

文章编号:1000-582X(2002)08-0055-03

# 一种用于制冷的新型太阳能电池——CdS/CdTe<sup>\*</sup>

刘高斌,冯庆,刘亚静,王万录

(重庆大学应用科学与技术系,重庆400044)

**摘要:** CdS/CdTe 多晶薄膜电池是一种利用 CdS 的优良窗口效应和 CdTe 良好的光电转换而做成的一种层叠的异质结薄膜太阳电池,是适用于制冷、新型、高效率、低成本的太阳能电池,具有低缺陷、能隙大、稳定性好的特点,并且制作工艺简单、经济,易于大面积沉积,而且还具有环保价值。综述了 CdS/CdTe 多晶薄膜太阳电池的特性及它的发展,同时还归纳了一些适应大面积和低成本的生产工艺。

**关键词:** CdS/CdTe 太阳能电池;多晶薄膜;转换效率

**中图分类号:** TK519

**文献标识码:** A

夏季,炎热的天气,正是人们使用空调、冰箱等制冷设备的高峰,而此时太阳能最充足、最丰富,这时利用太阳能作为制冷与空调的能源有巨大的优越性。太阳能在制冷与空调方面的应用,主要是建筑、空调、大型冷库、医院冷藏、家庭冰箱等方面。虽然太阳能制冷的技术难度较大、造价较高(因为现在太阳能电池多使用单晶硅,按现行市场价格 1 kW 的光伏空调成本将上万元),但光伏空调与冰箱由于适应范围广,只要降低成本就会具有广阔的应用前景。目前,人们正致力于此方面的研究开发。最近开发出了一种非常适用于制冷的、新型、高效、低成本薄膜太阳能电池——CdS/CdTe。作者对 CdS/CdTe 太阳电池的特性、发展及生产工艺做了详细叙述。

## 1 CdS/CdTe 薄膜太阳电池的特性

CdS 是一种宽带隙半导体材料,室温下它的禁带宽度是 2.42 eV。因此 CdS 薄膜在异质结太阳电池中是一种重要的 N 型窗口材料<sup>[1]</sup>,具有较好的导电性能和光的通透性。CdS 薄膜可以用真空蒸镀、溅射、高温热解喷涂、化学沉积等方法来制备。

II - VI 族化合物 CdTe 是一种理想的光电转换与太阳电池材料,在室温下其禁带宽度是 1.47 eV<sup>[2]</sup>,与太阳光谱匹配良好,易于形成 N 型和 P 型半导体薄膜,它的理论转换效率高达 28%<sup>[3,4]</sup>。

CdS/CdTe 太阳电池,就是利用 CdS 的优良窗口效应和 CdTe 良好的光电转换而做成的一种层叠的异质

结薄膜太阳电池。这种异质结太阳电池具有晶格失配度小、热膨胀失配率低、能隙大、稳定性好等优点,其理论转换效率是 17%<sup>[5,6]</sup>,仅次于单晶硅太阳电池,高于非晶硅太阳电池。表 1<sup>[7]</sup>为有关研究人员所做的太阳电池组件转换效率的预测,从表中可以看出 CdS/CdTe 太阳电池是一种高转换效率的太阳电池。CdS/CdTe 太阳电池的生产工艺经济、方便,易于大面积生产。表 2<sup>[8]</sup>为研究人员对光伏电池组件成本/价格的预测结果,从表中可知 CdS/CdTe 太阳电池价格与非晶硅太阳电池的价格相当,但它的转换效率比非晶硅高且稳定性好,是一种非常廉价的太阳电池,所以被公认为非晶硅太阳电池的一个强有力的竞争者,是未来理想的太阳电池,引起了人们的极大兴趣,目前世界上许多国家竞相投资、研究和开发。

表 1 商品化光伏电池组件效率及预测 %

电池技术	1990	1995	2000	2010
单晶硅	12	15	18	22
多晶硅	11	14	16	20
带状硅	12	14	17	21
非晶硅	5-6	7-9	10	12
CuInSe <sub>2</sub>	--	8-10	12	14
CdS/CdTe	--	8-10	12	14

