

文章编号:0254-0096(2018)05-1329-06

高迁移率 IWO 薄膜特性及其在薄膜硅/晶体硅异质结太阳能电池中的应用研究

沈磊磊^{1,2}, 孟凡英^{1,2}, 石建华^{1,2}, 刘正新^{1,2}

(1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所新能源技术中心, 上海 201800; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 采用反应等离子沉积(RPD)技术在玻璃衬底上制备掺 W 的 In_2O_3 (IWO) 薄膜, 实验发现氧偏压对薄膜特性影响较大。研究氧偏压对 IWO 薄膜光电特性的影响, 低温条件下制备的薄膜结晶性较好, IWO 迁移率达到 $60.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。经过退火处理后, IWO 的迁移率达到 $120.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 以上。基于 X 射线衍射(XRD)和变温霍尔效应测试分析, 高迁移率主要归因于良好的结晶性以及较低的晶界势垒。最后将优化的 IWO 薄膜应用到薄膜硅/晶体硅异质结(SHJ)太阳能电池中, 高迁移率有助于提高电池的短路电流和填充因子, 获得高达 22.3% 的光电转换效率。

关键词: 透明导电薄膜; IWO; 迁移率; 异质结太阳能电池

中图分类号: TM914.4

文献标识码: A

0 引 言

透明导电氧化物薄膜(TCO)在平板显示器、触摸屏、LED 和太阳能电池等光电器件中都有广泛应用^[1,2]。最常见的 TCO 有掺 Sn 的 In_2O_3 (ITO)^[3,4] 和掺 Al 的 ZnO(AZO)^[5,6] 等, 其电阻率可达 $10^{-5}\sim 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$, 可见光透过率在 80.0% 以上。通常情况下, 高迁移率的 TCO 不仅有助于在不损失光学透过率的情形下提高其电导率, 还能提升光电器件的运行速率。与传统 TCO 相比, 掺 W 的 In_2O_3 (IWO) 薄膜由于其低电阻率、高迁移率和宽光谱范围的高透光率, 受到越来越多的关注。常规生长 IWO 的方法有溶胶凝胶法、脉冲激光沉积、磁控溅射沉积和离子束沉积。然而这些方法需要在较高的生长温度下才能获得高迁移率的 IWO 薄膜^[7,8], 在低温下(小于 200°C) 生长的 IWO 薄膜通常只有较低的迁移率(小于 $40.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$), 即使经过后续高温退火也很少有超过 $50.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ^[9-11]。但在薄膜硅/晶体硅异质结(SHJ)太阳能电池中, 由于过高的温度会引起晶硅衬底外延生长而损害非晶硅薄膜层对异质结电池的钝化作用, 非晶硅薄膜层需要在较低的温度下完

成沉积(小于 250°C)。因此要求 IWO 薄膜的制备工艺低温和低轰击损伤, 且 IWO 薄膜具有较高的霍尔迁移率。反应等离子沉积(RPD)就是这样一种沉积方式。这种技术具有高沉积速率、低沉积温度、大面积均匀沉积和稳定性高的优点^[12]。

本文采用 RPD 技术在玻璃衬底上制备 IWO 薄膜, 研究氧偏压和不同退火温度、时间和气氛对 IWO 薄膜光电特性的影响。研究发现, 100°C 生长的 IWO 薄膜可通过调节氧偏压达到 $60.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 的迁移率, 经过一定退火处理, 迁移率可达 $120.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 以上。通过变温霍尔效应测试研究其物理机理发现, 晶界散射在低温时起主导作用, 晶界处的氧原子的脱吸附导致晶界势垒的变化, 严重影响 IWO 薄膜的迁移率。最后结合薄膜硅/晶体硅异质结(SHJ)太阳能电池的实际需求, 通过优化 IWO 薄膜的制备工艺来提升电池的转换效率。

1 实验方法

本文利用 RPD 技术在玻璃衬底(康宁 7059)上制备 IWO 薄膜, 靶材为质量分数 3% 的掺 WO_3 的 In_2O_3 陶瓷靶。玻璃衬底尺寸为 $5 \text{ cm}\times 5 \text{ cm}$, 清洗时

收稿日期: 2016-04-06

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划(2011AA050501); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KGCX2-Y-YW-399+11); 上海张江国家自主创新示范区专项发展基金(ZJ2015-ZD-001)

