

太阳电池新材料新方法

杨洪兴, 郑广富, 文卓豪, 安大伟

(香港理工大学屋宇设备工程系香港太阳能科技发展中心, 香港九龙)

摘要: 该文叙述了发展低成本、高效率太阳电池光伏有源材料 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) 和新式薄膜电沉积技术的优点。详细报告了该研究项目采用的新式 CIGS 薄膜电沉积的整个实验制作过程, 给出了在香港政府创新科技基金资助下的第一阶段所取得的成果。实验结果已证明: 采用这种简单而新颖的电沉积方法能制得光伏用的多晶半导体 CIGS 薄膜材料。通过测试确定了这种材料具有四方晶体结构、特征峰为 (112), (204, 220) 的多晶 CIGS 材料。已测得连续分布的薄膜层厚约 $1.6\mu\text{m}$, 晶粒的平均大小约 $2\mu\text{m}$ 长, 具有太阳电池所需的材料质量。实验还证明: 此法可重覆生产出厚度和质量相近的 CIGS 薄膜。该文也做了有关技术的讨论和分析。这种新式的材料和薄膜技术对生产商品化低成本、高效率薄膜太阳电池无疑是非常有希望的。

关键词: $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS); 光伏材料; 电沉积; 薄膜太阳电池

中图分类号: TK514⁺.4 文献标识码: A

0 引言

现在全球的人们都在关注环保问题。随着工业的不断发展, 废气、废液、废物等大量排放, 自然资源大量浪费, 造成严重的人类环境污染。全球性温室效应使地面气温升高、空气污染、干旱、荒漠化、风暴和海平面上升。据中国国家海洋局发布的《2000年中国海平面公报》^[1], 海南省沿海海平面上升幅度最大, 去年上升 110mm。上海、广东等地沿海海平面去年升幅都超过 50mm, 严重影响了中国沿海经济的发展计划。南太平洋小岛国基里巴斯也面临着因海面上升而被淹没的危险^[2]。

科学家们为了环保正在开发清洁的再生能源以降低温室效应。太阳能就是一种最重要的可再生能源。大块晶片型的太阳电池和薄膜太阳电池成为太阳能的有源器件。经过几十年的研究后, 大块晶片型太阳电池的成本仍然太高, 产品太贵, 造成太阳能发电系统产生的电力无法与传统的电力相竞争^[3~6]。

目前, 世界各地的研究人员不断地对低成本、高效率的硅(Si)类和非 Si 类薄膜太阳电池技术进行大规模的研究工作。据报导, 利用不同的制备方法

研制出来的 Si 类薄膜电池的效率正不断地提高, 在 4.0cm^2 面积的电池上, 14.4%~17.8% 的高能量转换效率的 Si 薄膜太阳电池已陆续地研制出来^[7~11]。非 Si 类薄膜太阳电池中, 已成功制造出 16% 能量转换效率的 CdTe 薄膜太阳电池^[3]。到目前为止, 利用高真空技术制备出来的非 Si 类薄膜太阳电池中, 铜铟镓硒 ($\text{Cu-In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$, 简写成 CIGS) 薄膜太阳电池已经获得了 18.8% 最高能量转换效率^[12, 13]。且这个太阳电池的面积仅为 0.449cm^2 ^[12]。

从工商业产品发展的角度考虑, 低成本、高效率、大面积的薄膜太阳电池的开发工作才有实际意义的。为此目的, 在香港特别行政区创新科技基金的资助下, 我们进行了低成本、高效率的 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) 薄膜太阳电池有源材料和制备技术的研究。本文首先描述我们选择的光伏有源材料和制作这种薄膜材料的技术方法的探讨, 然后报告详细实验过程和在研究第一阶段中所取得的结果, 最后对技术和实验进行分析和讨论。

1 材料和技术的优点

归根到底, 薄膜太阳电池产品要求光伏有源材

料有强烈的光吸收作用,且必须在低温下进行制造。Si 材料是光吸收较弱的间接带隙半导体材料,且必须在高温下进行加工制作。本项目选取非 Si 材料和非 Si 制造技术,也就是 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) 有源材料和溶液电沉积技术。

