

ТЕХНОЛОГИЯ ВИРОБНИЦТВА СЕНСОРИВ

SENSORS PRODUCTION TECHNOLOGIES

УДК 621.315

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ nITO/pInP, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ПУЛЬВЕРИЗАЦИИ

*А. В. Симашкевич¹, Д. А. Шербан¹, Л. В. Горчак²,
Л. И. Брук², А. В. Коваль², Ю. В. Усатый²*

1 — Институт прикладной физики АНМ,
ул. Академическая 5, MD 2028, Кишинев, Республика Молдова,
тел. (37322)738054, e-mail: Alexey.Simashkevich@phys.asm.md, serban@mail.md

2 — Госуниверситет Молдовы,
ул. Матеевича 60, MD 2009, Кишинев, Республика Молдова,
тел. (37322)577820, e-mail: lgorceac@usm.md, bruk@usm.md, acoval@usm.md, usaty1980@mail.ru

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ nITO/pInP, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ПУЛЬВЕРИЗАЦИИ

А. В. Симашкевич, Д. А. Шербан, Л. В. Горчак, Л. И. Брук, А. В. Коваль, Ю. В. Усатый

В работе изучено влияние отжига в атмосфере водорода на параметры солнечных элементов, полученных пиролизической пульверизацией слоев ИТО на монокристаллические подложки pInP при температуре 450°C. В результате проведенных исследований показано, что отжиг солнечных элементов In/nITO/pInP/Ag:Zn в H₂ при температуре 350°C в течении 10 мин ведет к значительному улучшению их фотоэлектрических свойств. Параметры солнечных элементов, полученных на подложках pInPс концентрацией носителей заряда $\rho=3 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$, после термообработки в H₂ достигают следующих значений: $V_{\text{xx}}=0,626\text{В}$, $I_{\text{кз}}=22,72\text{мА/см}^2$, FF=71%, к.п.д.=10,09%.

Ключевые слова: солнечный элемент, термообработка, слои ИТО, пиролизическая пульверизация.

Анотація

ВПЛИВ ТЕРМООБРОБКИ НА ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ niTO/pinP, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ПІРОЛІТИЧНОЇ ПУЛЬВЕРИЗАЦІЇ

А. В. Симашкевич, Д. А. Шербан, Л. В. Горчак, Л. И. Брук, А. В. Коваль, Ю. В. Усатый

У роботі вивчений вплив відпалу в атмосфері водню на параметри сонячних елементів, отриманих піролітичною пульверизацією шарів ІТО на монокристалічних підкладках pInP при температурі 450°C. В результаті проведених досліджень показано, що відпал сонячних

елементів In/nITO/pInP/Ag:Zn у H_2 при температурі $350^\circ C$ протягом 10 хв. веде до значного поліпшення їхніх фотоелектричних властивостей. Параметри сонячних елементів, отриманих на підкладках pInP з концентрацією носіїв заряду $p=3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, після термообробки в H_2 досягають наступних значень: $V_{\text{xx}}=0,626 \text{ В}$, $I_{\text{кз}}=22,72 \text{ mA/cm}^2$, $FF=71\%$, к.к.д.=10,09%.

Ключові слова: сонячний елемент, термообробка, шари ІТО, піролітична пульверизація.

Abstract

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE PARAMETERS OF nITO/pInP SOLAR CELLS, OBTAINED BY SPRAY PYROLITHIC METHOD

A. Simashkevich, D. Sherban, L. Gorceac, L. Bruk, A. Coval, Iu. Usatii

The influence of thermal treatment in H_2 on the parameters of In/nITO/pInP/Ag:Zn solar cells obtained by ITO layers pyrolithic pulverization have been investigated. The ITO/pInP heterostructures obtaining take place at the temperature of $450^\circ C$. As a result of these investigations it was shown that the thermal treatment of In/nITO/pInP/Ag:Zn SC in H_2 at $350^\circ C$ during 10min leads to the considerable improvement of their photoelectric parameters. The photoelectric parameters of the best solar cell received on InP wafers with concentration $p=3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ after the thermal treatment are $V_{\text{oc}}=0,626 \text{ V}$, $I_{\text{sc}}=22,72 \text{ mA/cm}^2$, $FF=71\%$, $E_{\text{ff}}=10,09\%$.

