

太阳能电池招标会

胡轩伟[†], 徐业成[†], 张来英^{*}, 朱亚先^{*}

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 用比喻、拟人化的方式描写了四种太阳能电池板的“投标”场景, 通过投标场景中各自的性能陈述, 生动说明四种太阳能电池板的优缺点、适用情况以及实际市场份额情况。

关键词: 光伏电池板; 光伏发电; 半导体材料

中图分类号: G64; O6

Solar Cell Bidding Fair

Xuanwei Hu [†], Yecheng Xu [†], Laiying Zhang ^{*}, Yaxian Zhu ^{*}

School of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China.

Abstract: This paper describes the “bidding” scene for four types of solar panels in a metaphorical and anthropomorphic manner. The respective performance statements used in the bidding illustrate the advantages and disadvantages of each type of solar panel, their applications, and their actual market shares.

Key Words: Photovoltaic panel; Photovoltaic power generation; Semiconductor materials

这是一场针对太阳能电池的招标, 招标人是光电老板, 他需要选出最好的太阳能电池板来完成他的发电任务。

1 硅太阳能电池的投标展示

第一位上台展示的, 是自信的硅太阳能电池: “我们——硅太阳能电池, 历史悠久, 七十年老店, 工艺经典, 工期稳定, 报价极低, 底气最足!”

光电老板感到好奇, 继续听下去, 他更希望知道硅太阳能电池给出的电力生产方案。

“我们采用最简单可靠的硅PN结方案, 所谓PN结么……”他一招手, 上来了两个年轻小伙。

“这个叫P型半导体, 他身体里缺一点电子, 多一点空穴; 另一位刚好相反, 身体里多一点电子, 少一点空穴, 叫N型半导体。”硅太阳能电池继续介绍道。

P型半导体抢着回答道: “我们本来都不带电, 但是科学家们把我们贴到一起, 我P型半导体的空穴就和他N型半导体上的电子凑到了一块……”

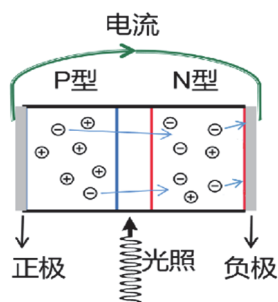
“就被叫做PN结! 在充足的光能供给下, PN结内的电子变得更加活跃, 部分电子与空穴就持续向反方向运行, 用导线连起来之后, 就会有持续的电流产生。”N型半导体补充道。说着, 他和P型半导体一同向大家展示了一张示意图(图1)。

收稿: 2023-05-17; 录用: 2023-05-26; 网络发表: 2023-07-03

[†]2021级本科生

^{*}通讯作者, Emails: wuzhly@xmu.edu.cn (张来英); yaxian@xmu.edu.cn (朱亚先)

基金资助: 化学类专业基础理论课程虚拟教研室

图1 PN结的工作示意图^[1]

“这就是我们平时的工作方式！”P型半导体骄傲地说道。

顺着话题，硅太阳能电池再次补充道：“我们一整块板可以看作是无数个PN结组合而成的。光照时，大量PN结单元持续分离电子与空穴，源源不断地将光能转化为电能！同时我们的导线会以最小的电能损失、最快的速度将电流输送出来^[2]。”

说着，硅太阳能电池拿出了一张导线的照片：“看到这个银闪闪的路面了吗？这就是我们最先进的银浆导线，他连接每个发电单元，效率高着哩！”

“你们连最基础的导线都采用银浆线，会不会太贵了？”光电老板担心成本问题，一直盯着照片上那片闪闪银光。

“哎呀，这整条导线怎么可能是只用银铺成的呢？其实就只用一点点银粉，我们把这很少的一点银粉分散在玻璃粉等粘结剂和基底里头，调成浆料之后像铺路一样涂在需要的位置上。铺完了之后加热一下，银粉就被熔化的粘接剂包起来了。不仅本身没多贵，而且加工的费用也低得很呐^[3]。”

“听起来不错哦！你们用的其他材料应该也不会很贵吧？”光电老板还是有些担心。

硅太阳能电池哈哈一笑，把刚才的P型与N型半导体又叫了过来。

P型半导体说：“生产我俩的原料其实非常便宜，工厂可以大量生产。”

