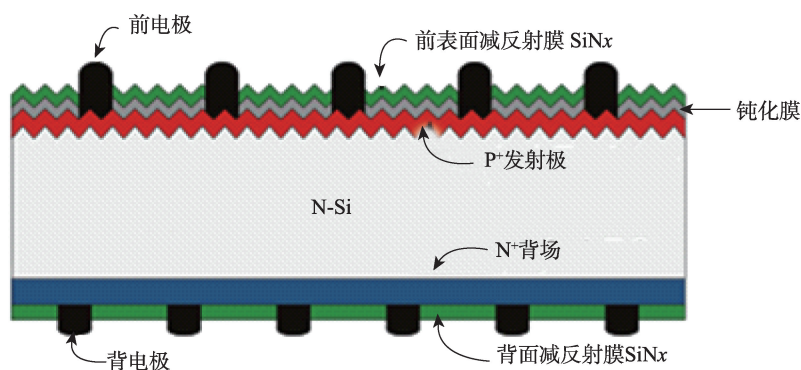


图1 N-PERT 双面太阳电池结构示意图

电子-空穴对被 N^+ - N 高低结分离,从而对电池的光电流和效率产生贡献。然而,单面电池的背面被金属电极完全覆盖,金属电极的厚度 $\sim 10\ \mu\text{m}$,光无法穿透背面金属电极被硅吸收,因此,单面电池几乎无法利用由背面射入电池的光线,在电池背面反射率不为零的情况下,双面电池比单面电池具有更高的发电效率。

表征双面太阳能电池的主要参数除了转换效率之外,还有一个重要的指标是双面率(Bifaciality),即背面效率与正面效率的百分比。当前量产的N-PERT电池正面效率达21.5%,双面率在85%~90%。随着技术的进步,N-PERT双面电池的效率每年都会逐步的提升。采用 BBr_3 扩散制备 P^+ - N 结和磷离子注入制备 N^+ - N 高低结,并结合 Al_2O_3 钝化 P^+ 发射极表面,我们在2015年就制备了正面效率为20.89%、背面效率为18.45%的N-PERT双面电池^④(图2)。背面效率之所以低于正面效率是因为电池背面的电极栅线要密一些,这样去造成一部分遮光损失。另外背面的电极栅线的含银量低一些,这样电阻会大一些,会造成电学损失,

2.2 非晶硅/晶体硅异质结太阳能电池

常规晶硅太阳能电池的P-N结是由导电类型相反的同一种类材料—P型和N型晶体硅组成的,属于同质结电池;而非晶硅/晶体硅异质结(HIT)太阳能电池的P-N结是由两种不同的半导体材料—非晶硅和晶体硅组成,属于异质结电池。在当今众多的高效晶体硅太阳能电池方案中,HIT太阳能电池无疑是

关注度很高的一种。在HIT太阳电池的研发和生产领域,日本松下公司可谓一枝独秀,2013年其报道的最高电池效率达24.7%^⑤,电池面积 $\sim 100\ \text{cm}^2$,达到商用规格大小。2014年,他们将背接触(IBC)与HIT技术结合,研发出的IBC-HIT太阳电池最高效率达25.6%^⑥,一举打破了晶体硅电池转换效率的世界纪录,并且电池面积达到 $143.7\ \text{cm}^2$ 的商用级别。2016年,日本Kaneka公司将IBC-HIT太阳电池的效率提升到26.3%^⑦,电池面积达到 $180.4\ \text{cm}^2$ 。不断地刷新晶硅电池的世界纪录,表明HIT电池的高效特性。

图3是HIT太阳电池的结构示意图。它是以N型单晶硅片为衬底,在经过清洗制绒的N-Si正面依次沉积厚度为5~10 nm的本征非晶硅薄膜(I-a-Si:H)、P型非晶薄膜(P-a-Si:H),从而形成P-N异质结。在硅片背面依次沉积厚度为5~10 nm的I-a-Si:H薄膜、N型非晶薄膜(N-a-Si:H)形成背表面场。在掺杂a-Si:H薄膜的两侧,再沉积透明导电氧化物薄膜(TCO),最后通过丝网印刷技术在两侧的顶层形成金属集电极。

