

CdTe 太阳能电池的不同背电极和背接触层的特性研究*

宋慧瑾^{1)†} 郑家贵¹⁾ 冯良桓¹⁾ 蔡伟¹⁾ 蔡亚萍¹⁾ 张静全¹⁾ 李卫¹⁾
黎兵¹⁾ 武莉莉¹⁾ 雷智¹⁾ 鄢强²⁾

1) 四川大学材料科学与工程学院, 成都 610064)

2) 陕西科技大学材料科学与工程学院, 咸阳 712081)

(2006 年 7 月 3 日收到, 2006 年 8 月 12 日收到修改稿)

用 Ni 替代 Au 来作为 CdTe 太阳能电池的背电极, 比较了 Ni, Ni/Au, Au/Ni 及 Au 背电极对电池性能的影响. 发现 Ni 作为背电极和 ZnTe/ZnTe :Cu 复合层接触, 电池的开路电压 V_{oc} 略有降低, 填充因子 FF 有增有减, 变化幅度不大, 但因短路电流 I_{sc} 有较大的提高, 转换效率 η 平均增长 4%. 测试了不同背电极的 CdTe 太阳能电池的暗 $I-V$ 和 $C-V$ 特性, 对背电极剥离后的样品进行了 XPS 测试分析. 结果表明, Ni 扩散到 ZnTe/ZnTe :Cu 复合层的深度比 Au 多, 且大多呈离子态, 与 ZnTe/ZnTe :Cu 复合层中的富 Te 离子形成 Ni_xTe , 提高了掺杂浓度, 使电池性能获得改善.

关键词: 金属背电极, 复合背接触层, 转换效率, CdTe 太阳能电池

PACC: 7340L, 7360L, 7280E

1. 引言

CdTe 太阳能电池以其高效、低成本、便于大面积生产而成为当今最具前景的薄膜太阳能电池之一. 近年来对 CdTe 太阳能电池的研究取得了引人注目的进展^[1,2]. 其中一个主要的方向就是改进电池的背接触. 但由于 CdTe 的电子亲和势为 4.3 eV, 在室温下能隙约为 1.5 eV^[3]. 通常使用的高功函数导电材料, 如 Au, Ni, C 等, 仍难以和 p-CdTe 形成很好的欧姆接触^[4]. 这成为目前实际制备的 CdTe 太阳能电池的几个主要性能参数短路电流、开路电压、填充因子和转换效率与理论预期值相比, 有较大差距的主要原因之一.

以前的研究工作, 用 ZnTe/ZnTe :Cu 作为复合层, Au 作为 CdTe 太阳能电池的背电极取得了成功, 小面积 (0.502 cm²) 电池的效率已达 13.38%. 而作为地面能源, 太阳能电池研制的主要目标就是提高其光电转换效率, 降低成本以适应大规模生产的技术开发. 因此从大生产考虑, 宜选用成本较低的金属. Ni 的价格远低于 Au, 且 Ni 的功函数为 5.0 eV, 比 Au 的功函数 4.9 eV 略高^[5], 与半导体形成欧姆接触.

但金属与半导体接触是一个十分复杂的问题, 用 Ni 作为背电极后, 电池的性能会有什么变化令人十分关注, 但有关报道很少. 为此我们进行了大量的实验工作以进行对比.

2. 实验

2.1. 电池的制备

衬底为具有 SnO₂ :F 的透明导电膜玻璃. CdS 薄膜用化学池沉积 (CBD), CdTe 薄膜用近空间升华法沉积 (CSS). ZnTe 和 ZnTe :Cu 薄膜用自己设计和制造的双源共蒸发系统沉积. ZnTe/ZnTe :Cu 层的后处理是在氮气保护下的暗场退火. 太阳能电池的背电极——金膜, 用真空热蒸发沉积. 详细的制备和后处理方法, 见文献 [6—9]. 背电极——Ni 膜采用电子束蒸发法来制备, 如图 1 所示. 详细的制备和后处理方法, 见文献 [10].

2.2. $I-V$, $C-V$ 特性测试

暗态 $C-V$ 和 $I-V$ 特性分别使用 Agilent 公司的 4284A 和 4155C 半导体特性测试仪进行测量, 频率: 100 kHz—1 MHz, 扫描电压: -1.5 V—1.5 V. 光照 I -

* 国家 863 重点项目 (批准号 2003AA513010), 教育部博士点基金 (批准号 2005061010024) 和四川省科技厅应用基金 (批准号 2006J13-083) 资助的课题.