“我们俩一开始是一样的，都是一锅熔化的硅。但是在咱们出生之前，科学家们给我俩加入了其他不同的元素……”P型半导体若有所思。

N型半导体补充道：“我这里掺入了少量的磷，P型半导体那里掺的是硼。别看就只掺了一点点，我俩的区别可就变得很明显！”

硅太阳能电池接着说：“他俩工作够卖力，但是身体单薄脆弱，我得保护好他俩呀！我就在外边用玻璃板和聚氟乙烯板把他俩封装起来，边缘再涂好密封性良好的EVA胶膜(乙烯-醋酸乙烯共聚物膜)。这样无论外面环境多恶劣，他们的工作都不会受半点干扰。”

硅太阳能电池越说越激动，他甚至当场打起了快板：“我们原料足，成本低，稳定耐用无人匹；效率高，产量大，方案专攻性价比！”

效率不低，成本合适，结构结实耐用，可以忍受恶劣环境，光电老板不由得动心。

2 薄膜电池(传统的半导体薄膜电池)的激烈竞争

看到光电老板眼中流露出的满意神色，另一位投标人——薄膜电池有点着急了，他连忙走上前：“光电老板，请您看看我们的方案。”

看到大家的竞争，光电老板露出一丝微笑。

“同样是PN结，硅太阳能电池的硅PN结可是又厚又重。再加上外边保护他们的厚玻璃板，真是又硬又笨，稍微不平坦一点的地方他们就安装不上去。”薄膜电池不无嘲讽，带着弦外有音的微笑说。

“我们的PN结，相比之下就灵巧多了。”薄膜电池随手拿出两瓶黑乎乎的浆料，“这就是我们的P型与N型半导体。”

光电老板很吃惊，明明从硅太阳能电池那里认识的PN结是两个壮小伙，薄膜电池却称两瓶浆料为PN结。

“不用那么吃惊，只是我们的半导体做得很小而已。这一瓶里有无数的小家伙呢！”薄膜电池随手又拿出一张薄膜，“把我们能干的小家伙们涂在这张有导电能力的薄膜上，烤一烤就是能干的PN结；再用EVA胶膜把整体封装保护起来，他们就可以在所有环境下开始工作了！”

听到这里，光电老板看了一眼旁边的硅太阳能电池，而对方此时只能尴尬地装作没看到，毕竟在这个问题上，自己确实不如薄膜电池。

台下的人都在窃窃私语，薄膜电池把手往下一按，示意大家安静：“因此，我们最终可以做出更薄、更轻的太阳能电池；并且，由于在薄膜上，我们的电池是柔软的哦，屋顶、墙面，甚至是玻璃幕窗上都可以安装。可以说，轻薄又好用！”

硅太阳能电池有点坐不住了，看看自己壮实的P型和N型半导体，再看看薄膜电池手里的“小家伙”们，他不相信同样的环境下，对方的一点点PN结就能完成和自己同样多的工作。

于是，他让身后的兄弟俩露出健壮的手臂，激动地站了起来：“的确，你们的PN结更小，但是效率如何呢？看看我们的PN结，多么强壮！我们效率应该更高、更耐用！”

小家伙们不乐意了：“我们是新型的铜铟镓锡半导体，不仅更小更薄，而且对光更敏感。”他们边说边把窗帘拉上了一大半，大厅里暗了下来。

缺乏了强烈的阳光，硅太阳能电池身后的硅PN结兄弟俩不由自主地打起了瞌睡，而薄膜电池手里的小瓶子却没有安静下来。

“大家看，这样的弱光下，我们一样可以正常工作的呀！”薄膜电池不由地笑了起来，“小家伙们最擅长的就是长时间工作。同样是每天在室外发电，由于我们不怕光线暗，可以更早开工，更晚收工。早起的鸟儿有虫吃，我们虽然效率差一点，发电慢一点，但是每天发电的时间更长，总体发电量可是比你们还多呢！而且我们的使用寿命更长，采购的折合成本也更低！”