通信作者: 孟凡英(1971—), 女, 博士、研究员, 主要从事高效太阳能电池和透明导电薄膜方面的研究。fymeng@mail.sim.ac.cn

分别经过丙酮、酒精、去离子水超声 15 min,并用 N_2 气吹干。IWO 薄膜的沉积温度为 100 $^{\circ}C$,沉积时间设定 3 min,沉积压强在 0.25~0.45 Pa,所得薄膜厚度均控制在 80 nm(78.6~81.2 nm)左右,由椭圆偏振仪(J. A. Wollam Co., Inc. M-2000)表征。薄膜的电学特性由霍尔效应测试仪(ECOPIA HMS-5300)测定,光学特性则用紫外-可见-近红外(UV-VIS-NIR)分光光度计(PERKIN-ELMER Lambda 950)测量。IWO 薄膜的晶体结构由 X 射线衍射(XRD)测定,线源为 $Cu K_{\alpha}$ (Rigaku D/max 2200 VPC)。

2 结果和讨论

2.1 氧偏压比对 IWO 薄膜特性的影响

氧偏压是沉积 IWO 薄膜的关键参数,对薄膜的光电特性影响显著。如图 1 所示为氧偏压对 IWO 薄膜电学特性的影响,测量不同氧偏压下制备的 IWO 薄膜的载流子浓度、电阻率和霍尔迁移率。结果表明,随氧偏压的增大,氧空位被多余的氧占据,导致载流子浓度持续减小,从 $4.17 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 降至 $1.01 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。IWO 是 n 型半导体,其中的多数载流子由氧空位和替位 W^{6+} 提供。氧偏压较低时,薄膜内存在严重的氧空位,扰乱晶格排列的周期性,导致薄膜迁移率降低,电阻率升高。随着氧偏压的增大, W^{6+} 完全发挥了施主的作用,使得电阻率在氧偏压为 0.08 Pa 时降到最低。迁移率快速提升至约 $60.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,并在氧偏压 0.08~0.24 Pa 范围内保持在 $50.0 \sim 60.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 的较高水平,相比于低温生长的 ITO 薄膜(其迁移率通常在 $30.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 左右),IWO 薄膜的迁移率要高得多。这是因为在

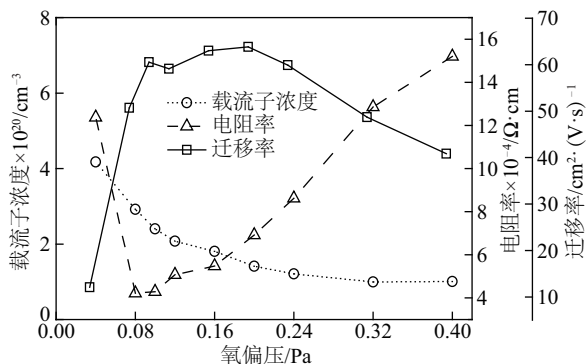


图1 氧偏压对 IWO 薄膜电学特性的影响

Fig. 1 The effect of oxygen partial pressure on the electrical properties of IWO films

ITO 中,2 个 Sn^{4+} 替代 In^{3+} 并与间隙氧形成中性复合体,并不产生载流子(如式(1)所示)^[13],而在 IWO 中,1 个 W^{6+} 替代 In^{3+} 的过程中会产生额外的 1 个电子(如式(2)所示),这说明 IWO 薄膜中掺杂离子和中性复合体较少,导致相对较弱的电离杂质散射中性粒子散射。而氧偏压继续增大会使薄膜中的含氧量增加,多余氧会占据氧空位的位置使得氧空位减少,也会使一部分 W^{6+} 替代离子与多余氧结合形成 W-O 中性复合对而失去有效掺杂作用^[14],结果导致电阻率在氧偏压大于 0.10 Pa 后不断升高。此外,过多的氧含量造成沉积的薄膜接近化学计量比直至成为绝缘体,电阻率的持续上升导致迁移率在氧偏压大于 0.20 Pa 后开始降低。

