

有机太阳能电池的发展概论

Introduction to the Development of Organic Solar Cells

尚修颀 SHANG Xiu-jie

(北京师范大学第三附属中学, 北京 100085)

(The Third Affiliated Middle School of Beijing Normal University, Beijing 100085, China)

摘要:随着人类社会的发展,能源消耗日益增加,通过研究并应用新能源来缓解能源危机被世界各国所重视,其中太阳能被广泛地研究。本文以众多太阳能应用中重要的有机太阳能电池这一应用作为研究对象,通过了解有机太阳能电池的结构、材料、工作原理及性能,讲述该应用的发展现状,并进一步希望有机太阳能电池可以在未来得到广泛的应用。

Abstract: With the development of human society, energy consumption is increasing day by day. Research and application of new energy sources to alleviate the energy crisis has been valued by countries around the world, of which solar energy is widely studied. This article takes the organic solar cell application in many solar applications as the research object. By understanding the structure, materials, working principle and performance of the organic solar cell, the development status of the application is described, in hope of the wide application of the organic solar cell.

关键词: 有机太阳能电池; 分类; 工作原理; 性能

Key words: organic solar cells; classification; working principle; performance

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2020)03-0254-03

0 引言

进入二十一世纪,世界的发展需要各种能源进行支撑。世界上的常规能源有:煤、石油、天然气……但是这些资源的储量有限,而且有一些自然资源已经濒临枯竭,不能满足人类当前的发展需要。各种传统的化石燃料在使用的过程中会大量产生温室气体和有毒气体,如二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫等,这些气体的存在会导致全球气候变暖、酸雨等自然灾害频发,生态环境恶化,严重危害人类生活。针对这个现状,各个国家都开始重视可持续性发展,并开始致力于发展可再生能源,比如,太阳能、风能、水能、潮汐能等。在如此众多的可再生能源中,太阳能可以算是应用最广的可再生能源。太阳能取之不尽,用之不竭的特点,让它在众多能源中脱颖而出,最重要的是,太阳能在使用过程中不会对环境造成污染。若将地球每年接收的太阳能中的小部分转化为电能,数量上也是非常可观的。因此太阳能的开发和利用引起了各国的重视,其中太阳能电池由于可以实现将太阳能转换成电能,并为人所用而备受关注。

太阳能电池根据其生产原材料进行分类,可以分为两种:无机太阳能电池和有机太阳能电池。其中无机太阳能电池的研究起步较早并较为广泛,但由于制作无机太阳能电池的材料成本较高,生产工艺也十分繁琐,不利于其进一步的大规模使用。而有机太阳能电池无污染,质量轻,成本低,工艺简单,原材料的来源广,容易加工、大面积成膜,优势更加突出^[1]。目前对于有机太阳能电池的研究已有了一定的研究成果^[2]。因此,本文将主要对有机太阳能电池进行深入了解,对有机太阳能电池的材料、内部结构、工作原理、性能和发展前景进行分析,希望有机太阳能电池可以在未来得到广泛的应用。

1 有机太阳能电池的分类

有机太阳能电池是一种可以直接或间接将太阳能转

化为电能的器件,其中有机半导体材料组成了电池的光电转换材料。按照有机原材料种类的不同,有机太阳能电池可以被分成两类,一类是有机小分子太阳能电池,另一种是有机聚合物太阳能电池。根据电池内部结构的不同进行分类,可以分为单层结构、异质结结构和叠层结构。

1.1 材料分类

1.1.1 小分子材料

常见的有机小分子半导体材料有稠环芳烃类化合物、酞菁类化合物、卟啉类化合物、具有 $\pi-\pi$ 共轭结构的低聚物等。由于小分子可以相对容易地得到单晶态的薄膜,有利于对电荷的传输机制进行研究。同时分子具有丰富的光电性质,可以应用在光电器件中。但由于器件的性能会受到小分子薄膜形态的影响,所以对于有机小分子半导体材料在实际器件中的应用,目前面临的最重要的问题是如何控制薄膜形貌。