1.1 材料的优点

太阳能电池有源材料要求:有强烈的光吸收和低温结晶、低温器件制作、稳定的材料特性和能获得高性能太阳能电池产品。

图 1 给出了半导体材料的光吸收系数 α 、光子密度与光子能量 E_{ph} 的关系^[11]。从本图可见,单一元素的半导体材料—Si,包括单晶和多晶 Si,即 c-Si,以及非晶 Si,即 a-Si,在太阳能光谱峰值波长的光子能量 E_{ph} 的范围为 1.4~1.6eV,光吸收系数 α 均较低,不是理想的光伏能量转换材料。我们着眼于寻找有较高光吸收系数 α 的化合物半导体材料用作薄膜太阳能电池。

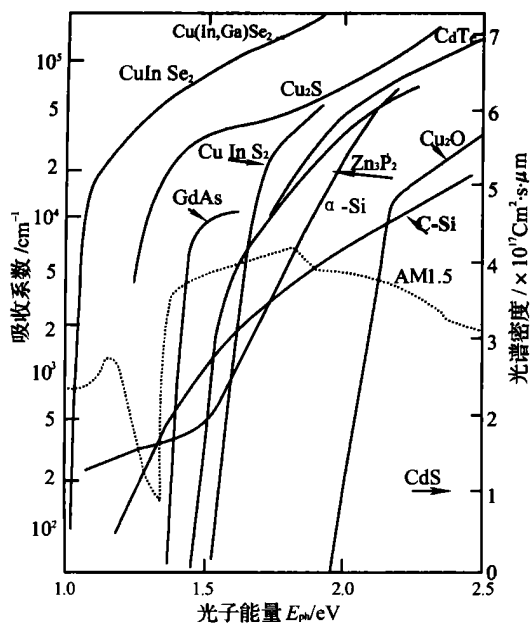


图 1 薄膜太阳能电池有源材料光吸收系数 α 、光谱密度与光子能量 E_{ph} 的关系^[11]

Fig. 1 Relationships among the photon energy, optical absorption coefficient and optical spectrum density of thin film solar cells^[11]

经过理论和实验的调查研究之后,我们认为 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS),即加入 Ga 的 CuInSe_2 多晶薄膜材料,是今日最有希望的薄膜材料。因此这个项目选择这种材料作为地面上太阳能电池的光伏有源

材料。这是因为这种材料有如下突出的优点:

1) CIGS 是直接带隙跃迁的材料。光吸收系数极高,为 $1\sim 5\times 10^5\text{cm}^{-1}$,是至今报导过的半导体中光吸收系数最高的。这种特性可以把有源材料必要的厚度减至最少,CIGS 薄膜太阳能电池只需 $1\sim 2\mu\text{m}$ 厚的 CIGS 材料。从而对少数载流子扩散长度的要求减至最少,也就是对薄膜材料的质量要求不必太苛刻。

2) 这种材料的同质结或异质结器件具有满意的带隙宽度值。通过掺入 Ga(或 S)到 CuInSe_2 材料, $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) 会使 CuInSe_2 的导带底 (CBM) 和价带顶 (VBM) 产生移动,CIGS 材料的带隙范围覆盖了 1.0~1.7eV。高效率期望带隙宽度范围在 1.4~1.6eV,CIGS 材料的带隙范围正是含有所期望的带隙范围,这会使太阳能电池能输出较高的电压,更加符合实际应用的要求。这种合金材料不仅呈现出随着 x 的增加使带隙宽度增大,还能使材料的性能随器件工作所需而由制作灵活改变。

3) $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ 的原生薄膜材料可用简单的室温溶液电沉积法、化学槽沉积法、喷涂法或高真空技术制备。

4) CIGS 材料结晶和太阳能电池的制作过程都可以使用像玻璃之类的低成本衬底材料,在低温 (550°C 以下) 进行加工处理。

5) P 型 CIGS 材料的晶格结构与电子亲和力都能跟普通的 N 型材料,如 CdS, CdZnS, ZnO, InSn 氧化物 (ITO) 等窗口材料匹配。

6) N 型和 P 型 CIGS 材料都能生产出很广宽光电特性范围的材料和器件。

7) 这种材料的光电特性很稳定,即使长时间在太阳光照环境下都很稳定。以 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ 为光伏薄膜材料的太阳能电池性能很高,目前在太阳能电池标准测试条件下已获得接近 20% 的转换效率^[14]。室外工作的可靠性很高,性能的稳定性不成问题。