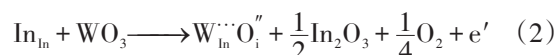


图 2 表示氧偏压对 IWO 薄膜光学透过率的影响,当氧偏压为 0.04 Pa 时,由于薄膜内存在严重的氧空位而使得薄膜呈现类金属的颜色而失去透明性,

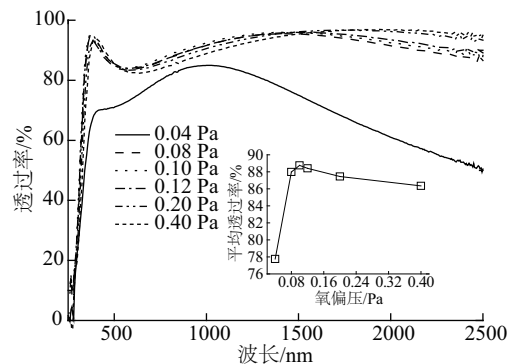


图2 氧偏压对 IWO 薄膜光学透过率的影响
(内图是 350~1100 nm 波段的平均透过率)

Fig. 2 The effect of oxygen partial pressure on the optical properties of IWO films
(the inset shows the mean transmittance in 350~1100 nm)

透过率大大低于其他条件生长的薄膜,平均透过率低于 80.0% (350~1100 nm)。当氧偏压大于 0.08 Pa 时,IWO 薄膜的平均透过率维持在 85.0% 以上,并在氧偏压为 0.10 Pa 时取得最大值 88.8%。随着氧偏压的增大,IWO 薄膜在 500~1500 nm 波段的透过率缓慢降低,而在 1500~2500 nm 波段的透过率却随之增大,平均透过率从 0.08 Pa 时的 91.4% 上升到 0.40 Pa 时的 96.2%。这跟载流子浓度的变化

相一致,薄膜内的载流子对近红外波段的光吸收显著,较低的载流子浓度降低薄膜在近红外波段的光吸收。综合比较 IWO 薄膜的光电特性,在氧偏压为 0.10 Pa 条件下制备的 IWO 薄膜性能最佳,迁移率达到 $60.5 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$,电阻率为 $4.38 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$,载流子浓度达到 $2.35 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$,且在 350~1100 nm 波段平均透过率达 88.8%,是用作硅异质结太阳能电池窗口层材料的最佳选择。

此外,对制备的 IWO 薄膜进行 XRD 表征,结果如图 3 所示。除氧偏压为 0.04 Pa 条件下生长的薄膜外,其他薄膜均呈现良好的结晶性,且在 (222) 方向择优生长。氧偏压为 0.04 Pa 生长的薄膜呈现非晶结构,这与前面测得的极低迁移率相吻合。

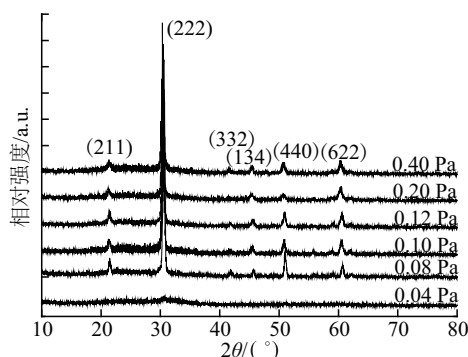


图3 不同氧偏压条件下的IWO薄膜的XRD图谱

Fig. 3 XRD patterns of IWO films with different oxygen partial pressure

2.2 退火对IWO特性的影响

退火处理对提高薄膜的光电特性十分重要,恰当的处理可以极大地提升薄膜特性,进而提升应用薄膜的光电器件的性能。

选取氧偏压为 0.10 Pa 条件生长的 IWO 薄膜进行退火处理,分别在 Ar 气和空气中 200 °C 退火 30、60、120、180 和 300 min,然后测量薄膜的电学特性。图 4 显示退火时间对 IWO 薄膜迁移率和电阻率的影响,在 Ar 气中退火,随着退火时间的增加,IWO 薄膜的迁移率不断增大,电阻率不断减小,迁移率从 $76.5 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 上升到 $84.7 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$,且电阻率从 $3.07 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ 降至 $2.92 \times 10^{-4} \Omega\cdot\text{cm}$ 。这主要得益于退火后薄膜的结晶性得到改善,从而提高电学性能。但在空气中退火,IWO 薄膜的迁移率先增加再减小,在退火 120 min 后达到最大的 $77.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。这主要由于薄膜退火过程中晶界处的氧原子存在一个动态的脱吸附过程,过长的退