HIT太阳电池天然就是双面电池,其结构和制造工艺与常规晶硅太阳能电池有很大的区别。HIT太阳能电池结合了晶硅电池和硅基薄膜电池的优点,具有如下一些特点:(1)结构对称。HIT电池是在单晶硅片的两面分别沉积本征非晶硅、掺杂非晶硅、TCO以及印刷电极。这种对称结构方便减少工艺设备和步骤,相比传统晶体硅太阳能电池,HIT电池的工艺

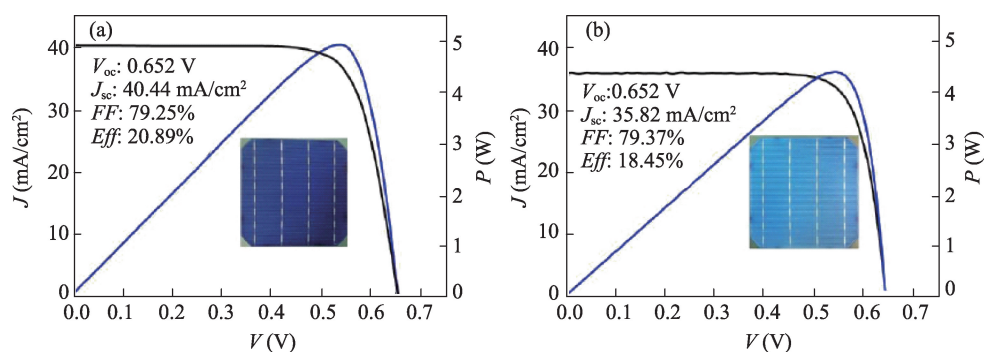


图2 N-PERT双面太阳能电池的正面和背面 I - V 曲线(插图为实际电池片正面、背面照片)

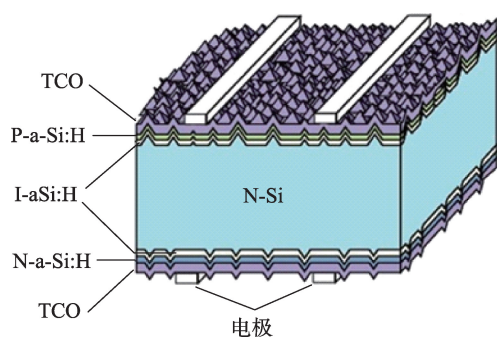
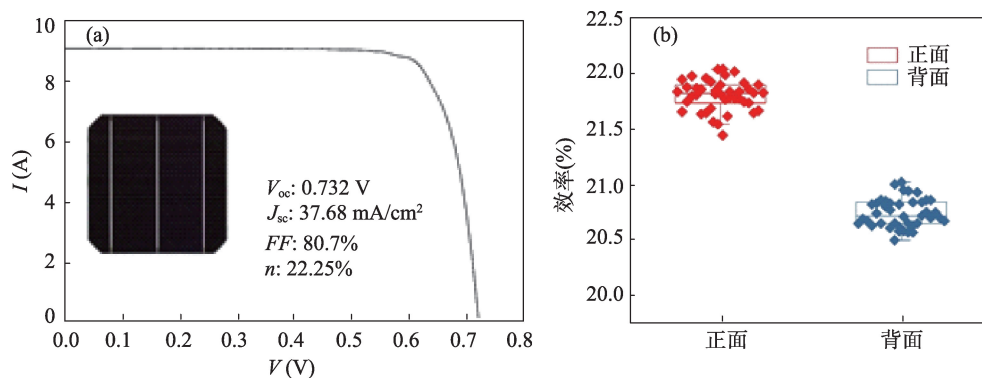