† E-mail: shj1437@163.com

V 输出特性使用西安交通大学研制的 XJCM-8 solar cell tester 测试.

其中 Ni 膜的厚度为 61.4 nm , Au 膜的厚度为 28.8 nm.

测试条件 样品是在中国科学院成都分院分析测试中心进行测试的 ,使用的仪器是英国 Kratos 公司生产的 XSAM800 多功能表面分析系统. AlK α (1486 eV) X 射线枪在 12 kV \times 15 mA 功率下工作 ,分析器采用高倍固定减速比高分辨模式 ,谱仪用 Au (BE_{Au4f} = 84.0 eV) 和 Ag (BE_{Ag3d} = 386.3 eV) 进行标样校正 . DS300 数据系统用来收集并处理数据 . 分析室的本底真空度为 6.7 \times 10⁻⁷ Pa.

3. 结果与分析

3.1. 性能参数对比

表 1 为 Au 和 Ni 分别作为背电极和有 ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层时的代表性电池的性能参数测试数据.

表 1 Au 和 Ni 分别作为背电极时的代表性电池的 J_{sc} , V_{oc} , FF , η 性能参数表

样品号	性能参数	电池结构	glass/SnO ₂ /F/CdS/CdTe/	Glass/SnO ₂ /F/CdS/CdTe/	Ni 对 Au 的增幅/%
		ZnTe/ZnTe :Cu/Au	ZnTe/ZnTe :Cu/Ni		
F8.4 (退火温度 :188℃)	\bar{J}_{sc} (mA/cm ²)		21.84	22.97	5.21
	\bar{V}_{oc} /mV		779.2	765.8	-1.72
	\bar{FF} /%		59.48	59.93	0.78
	$\bar{\eta}$ /%		10.14	10.55	4.03
最好电池样品	J_{sc} (mA/cm ²)		22.62	24.36	8.75
	V_{oc} /mV		787.5	775.23	-1.56
	FF /%		63.34	61.20	-3.38
	η /%		11.28	11.56	2.48

从表 1 可以看出 ,有 ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层时 ,用 Ni 替代 Au 作背电极后 , V_{oc} 均略有降低 ,但变化不大 ; FF 有增有减 ,变化幅度也不大 ;但因 J_{sc} 有较大的增加 ,平均增幅达到 5.22% ,使得太阳电

池的首要指标——转换效率有不同程度的增大.

表 2 为 Au/Ni 复合背电极和 Ni/Au 复合背电极和有 ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层时代代表性电池的性能参数测试数据.

表 2 Au/Ni 与 Ni/Au 复合背电极的代表性电池的 J_{sc} , V_{oc} , FF , η 性能参数表

样品号	性能参数	电池结构	glass/SnO ₂ /F/CdS/CdTe/	Glass/SnO ₂ /F/CdS/CdTe/	Ni/Au 对 Au/Ni 的增幅/%
		ZnTe/ZnTe :Cu/Au/Ni	ZnTe/ZnTe :Cu/Ni/Au		
S2 (退火温度 :192℃)	\bar{J}_{sc} (mA/cm ²)		20.15	20.78	3.13
	\bar{V}_{oc} /mV		754.71	756.46	0.23
	\bar{FF} /%		58.12	59.49	2.31
	$\bar{\eta}$ /%		8.91	9.43	5.84
最好电池样品	J_{sc} (mA/cm ²)		19.86	22.21	11.83
	V_{oc} /mV		786	766	-0.25
	FF /%		61.96	59	-3.16
	η /%		9.668	10.12	4.68

从表 2 可以看出 ,与用 Au/Ni 作为背电极相比 ,

当用 Ni/Au 作为背电极时 ,最明显的变化就是电池

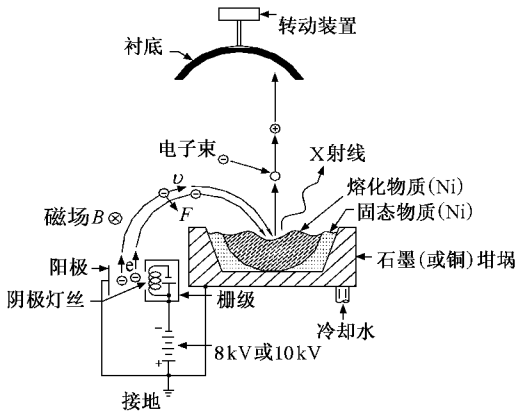


图 1 电子束蒸发装置示意图

2.3. XPS 测试

样品制备 :把一块 glass/SnO₂ :F/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu 的样品划成两块 ,分别镀上 Ni 膜和 Au 膜 ,