光电老板心中窃喜：“这么说，哪怕是在树荫屋檐下、晨昏下雨时，你们也不惧怕？看来你们更适合复杂的环境啰！”

薄膜电池自豪地说：“而且呀，有些精细的工作就该让精巧的人来做，在柔性电子器件、仿生皮肤、微型传感器等方面，也只有我们柔软坚韧的薄膜电池可以胜任。太阳能计算器上面安装的，就是我们薄膜电池！我们柔软、轻薄、灵活、低价，日常生活中我们也是最受欢迎的^[4]！”

光电老板浅浅一笑，他明白，已经有人意识到了光伏发电分散到日常用品上的意义。毕竟，对于光电的使用，可不只是国家或者大企业的事情。

3 染料敏化电池的大胆尝试

这时，第三位投标人开口了，她非常认真地说：“我是染料敏化电池。我们发电，是不用PN结的。”虽然不如前两位投标人自信和老练，但也非常镇定。

“什么？不用PN结！”众人都很迷惑，大家对这个新来的年轻人并不了解。

看着大家满脸的疑惑，染料敏化电池拉开刚被拉上的一大半窗帘。

“哇，好漂亮！”大家都惊奇于染料敏化电池的漂亮色彩。染料敏化电池将一个彩灯别在衣服的两个扣子之间，彩色的灯光映着斑斓的花衣色彩跳动起来。

“那里明明没有PN结，但是彩灯确实亮起来了呢！”沉不住气的硅太阳能电池忍不住对P型半导体重复地说着类似的话。薄膜电池也问了问手里的小家伙们，都看不透其中的奥秘。

“我们发电时，并不是让PN结来工作的，而是委托染料们来帮忙。”见到光电老板也一脸的疑惑，染料敏化电池展开一张示意图(图2)，“里面的小红点就是我们的染料。光照到染料，它们就忍不住把自己的电子搬到负极一侧。但是少了电子之后，它们又想要再拿点回来，就会抢走溶液中碘离子的电子。这样做的时候，也会促进溶液不断从正极收集电路里流回的电子，从而保证一直都在发电。”

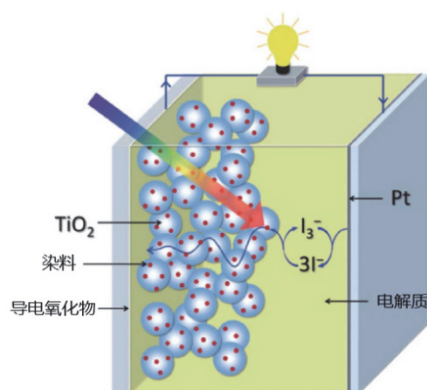


图2 染料敏化太阳能电池的示意图^[5]

说着，她伸出袖子，上面的纹样伴随着阳光微漾，解释道：“就是按照这样的方法，我们在没有PN结的情况下也能分离电子和空穴。有了染料的帮忙，发电的工作也可以很简单嘛！”

光电老板这才恍然大悟，原来花衣上的染料是染料敏化电池的发电法宝，确实好看，但不知是否实用：“除了好看，比起前两位，你还有别的突出优势吗？”

“环保啊！这些染料大都来自自然界，无毒。把这些染料和配合他们工作的溶液一起涂到二氧化钛上，加上两侧的电极，当染料开始搬运电子，电流也就产生了。比起又是加热又有毒的另外两位，我们更喜欢让环境和自己一样美丽^[6]。”

“一块优秀的光伏电池可不仅仅要好看，更要关心实际的发电效率哦！”硅太阳能电池有点不屑一顾地发了话。

薄膜电池也附和道：“对呀，你的整体效率不怎么样吧？”

听到这里，染料敏化电池不由地红了脸。

“但是……我们更柔软呀！甚至、甚至可以把电池做到布料上！而且，我们便宜极了，一样的价格，产能比他们多五六倍呢！”染料敏化电池眼巴巴地看着光电老板。

光电老板没说什么，微笑着。染料敏化电池默默地回到了台下，她自知对于发电效率，自身的本领并不过硬。

这时，光电老板和身边的秘书耳语了几句，拍拍他的肩膀让他出去了。

4 钙钛矿太阳能电池的光明前途

最后一个上台的是钙钛矿电池，以及他的重要伙伴三碘化甲酸铅。

钙钛矿电池率先开了口：“各位，大家可能并不了解我——钙钛矿太阳能电池，但是我们相信自己的能力会让大家感到惊讶的！”