图3 HIT太阳能电池的结构示意图

步骤更少,仅有清洗制绒、沉积非晶硅薄膜、沉积TCO薄膜和丝网印刷与低温烧结四个主要工序。(2) 低温制造工艺。HIT电池由于采用硅基薄膜形成P-N结,因而最高工艺温度就是非晶硅薄膜的形成温度($\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$),从而避免了传统热扩散型晶体硅太阳能电池形成P-N结的高温(约 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$)。低温工艺节约能源,而且采用低温工艺可使硅片的热损伤和变形减小,可以使用薄型硅片做基底,有利于降低材料成本。(3) 高开路电压特性。HIT电池是由非晶硅与晶体硅形成异质结,非晶硅的禁带宽度更大,因此HIT电池的开路电压(V_{oc})比常规同质结晶体硅电池要高。同时HIT电池由于是在晶体硅和掺杂薄膜硅之间插入了本征薄膜I-a-Si:H,它能有效地钝化晶体硅表面的缺陷,能够确保HIT电池的开路电压比常规电池要高许多,从而能够获得高的光电转换效率。目前HIT电池 V_{oc} 的最高值达到了 750 mV 。(4) 温度特性好。太阳能电池的性能数据通常是在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的标准条件下测量的,然而太阳能板

的实际应用环境是室外,高温下的电池性能尤为重要。由于HIT电池结构中的非晶硅薄膜/晶体硅异质结,温度特性更为优异,其温度系数为 $-0.25\%/^{\circ}\text{C}$,仅为晶体硅电池的温度系数 $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$ 的一半左右,使得HIT电池在光照升温情况下比常规电池有好的输出。但是HIT电池也存在着一些问题:(1) 设备投资高。由于采用了薄膜沉积的技术,需要用到高要求的真空沉积设备。(2) 工艺要求严格。要获得低缺陷态的非晶硅/晶体硅界面,对工艺环境和操作要求也较高。(3) 需要低温封装工艺。由于HIT电池的低温工艺特性,不能采取传统晶体硅电池的后续高温封装工艺,需要开发适宜的低温封装工艺。

HIT电池由于已经证明可以获得高效率,并且日本松下的异质结电池主体专利在2010年已到期,因此近年来国内研究机构和光伏企业也一直在关注HIT电池,目前已有部分企业在进行一定规模的量产。HIT电池的量产平均效率在 $22\%\sim 23\%$,国内企业的量产效率水平也达到了 22% 左右。图4(a)是典型HIT电池的正面 $I-V$ 曲线。图4(b)是我们实测的一批HIT太阳能电池的正面和背面效率分布。从图中可见,正面平均效率达到 21.75% ,背面平均效率达到 20.75% 。计算得到HIT电池的双面率达到 95% 以上,表明HIT电池有很高的双面率,因此在实际应用时要设法充分利用背面电池来发电,最大化HIT电池的经济效益。

图4 典型HIT电池正面 $I-V$ 曲线(a)和实测一批HIT太阳能电池的正面和背面效率分布(b)

2.3 P-PERC 双面太阳电池

由于氧化铝钝化技术的发展,最近在P型硅太阳电池领域,普遍受到重视的是PERC太阳电池。PERC太阳电池与常规晶硅电池的区别是在背面增加了介质钝化层,涉及增加的工艺有沉积背钝化膜和激光开孔以形成局域金属—硅接触,这样做的效果是大大降低背表面复合速度,同时提升了背表面的光反射。经过这些改进,目前P型单晶硅PERC电池产线效率普遍达到21%~21.5%。随着光伏行业对发电量的追求,双面太阳电池技术受到关注,PERC电池也可以实现双面发电。图5是PERC单面与PERC双面太阳电池的结构示意图的比较。从图中可见,P-PERC双面电池仅需在背面的激光开孔处丝网印刷铝浆并烧结形成铝栅线,代替PERC单面电池的全背面铝接触。通过少量技术改变,在基本不增加成本的基础上,PERC电池即可实现双面发电,双面P-PERC成为行业新热点。其优势包括:可双面发电、降低铝浆用量[®]、弯折率降低、与现有PERC生产线兼容、可采用单晶硅或多晶硅作为基体,成本优势显著。缺点是工艺要求特殊、背面印刷精度较单面PERC电池的要求略高、对铝浆有更高的要求。

PERC双面太阳电池的制造工艺与PERC单面电池基本类似,主要的区别在于背面的丝网印刷工艺。目前有两种技术方案可以实现P-PERC双面电池。其一是采用烧穿铝浆方案,该方案的优点是无需激光开孔步骤,缺点是烧穿铝浆目前只对单层 Al_2O_3 具有较好的穿透性(图6a),在封装时还需要配