Key words: solar cells, thermal treatment, ITO layers, pyrolithic pulverization.

Фосфид индия является одним из наиболее подходящих материалов для изготовления солнечных элементов, так как его запрещенная зона соответствует энергии фотонов максимума спектрального излучения солнечной радиации, следовательно, можно получить наибольшую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую. Действительно, на основе InP уже изготовлены солнечные элементы с к.п.д., превышающим 20% [1]. Однако, из-за высокой стоимости базового материала, эти элементы не являются конкурентоспособными для наземного использования. Известно, что фосфид индия является радиационноустойчивым материалом и приборы на его основе, в частности солнечные элементы, могут работать в условиях жесткого ионизирующего излучения [2].

Снижение стоимости солнечных элементов может быть достигнуто за счет упрощения технологии их изготовления, например, изготовлением структур полупроводник-диэлектрик-полупроводник (ПДП) методом пиrolитической пульверизации смеси окислов олова и индия (ІТО) на поверхность кристаллов pInP [3-6]. Преимущество этого метода состоит в том, что он исключает из технологической цепочки высокотемпературные процессы диффузии или эпитаксии, необходимые для формирования

фронтального p-n перехода или гетероперевода в традиционных солнечных элементах. В случае ПДП структур потенциальный барьер, разделяющий фотогенерированные носители заряда, формируется на границе раздела ІТО-InP, на которой в процессе нанесения слоя ІТО образуется туннельно-прозрачный тонкий окисный слой.

В работе [6] было показано, что эффективность солнечных элементов ІТО-pInP зависит от концентрации дырок в кристаллах pInP и от их кристаллографической ориентации. В частности, в случае использования кристаллов pInP с концентрацией $5,3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, ориентированных в плоскости (111)A, эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую достигала только 5,3%. Как показали наши дальнейшие исследования, негативную роль в оптимизации фотоэлектрических параметров солнечных элементов этого типа играет высокое сопротивление контактов. В связи с этим, целью данной работы является изучение влияния термообработки структур ІТО-pInP на фотоэлектрические параметры соответствующих солнечных элементов.

Структуры ІТО-pInP получались методом пиrolитической пульверизации спиртовых растворов хлоридов индия и олова в пропорции 10:1 на установке, описанной в [7]. Дисперги-

рующим газом служил кислород, температура подложки InP была 450°C, время напыления 60-80с, толщина слоев ИТО 0,35-0,40мкм. Концентрация носителей заряда (электронов) в полученных слоях ИТО была 10^{21}см^{-3} , их подвижность $\sim 30\text{см}^2/\text{Вс}$, что обеспечивает электрическую проводимость $4,8 \cdot 10^3 \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$. В качестве подложек использовались монокристаллические пластины фосфида индия р-типа, ориентированные в кристаллографической плоскости (111)А, с концентрацией дырок $p=3 \cdot 10^{16}\text{см}^{-3}$ и $p=3 \cdot 10^{17}\text{см}^{-3}$ и подвижностью носителей заряда $115\text{см}^2/\text{В.с}$ и $100\text{см}^2/\text{В.с}$ соответственно. Омические контакты к рInP наносились термическим испарением в вакууме сплава, состоящего из 95%Ag и 5%Zn, на предварительно механически полированную тыльную поверхность фосфида индия. Фронтальная гребенка контактов наносилась термическим испарением меди в вакууме. Схематическое изображение такой структуры приведено на Рис.1.

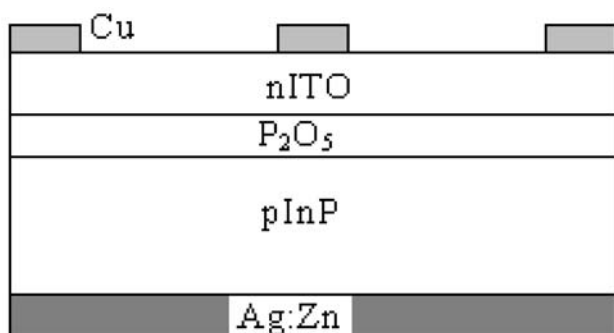


Рис. 1. Схематическое изображение солнечного элемента Cu/n⁺ITO/pInP/Ag:Zn

Тонкий диэлектрический слой с преимущественным содержанием P₂O₅ на поверхности пластины фосфида индия, ориентированной в плоскости (111)А, образовывался во время формирования слоя ИТО. Он был обнаружен при изучении границы раздела структуры ИТО-рInP методом дифракции рентгеновских лучей. Толщина этого слоя, образованного окислением фосфора при нагреве до температуры 450°C пластины фосфида индия в течение времени формирования тонкого слоя ИТО, равнялась 3-4нм. Изучение электрических и фотоэлектрических свойств полученных структур свидетельствовало, что диэлектрические слои являются туннельно-прозрачными для носителей заряда.

