

钙钛矿薄膜太阳能电池在家用光伏发电系统中的应用*

路 凯

(电子科技大学 能源科学与工程学院 成都 611731)

摘要: 光伏产业中占有很大比重的晶硅电池生产过程复杂,成本相对较高,因此新型太阳能电池的研究逐渐受到人们的重视。钙钛矿材料有着优越的光伏性能,且制作过程简单所需材料易得,生产成本相对较低,在光伏产业中有着很大前景。根据太阳能电池对器件稳定性的要求,提供一种钙钛矿太阳能电池新的组装方法,并针对输配电系统不便利条件下的用户用电问题进行了家用光伏发电系统的设计,包括蓄电池容量的计算、控制器的选择、逆变器的选择等。经过测试,钙钛矿太阳能电池器件的性能得到了相应的验证,也为以后的家用光伏发电系统提供了新的思路。

关键词: 钙钛矿材料;太阳能电池;家用光伏发电系统

中图分类号: TK514; TN304 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4031

Application of perovskite thin film solar cells in domestic photovoltaic power generation system

Lu Kai

(School of Energy Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Crystalline silicon cell, which takes a large proportion in the photovoltaic industry, possesses complicated productive process and relatively high manufacturing cost, hence the study of new solar cell technique has been gaining increasing attention. The perovskite material shows excellent photovoltaic property with simple manufacturing process easy access of all the materials needed, thereby has a promising future in the photovoltaic industry. In the paper, we put forward a new assemble technique of perovskite solar cell according to its requirement of stability of the device, and design a household photovoltaic power generation system under the condition that transmission and distribution system are not convenient. The design includes the calculation of accumulator capacity, and the choice of controller and inverter. The performance of the perovskite solar cell device is verified through tests, which also inspires a new thinking for future household photovoltaic power generation system design.

Keywords: perovskitematerial; solar cell; domestic photovoltaic power generation system

1 引言

有机金属卤化物钙钛矿太阳电池是满足光伏产业新形势下出现的新要求而出现的新一代太阳电池。截止到2016年获得的最高转换效率是美国可再生能源国家实验室认证公布的22.1%^[1],十分接近单晶硅太阳电池(25.6%)的水平。由于钙钛矿太阳电池拥有较好的载流子扩散长度和传输特性,且具有常温制备、低成本、简单高效等优势,被认为是最有希望的纳米结构太阳电池之一^[2]。

我国有着丰富的太阳能资源,以前因为技术的限制只

能依靠大型光伏电站来利用太阳能这种取之不尽用之不竭的清洁能源。近几年随着节能的需求受到重视,太阳能的利用方式也越来越多。尤其是以太阳能电池作为辅助电源实现与市电共同负载用电设备无蓄电不入网的直接供电^[3]和分布式光伏发电无线安全监控网络^[4]的相关研究使得家用光伏发电系统越来越完善。但是现有的家用光伏发电系统使用的都是晶硅电池板,即使用户能够将产生的多余电能并入电网而获得经济效益,也无法短期能收回成本。本文针对上述情况,使用钙钛矿型太阳能电池改善家用光伏发电系统,降低该系统的使用成本,使用户尽快获得经济效益。

收稿日期:2016-12

* 基金项目:国家自然科学基金(21673200)资助项目

2 钙钛矿太阳能电池设计

2.1 钙钛矿太阳能电池简介

钙钛矿材料在电池结构上主要是做为电池吸收层和活性层,再与其他合适的功能性材料结合共同组成器件。在器件结构方面,太阳能电池是利用的半导体中的PN结进行光电转换的,因此结构中一般包含电极、电子传输层、空穴传输层和钙钛矿层等部分。近几年通过改善材料的合成方法、增加填充因子、合成带隙匹配的空穴传输层和电子传输层材料等途径,钙钛矿太阳能电池的光电转换效率已经得到了显著的提高。很多课题组还从界面修饰、形貌改善、控制缺陷、选用合适溶剂、使用合适的电极材料、温度的影响、热力学和动力学^[4]等方面展开深入和广泛地研究,为提高有机金属卤化物钙钛矿材料作为吸收层和活性层的器件的光电转换效率提供新的思路^[5-8]。