合高反射的封装材料。这种方案的典型代表是荷兰ECN的Jasmine电池,该电池正面效率能达到20%,双面率可以达~70%。P-PERC双面电池的另一种技术方案是在目前PERC单面电池工艺基础上,不增加任何设备,将全铝背场调整为局部铝栅线结构(图6b),优点是局部背场厚度增加可提高开路电压,缺点是丝网印刷需要精确对准。目前该方案电池正面效率能达到21.5%,双面率能达到~80%。为进一步理解PERC双面电池的优势,表2中将PERC双面与PERC单面电池的性能进行比较。从表中可见,PERC双面电池的正面性能与PERC单面电池比较,基本没受到影响,反而开路电压有所提高。同时,PERC双面电池的局部铝接触仅占电池背面面积的14.2%,相应的铝浆消耗量大大减少,十分有利于降低成本。

近期发展P-PERC双面太阳电池,提升电池双面率的改进方向是:(1)优化背面栅线的导电性和高宽比,提高P-PERC双面电池的效率;(2)优化背面 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ 组合钝化膜的厚度,进一步提升性能;(3)提高材料少子寿命,提升P-PERC双面电池的性能。未来P-PERC双面太阳电池将结合选择性发射极(SE)技术、背面局部掺硼形成Al-B背表面场等,进一步改善正面的结构和背面的钝化来提升效率。

3. 晶硅双面太阳电池的应用

双面太阳电池相对于单面电池的效率增益难以通过单片电池来衡量,一般将多片太阳电池采用串联或并联的方式将电极连接起来,采用EVA(乙

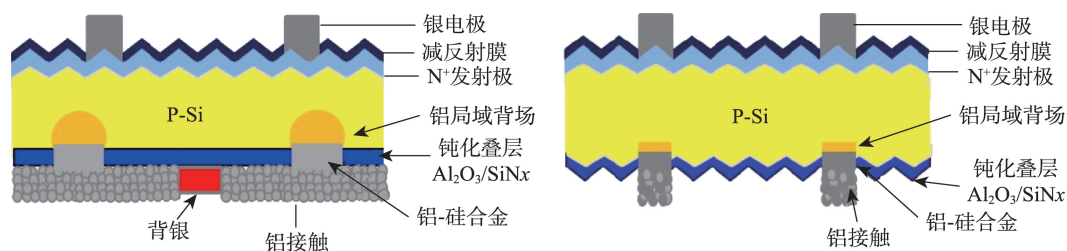


图5 PERC单面和PERC双面太阳电池结构示意图

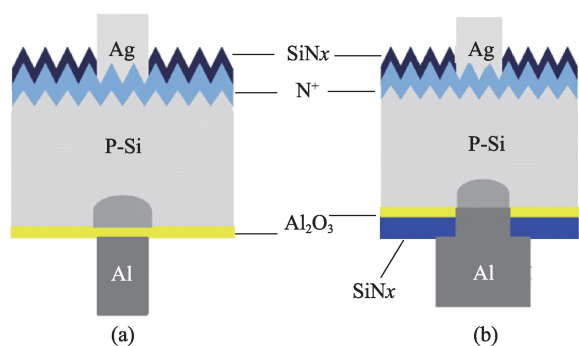


图6 烧穿铝浆(a)与局部铝栅线(b)的PERC双面太阳能电池对比

烯-醋酸乙烯共聚物)、玻璃、背板等材料封装成为组件来衡量效率的增益。双面电池组件可以采用双玻的形式封装,即正面采用玻璃+EVA进行封装,背面也采用EVA+玻璃封装,或者只是正面采用玻璃+EVA进行封装,而背面采用EVA+透明背板进行封装,保证太阳光可以透过封装材料照射到电池的背面,如图7所示。双面电池组件安装方式灵活、应用范围广。常规单面电池组件安装应用的形式,如地面光伏电站和屋顶光伏系统,同样适用于双面电池组件。双面组件特别有利于地面安装,因为它能利用地面的反射光,同等条件下能发出更多的电量,同时也适合安装在屋顶。地面和屋顶安装双面电