的 J_{sc} 有很大的增加,样品的 $\overline{J_{sc}}$ 的增幅也达到 11.38%, $\overline{V_{oc}}$ 和 $\overline{FF}(\%)$ 也有所增加,只是光生电流密度 J_L 有了极大的增加.从这个角度来说,用 Ni 替代 Au 作 CdTe 太阳能电池的背电极,不但可以将电池的转换效率升高至少四个百分点,而且大有希望降低在大规模生产中的成本,并最终降低 CdTe 太阳能电池每 W_p 的价格.

3.2. 暗特性分析

3.2.1. ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层与背电极的接触特性

图 2 为 ZnTe/ZnTe :Cu 与 Au 膜和 Ni 膜的暗态 $I-V$ 曲线.从图中可以看出,在外加偏压下,Au 膜和 Ni 膜与 ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层的暗态 $I-V$ 曲线均为直线,其电阻值相差不大,这表明 Au 膜和 Ni 膜均与 ZnTe/ZnTe :Cu 复合背接触层形成欧姆接触,有利于 p 型层的空穴向背电极输送.这主要是因为 Au 和 Ni 都是高功函数金属,其功函数相差不大(Au 是相对 $\overline{J_{sc}}$ 来说增幅不大,这样就大大提高了 η).当用 Ni 替代 Au 作背电极后,引起电流密度 J 增大的关键性因素的功函数为 4.9eV, Ni 的功函数为 5.0 eV).对 ZnTe 进行 Cu 重掺杂,其与高功函数金属接触时,隧道电流占主导地位,可形成近理想的欧姆接触.

3.2.2. 不同背电极的 CdTe 太阳能电池的暗态 $C-V$ 特性分析

在 pn 结中,势垒电容满足

$$C_T = A \left[\frac{q\epsilon_r\epsilon_0 N_D}{2(V_D - V)} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

则掺杂浓度 N_D 满足

$$\frac{d\left(\frac{1}{C^2}\right)}{dV} = \frac{2}{A\epsilon_r\epsilon_0 q N_D}, \quad (2)$$

其中 $\epsilon_0 = 8.845 \times 10^{-12}$ F/m, $\epsilon_r = 9.7$, $q = 1.602 \times 10^{-19}$ C, $A = 7.0 \times 10^{-2}$ cm².

Au 与 Ni 分别作为背电极时 CdTe 太阳能电池的 $1/C^2-V$ 曲线如图 3 所示,则其曲线斜率即为 $\frac{d(1/C^2)}{dV}$.

对于 Au 作为背电极, CdTe 太阳能电池的 $\frac{d(1/C^2)}{dV}$ 为 2.4×10^{19} , 故其掺杂浓度为 1.08×10^{14} cm⁻³.

同样可得出 Ni 作为背电极时,在同样条件下, CdTe 太阳能电池的掺杂浓度为 1.41×10^{14} cm⁻³.