火时间可能使吸附的氧原子大于脱附的氧原子,晶界处的氧原子形成了捕捉电子的陷阱,从而降低了载流子的迁移率^[15, 16]。因此在空气中退火时退火时间是关键参量。

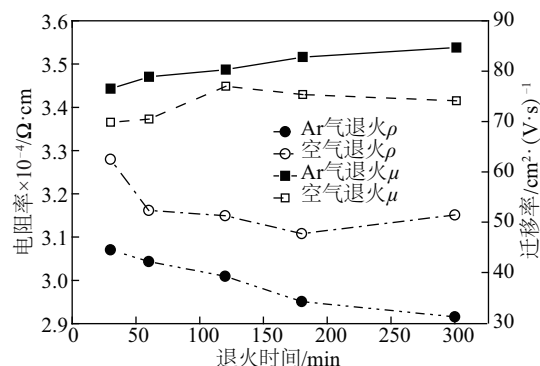


图4 退火时间对IWO薄膜电阻率(ρ)和迁移率(μ)的影响

Fig. 4 Effect of the annealing time on resistivity and mobility of IWO films

图 5 显示不同退火温度下,IWO 薄膜在 Ar 气和空气中退火后电阻率和迁移率的变化。在退火温度 200~400 °C 范围内,IWO 薄膜的电学特性变化不大,但当退火温度达到 500 °C,经 Ar 气退火处理的 IWO 薄膜迁移率突然大增,高达 $122.1 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$,而经空气退火的薄膜迁移率却大幅下滑至 $34.5 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。图 6 为 IWO 薄膜在 2 种气氛中 500 °C 退火后的透过率,可看出,相比原沉积的薄膜,由于退火后载流子浓度的下降,在长波部分自由载流子吸收有很明显的削弱,导致透过率有很大的提升。但不同气氛的退火透过率没有明显的差异,而且从 XRD 内图来看,不同气氛退火的薄膜峰位和强度基本一致,这说明结晶性不是导致空气中退火后 IWO 薄膜迁移率降低的主要原因。

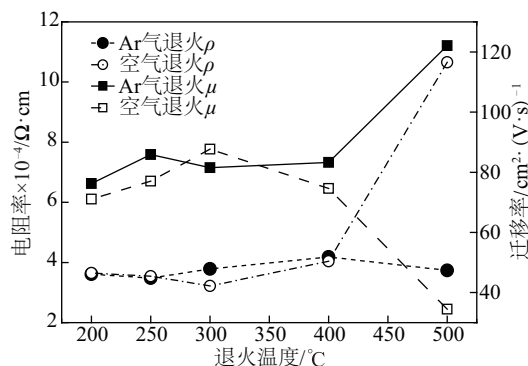


图5 退火温度对IWO薄膜电阻率(ρ)和迁移率(μ)的影响

Fig. 5 Effect of the annealing temperature on resistivity and mobility of IWO films

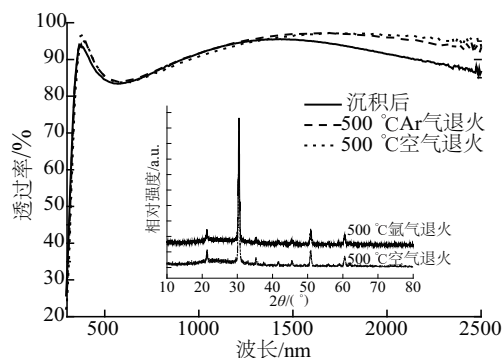
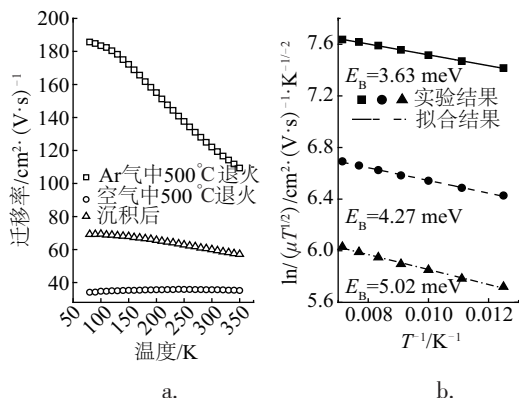