说着，他指了指身旁的伙伴：“我们最核心的工作是由这位叫三碘化甲酸铅的工程师完成的。我们的名字就是用他的晶体结构——钙钛矿结构来命名的。接下来，请他现场演示发电过程。”

三碘化甲酸铅径直走到窗边的阳光下，身体在阳光照到的那一刻微微晃动了一下。突然，他分开了之前一直握在一起的双手，两只手上分别出现了正负电荷。他顺手捏住一只灯泡，灯泡“啪”地亮了起来。

“我只有一个人，当然不是PN结了。”没等光电老板问什么，三碘化甲酸铅就自报家门，并展示出一张钙钛矿太阳能电池的示意图(图3)，“我比较特殊，照一照阳光，自身结构就会发生变化；随着变化，部分电子和空穴就会分别移动到整个材料的上层和下层——这样我就实现了正负电荷的分离。实际上，我的工作就是这样在中心位置搬运电子，而传导电子的工作，就交给电子传导层和空穴传导层去做^[7]。他们会把电子运输到负极附近，这样就产生了电压。”

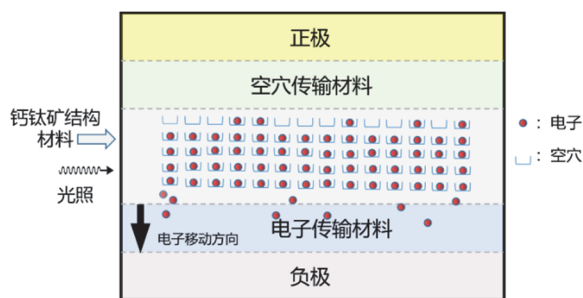


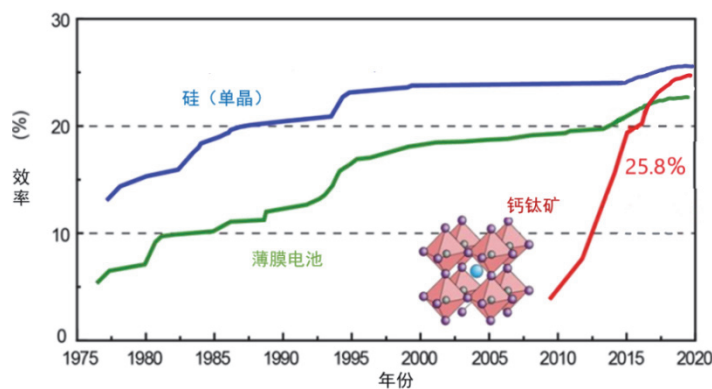
图3 钙钛矿太阳能电池的示意图

钙钛矿电池接着说：“我们的制造也并不复杂。只要把碘化铅与碘甲胺的混合溶液涂在薄膜上烤一烤，就能把三碘化甲酸铅‘请’出来！”钙钛矿电池看着三碘化甲酸铅，眼里充满了自豪。

三碘化甲酸铅继续说道：“在锡、氯等元素朋友的帮助下，我能适应更多的环境，效率更高，也更有干劲和耐力！毫不夸张地说，别的太阳能电池的优点我都有！”

前三位投标者都觉得自己在听一场严肃的吹牛，怎么可能出现一个各项都比自己强的竞争者呢？

“染料敏化电池的效率不行，你不会也一样吧？”硅太阳能电池试图再次用自己的长处之一来压钙钛矿太阳能电池一头，但是却没有料到，对方当场就展示出一张令人难以置信的“成绩进步表”（图4）。

图4 钙钛矿太阳能电池的快速进步^[8]