8) 使用过的材料能以低成本再回收。

1.2 技术的优点

过去报导用于制作最高效率 CIGS 薄膜太阳能电池的多重高真空技术和其它方法,是成本高而且需用复杂的和操作难度很高的设备,并且薄膜也不均匀^[14]。还有,操作人员易受 H_2Se 和 Se 之类的毒气损害。

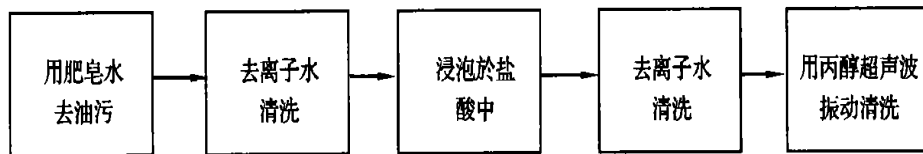
跟多重高真空技术和其它方法相比,本项目采

用的溶液电沉积技术有如下突出的优点:

- 1) 设备成本低。只需用溶液槽、低压直流(DC)电源、连接电线。
- 2) 方法简单。在玻璃或其它低成本衬底上很容易就沉积制备出太阳能级别(器件级别)光伏用的 $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ 薄膜原生物。
- 3) 原材料消耗低。原材料只沉积在衬底上, 不像高真空技术那样使原材料到处飞溅, 造成浪费, 工作麻烦。这种方法还能控制沉积速率, 连溶液材料都能回收, 所以材料浪费极少。
- 4) 沉积温度低而速率高。CIGS 原生物薄膜在室温或约 25°C 的低温下沉积, 而且沉积速率较高且可控。不需要很费时间的高真空操作。
- 5) CIGS 薄膜质量高。可生产原生物薄膜均匀、面积大的器件级质量的光伏 CIGS 薄膜, 可在各种形状, 如平面、线状、锥形、圆片和圆柱等形状上沉积薄膜。
- 6) 可制得低成本、高效率 and 性能稳定的太阳薄膜电池。
- 7) 操作安全。操作人员不易受毒气损害身体, 工作安全和健康安全都很好。
- 8) 材料回收成本低。凡是用过的材料都可以低成本回收再用, 包括太阳能电池板用过后 CIGS 材料可回收再用。

2 实验技术过程

如图 2 所示, 本实验采用的电沉积技术是非常简单的。弃用了三电极系统^[14], 用镀钼(Mo)的玻



在最后一步清洗时, 用丙醇超声波振动清洗 2 次。

2.2 Mo 薄膜的制备工艺

利用磁控直流溅射法在清洗好的玻璃衬底上沉积钼(Mo)薄膜。Mo 靶材料纯度为 99.9%, 直径和厚度分别为 $3''$ 和 6mm。Mo 靶和玻璃衬底的距离为 70mm。溅射系统首先利用油扩散泵把真空度抽到 4×10^{-6} mbar, 然后注入放电气体—氩气(Ar), 把工作的 Ar 气压调到 4×10^{-3} mbar。溅射电流和电压分别为 280mA 和 360V。预溅射时间 5min, 然后溅

璃为衬底作为阴极, 而阳极就用了一片网状的铂(Pt)。CIGS 电镀溶液的成份包括: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{InCl}_3 + \text{Ga}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{LiCl}$ 。

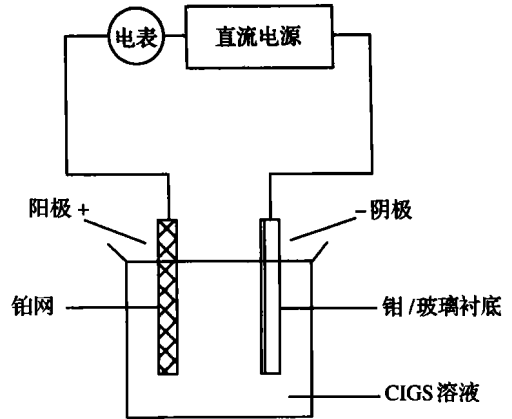
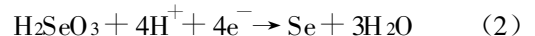