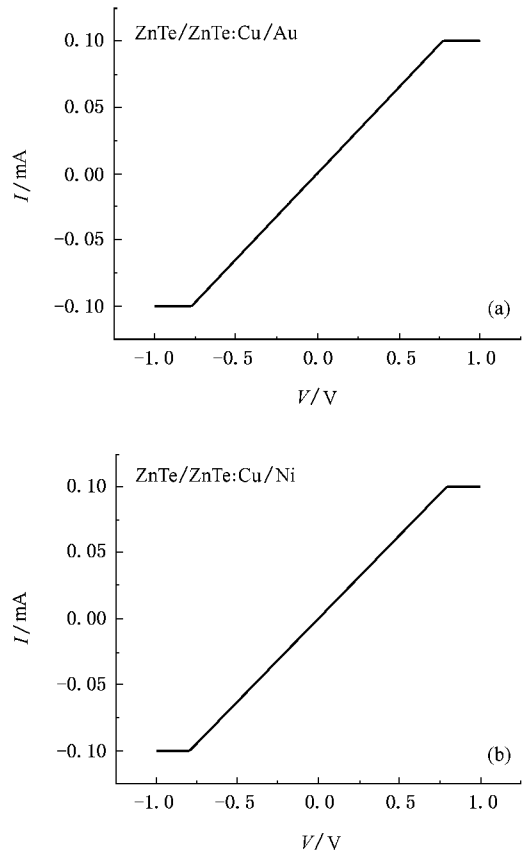


图 2 ZnTe :Cu/Au 和 ZnTe :Cu/Ni 的暗态 $I-V$ 曲线

可以看出,在相同的条件下,用 Ni 作为背电极比用 Au 作为背电极,电池的掺杂浓度要高.说明 Ni 作背电极比 Au 作背电极时,背电极层的金属扩散到 ZnTe/ZnTe :Cu 背接触层的要多,从而提高了掺杂浓度.

在一定的范围内,掺杂浓度提高, V_{oc} 也随之增大,这有利于转换效率的提高.但由于载流子的简并效应,过多的掺杂反而会降低 V_{oc} ,而且少数寿命也会降低.另外,当掺杂浓度从电池表面的扩散区向结的方向不均匀扩散时,可提高光生载流子的收集效率,有利于转换效率的提高^[11].Ni 替代 Au 作为背电极, J_{sc} 的提高幅度比 Ni/Au 替代 Au/Ni 作为背电极的要高,而 V_{oc} , Ni 替代 Au 作为背电极时略有降低, Ni/Au 替代 Au/Ni 作为背电极时略有提高.

3.3. 背电极剥离后的 XPS 分析

从暗态 $C-V$ 分析可知,背电极层的 Ni 扩散到 ZnTe/ZnTe :Cu 背接触层中的比 Au 的要多,为了进一步探究 Ni 和 Au 分别扩散到 ZnTe/ZnTe :Cu 背接触层中的具体情况,分别对其进行了 XPS 测试

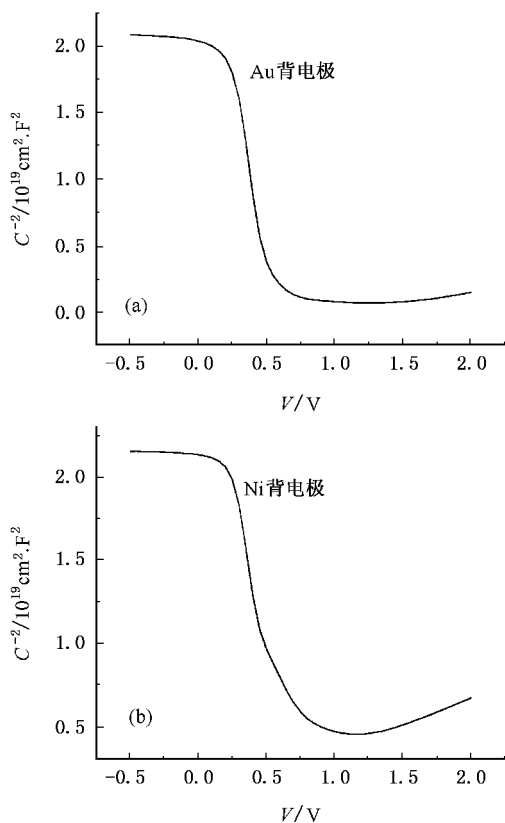


图 3 不同背电极的 CdTe 太阳能电池的暗态 $1/C^2-V$ 曲线

分析.

3.3.1. 第一次剥离后的 XPS 分析

利用 Ar 离子枪对 Au 作为背电极的样品刻蚀 28 nm, Ni 作为背电极的样品刻蚀 61 nm. 刻蚀完毕后, 发现原来表面为 Au 膜的样品肉眼已观察不到 Au 膜的存在, 而原来表面为 Ni 膜的样品依旧是 Ni 膜原来的颜色, 分别对其进行测试.