池组件,是倾斜安装(如图7a所示)的场景。双面电池组件也可不受安装方向限制,背面和正面一样美观,特别适合垂直安装(如图7b所示)的场景,如垂直安装用作围栏、隔音墙等。同时在反射率较高的情况下,如在积雪较多区域和水面安装双面电池组件,更能发挥双面电池组件的优势。一些双面电池组件的具体应用示例见图8。

使用双面太阳能电池组件来建造光伏电站,主要的优势体现在以下几个方面:(1)发电量高。一般将双面电池封装成双玻组件,当双玻组件安装的朝向、倾斜度和高度固定,双玻组件的发电增益主要与组件背面地面的反射率有关,这是因为背面反射率的提高使更多的光被吸收利用,提高了组件的电流和最大输出功率。结合不同的双面光照条件,可实现10%~30%的发电量增益。图9是N-PERT太阳能电池在不同反光地面条件下与P型单晶硅电池组件的日均发电量比较,从中可以看出地面反射率越高,N-PERT太阳能电池组件的发电性能越好,地面涂刷白漆后反射率最高,因此刷图白漆的地面使用双面组件发电量增益最大。(2)双玻组件配双面电池

表1 PERC单面和PERC双面太阳能电池性能比较[®]

序号	电池类型	背面铝接触所占面积比(%)	铝浆消耗量(g/片)	光照方向	$\eta(\%)$	$J_c(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(\text{mV})$	填充因子 $FF(\%)$
1	PERC单面	100	1.6	正面	21.1	39.8	660	80.2
2	PERC双面	14.2	0.15	正面	21.0	39.7	664	79.7
3	PERC双面	14.2	0.15	背面	16.5	31.4	658	79.6

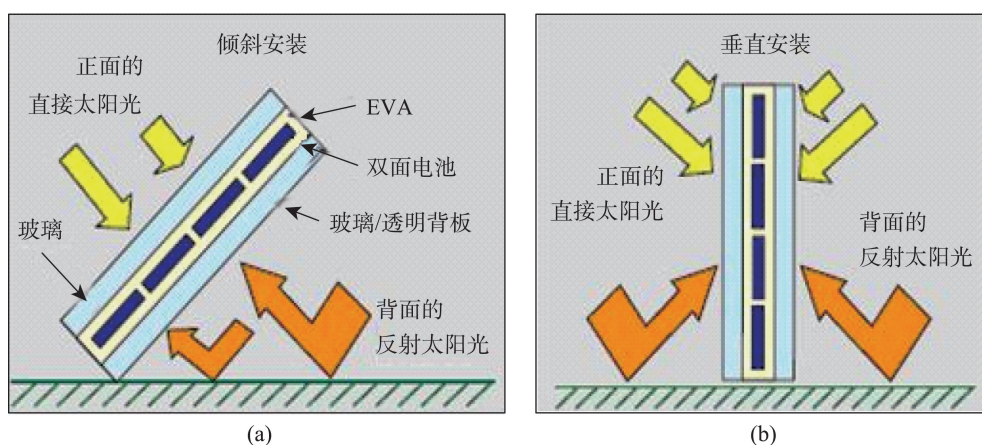


图7 双面太阳能电池组件的安装示意图(a)倾斜安装,(b)垂直安装

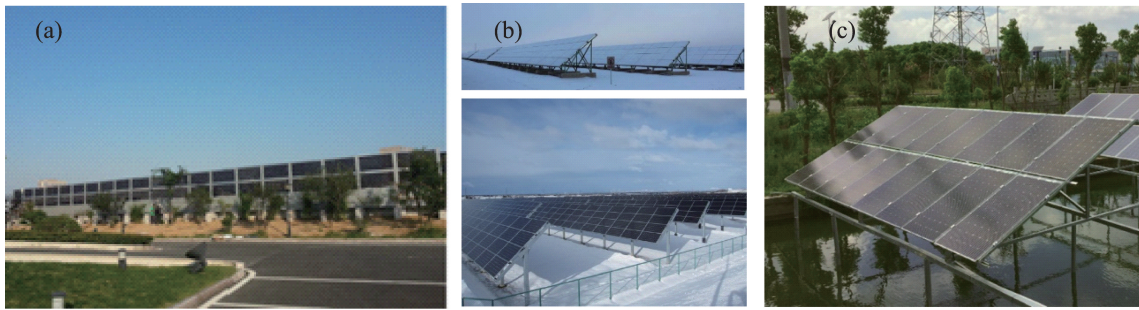


图8 双面太阳能电池组件在(a)隔音墙;(b)积雪地区(下雪后双面电池组件利用背面雪地反射光继续发电,发电后组件发热,组件正面积雪快速融化;而常规组件则无法发电,积雪不融化,见图8b上图);和(c)水面上的应用