图 2 CIGS 薄膜溶液电沉积装置的结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the CIGS thin-film electro-deposited set-up

生成 CIGS 薄膜的电化学反应过程为:



上式中, M——金属 Cu, In 和 Ga; x, y ——原子或离子数; n ——电子数或价数。

CIGS 薄膜制造工艺流程如下:

2.1 玻璃衬底的处理

利用正方形边长为 $2''$ 的钠钙玻璃作为本实验中的衬底材料。所有的衬底材料均经过下面的清洗过程:

射沉积薄膜时间为 30min。

2.3 CIGS 薄膜电沉积法的制备

2.3.1 电沉积溶液配制

实验电沉积法所配制的溶液组份为: 0.0125mol CuCl_2 , 0.025mol InCl_3 , 0.0285mol $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$ 和 0.025mol H_2SeO_3 。用去离子水配制成容量为 300mL 的电沉积溶液。

2.3.2 CIGS 原生成物薄膜电沉积法

图 2 显示了采用二电极系统的反应装置。采用

二电极系统简单,能获得预期的效果。图中钼/玻璃衬底是电化学反应的阴极(-),而铂(Pt)网是阳极(+),滴放浓盐酸把溶液的 pH 值调匀至 1.5。淀积过程中,溶液温度保持恒温 25℃,淀积时 DC 电压为 -1.8V,淀积时间为 5h。

2.3.3 CIGS 薄膜退火热处理

为了获得太阳能器件级多晶 CIGS 材料,把上面制得的样品和硒(Se)粉末一起放在石英盒内,以升温速率 10℃/min,恒定温度为 325℃,在硒原子保护气氛下,热处理 1h。

用高级光学显微镜、厚度测试仪、XRF 和 XRD 系统对上面得到的样品进行分析工作。

2.4 CIGS 薄膜和 CIS 薄膜的对比实验

我们对 CIGS 薄膜和 CIS 薄膜在制备工艺和生成的薄膜特性上进行了对比研究。在相同的实验环境条件下,分别进行了 5 次 CIGS 和 CIS 的电淀积。比较结果在表 1 中给出。

3 实验结果,分析与讨论

3.1 玻璃衬底上的 Mo 薄膜层

根据厚度测试仪测得的数据表明,我们利用磁控直流溅射法在不同条件下制备出来的 Mo 薄膜厚度约为 0.6~1.0 μ m。图 3 和图 4 显示了在高级光学显微镜下拍摄得薄膜表面形态的光学显微照片。



图 3 钼(Mo)薄膜的光学显微照片

Fig. 3 Optical micrograph of surface morphology of Mo thin-film under magnification of 50

一般情况下,我们可得到表面平滑的 Mo 薄膜。但从图中可见,Mo 薄膜层上分布了一些细微的空洞。另外,有一些圆点在 Mo 层上凸现了出来。空洞和圆点污染物的出现使贴附在玻璃衬底上的 Mo 薄膜的吸附能下降,粘结力差,减低了薄膜与玻璃衬底之间的吸附性。空洞或圆点污染物的出现有 3 种

可能性:1)由于等离子体放电加热而引起的溅射系统的四壁及各个部件的放气;2)从油扩散泵进入溅射室的油蒸气的分解;3)玻璃衬底的清洗及样品安装一系列操作过程引起的污染。

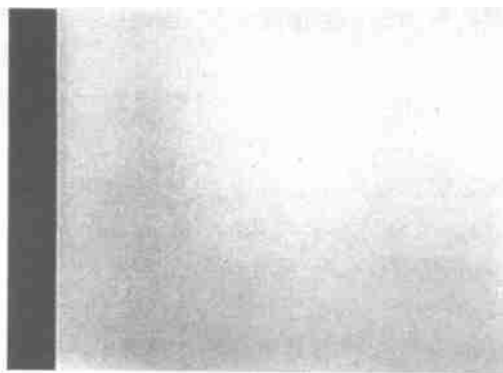


图 4 钼(Mo)薄膜的光学显微照片

Fig. 4 Optical micrograph of surface morphology of Mo thin-film under magnification of 50