表 2 太阳电流也组件成本/价格及预测(美元/瓦)

种类	1990	1995	2000	2010
单晶硅	3.25/5.40	2.40/4.00	1.50/2.50	1.20/2.00
多晶硅	3.00/5.00	2.25/3.75	1.50/2.50	1.20/2.00
非晶硅	3.00/5.00	2.00/3.33	1.20/2.00	0.75/1.25
CuInSe <sub>2</sub>	--	2.00/3.33	1.20/2.00	0.75/1.25
CdS/CdTe	--	1.50/2.50	1.20/2.00	0.75/1.25

\* 收稿日期:2002-04-10

作者简介:刘高斌(1975-),男,湖南衡阳人,重庆大学硕士研究生。主要从事光电信息材料方面研究。

## 2 CdS/CdTe 的生产工艺及结构

早期的研究主要是在 CdTe 单晶片上利用真空蒸发、分子束外延、MOCVD 等方法沉积 CdS 层制成太阳能电池,其转换效率较高,可达 12% 以上。但由于制备单晶 CdTe 成本很高,因此该电池一直处于研究阶段。后来由于薄膜技术的广泛利用,目前较多学者用真空蒸发、溅射沉积,化学沉积、化学喷涂、近距离升华、电沉积、化学气相沉积等方法来制作多晶薄膜 CdS/CdTe 太阳能电池<sup>[8]</sup>,使成本大大降低,同时还使转化效率得到提高和太阳能电池的性能得到改善。如表 3 所示为几种典型的制备方法和组件的有关参数。下面具体介绍一些低成本加工方法。

表 3 薄膜 CdS/CdTe 太阳电流池的特性

沉积方法	面积/cm <sup>2</sup>	效率/%	短路电流 /mA·cm <sup>-2</sup>	开路电压 /mV	FF
CSS	1.05	15.8	25.09	843	0.745
电沉积	0.02	14.2	23.5	819	0.74
喷涂	0.30	12.7	26.21	799	0.605
丝网印刷	1.02	11.3	21.1	797	0.67
PVD	0.191	11.0	20.09	789	0.692

### 2.1 丝网印刷烧结法<sup>[9]</sup>

丝网印刷烧结法具有工艺简单,生产速度快,易于大面积制作,掺杂容易,成本低等优势。目前利用此方法制作的 CdS/CdTe 太阳能电池,面积为 4.6 cm<sup>2</sup>,效率 12.8%,30 cm × 30 cm 面积电池为 8.5%。

电池的结构如图 1<sup>[10]</sup>所示。它是在玻璃衬底上分别印刷烧结一层 CdS 和 CdTe 薄膜构成。第 1 步:制备 CdS 薄膜层。首先将高纯的 CdS 粉末研磨成小颗粒,烘干后再加入 12% 重量的 CdCl<sub>2</sub> 助溶剂,用丙二醇调制成 CdS 膏浆。用尼龙丝网将 CdS 膏浆印刷在玻璃衬底上并烘干,然后在 N<sub>2</sub> 气中 680 °C 下烧结,即完成了 CdS 薄膜的制备。第 2 步:制作 CdTe 薄膜层。与制备 CdS 薄膜类似,首先调制膏浆,但原料为 Cd 和 Te 粉加入的助溶剂 CdCl<sub>2</sub> 重量为 0.5%,然后印刷到 CdS 膜上,再在 N<sub>2</sub> 中 620 °C 下烧结,便形成了 CdTe 膜。第 3 步:制备电极。在 CdTe 膜上,通过印刷和烧结碳形成