На полученных структурах Cu/n⁺ITO/pInP/

Ag:Zn при мощности падающего излучения $100\text{мВт}/\text{см}^2$ изучались нагрузочные характеристики и спектральная чувствительность в вентильном режиме до и после отжига в атмосфере водорода при температуре 350°C в течение 10 минут. Такой режим термообработки был выбран следующим образом. Можно предположить, что основной вклад в оптимизацию фотоэлектрических параметров внесет уменьшение последовательного сопротивления изучаемой структуры и именно той ее части, которая обусловлена переходом металлический электрод — полупроводник. Для проверки этого предположения был изготовлен образец из пластины InP, используемой как базовая компонента исследуемых солнечных элементов, с металлическими контактами, полученными вакуумным напылением при комнатной температуре сплава Ag+5%Zn. Затем образец закреплялся в реакторе, помещенном в электрическую печь. Контакты образца подсоединялись к характеристикографу типа Л2-56, позволяющему на экране видеть вольтамперную характеристику исследуемой структуры Ag+5%Zn/pInP/Ag+5%Zn. Создав в реакторе водородную атмосферу, подбирались условия термообработки при которых зависимость I-V была линейной и сопротивление перехода Ag+5%Zn/pInP наименьшим.

Измеренные нагрузочные вольтамперные характеристики представлены на Рис.2, из которого видно, что если до отжига в водороде солнечный элемент, полученный на основе InP с $p=3 \cdot 10^{16}\text{см}^{-3}$ и $\mu=115\text{см}^2/\text{Вс}$, имел следующие параметры: $V_{\text{хх}}=0,651\text{В}$, $J_{\text{кз}}=18,12\text{мА}/\text{см}^2$, $\text{FF}=58\%$ и к.п.д.=6.84% (смотри Рис.2, кривая 1), то после отжига эти параметры улучшаются и становятся $V_{\text{хх}}=0,658\text{В}$, $J_{\text{кз}}=20,13\text{мА}/\text{см}^2$, $\text{FF}=58\%$ и к.п.д.=7.68% (Рис.2, кривая 2).

Лучшие результаты были получены в случае солнечного элемента, изготовленного на монокристаллической пластине рInP с концентрацией носителей заряда $p=3 \cdot 10^{17}\text{см}^{-3}$ и подвижностью $\mu=100\text{см}^2/\text{Вс}$, для которого $V_{\text{хх}}=0,626\text{В}$, $J_{\text{кз}}=22,72\text{мА}/\text{см}^2$, $\text{FF}=0.71\%$ и к.п.д.=10.09% (Рис.2, кривая 3), что значительно лучше, чем результаты, приведенные в [5] для аналогичного солнечного элемента, не подвергнутого отжигу в водороде.

Из кривых спектральной чувствительности данных структур (Рис.3) видно, что область спектральной чувствительности охватывает

диапазон длин волн 470...950нм. Максимальная чувствительность наблюдается на длине волны ~ 870нм. Это указывает на то, что основной вклад в фоточувствительность вносит фосфид индия. Однако, отжиг структуры в водороде приводит к нежелательному уменьшению фоточувствительности в коротковолновой области спектра ($\lambda \sim 497$ нм) (Рис.3). Для выяснения механизма этого явления необходимо проведение дополнительных измерений.