另外,如果溅射产生出来的离子区的压力太大,刚淀积的 Mo 层产生了反溅射,亦不能制备出无洞、平滑的 Mo 层。

质量差的 Mo 薄膜层在电淀积 CIGS 薄膜时产生很大的影响,刚生成的 CIGS 薄膜和原来 Mo 薄膜一起跟玻璃衬底分离,根本无法进行后续的工艺流程。所以玻璃衬底的洁净度和合适的溅射参数对获得高质量的 Mo 薄膜层是很重要的。

3.2 CIGS 薄膜

图 5 和图 6 显示了热处理后,CIGS 薄膜层表面



图 5 退火后的 CIGS 薄膜的光学显微照片(50x)

Fig. 5 Optical micrograph of surface morphology of polycrystalline CIGS thin-film under magnification of 50

形态的光学显微照片。从照片中看到了大小不一的微粒子散布在 CIGS 薄膜层上,微粒子的大小平均为 2 μ m 长。这些 CIGS 薄膜具备了制作太阳能电池级

别的质量。不同的照片放大率可更清楚了解不同区域微粒子的分布。

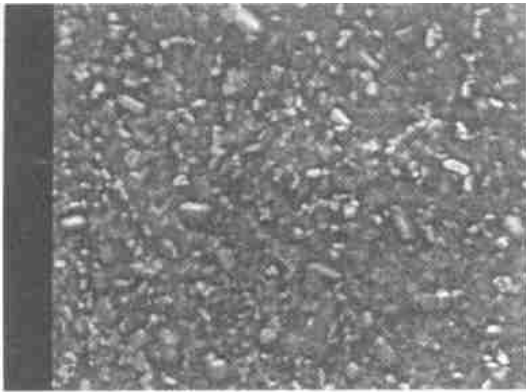


图 6 退火后的 CIGS 薄膜的光学显微照片(1000x)

Fig. 6 Optical micrograph of surface morphology of polycrystalline CIGS thin-film under magnification of 1000

图 7 为 CIGS/Mo/玻璃层状结构的 X 射线衍射谱。根据 JCPDS35—1101, 图中清楚显示出呈四角形结构的 CIGS 的衍射峰(112), (204, 220)。这清楚反应出在 -1.8V 电压下制作 CIGS 电淀积, 然后在 325 °C 退火, 可成功制备出颗粒大小为 2 μm 长的 CIGS 多晶薄膜。另外, Mo 薄膜层的衍射峰也一起显示了出来。

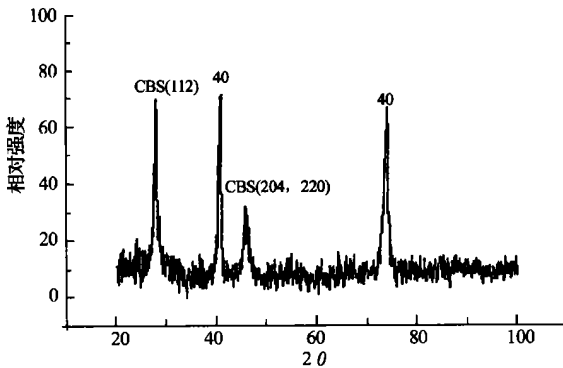


图 7 薄膜 CIGS/Mo/玻璃的多层结构 X 射线衍射谱

Fig. 7 X-ray diffraction profile of heat-treated CIGS/Mo/Soda-lime/Glass layer structure

利用 Alpha-step 厚度测试仪, 作出了如图 8 所示的 CIGS 薄膜厚度分析。从图中可见, 测试仪量得了平均值为 0.7 μm 和 2.3 μm 的两个薄膜层, 这分别为 0.7 μm 的 Mo 薄膜和 2.3 μm 的 Mo + CIGS 薄膜层。CIGS 薄膜层的实际厚度为 1.6 μm, 而且 CIGS 薄膜层是连续的。不均匀、波动的高峰反映了 CIGS 薄膜层表面的粗糙性, 跟从照片图 5 和图 6 上显示出大小不一的微粒粒子散布在表面上的结果一致。