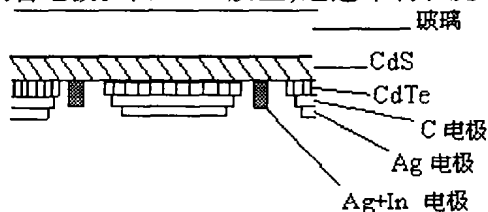


图 1 丝网印刷 CdS/CdTe 太阳电流池结构

电极,在 CdS 膜层上通过掺杂印刷 Ag 和 In 形成电极。这样就构成了图 1 中示的太阳电池结构。

在此种工艺中,体系发生的物理和化学变化复杂,产生许多副产物,条件不好控制,在工艺的重现性和太阳能电池的稳定性上有待改善。

### 2.2 电脉冲沉积法<sup>[11]</sup>

用电脉冲沉积法制备 CdTe/CdS 太阳能电池具有下列优点:1)可将膜沉积到所需的衬底上,大大降低材料成本;2)设备简单;3)太阳能电池的效率,膜的质量较好。

其工艺过程为:1)在 ITO/玻璃结构的衬底上电沉积 100 μm 厚 CdS 的膜;2)再在 CdS 膜上电沉积 2 μm 厚的 CdTe 膜;3)将制备好的 CdTe/CdS 结构在 400 °C 氮气(或空气)中退火处理;4)化学处理和形成欧姆接触。

在电沉积法中,沉积速度和成分的控制比较难,另外残余溶液容易带来环境污染,需妥善处理。

### 2.3 高温热喷涂法

高温热喷涂法制备 CdTe/CdS 电池也是一种简单廉价的方法。其方法主要是将含有 S 和 Cd 的化合物水溶液(如硫酸、氯化镉、醋酸镉、硫酸镉等),高温下喷涂到 CdTe 的衬底上,经热分解而沉积 CdS 膜,450 °C 左右便形成了 CdTe/CdS 太阳能电池,其转换效率大于 6%,经热处理可以改善太阳能电池的性能。

### 2.4 CSS(closed-spaced sublimation)法

CSS 法具有设备工艺简单,其原料可为 Cd 和 Te 的多晶块材料、粉末或者是单晶材料,成本低,容易寻找,且用量较少;反应过程易于控制,可大面积生产,环境污染小等优点。太阳能电池的转换效率高,1992 年报道达到了 15.8%<sup>[12]</sup>。

电池的结构为:C/CdTe/CdS/ITO/玻璃,层叠结构,如图 2 所示。

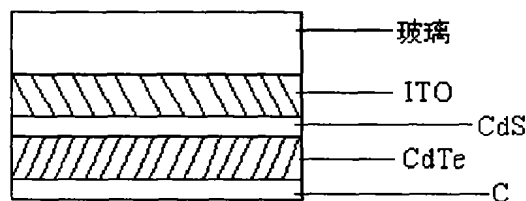


图 2 CSS 法制备的 CdS/CdTe 太阳电池结构

电池的工艺过程为<sup>[13]</sup>:先把 Cd 和 Te 的粉状混合物按 Cd/Te = 0.6 的比例通过丝网印刷、干燥处理做成升华源,然后在 10 Torr He 气中升华到 CdS/ITO/玻璃衬底上。当衬底温度为 600 °C,沉积厚度为 4 ~ 7 μm 时,太阳能电池的性能最好。

## 2.5 射频溅射沉积法<sup>[14]</sup>

在一定的氩气气压下,在玻璃、SnO<sub>2</sub> 等衬底上分别用射频溅射沉积一层 CdS 和 CdTe,然后再在 CdTe 层上蒸镀金属电极。在此工艺中,一般是先分别把高纯(5N)的多晶 CdS 和 CdTe 热压处理,再依次进行射频沉积,在沉积过程中分别使衬底温度在 200 °C 左右和 300 °C 左右,射频能量密度分别保持在 1.25 W·cm<sup>-2</sup> 左右和 2.25 W·cm<sup>-2</sup> 左右。采用此工艺可以得到高致密、均匀的薄膜,而且操作简单、易控制,工艺造价低,生产的太阳能电池效率可高于 10%。

以上这些生产工艺都适合大面积生产和具有各自优点,但都存在不足,有待进一步完善和改进。相对比较,用 CSS 方法生产的太阳能电池的转化效率较高,此方法略占优势。

## 3 结束语

CdTe/CdS 多晶薄膜是一种理想的,又容易得到的高效、稳定、廉价的太阳能电池,是实现 30 年长寿命太阳能电池和光伏发电与水能可比拟的最佳选择。近来研究发现 CdTe 和 CdS 膜,很容易获得纳米晶粒结构<sup>[15,16]</sup>,有望成为纳米太阳能电池的材料。在国外,该电池已经处于试产阶段,国内还处于实验室基础研究阶段,需要加大研究力度,缩短与其他国家的差距。