1.1.2 有机聚合物材料

除了小分子,聚合物也可以作为有机半导体材料的原材料。研究较多的有机聚合物材料是聚噻吩及其衍生物。与小分子化合物相比,共轭聚合物由于具有 $\pi-\pi$ 共轭体系,在一维维度上可以进行延伸,有利于产生激子和点电荷载流子。同时通过设计聚合物的结构可以实现对其光吸收能力的控制。并且,聚合物具有较好的成膜性,便于后面进一步的加工和应用。

1.2 结构分类

1.2.1 单层结构

单层结构是有机太阳能电池类型中最常见的,也是最早研究并成功使用的一种^[3]。单层结构是将单层的有机半导体材料嵌入电池的两极之间。肖特基型电池就是一种单层结构电池,但这种的电池非常容易发生能量损失,光电转换效率很低。

1.2.2 异质结结构

作者简介:尚修颀(2002-),男,北京人,研究方向为化学。

异质结是指由不同半导体材料之间不同层次或区域之间形成的二维界面。其中异质结型有机太阳能电池利用的是有机太阳能电池材料之间形成的异质结。异质结型有机太阳能电池主要有双层异质结、扩散双层异质结、混合异质结、p-n 异质结、体异质结有机太阳能电池^[4]。其中，体异质结结构是目前研究较为广泛。

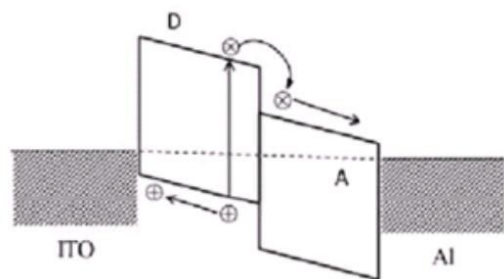


图1 双层平面异质结有机太阳能电池的工作原理示意图^[5]

1.2.3 叠层结构

叠层结构有两种，分别是串联叠层和并联叠层。串联叠层电池是通过串联两个或者多个子电池，让它们叠加在一起形成一个电池。普通的有机材料对于太阳光谱不能实现全波段吸收。但是使用了叠层结构之后，每一个子电池的吸收波段可以进行加和，从而达到对太阳光谱的全覆盖吸收。并联叠层电池与串联叠层电池差别不大，区别是并联叠层电池是将两个或者多个子电池并联叠加到一起形成电池。相对于串联叠层电池的制作，并联叠层电池的制作难度要更高。

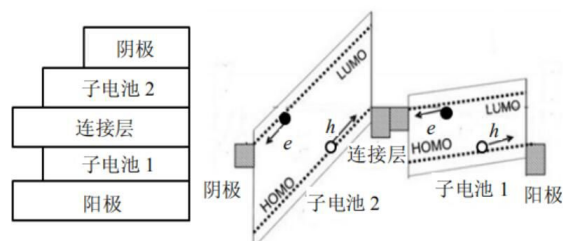


图2 叠层有机太阳能电池的结构和工作原理^[6]

2 有机太阳能电池的工作原理和性能参数

2.1 工作原理

有机太阳能电池的工作原理是以“光伏效应”为基础，可以解释为：有机半导体材料在吸收光能量之后会在内部产生电子-空穴对，在内建电场的作用下，进一步发生分离并被相应电极吸收，产生电动势。

2.2 性能参数

评价有机太阳能电池的性能参数主要有五个，分别是：开路电压、短路电流、填充因子、光电转换效率和能量转换效率。

填充因子 FF 是指光电池的最大功率与当光电池具有最大功率时的电压和电流的乘积的比值。填充因子 FF 代表的是电池对外输出最大输出功率的能力，是评价太阳能电池质量的重要光电参数之一^[6]。

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

外量子效率 (EQE) 也称为光电转换效率，表示当注入一个光子时，光电流所能提取得到的最多电子数，定义为

提取得到的电子数与注入的光子数的比值。

$$EQE = \frac{N_{\text{electrons}}}{N_{\text{photos}}} \times 100\% \\ = 124000 \times \frac{I_{sc} (\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2})}{P_{in} (\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}) \lambda (\text{nm})}$$

能量转换效率是指光电池的最大输出功率与光电池单位面积上入射的光能量的比值。

$$\eta_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_m \times I_m}{P_{in}} = \frac{(IV)_{\max}}{LA} = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{LA}$$