图 4 为 glass/SnO₂/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品 Au 膜剥离掉 28 nm 后 Au 的 XPS 图, 从图中可以看出, 两个峰分别位于结合能为 84.4 eV 和 88.1 eV 处. 对照 Au 的标准图谱, 可知这是 Au4f_{7/2} 峰和 Au4f_{5/2} 峰, 而且与 Au 单质的实际峰位几乎无偏移, 说明 Au 主要是以单质形式存在.

图 5 为 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品 Ni 膜剥离掉 61nm 后 Ni 的 XPS 能谱. 从图中可以看出, Ni2p_{3/2} 峰位于 855.2 eV 结合能处, 对照 Ni 标准图谱, 该峰有 3 eV 的化学位移, 说明 Ni 以 Ni²⁺ 存在. 右肩的伴峰在 861.437 eV 结合能处, 是 ZnO 的峰. Ni2p_{1/2} 峰在 872.56 eV 结合能处, 化学位移量比较小, 说明 Ni 以单质形式存在. 其右边结合能为

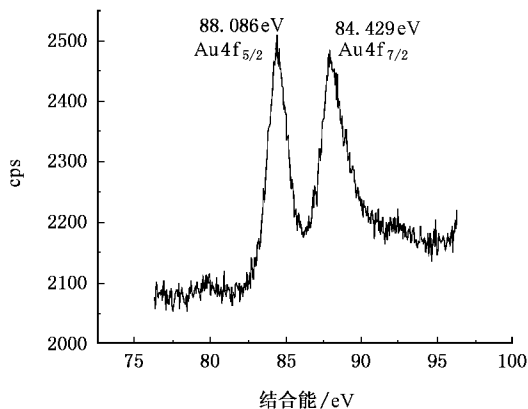


图 4 glass/SnO₂/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品 Au 膜剥离 28 nm 后 Au 的 XPS 图谱

878.839 eV 处的峰, 半高宽为 5.709 eV, 比另外三个峰的半高宽都要大, 这可能是位于样品表面 Ni 膜形成的峰.

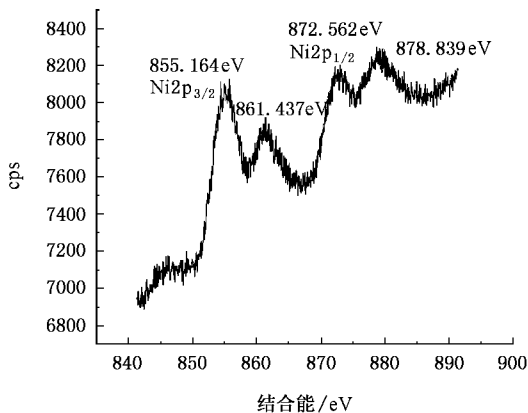


图 5 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品 Ni 膜剥离 61 nm 后 Ni 的 XPS 能谱

图 6 至图 9 分别是 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品和 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品 Au 膜和 Ni 膜分别剥离 28 nm 和 61 nm 后 Te 的 XPS 能谱和 Zn 的 XPS 能谱.

从图中可以看出, 不论是 Te 的峰还是 Zn 的峰, 在两样品中峰的位移变化都很小, 可以忽略不计, 说明两样品中 Te 和 Zn 的存在形式没有发生变化. 其中在两样品中, Te3d 的峰值位于 573.034 eV 和 583.372 eV 处, 高能端的 Te3d 结合能介于 TeO₂ 和 TeO₃ 的 Te3d 结合能之间(分别为 575.7 eV 和 576.6 eV), 说明薄膜表面中 Te 的氧化物是以 TeO₂, TeO₃ 两种形式存在; 低结合能端的结合能与数据库

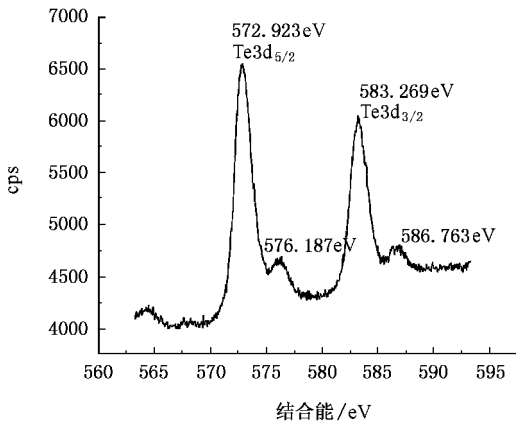


图 6 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品 Au 膜剥离 28 nm 后 Te 的 XPS 能谱