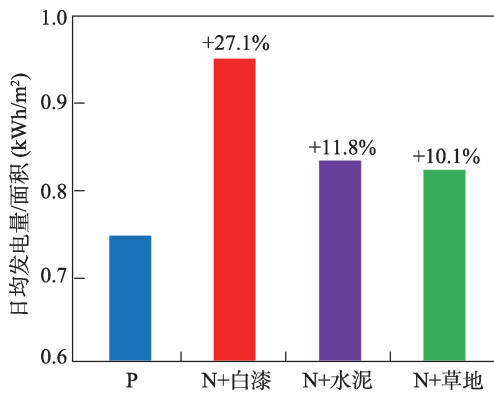


图9 N-PERT 双面太阳能电池组件安装在不同反射率的地面与P型单晶组件(安装在水泥地面上)的日均发电量比较(各组太阳能电池组件都安装在江苏连云港地区,根据2015年1-8月的实测发电量计算出单位面积的日均发电量)

是最佳组合,双玻组件质量可靠性高。玻璃的透水率几乎为零,不需要考虑水汽进入组件诱发EVA胶膜水解的问题,降低蜗牛纹发生的概率,特别适合水面光伏的应用。玻璃的耐候性、耐腐蚀性强,耐磨性也非常好,也解决了组件在野外的耐风沙问题。双玻组件不需要铝框,没有铝框使导致PID(电势诱导衰减)发生的电场无法建立,大大降低了发生PID衰减的可能性。(3) 温度特性好,高温时发电量更多。当太阳能电池组件的工作温度升高时,其输出功率和转换效率随温度的升高而下降,所以应尽量使太阳能电池组件在较低的温度下工作。但是在一天中,日照最好的时间一般是中午,组件的工作温度能达到70℃左右,势必会影响其输出功率。双面双玻组件的工作温度比常规P型晶硅电池组件低,这是因为N-PERT和P-PERC双面电池的背面

是高透过的SiN_x材料,红外部分的光线可以穿透电池,不被电池吸收,而常规电池的背面为全金属电极,会吸收红外光,数据显示,双玻组件发电系统正常工作下的温度较常规单玻组件低5~9℃。另外基于N型硅的双面电池组件的温度系数比常规晶硅组件低,常规组件的工作温度比标准温度上升1℃,其输出功率会降低0.42%,而相同温升的情况下,N-PERT组件功率损失0.4%以下,N-HIT组件的功率损失在0.3%以下。较低的电池组件工作温度和较低的温度系数,两者的叠加使得双面电池组件在一天中的发电量高于常规电池组件,尤其是在夏天温度较高时。图10是HIT组件与常规晶硅组件一天中的发电量比较,从中可见,HIT组件能多发电8%~10%。(4) 基于N型硅的双面电池组件,弱光响应好。N型晶硅组件在弱光下表现出比常规P型晶硅