图6 IWO 薄膜的透过率

(内图是 IWO 薄膜退火后的 XRD 图)

Fig. 6 Optical transmittance spectra of IWO films (the inset shows the XRD patterns after annealing)

为进一步探究不同气氛退火后迁移率变化的原因,进行变温霍尔效应测试。IWO 薄膜霍尔迁移率随温度的变化如图 7a 所示,在 Ar 气和空气中 500 °C 退火后,测得的变温霍尔曲线截然不同。一般来说,多晶 TCO 薄膜的散射机制主要有电离杂质散射、中性杂质散射、晶格振动散射和晶界散射^[17]。经空气 500 °C 退火的 IWO 薄膜的迁移率随温度的变化相对较小,说明电离杂质散射和中性杂质散射起主导作用^[18],特别是在 150~350 K 的高温区间,晶格振动散射非常微弱。相反,未做退火处理的 IWO 薄膜和经 Ar 气 500 °C 退火的 IWO 薄膜随温度的变化明显,在 80~150 K 缓慢下降,当 $T > 150$ K 时,随温度的升高,薄膜的迁移率更快速的下降,说明此阶段晶格振动散射开始起主导作用,同时电离杂质散射也得到加强。由于 IWO 是多晶薄膜,晶粒较小,晶界散射不可忽视。晶界散射主要在低温区起主导作用,晶界势垒的高低强烈影响薄膜的迁移率。

图7 IWO 薄膜霍尔迁移率随温度的变化(a), $\ln(\mu T^{1/2})$ 与 T^{-1} 之间的变化关系(b)Fig. 7 Variation of Hall mobility as a function of temperature for IWO films (a), Variation of $\ln(\mu T^{1/2})$ Versus T^{-1} (b)

当晶界散射作为主要散射机制时,迁移率随着温度的变化可以表示为^[17]:

$$\mu_g = AT^{-1/2} \exp[-(E_B/kT)] \quad (3)$$

式中, E_B —— 晶界势垒; $A = el/(2\pi m^* k)^{1/2}$ 是一常数。由式(3)变形可得到:

$$\ln(\mu T^{1/2}) = \ln A - \frac{E_B}{k} T^{-1} \quad (4)$$

由(4)式可见,等式右边第一项为常数项,故 $\ln(\mu T^{1/2})$ 与 T^{-1} 成正比关系。根据实验结果,计算可得两者间的关系,结果如图 7b 所示,各薄膜线性非常好。根据拟合结果,可得未做退火处理的薄膜晶界势垒为 4.27 meV, 500 °C 空气中退火后升至 5.02 meV, 而 500 °C Ar 气中退火后却降至 3.63 meV。显然, IWO 薄膜在低温时受晶界散射所主导,且薄膜在 Ar 气中高温退火后可以降低晶界势垒从而提高迁移率,而在空气中高温退火却由于晶界势垒升高导致迁移率急剧下降。晶界势垒的升高和降低与晶界处氧原子的脱吸附有很大关系,在空气中高温退火,更多的氧原子进入晶界,形成电子的捕获陷阱,而在 Ar 气中高温退火却恰好相反,有一部分被吸附的晶界氧原子逸出薄膜,从而降低晶界势垒,提高薄膜的迁移率。

2.3 SHJ 太阳能电池应用

将 IWO 薄膜作为窗口层应用到 SHJ 太阳能电池中,电池的制备过程如下:选用 100 μm 厚 5 cm×5 cm 的 n 型硅片 (Cz, 1~7 $\Omega \cdot \text{cm}$), 经过标准清洗后在 PECVD 中一面沉积 i/p 非晶硅层形成 pn 结, 另一面沉积 i/n 非晶硅层形成背表面场; 然后在 RPD 中沉积 IWO 薄膜, 由于 i/p 非晶硅层一侧为入光面, 需沉积不同氧偏压条件下的 IWO 薄膜来研究其对电池性能的影响, 而 i/n 一侧的 IWO 薄膜保持相同条件; 最后丝网印刷电极, 烧结后进行标准测试, 结果如图 8 所示。随 IWO 薄膜迁移率的增大, 电池效率随之上升, 高迁移率保证薄膜良好的光电特性, 也确保电池高的短路电流和填充因子。过低的氧偏压沉积的 IWO 薄膜透过率偏低影响电池的短路电流, 而过高氧偏压沉积的 IWO 薄膜则电阻率偏大影响电池的填充因子, 均不适合制备 SHJ 太阳能电池。本实验中, 氧偏压为 0.10 Pa 沉积的 IWO 薄膜是制备 SHJ 电池的最佳工艺条件, 经 200 °C 空气退火后迁移率最高可达 77.0 $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$, 应用到电池上获