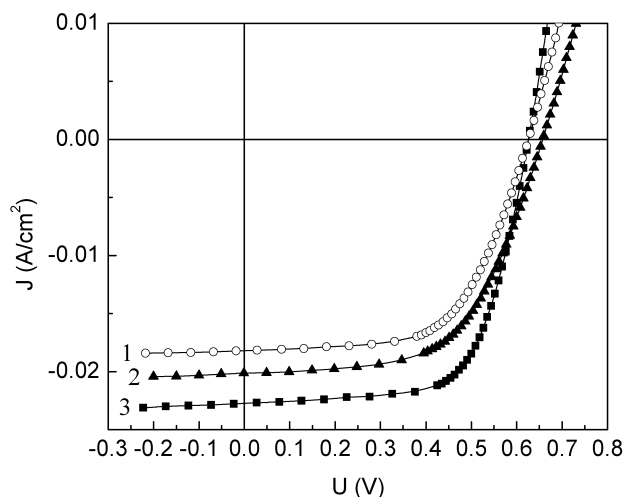


Рис. 2. Нагрузочные вольтамперные характеристики СЭ Cu/n⁺ITO/pInP/Ag:Zn. 1-до отжига в H₂; 2-после отжига в H₂; 3-с лучшими параметрами после отжига в H₂.

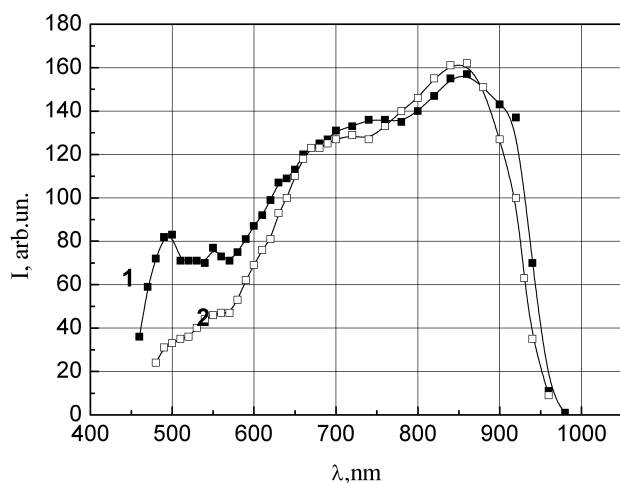


Рис. 3. Кривые спектральной чувствительности структур Cu/n⁺ITO/pInP/Ag:Zn. 1 — до отжига в H₂; 2 — после отжига в H₂.

В результате выполненных исследований показано, что простым методом пиролитической пульверизации слоев ИТО на монокристаллические пластины InP, ориентированные в плоскости (111)А, можно получить солнечные элементы, эффективность которых после термообработки в водороде, превышает 10%.

Литература

1. Gessert T.A., Li X., Wanlass M.W. and Coutts T.J., Progres in the ITO/InP Solar Cell //Second Int. Conf. Indium Phosphide and Related Materials. — Denver. — USA. — 1990. — P.260-264.
2. Botnaryuk V.M., Gorceak L.V., Grigorieva L.N., Simashkevich A.V., Radiation Degradation of Solar cells Based on InP-CdS Heterojunction //Solar Energy Materials. — v.20. — 1990. — P.359-365.
3. Adeeb N., Kretsu I., Sherban D., Sushkevich V., Simashkevich A., Spray deposited ITO-CdTe solar cells //Sol. Energy Mater. — vol. 15. — N1. — 1987. — P.9-19.
4. Do Quoc Hung, Bobeico E., Gorceac L., Sherban D., Simashkevich A., Solar Cells Based on SIS Structures //Proc. Of the Third Int. Workshop on Material Sciences. — Hanoi. — 1999. — part 1. — P.56-59.
5. Gagara L., Gorcheac L. Radu C. Sherban D. Simashkevich A., Photovoltaic Converters of Solar Energy on the Base of SIS Structures //Proc. of the Int. Conf. "Euro-Sun 96". — Munchen. — 1996. — V.2. — P.665-669.
6. Andronic I., Simashkevich A., Gagara L., Simashkevich A., InP Based Radiation Stable Slar Cells //Proc .of the 2nd World Conf. on PV Solar Energy Conversion. — Vienna. — 1998. — V.3. — P.3642-3645.
7. Simashkevich A., Sherban D., Bruk L., Bobeico E., Coval A., Fedorov V., Usatyi Iu., Spray Deposited ITO-nSi Solar Cells With Enlarged Area //Proc. of the 20 European PV Solar Energy Conf. — Barcelona. — 2005. — P.980-982.