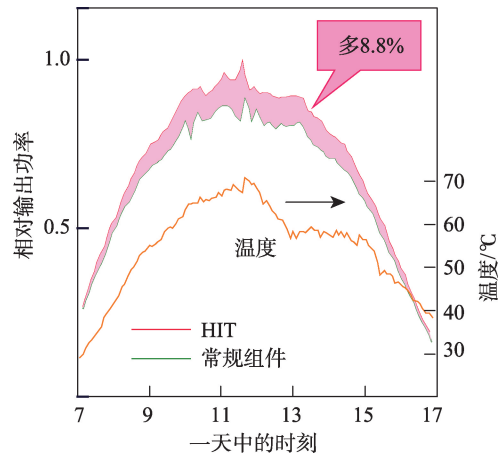


图10 N-HIT组件与常规晶硅组件一天中的发电功率与温升对比

组件更优异的发电特性,可在早晨、傍晚和阴雨天实现发电量的增益。

4. 结语

本文介绍了当前光伏市场上 N-PERT、N-HIT 和 P-PERC 三种主要的晶硅双面太阳能电池技术及发展情况。晶硅双面太阳能电池由于其优异的性能、高可靠性和高发电量能力,逐步成为光伏行业关注的热点,不失为光伏企业寻找差异化产品的一种替代方案,但困扰这类产品进一步发展的主要问题是如何降低产品制造成本、提高市场占有率。相信随着制造工艺及质量控制的不断成熟,量产规模的不断扩大,晶硅双面电池的匹配材料和国产化设备不断丰富,成本肯定会有明显的下降,晶硅双面电池良好的性价比将不断凸现,在光伏市场中占有一席之地。

致谢: 本工作得到上海市科技创新行动计划项目(17DZ1201103)的资助。

封底照片说明

从植物中提取新能源——氢

在传统的化石能源面临枯竭,人们生产生活的需求不断增加,环保现状日益严重的今天,使用新型的清洁能源是世界各国的共识,为此科学家们进行了各种尝试和努力,研发出多种绿色环保能源。前不久,国外科学家新研制出的一套系统,可以利用人造光合作用将光能转化成氢燃料。

绿色植物的光合作用是一个化学过程,是植物利用叶绿素在可见光的照射下,将光能和二氧化碳与水转化为有机物成为葡萄糖,同时释放氧气。绿色植物的叶片里有着几百种色素分子,这些分子在特定的波长下可以吸收光线。而人造光合作用分子系统,需要做到吸收光线,能量转换、电荷分离,来共同使燃料发生反应,使之能够有效地把光能转化为化学能。为

① A. K. Zaitseva, O. P. Fedoseeva. Study of possibility of bifacial silicon solar cell applications [J]. Teploenergetika, 1961(3): 89.

② H. Mori. Radiation energy transducing device [P]. US Patent 3278811, 1966 (priority 1960).

③ H. Ohtsuka, M. Sakamoto, K. Tsutsui, et al. Bifacial silicon solar cells with 21.3% front efficiency and 19.8% rear efficiency [J]. Prog. Photovolt: Res. Appl., 2000, 8: 385-390.

④ G. L. Lu, F. Zheng, J. Q. Wang, et al. Thin Al₂O₃ passivated boron emitter of n-type bifacial c-Si solar cells with industrial process [J]. Prog. Photovolt: Res. Appl., 2017, 25: 280-290.

⑤ M. Taguchi, A. Yano, S. Tohoda, et al. 24.7% record efficiency HIT solar cell on thin silicon wafer [J]. IEEE J. Photovolt., 2014, 4: 96-99.

⑥ K. Masuko, M. Shigematsu, T. Hashiguchi, et al. Achievement of more than 25% conversion efficiency with crystalline silicon heterojunction solar cell [J]. IEEE J. Photovolt., 2014, 4: 1433-1435.

⑦ K. Yoshikawa, H. Kawasaki, W. Yoshida, et al. Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26% [J]. Nature Energy, 2017, 2: 17032.

⑧ T. Dullweber, C. Kranz, R. Peibst, et al. PERC+: industrial PERC solar cells with rear Al grid enabling bifaciality and reduced Al paste consumption [J]. Prog. Photovolt. Res. Appl., 2016, 24: 1487-1498.

此,美国的科学家研制出能够完成人造光合作用的一种超级分子,这种超级分子能够在吸收光线的时候起到催化剂的作用,从而使其加速化学反应。它包含着钉金属离子构成的光采集中心,连接至铈离子构成的单个催化剂中心。有了这种过桥分子连接钉至铈催化剂的两种金属过渡电子,从而制造出所需要的氢气。

这项技术未来应用前景十分的广泛,且完全符合当今的人们对清洁能源环保、高效的要求,从而受到人们的普遍关注。希望不久的将来能够看到在各个领域使用到这种氢燃料,为人类创造美好幸福的生活服务。

(白帆/供稿)