得高达 22.3% 的转换效率(如图 8 内图所示)。

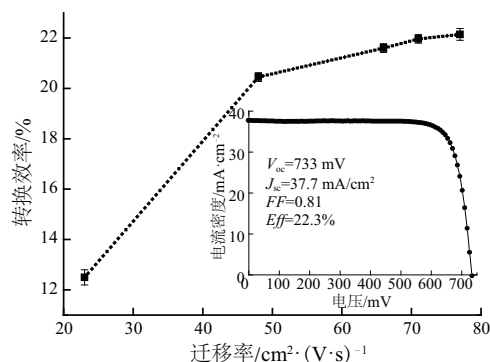


图8 IWO薄膜迁移率对电池效率的影响
(内图为最优IWO薄膜的电池效率 J - V 曲线图)

Fig. 8 The effect of mobility of IWO films on efficiency of solar cells(The insets shows the current density-Voltage characteristics of SHJ solar cell utilizing an optimized IWO layer)

3 结 论

本文采用 RPD 技术在低温下制备高迁移率的 IWO 薄膜,着重研究氧偏压和不同退火条件对 IWO 薄膜光电特性的影响。结果表明,氧偏压为 0.10 Pa 时,IWO 薄膜可获得最佳的光电性能,迁移率达 $60.5 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,电阻率为 $4.38 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$,载流子浓度达 $2.35 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$,且在 350~1100 nm 波段平均透过率达 88.8%。此外,IWO 薄膜经过不同气氛、温度和时间退火后电学性质发生明显变化,在空气中适当的退火时间和温度有助于提升薄膜的迁移率。IWO 薄膜在 Ar 气中 500 °C 退火 30 min 后,迁移率高达 $122.1 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$,进而通过变温霍尔实验,分析不同退火气氛下处理的 IWO 薄膜的散射机制,探讨导致高迁移率的物理机理。结果显示,晶界氧原子的脱吸附造成晶界势垒的变化可能是导致不同气氛高温退火后迁移率变化的原因。最后,将优化的 IWO 薄膜应用到 SHJ 太阳能电池中,获得高达 22.3% 的转换效率。

致 谢:感谢中国科学院上海微系统所-常州天合光能有限公司“薄膜硅/晶体硅异质结高效率太阳能电池”联合实验室研发小组全体成员的贡献,感谢西安隆基硅材料股份有限公司提供硅片。

[参考文献]

[1] Koida T, Fujiwara H, Kondo M. High- mobility

hydrogen-doped In_2O_3 transparent conductive oxide for a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2009, 93(6): 851—854.

[2] Xu S, Liang Z, Shen H. The preparation of AZO/a-Si/c-Si heterojunction structure on p-type silicon substrate for solar cell application[J]. Materials Letters, 2014, 137(15): 428—431.

[3] Dao V A, Choi H, Heo J, et al. RF- Magnetron sputtered ITO thin films for improved heterojunction solar cell applications[J]. Current Applied Physics, 2010, 10(3): S506—S509.

[4] Zhao L, Zhou Z B, Peng H, et al. Indium tin oxide thin films by bias magnetron RF sputtering for heterojunction solar cells application[J]. Applied Surface Science, 2005, 252(2): 385—392.

[5] 王治安,王军生,韩大凯,等.衬底温度对AZO薄膜结构和光电性能影响的研究[J].太阳能学报,2013,34(2): 223—226.

[5] Wang Zhian, Wang Junsheng, Han Dakai, et al. Effect of substrate temperature on structural and photoelectric properties of AZO thin films[J]. Acta Energeiae Solaris Sinica, 2013, 34(2): 223—226.

[6] Liu Y, Huang Q, Bai L, et al. Textured transparent conductive B/Al doped ZnO films utilizing reactive magnetron sputtering[J]. Rsc Advances, 2015, 5(113): 92829—92835.