2.2 太阳能电池的设计

国际上关于钙钛矿太阳能电池器件结构的研究现在非常广泛而深入,出发点都是为了提高效率和稳定性。家用光伏发电系统所用太阳能电池板对光电转换效率提出一定的要求下,更需要器件拥有长期的稳定性。本文设计的钙钛矿太阳能电池器件空穴传输层材料选用碘化亚铜,电子传输层材料选用PCBM,电极材料选用ITO和银,支撑基底选用ITO导电玻璃。钙钛矿层的制作针对家用光伏发电系统的情况采用能够有效提高稳定性的两步法。具体如下:

1)基底清洗:将ITO导电玻璃用洗洁精和水的混合溶液在超声仪器中清洗30 min,用去离子水冲洗干净后用丙酮溶液在超声仪器中清洗30 min,再用无水乙醇在超声仪器清洗30 min,最后使用气体将基底吹干后用臭氧处理清洗仪处理2 min;

2)制作碘化亚铜层:使用物理气相沉积的方法在清洗好的导电玻璃基底有ITO的一面生成20 nm厚度的单质铜薄膜,然后将铜薄膜的导电玻璃基底和单质碘粒放入密闭容器中,在25℃条件下保持1~5 min至铜完全反应形成碘化亚铜;

3)制作钙钛矿层:在充满氮气的手套箱中,将1.3 mmol碘化铅融到1 mL的N,N-二甲基甲酰胺溶液中搅拌溶解,取60 μL该溶液均匀滴在步骤2)中所得的碘化亚铜薄膜上,以3 000 r/min的转速旋转50 s甩膜;所得样品在加热台上80℃加热2 min后放入烘箱中70℃加热30 min取出冷却,然后在RH≤40%环境下,快速浸泡在浓度为10 mg/mL的CH₃NH₃I的异丙醇溶液中,反应时间为30 s,取出后用纯净的异丙醇溶液浸泡清洗5 s。最后所得样品在烘箱中加热15 min后冷却。

4)装配电池:取浓度为20 mg/mL的PCBM氯苯溶液50 μL滴加到上述制作的钙钛矿材料表面,以1 000 r/min的转速甩膜50 s;完成后在加热台上100℃加热1 min后自然冷却;完成后在PCBM表面真空蒸镀银电极。

3 家用光伏发电系统设计

3.1 家用光伏发电系统结构

本文设计的是在家庭住房能够被阳光照射的地方配置,基本满足日常家用电器用电量,不并入电网的分布离网式的家用光伏发电系统。该系统的特点是当发电量多于日常生活所用则多余的电量储存进蓄电池中,在太阳光不足的情况下有蓄电池提供电能。该系统主要由太阳能电池板、蓄电池、相应的控制器和逆变器等几部分构成,如图1所示。该系统具有规模相对较小和所占用的空间较小,在使用过程中不会产生破坏环境的物质,且安装方便、寿命长、对周围生活用户无影响等优点。

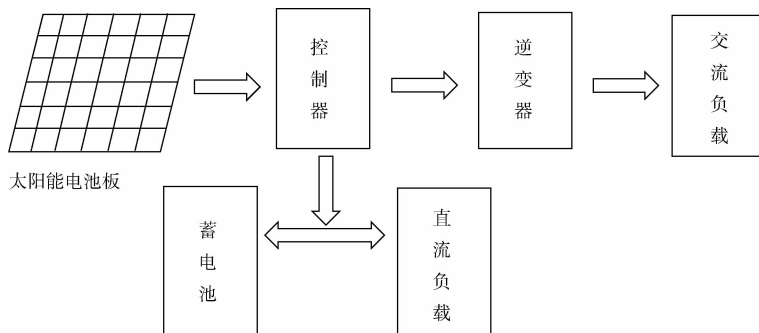


图1 家用光伏发电系统结构

3.2 一般家庭用户用电统计

经过统计一般家庭用户空调和电磁炉使用时平均功率在1 000 W左右,冰箱和电视使用时平均功率在150 W左右,这些用电器平均每天使用1 h,加上若干频繁使用的小功率用电器,总功率在2 500 W左右。设计时还要考虑