### 参考文献:

- [1] HIROSHI U. Structural and Electrical Properties of Chemical - Solution - Deposited CdS Films for Solar cells[J]. Jpn. J. Appl. Phys. 1990, 29(1): 30 - 33.
- [2] 樊玉薇,李永祥. 水溶液中阴极电沉积半导体 CdTe 薄膜性能的研究[J]. 太阳能学报, 1998, 19(4): 425 - 428.
- [3] 杨烈宇. 材料表面薄膜技术[M]. 北京:人民交通出版社. 1991.
- [4] SHAH A, P TORRES P. Photovoltaic Technology: the Case for

- Thin - Film Solar Cells[J]. Science, 1999, 285(7): 692 - 698.
- [5] 季秉厚,王万录. 多晶薄膜与薄膜太阳电池[J]. 太阳能学报, 1999, (特刊): 102 - 114.
- [6] 王万录. n - CdS/p - CdTe 异质结薄膜太阳电池[J]. 太阳能, 1995, (1): 12 - 14.
- [7] 赵宋仁,程刚. 世界光伏市场的发展预测[J]. 新能源, 1995, 17(5): 24 - 28.
- [8] 贾彦增. 国外光伏技术发展动态[J]. 新能源, 1996, 15(3): 25 - 28.
- [9] PARK J W, AHN B T. Photovoltaic properties of sintered CdS/CdTe solar cells doped with Cu[J]. J. Electrochem. Soc., 1992, 139: 3 351 - 3 356.
- [10] 肖亦农,王福善. 国外 CdTe(CuInSe<sub>2</sub>)/CdS 太阳能电池的发展和我国的现状[J]. 太阳能学报, 1991, 12(3): 302 - 306.
- [11] MORRIS G C, TOTTSZER A, DAS S K. Comparison between evaporated and electrodeposited cadmium sulfide for nCdS/pCdTe solar cells[M]. Mater: Forum 15, 1991.
- [12] BYUNG W H, SING C P. Photovoltaic properties of closed - space sublimation CdTe solar cells[J]. Solar Energy, 1998, 64(1): 49 - 54.
- [13] CHU T L, CHU S S, Ferekides C. 13.4% efficient thin - film CdS/CdTe solar cells[J]. J. Appl. Phys., 1991, 70(12): 7 608 - 7 612.
- [14] YASUNIRO T, TOSHIKI K. Properties of Sputter - Deposited CdS/CdTe Heterojunction Photodiode [J]. Jpn. J. Appl. Phys., 1994, 33(6): 3 383 - 3 388.
- [15] CAPOEN B, GACOIN T. Spectroscopic investigations of CdS nanoparticles in sol - gel derived polymeric thin films and bulk Silica matrices[J]. J. of Mater. Sci., 2001, 36(5): 2 565 - 2 570.
- [16] XU L, HUANG X F. Reduced photo - instability of luminescence spectrum of core - shell CdSe/CdS nanocrystals[J]. J. of Mater. Sci., 2000, 35(4): 1 375 - 1 378.

# A New Type of Solar Cell - CdS/CdTe for Applications in Refrigeration

LIU Gao - bin, FENG Qing, LIU Ya - jing, WANG Wan - lu

(Department of Applied Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** CdS/CdTe polycrystalline thin film is a new type of high efficiency and low - cost solar cells, which is most promising for application in refrigeration, because it has many advantages such as few crystalline defects, large gap of energy, high stability, inexpensive and convenient for large area deposition. On the other hand, it is useful for environmental protection. The properties of CdS/CdTe thin film solar cell are reviewed and the development of the cell is presented. We have also described some large - area processing with low fabrication cost.

**Key words:** CdS/CdTe solar cell; polycrystalline thin film; efficiency

(责任编辑 成孝义)