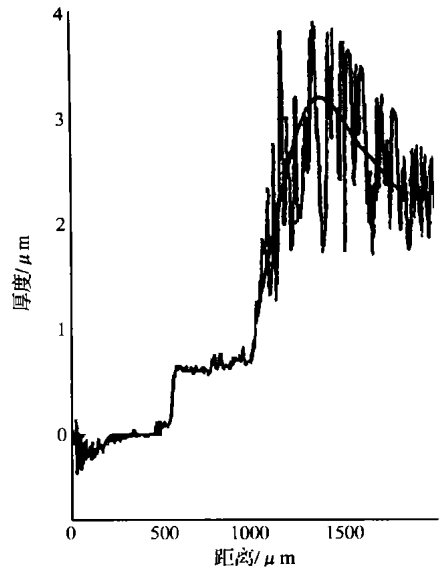


图 8 CIGS 薄膜厚度测试结果

Fig. 8 CIGS thin-film layer thickness measured by alpha-step Profile meter

3.3 CIGS 薄膜厚度和质量的重覆性

薄膜厚度和质量的重覆性对制作低成本、高效率的 CIGS 薄膜太阳电池非常重要。为了进一步了解本制备工艺的重覆性, 我们在每一个实验条件下都作了 10 次的试验, 从而制备出 10 件样品以作研究。所有制备出的样品无论在薄膜厚度或质量上跟上面描述的结果都很相近。

3.4 CIGS 薄膜和 CIS 薄膜制备和特性的比较

表 1 给出了 CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ (CIGS) 薄膜和 CuInSe₂ (CIS) 薄膜在制备过程和生成的薄膜特性的比较。

3.5 需要进一步改善的技术

要达到理想的 CIGS 薄膜用作制备太阳电池, 电淀积 CIGS 薄膜后退火的加工技术是重要的。最有效改善目前退火技术的方法就是利用一个石英盒盛载刚淀积生成的 CIGS 薄膜和硒(Se)粉, 然后放到石英管里, 把管内的空气抽出以达到高真空状态, 接着注入氩气(这个过程来回重覆 3 次)。加热石英管, 使样品在 Se 原子保护气氛下进行退火, 以防止 CIGS 薄膜表面的 Se 原子逃离出去。

另外, 作为制备太阳电池的 CIGS 薄膜必需具有平滑的表面和大小均一的颗粒。要达到这样的水平, 进一步的改善方法包括改善电积淀溶液的组份, 淀积速度, 特别是退火条件。

表 1 CIGS 和 CIS 薄膜制备工艺和特性的比较

Table 1 Comparisons of manufacturing characteristics and performance between CIS and CIGS thin films

	CIS 电沉积工艺	CIGS 电沉积工艺
淀积溶液	加入盐酸后, 溶液变得不清澈, 有白色的沉淀物	清澈的浅蓝色溶液, 加入了盐酸后没有沉淀物生成
电沉积电压	-1.8V	-1.8V
电沉积电流	20mA	25mA
薄膜的吸附性	一般	很好
薄膜表面形态	一般	在空气下进行退火后的 CIGS 薄膜表面比较粗糙

4 结 论

上面叙述了我们旨在向低成本、高效率太阳能电池产品研究发展的光伏有源材料 $\text{Cu-In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) 和新式薄膜原生成物溶液电沉积技术的优点。报告了在香港政府创新科技基金资助下第一阶段的科研中详尽的工艺流程和研究成果。实验结果表明: 高质量的 Mo 薄膜层已经在玻璃衬底上用磁控直流溅射法制得; CIGS 薄膜层可以通过简单而实用的二电极系统淀积出来。X 射线衍射谱显示出呈四角形结构的多晶 CIGS 的衍射峰 (112), (204, 220)。CIGS 薄膜的厚度和颗粒的平均长度分别为 $1.6\mu\text{m}$ 和 $2\mu\text{m}$ 。而且, 制备出的样品无论在薄膜厚度或质量上都有较好的重复性。这正好反映出这种新材料和薄膜技术对生产低成本、高效率太阳能电池无疑是非常有希望的。另外, 我们又对玻璃衬底的洁净度、对溅射 Mo 层和淀积 CIGS 层生成的影响作了进一步分析与讨论。

由于 CIGS 材料结构比较复杂, 实验研究只完成第一阶段, 对于 CIGS 薄膜厚度的均匀性、表面的平整度, 还需要进行大量的实验工作。

致谢:

非常感谢香港特别行政区创新科技署对本研究项目 (SERAP S/P005/00) 的资助。特别感谢香港特别行政区创新科技署郑君威博士对本项目提供的宝贵意见与帮助。感谢香港城市大学物理及材料学系朱剑豪教授和电子工程学系潘裕斌教授提供实验室设备以作研究和分析之用。