“说到效率，请看图。虽然一开始我们能力有些不足，但我们进步飞快，短短的几年时间就赶上了薄膜电池。赶超硅太阳能电池也指日可待！”钙钛矿太阳能电池温和地微笑着。

硅太阳能电池脸上的表情不由得僵住了。

“他好像也很柔软……”见到硅太阳能电池的滑稽样，薄膜电池却没心情去开他的玩笑，她意识到，自己的特殊优势钙钛矿太阳能电池似乎也掌握了，“够软，够薄，也不太需要强光……好像真地不比我差呀！”

等到台下再次安静，钙钛矿电池向光电老板极力自荐道：“虽然我们刚刚实用化，认识我们的人也不多，但我们的实力还是有目共睹的，有能力胜任大多数光伏发电任务，还希望能有更多的机会！”

光电老板严肃地盯着这个有实力改变整个光伏产业的钙钛矿太阳能电池，他知道，其他的竞争者已经不得不开始思考自己的位置：可能，再过些日子，规模大的优势也会被钙钛矿太阳能电池赶超了。

5 光电老板的最终选择

此时，光电老板刚刚派出去的秘书带着一位市场调查员回来了。

光电老板兴奋地站了起来：“我这里已经有些想法了，不过，还是先听听调查员的信息吧。”

“目前，市场份额最高的还属硅太阳能电池，他一家占据了五分之四的市场份额。剩下的部分，硅太阳能电池就难以插手了，因为那些不是他擅长的。”市场调查员开始了报告。

硅太阳能电池凝视着薄膜电池并微笑着，总算从老冤家那扳回了一局。

“薄膜电池呢，占据着剩下部分一半以上的份额，也就是所有太阳能电池的十分之一多一点；其余的部分是染料敏化电池和钙钛矿电池。”

光电老板说：“硅太阳能电池，你们成本低、效率高、寿命长、产量大，大规模发电的任务就交给你们了！”

“您放心，保证完成任务！”硅太阳能电池瞟了一眼其他竞标者得意地说。

“那么……那么，我们呢？”薄膜电池眼泪都要掉下来了。

“你们在民用小型光伏发电装置与建筑自发电等灵活一些的项目上表现得更优秀一些！这些项目我已经给你们留好了。”光电老板不无深意地说道，“放心！都有任务，我会充分发挥你们优点的。”

听到这里，薄膜电池破涕为笑。

光电老板微笑着对染料敏化电池说道：“虽然你的效率不够高，但是你有着美观的外表，这本身就是一种难得的优势嘛。我准备安排你们进行小规模市场化尝试，希望你们在发电布料和光伏工艺品这方面能大展宏图！”

染料敏化电池惊喜地说不出话来。

“至于钙钛矿电池，你们各方面潜力巨大，但有一些性能问题尚需要提升，我会安排科研人员、市场运行人员等组成联合攻关组，你们再好好磨砺一下吧！我看好你们哦！”

钙钛矿电池没说话，他知道自己出生的时间还太短，甚至材料体系尚未完全定型，还有很大的进步空间。当然，人们对他的性能还半信半疑……他在心里暗下决心：努力！假以时日，我一定有能力完成实用光伏能源体系的升级迭代！

“再见！希望我们下次见面的时候，各位能具有更好的性能与市场优势。”招标大会结束之际，光电老板如是说。

参 考 文 献

- [1] 赵晶, 赵争鸣. 电气应用, **2007**, 26 (10), 6.
- [2] 于静, 车俊铁, 张吉月. 世界科技研究与发展, **2008**, 30 (1), 56.
- [3] 付玉好, 李伟. 湖南师范大学自然科学学报, **2023**, 46 (2), 113.
- [4] 曹希文, 张雅希, 杨小国, 林梅, 徐新明. 中国陶瓷工业, **2023**, 30 (1), 48.
- [5] 梁启超, 乔芬, 杨健, 姜言森, 徐谦, 王谦. 中国材料进展, **2019**, 38 (5), 505.
- [6] 吴岳, 谢中祺, 侍雅宁, 庄众, 蒋青松, 杨潇. 广东化工, **2023**, 5 (50), 77.
- [7] 姚鑫, 丁艳丽, 张晓丹, 赵颖. 物理学报, **2015**, 64 (3), 145.
- [8] Best Research-Cell Efficiency Chart. [2023-03-31]. <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>