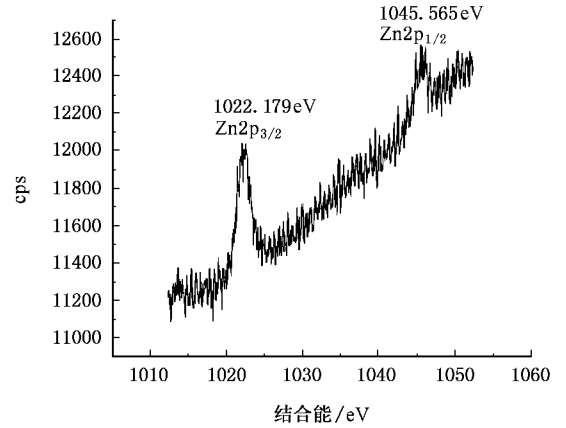


图 9 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品 Ni 膜剥离 61 nm 后 Zn 的 XPS 能谱

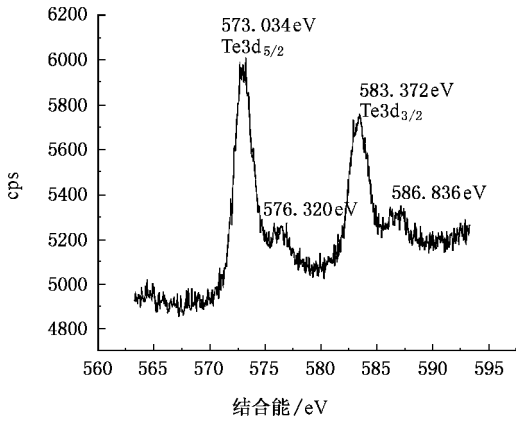


图 7 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品 Ni 膜剥离 61 nm 后 Te 的 XPS 能谱

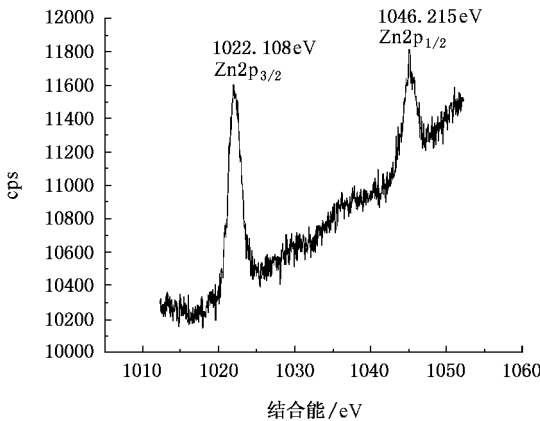


图 8 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品 Au 膜剥离 28 nm 后 Zn 的 XPS 能谱

两个小峰很难确定其价态,可能是 Te 和 ZnTe :Cu 中的 Cu 形成 Cu_xTe^[7]. 进一步比较两个样品中 Te 的图谱, glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品中, Te 的两个小峰的半高宽都比 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品中 Te 的半高宽大. 而从 Ni 的图谱中分析可知, Ni 也有以 Ni 离子态存在, 所以 Te 可能与扩散到 ZnTe/ZnTe :Cu 背接触层中的 Ni 形成 Ni_xTe, 而 Au 是以 Au 原子的形式存在, 不能和富 Te 离子形成化合物.

对 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Au 样品和 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe :Cu/Ni 样品进行 XPS 全谱定性扫描, 并根据相关元素能谱图峰的相对面积大小, 计算得到物质内部各元素的相对质量分数. 我们对各个样品运用 XPS 的 FAT(固定通能)分析模型得到的定量分析结果如表 3.

表 3 背电极剥离后不同样品中元素的相对原子百分含量

样品	ELEMENT	CPS	S. F.	CO. IN/%
glass/SnO ₂ /	Te	5499.8	5.4	55.03
CdS/CdTe/	Zn	2723.8	4.8	30.66
ZnTe/ZnTe :Cu	Cu	215	4.2	2.77
/Au 样品	Au	598.1	2.8	11.54
glass/SnO ₂ /	Te	2869.7	5.4	22.53
CdS/CdTe/	Zn	1681	4.8	14.85
ZnTe/ZnTe :Cu	Cu	378.7	4.2	3.82
/Ni 样品	Ni	4160.5	3	58.80

由表可知, 不论是那个样品中, Te 含量都远高于 Zn 的含量, 而且作为背电极的 Ni 的含量远远高于 Au 的含量. 为了进一步探究背电极层的原子扩散信息, 我们对样品继续剥离分析.