[参考文献]

- [1] 香港《大公报》, 2001 年 3 月 31 日 (A2 版)。
- [2] 香港《大公报》, 2001 年 3 月 30 日 (A4 版)。
- [3] Goetzberger A, Hebling C. Photovoltaic materials: past, present, future [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells 2000 (62): 1-19.
- [4] Thomas M G, Post H N, DeBlasio R. Photovoltaic sys-
- [5] Yukinori Kuwano. Recent progress and future prospects for Japan's photovoltaic power generating systems-towards a genesis project [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 1999, (7): 1-19.
- [6] Alsema E A. Energy pay-back time and CO₂ emissions of PV systems [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 2000, (8): 53-60.
- [7] Zheng G F, Shi Z, Bergmann R, et al. Thin film Silicon solar cells on glass by substrate thinning [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells 1994 (32): 129-135.
- [8] Green M A, Zhao J, Zheng G F, et al. 23.5% efficiency and other recent improvements in Silicon solar cell and module performance [A]. Proceedings of 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference [C], Amsterdam, 1994.
- [9] Zheng G F, Zhang W, Shi Z, et al. 16.4% efficient, thin active layer silicon solar cell grown by liquid phase epitaxy [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells 1996 (40): 231-238.
- [10] Zheng Guangfu, Wenham Stuart R, Green Martin A. 17.6% efficient multilayer thin-film silicon solar cells deposited on heavily doped silicon substrates [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 1996, (4): 369-373.
- [11] Zheng Guangfu. High efficiency thin-film silicon solar cells [D]. PhD thesis. The University of New South Wales, Sydney, Australia, 1996.
- [12] Contreras M A, Egaas B, Ramanathan K, Hiltner J, et al. Progress toward 20% efficiency in $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ polycrystalline thin-film solar cells [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 1999 (7): 311-316.
- [13] Schock H W, Noufi R. CIGS-based solar cells for the next millennium [J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2000 (8): 151-160.

- [14] Bhattacharya R N, Hiltner J F, Batchelor W, Contreras M A, et al. 15. 4% CuIn_{1-x}Ga_xSe₂-based photovoltaic cells from solution-based precursor films[J]. Thin Solid Films 2000, (361—362): 396—399.
- [15] Bhattacharya R N, Batchelor W, Granata J E, Hasoon F, et al. CuIn_{1-x}Ga_xSe₂-based photovoltaic cells from electrodeposited and chemical bath deposited precursors [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells 1998, 55: 83—94.
- [16] Andersson B A. Materials availability for large-scale thin-film photovoltaics[J]. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2000, (8): 61—76.

A NEW PHOTOVOLTAIC MATERIAL AND A NOVEL TECHNOLOGY FOR SOLAR CELLS

Yang Hongxing, Zheng Guangfu, Man Cheukho, An Dawei

(Centre for Development of Solar Energy Technology, Department of Building Services Engineering,
The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: The authors firstly described the advantages of the selected semiconductor photovoltaic active material CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ (CIGS) and the novel thin film precursor solution electro-deposition (ED) technology used in this project for obtaining low-cost high-efficiency thin-film solar cells. The detailed experimental processes of CIGS/Mo/glass structure are reported using the novel ED technology and the results are given in Phase-1 under support of the Innovation and Technology Fund (ITF) of The Government of The Hong Kong Special Administrative Region (HKSAR), CHINA. The results have shown that the CIGS polycrystalline thin film layer can be obtained by this simple ED method, in which the polycrystalline CIGS is definitely identified by the (112), (204, 220) characteristic peaks of the tetragonal structure, the continuous CIGS thin film layer with particles average size of about 2 μ m of length and around 1.6 μ m of thin film thickness. The thickness and solar-grade quality of CIGS precursor thin films can be produced with well repeatability. Discussion and analysis on the techniques and properties are also performed in this paper. These novel material and technology are very hopeful for low-cost high-efficiency thin film solar cell production.

Keywords: CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ (CIGS); photovoltaic material; electro-deposition (ED); thin film solar cell

联系人 E-mail: behxyang@polyu.edu.hk