其中，能量转换效率是评价有机太阳能电池性能的主要参数。能量转换效率越高的有机太阳能电池就说明在相同光照条件下转换出的电能越多，性价比更高^[7]。

3 有机太阳能电池的发展现状

目前，在太阳能电池的商业化市场中，无机晶体硅太阳能电池仍然处于主导地位，占有极大部分的市场份额。但是，无机晶体硅太阳能电池存在着以下几个问题：加工工艺非常复杂；对原材料要求十分苛刻；不容易进行大规模的柔性加工；同时在生产过程中所需的一些材料具有毒性。因此可知，成本和资源分布限制其进行大规模的生产，而进一步提高太阳能电池的性能，降低成本，减少对环境的污染是未来无机晶体硅太阳能电池发展的主要方向。相对于无机太阳能电池，有机太阳能电池有以下优点：①有机太阳能电池的材料来源比无机太阳能电池的来源更加广泛，廉价，环境稳定性更高，光伏效应更好，材料质量轻，有机化合物结构可以设计，制备、提纯、加工性能好。②有机太阳能电池的加工制备工艺更加简单，生产过程中的能耗比无机材料更低，生产过程中对环境的影响较小。③由于有机太阳能电池的产品都是半透明的，所以它可以用于装饰和应用，并且色彩可以选择。

在有机太阳能电池的太阳能转化为电能的过程中，并不是所有的激子分离和迁移都是有效的。如果想让光能更为有效地转化为电能，需要做到以下几点：首先，有机半导体材料的吸收光谱要尽量实现对太阳光的全覆盖；第二，吸收光子后可以产生足够多的自由载流子，第三，需要载流子抵达外电路之前尽量降低损耗。因此限制有机太阳能电池发展的劣势主要集中在以下几点：①有机材料分子之间的相互作用力很弱。②有机半导体材料吸收光谱的波段不宽，对太阳光的覆盖范围不够，使其光电转换效率低。③有机半导体在吸收光后会产生激子，但激子的扩散距离很短。并且激子在一般的有机材料中传输速度不快，在通过半导体薄膜时会因为激子复合造成损失，使得有机太阳能电池的实际转化效率很低^[8]。④在有氧和水存在时，有机太阳能电池的有机半导体材料是很不稳定的，这使得有机太阳能电池面临着低效率、短寿命这两个关键问题。

目前的有机太阳能电池仍然处于研究阶段，并不能投入使用。但是在各国研究人员的努力下，有机太阳能电池的各个问题正在得到逐一改善。目前，已逐步发现一些有机太阳能电池可以应用的领域，比如：通信卫星的供电。相比传统无机硅电池，有机太阳能电池具有质量轻、厚度薄的特点，并且同体积展开后，有机太阳能电池可以拥有更大的受光面积，进而有效地提高光电利用率。同时，在电脑、无线鼠标、计算器等小型电子设备上也可以使用，缩小

烯烃化合物中共轭双键数量与性质关系的理论研究

Theoretical Study on the Relationship between the Number and Properties of Conjugated Double Bonds in Olefins

杨雨沁 YANG Yu-qin

(西安市第二十六中学, 西安 710001)

(Xi'an No.26 Middle School, Xi'an 710001, China)

摘要: 本文通过密度泛函理论研究了不同双键个数的烯烃化合物的分子结构、电子结构、紫外可见光谱等性质进行了研究, 从理论的角度解释了不同烯烃在实验表现中的本质因素。

Abstract: This paper studies the molecular structure, electronic structure and ultraviolet-visible spectrum of olefin compounds with different numbers of double bonds through density functional theory, and explains the essential factors of different olefins in experimental performance from a theoretical perspective.

关键词: 烯烃化合物; 双键数量; 密度泛函理论

Key words: olefin compounds; number of double bonds; density functional theory

中图分类号: O623.123

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2020)03-0256-03

0 引言

我们常说, 物质决定性质, 性质决定用途。结构是微观的, 性质是宏观的, 宏观世界是微观的集合体现^[1,2]。

结构影响着物质的种类。相同的元素, 因为结构的不同, 可能形成截然不同的物质。最简单的例子就是金刚石和石墨, 他们的分子组成都是四个碳原子, 但由于原子排列结构不同, 化学和物理性质却有着千壤之别, 一个是世界上最硬、最耐高温、最耐磨的物质, 一个则是片状、较软, 用手就能揉捏碎的物质。因为任何一种物质都不是简单的平面结构的, 而是一种空间立体的存在, 结构就是物质基础的微粒的结合方式。不同堆积方式或者某一种特定的堆积方式形成了不同的结构, 不同的物质。