到成本的问题,因此,本文提出一种匹配3 000 W的家用光伏发电系统的设计方案。

3.3 太阳能电池板

为了降低用户的使用成本,该系统所用的太阳能电池板使用钙钛矿新型太阳能电池作为其组成部分。所需电

池数量根据太阳能光伏发电功率的计算式(1)确定^[9]。

$$P = N_s N_p N_{\max} \quad (1)$$

式中: P 为总功率, N_s 为电池的串联数, N_p 为电池的并联数, P_{\max} 为电池的最大功率。太阳能电池的串联可以调节总输出电压,并联可以调节总输出电流,电池板的数量可以调节总输出功率。根据居民平均用电情况,本文设计一种由 42 块太阳能电池组成的输出电压为 12 V、电流 6 A 和输出功率为 3 024 W 的太阳能电池板。安装时需要注意太阳能电池板要根据用户的实际情况使其尽可能的多接触到太阳光。

3.4 控制器

太阳能光伏系统控制器由专用处理器、显示器和相配套的电子元器件等部分组成。其作用是控制太阳能电池板对蓄电池充电,在太阳能电池板无法正常工作的情况下控制蓄电池对逆变器放电,这些对于蓄电池的工作以及寿命都有重要的作用。其次,控制器还起着控制整个家用光伏发电系统电压和电流分配、功率大小和保护整个系统正常运作等功能。控制器选择的主要依据是光伏发电系统的总输出电压和电流的大小,控制器的额定电流和电压应有一定的阈值。综上所述,根据本文设计的系统的太阳能电池板可以选用悦元电子有限公司生产的型号为 UE2024 的控制器,其额定工作电压为 12 V/24 V,额定工作电流为 20 A,DC 直流输出为 12 V/1.5 A。

3.5 蓄电池

通常情况下太阳能电池板和蓄电池是配套使用的,在家用太阳能光伏发电系统中蓄电池是重要的储能和电能补充部分。蓄电池的作用是在太阳能电池板正常工作时将多余电量储存起来,在太阳能电池板因环境情况无法正常工作时充当电源,其储能和放电过程有控制器控制。在家用光伏发电系统中要考虑使用过程中不能造成环境的破坏,不能经常维护保养且性能优越等原因,选择胶体蓄电池比较合适。

蓄电池选型最重要的指标是电池的总容量,它决定着整个光伏发电系统能不能连续工作。所需蓄电池的容量由式(2)计算确定^[10]。

$$C = \frac{L \times D}{DOD \times E_1 \times (1 - E_2)} \quad (2)$$

式中: L 为系统日耗电量,单位 kW·h; D 为要求的蓄能天数或每年太阳光连续不充足的平均天数; DOD 为蓄电池的最大放电深度约 0.8; E_1 为系统能量转换率约 0.9; E_2 为电力传输损失约 0.05。根据本文设计的用户用电情况, L 为 2.5 kW·h, D 取 3 d,则计算出的 $C \approx 11\ 000$ W·h。根据所计算得出的结果,可以选用动力足公司生产的 12 V/100 A·h 免维胶体护蓄电池,型号为 DL-jt12v100ah,使用时将 10 块该型号电池并联即可满足要求。

3.6 逆变器

逆变器在光伏发电系统中主要的作用是把直流电转

变成一般家庭能够正常使用的交流电(220 V,50 Hz),也是实现光伏并网的核心设备之一^[11]。逆变器的选型最重要的指标是其要满足所供电设备总功率的需求,因此也要有一定的阈值。逆变器所需功率由式(3)所确定^[9]。

$$C_N = KmP \quad (3)$$

式中: C_N 为逆变器功率; K 为安全系数,一般情况取 1.2; m 为考虑感性或容性负载启动引起冲击电流而附加的因子,一般情况取 1.2; P 为负载功率,在本文设计的系统中负载功率取 3 000 W。经过计算得出逆变器功率为 4.32 kW。因此选用先科公司生产的型号为 SAST-5 000 W 的逆变器,电压转换:12~220 V 互换,输出功率 5 000 W。

4 钙钛矿太阳能器件性能测试

光电转换效率是太阳能电池器件性能的最直接的表征,它是电池器件电压电流和结构是否合理的综合表现。在室温条件下,使用美国 Oriel 公司生产的太阳光模拟器(AM1.5)模拟自然条件下太阳光照环境测试其光电转换效率。测试结果如图 2 所示,在有效面积为 0.11 cm² 的钙钛矿太阳能电池器件上得到开路电压接近 0.9 V,短路电流密度达到 18 mA·cm⁻²,光电转换效率是 8.19% 的结果。