的数据比较得知, Te 是以 ZnTe 的形式存在. 但另外

3.3.2. 第二次剥离后的 XPS 分析

在第一次剥离的基础上,对 Au 作背电极的样品再剥离 10nm,对 Ni 作背电极的样品每 10nm 剥离一次进行观察,发现样品表面的颜色依旧显现的是 Ni 膜的颜色,没有太大变化,直到又剥离了 240nm,发现样品表面仍显现少许 Ni 膜的颜色.此时,对两

样品进行 XPS 扫描,Au 和 Ni 的谱图如图 10 和图 11 所示.

对比图 10 和图 4,可以看出,又剥离 10 nm 后,Au 的峰强大大减小,几乎可以忽略不计.通过定量计算,此时 Au 的相对原子百分含量为 1.77%.而图 11 中 Ni 的峰相对于图 5 中 Ni 的峰有所减弱,但仍有 9.08%的相对原子百分含量.

4. 结 论

1. 进行了不同金属(Au 和 Ni)背电极对 CdTe 太阳能电池性能影响的研究.通过具体的实验,并对实验结果进行分析得出:

1)在用 ZnTe/ZnTe:Cu 背接触层时,Ni 替代 Au 后, V_{oc} 略有降低,但变化不大; FF 有增有减,变化幅度也不大;但因 J_{sc} 有较大幅度的增加,使得太阳能电池的首要指标——转换效率有不同程度的增大.

2)在用 ZnTe/ZnTe:Cu 背接触层及 Au/Ni 和 Ni/Au 分别作为背电极时,电池的 J_{sc} 有很大的增加, $\overline{V_{oc}}$ 和 $\overline{FF}(\%)$ 也有所增加,只是相对 J_{sc} 来说增幅不大,这样就大大提高了 $\overline{\eta}$.

从上述两方面来说,用 Ni 替代 Au 作 CdTe 太阳能电池的背电极后,不但可以将电池的转换效率提高至少四个百分点,而且大有希望降低在大规模生产中的成本,并最终降低 CdTe 太阳能电池每 W_p 的价格.

2. Ni 膜和 Au 膜均能和 ZnTe/ZnTe:Cu 背接触层形成良好的欧姆接触.

3. 在相同的条件下,用 Ni 作为背电极比用 Au 作为背电极,电池的掺杂浓度要高.

4. Ni 扩散到 ZnTe/ZnTe:Cu 背接触层中的深度和浓度比 Au 的要多,且大多呈离子态存在,与 ZnTe/ZnTe:Cu 背接触层中的富 Te 离子形成 Ni_xTe ,而 Au 以原子态存在.

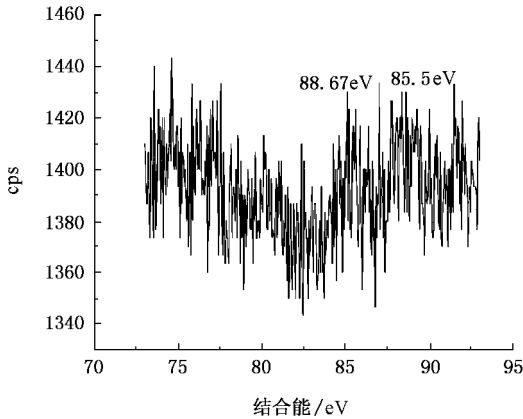


图 10 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe:Cu/Au 样品又剥离 10 nm 后 Au 的 XPS 能谱

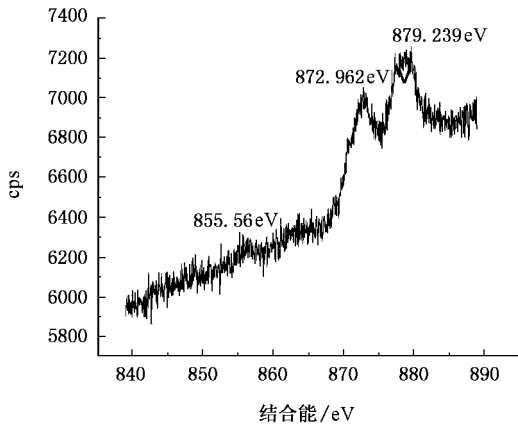


图 11 glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/ZnTe:Cu/Ni 样品又剥离 240 nm 后 Ni 的 XPS 能谱