结构影响着物质的反应活性。例如, 同是羟基(-OH), 连在烷基上就是醇, 没有酸性, 而连在苯环上就是酚, 展现出了酸性。再如能发生加成反应的就含有双键, 能酯化反

应的就存在羟基(-OH)或者羧基(-COOH)。

结构影响着物质的颜色^[3-5]。在人们日常的生活, 颜色起到了十分重要的作用。其在审美和实用方面起到的作用及重要性可谓平分秋色。人们为了充分利用颜色的审美及实用的功效, 一直都在研究如何才能赋予物体最适合它的颜色。在审美上, 人们寻找着各种美轮美奂的颜色搭配来满足人们无论是在衣着还是住行上的视觉盛宴。而在实用上, 它起着更重要一些的作用。早在七千多年前, 在河南渑池的仰韶村便出现了彩陶, 一种在打磨光滑的橙红色底胚上使用天然矿物进行描绘, 多以赭石和氧化锰用作上色的主要物质, 然后进行烧制。因上色的步骤在烧窑之前进行, 所以上过的颜色不容易脱落, 而在近现代人们开始关注一些更加贴近生活的用途。经过更深的学习, 便会知道, 每个颜色的光都有自己一定的波长, 物质显色是因为它吸收了一定频率的光, 而物质能吸收什么频率的光也与它的内部结构有一定的关系。所以说, 物质结构是影响其显色的内因, 它的结构还会影响它对光的反射和透射。对所有

作者简介: 杨雨沁(2001-), 女, 陕西西安人, 研究方向为化学。

电子产品的体积。因为有机太阳能电池生产出来后是半透明的, 而且电池颜色也可以更改, 所以可以作为办公楼的外墙或者在房顶铺设有机太阳能电池, 便于通过吸收太阳能进行发电供楼内使用^[6]。

4 总结和展望

本文从有机太阳能电池的三个方面进行讲述, 说明了有机太阳能电池的结构、性能和应用前景。和无机太阳能电池相比, 有机太阳能电池的原材料来源更为广泛, 制备工艺更为简单, 对环境污染较小, 应用前景也更加广阔。有机太阳能电池越来越受到人们的关注, 但是相对于无机太阳能电池来说, 有机太阳能电池的光电转换效率依然较低, 非常容易发生能量损失, 而且不稳定, 寿命也短, 因此想要大规模的商业化生产并投入使用还有很长的一段路要走。但是目前世界各国都在致力于发展有机太阳能电池, 并取得了一定的成果。相信在未来, 当有机太阳能电池的所有难题都被解决, 走进人们生活中的时候, 它将会被广泛地应用于各个领域, 为解决能源危机提供坚实的力量。

参考文献:

- [1] 赵亮. 浅谈有机太阳能电池[J]. 科技创新导报, 2017, 14: 112.
- [2] 刘小青, 王立. 有机太阳能电池应用前景展望[J]. 能源研究与管理, 2010, 4: 16.
- [3] 许红波. 有机太阳能电池材料研究新进展[J]. 科技创新与应用, 2016, 9: 86.
- [4] 张超智, 李世娟, 胡鹏, 沈丹, 张骁, 孙晓飞. 异质结型有机太阳能电池材料的最新研究进展[J]. 南京大学学报(自然科学), 2014, 50: 135.
- [5] 张剑, 杨秀程, 冯晓东. 有机太阳能电池结构研究进展[J]. 电子元件与材料, 2012, 31: 75.
- [6] 杨学良, 邓金祥. 有机太阳能电池的研究进展[J]. 物理, 2012, 41: 669.
- [7] Granstrom M., Petritsch K., Arias A. C., Lux A., Andersson M. R., Friend R. H., Laminated fabrication of polymeric photovoltaic diodes. Nature, 1998, 395: 257.
- [8] 侯晓远. 有机太阳能电池简介[J]. 光学与光电技术, 2017, 15: 1.
- [9] 刘跨天. 浅谈有机太阳能电池技术领域的应用[J]. 科技展望, 2016, 26: 156.