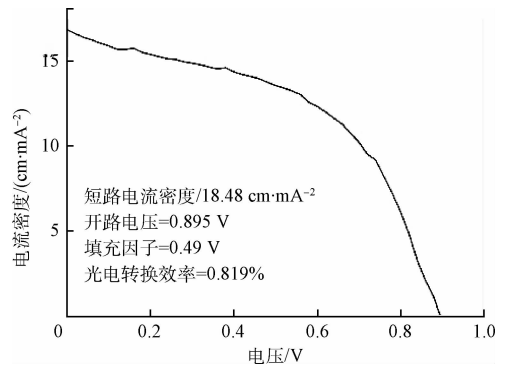


图 2 太阳能电池转换效率测试结果

太阳能电池的另一个重要指标就是稳定性,这不仅影响太阳能电池的正常使用,稳定性不好的产品还会增加家用光伏发电系统的维护费用。因此,本文测试了在保存 5 d 之后太阳能电池的效率,结果如表 1 所示。在相同条件下仍然得到开路电压几乎不变,短路电流密度接近 18 mA·cm⁻²,光电转换效率是 7.29% 的结果,这表明该电池性能几乎没有衰减,是稳定可靠的电池。

表 1 钙钛矿太阳能电池稳定性研究

样品	短路电流密度 /(mA·cm ⁻²)	开路 电压/V	填充 因子	光电转 换效率/%
第 1 d	18.48	0.895	0.49	8.19
第 6 d	17.94	0.894	0.45	7.29

综上所述,该电池效率已经达到了可以应用的程度且工作性能稳定,器件制作过程中无需高温环境,不需要复杂昂贵的精密仪器。在保证性能的同时大幅度降低了器件的成本,起到改善家用光伏发电系统的作用。

5 结 论

钙钛矿太阳能电池器件有着优越的性能,是未来光伏领域的重要组成部分。本文以钙钛矿太阳能电池为出发点,通过使用可行的材料和结构制作一种能够稳定运行器件,对其在家用光伏发电系统中的应用做了设想和设计。通过器件测试的结果来看效率较高,工作性能也得到了验证。随着技术的发展,可以使钙钛矿太阳能电池生产更简便,成本更加降低,其在家用光伏发电系统中的应用必将更加广泛。

参考文献

- [1] NTEL. Research cell efficiency records [EB/OL]. (2016-04-01)[2016-04-05]. <http://www.nrel.gov/ncpv>.
- [2] 刘云燕,赵栋,魏功祥,等. 无空穴传输层钙钛矿太阳能电池的研究进展[J]. 半导体技术, 2016, 41(9): 641-648.
- [3] 欧少敏,何志毅. 太阳能光伏辅助市电供电系统[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(6): 45-57.
- [4] 陈孟元. 基于节点负载均衡的分布式光伏发电无线安全监控网络研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(1): 92-100.
- [5] ZHANG W, SALIBA M, STRANKS S D, et al. Enhancement of perovskite-based solar cells employing core-shell metal nanoparticles [J]. Nano Lett, 2013, 13 (9): 4505-4510.
- [6] ZHAO Y. X, ZHU K. Charge transport and recombination in perovskite (CH₃ NH₃) PbI₃ sensitized TiO₂ solar cells [J]. Journal of Physical Chemistry Letters, 2013, 4 (17): 2880-2884.
- [7] BALL J. M, LEE M. M, HEY A, et al. Low-temperature processed meso-superstructured tothin-film perovskite solar cells [J]. Energy & Environmental Science, 2013, 6 (6): 1739-1743.
- [8] ZHOU H, CHEN Q, LI G, et al. Interface engineering of highly efficient perovskite solar cells [J]. Science, 2014, 345 (6196): 542-546.
- [9] 林琳. 大连地区家用光伏发电系统研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [10] 韩志强,姚国兴. 新型光伏充电控制器[J]. 智能电网与智能电器低压电器, 2010(18): 23-27.
- [11] 荆红莉,蒋晓雁,赵鹏. 3kW 家用单相光伏并网逆变系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(2): 94-97.

作者简介

路凯, 硕士研究生, 主要研究方向为电力电子技术。
E-mail: 365464382@qq.com