[7] 李桂峰,张群,王颖华,等.高迁移率IWO透明导电氧化物薄膜制备及其退火处理研究[J].真空科学与技术学报,2008,28(2): 95—98.

[7] Li Guifeng, Zhang Qun, Wang Yinghua, et al. Growth and annealing of high mobility transparent conductive tungsten- doped indium oxide films[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2008, 28(2): 95—98.

[8] 任世荣,陈新亮,张存善,等. SiO_2 阻挡层对电子束沉积法生长高迁移率IWO薄膜性能的影响[J].人工晶体学报,2011,40(4): 843—847.

[8] Ren Shirong, Chen Xinliang, Zhang Cunshan, et al. Effects of SiO_2 buffer layer on the properties of high mobility IWO thin films grown by electron beam deposition[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2011, 40(4): 843—847.

[9] Feng J H, Yang M, Li G F, et al. Amorphous tungsten-doped In_2O_3 transparent conductive films deposited at room temperature from metallic target [J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2009, 355(14): 821—825.

- [10] Abe Y, Ishiyama N, Kuno H, et al. Amorphous indium tungsten oxide films prepared by DC magnetron sputtering[J]. Journal of Materials Science, 2005, 40 (7): 1611—1614.
- [11] 张远鹏, 王文文, 秦诗瑶, 等. 氧分压对 IWO 薄膜表面形貌及光电性能的影响[J]. 大连理工大学学报, 2011, 51(S1): S5—S8.
- [11] Zhang Yuanpeng, Wang Wenwen, Qin Shiyao, et al. Influence of oxygen partial pressure on surface morphology, electrical and optical properties of IWO film [J]. Journal of Dalian University of Technology. 2011, 51(S1): S5—S8.
- [12] Kakeno T, Sakai K, Komaki H, et al. Dependence of oxygen flow rate on piezoelectric photothermal spectra of ZnO thin films grown by a reactive plasma deposition [J]. Materials Science and Engineering: B, 2005, 118 (1): 70—73.
- [13] Meng Y, Yang X L, Chen H X, et al. Molybdenum-doped indium oxide transparent conductive thin films [J]. Journal of Vacuum Science & Technology A, 2002, 20(1): 288—290.
- [14] Li Y, Wang W W, Zhang J Y, et al. Preparation and properties of tungsten-doped indium oxide thin films[J]. Rare Metals, 2012, 31(2): 158—163.
- [15] Dixit A, Sudakar C, Naik R, et al. Undoped Vacuum annealed In_2O_3 thin films as a transparent conducting oxide [J]. Applied Physics Letters, 2009, 95 (19): 192105.
- [16] Zhang D H. Fast photoresponse and the related change of crystallite barriers for ZnO films deposited by RF sputtering [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 1995, 28(6): 1273—1277.
- [17] Zhang D H, Ma H L. Scattering mechanisms of charge carriers in transparent conducting oxide films [J]. Applied Physics A, 1996, 62(5): 487—492.
- [18] Koida T, Kondo M. High electron mobility of indium oxide grown on yttria-stabilized zirconia [J]. Journal of Applied Physics, 2006, 99(12): 123703.

STUDY OF HIGH MOBILITY IWO THIN FILMS AND ITS APPLICATION TO SHJ SOLAR CELLS

Shen Leilei^{1,2}, Meng Fanyang^{1,2}, Shi Jianhua^{1,2}, Liu Zhengxin^{1,2}

(1. Research Center for New Energy Technology, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: W-doped In_2O_3 (IWO) thin films are deposited on glass by the reactive plasma deposition (RPD) process. The influence of oxygen partial pressure on the structure, electrical and optical properties of IWO thin films is investigated. The mobility of the as-deposited films fabricated at low temperature can reach $60.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$. The mobility can even get higher than $120.0 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ after annealing. Based on X-Ray Diffraction (XRD) and temperature-dependent Hall effect measurements, we found that the high mobility of IWO films is due to the good crystalline and low grain-boundary barrier. Then the optimized IWO films are applied into silicon heterojunction solar cells. As the IWO films with high mobility can improve the short-circuit current and fill factor of solar cells, the highest conversion efficiency of 22.3% is obtained by optimization.

Keywords: transparent conducting films; IWO; mobility; heterojunction solar cells