[1] Wu X, Keane J C, Dhare R G *et al* 2001 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference 22 - 26
 [2] Ferekides C, Britl J, Ma Y *et al* 1993 Conf. Record, 23rd IEEE photovoltaic specialists conference 389
 [3] Chao J H, Turner A, McClure J C *et al* 1996 IEEE Technical Digest of the International PVSEC-9, Miyasaki 25 - 26

[4] Ponpon J 1985 *Solid-State Electron* 28 689
 [5] Chao J H, Turner A, McClure J C *et al* 1996 Transparent ITO-CdTe contacts for thin film CdS-CdTe technical digest of the international PVSEC-9. IEEE Technical Digest of the International PVSEC-9 425 - 426
 [6] Feng L H, Cai W, Zheng J G *et al* 2001 *Acta Energiæ Solaris*

- Sinica* **22** 403 (in Chinese) [冯良桓、蔡 伟、郑家贵等 2001 太阳能学报 **22** 403]
- [7] Zhang J , Feng L , Cai W *et al* 2002 *Thin Solid Films* **414** 113
- [8] Zheng J G , Zhang J Q , Cai W *et al* 2001 *Chinese Journal of Semiconductors* **22** 171 (in Chinese) [郑家贵、张静全、蔡 伟等 2001 半导体学报 **22** 171]
- [9] Li W , Feng L H , Wu L L *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1879 (in Chinese) [李 卫、冯良桓、武莉莉等 2005 物理学报 **54** 1879]
- [10] Song H J , Yan Q , Zheng J G *et al* 2005 *Journal of Sichuan University* **42** 311 (in Chinese) [宋慧瑾、鄢 强、郑家贵等 2005 四川大学学报 **42** 311]
- [11] Yang X W , Zheng J G , Zhang J Q *et al* 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2504 (in Chinese) [杨学文、郑家贵、张静全等 2006 物理学报 **55** 2504]

Performance of CdTe solar cells with different back electrodes and back contact layers^{*}

Song Hui-Jin^{1)†} Zheng Jia-Gui¹⁾ Feng Liang-Huan¹⁾ Cai Wei¹⁾ Cai Ya-Ping¹⁾ Zhang Jing-Quan¹⁾
Li Wei¹⁾ Li Bing¹⁾ Wu Li-Li¹⁾ Lei Zhi¹⁾ Yan Qiang²⁾

¹ *Collage of the Material Science & Engineering , Sichuan University , Chengdu 610064 , China*

² *Collage of the Material Science & Engineering Shanxi Science and Technology University , Xianyang 712081 , China*

(Received 3 July 2006 ; revised manuscript received 12 August 2006)

Abstract

In this paper , the effects of Ni and Au back electrode on the performance of CdTe solar cells and the mechanisms have been studied by experiment . Among the back electrodes of Ni , Ni/Au , Au/Ni and Au film , only when the Ni film contacts the ZnTe/ZnTe :Cu complex layers , does the conversion efficiency increase with the short current increasing . So it is probable that the conversion efficiencies of cells will be increased by 4% at least , and the cost in large scale manufacturing will be cut down . By analyzing the dark $C-V/I-V$ cures and the XPS using different back electrode films , it has been found the concentration and depth of Ni diffusion in the ZnTe/ZnTe :Cu back contact layer are greater than that of Au . What 's more , most Ni^{x+} combine with the abundant Te ions in ZnTe/ZnTe :Cu back contact layer to form the Ni_xTe . So the diffusion concentration is increased , which makes the characters of CdTe improved .

Keywords : mental back electrode , complex back contact layer , efficiency , CdTe solar cell

PACC : 7340L , 7360L , 7280E

^{*} Project supported by the Development Program (863 program) of China (Grant No. 2003AA513010) , the Doctor Found of Education Department (Grant No. 2005061010024) and the Applying Found Program of Sichuan Science and Technology Department (Grant No. 2006J13-083) .

[†] Corresponding author . E-mail : shj1437@163 . com