

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

А.И. Кириладш, С.В. Симченко, В.В. Кидалов

Бердянский государственный педагогический университет

Украина

Поступила в редакцию 28.04.2012

Исследовано применение пористых слоев арсенида галлия в качестве антиотражающего покрытия для солнечных элементов. С помощью пористых слоев удалось снизить поверхностное отражение, расширить диапазон спектральной чувствительности и тем самым получить возрастание тока короткого замыкания фотопреобразователей на основе арсенида галлия.

Ключевые слова: пористый арсенид галлия, пористость, фотопреобразователь.

Досліджено використання поруватого шару арсеніду галію в якості антивідбиттєвого покриття для сонячних елементів. За допомогою поруватих шарів удалось зменшити поверхнєве відбиття, розширити діапазон спектральної чутливості та тим самим отримати зростання струму короткого замикання фотоперетворювачів на основі арсеніду галію.

Ключові слова: пористий арсенід галію, поруватість, фотоперетворювач.

Investigated the use of porous layers of gallium arsenide as the anti-reflective coatings for solar cells. With the help of porous layers could reduce the surface reflection, and a increase in short circuit current of solar cells.

Keywords: porous gallium arsenide, porosity, solar cell.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее вероятных материалов для преобразования солнечной энергии является арсенид галлия (GaAs). Это объясняется следующими его особенностями: КПД гетероструктурных арсенид-галлиевых солнечных батарей доходит до 35% (в то время для монокристаллического кремния КПД составляет порядка 20%), их максимальная рабочая температура до +150 °С, ширина запрещенной зоны у них практически совпадает с оптимальной шириной запрещенной зоны для полупроводниковых преобразователей солнечной энергии равна 1,4 эВ, высокая радиационная стойкость делает этот материал чрезвычайно привлекательным для использования в космических аппаратах.

Однако, несмотря на вышеперечисленные преимущества GaAs проблема увеличения КПД стоит довольно остро. Для обеспечения снижения потерь используют различные конструктивные и технологические решения. Наиболее распространенными являются: образование на поверхности солнечного элемента периодического микрорельефа, нанесения на "лицевой" слой антиотражающего покрытия, формирование на поверхности полу-

проводникового преобразователя слоя пористого материала того же состава [1, 2].

К наиболее распространенным методам создания пористого арсенида галлия (por-GaAs) относится: электрохимическое и химическое травления. Каждый из этих методов имеет определенные преимущества и недостатки с точки зрения технологичности, воспроизводимости результатов, трудоёмкости, возможности групповой обработки образцов, обеспечения однородности, широкого диапазона пористости и толщины слоев por-GaAs [3].

В данной работе исследованы фотопреобразователи на основе арсенида галлия из сформированными на их поверхности слоями por-GaAs (пористость 45 – 60%). Исследованы коэффициенты отражения в зависимости от морфологии сформированной пористой поверхности и температурные характеристики такого преобразователя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемый образец представлял собой планарный *p-n*-переход на основе монокристаллического GaAs ориентации (111) без просветляющего покрытия с площадью поверх-

ности $\sim 75 \text{ мм}^2$. Толщина “верхнего” *n*-слоя составляла около 2 мкм, а “нижнего” *p*-слоя $\sim 70 \text{ мкм}$. Концентрация основных носителей в обоих слоях составила приблизительно $10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Пористую поверхность получали методом электрохимического травления.

Перед экспериментом образцы тщательно очищались. Процесс очистки состоял из следующих стадий:

- 1) промывание образца в этиловом спирте;
- 2) промывание в дистиллированной воде;
- 3) сушка пластин с помощью центрифуги в струе очищенного сухого воздуха.

В качестве электролита для травления нами использовались 45% фтористоводородная кислота и 96% спирт в соотношении 1:1.

Травление осуществлялось в разработанной нами ячейке состоящей из фторопластовой ёмкости (фторопласт марки Ф-10) с платиновым кольцевым электродом (рис. 1).

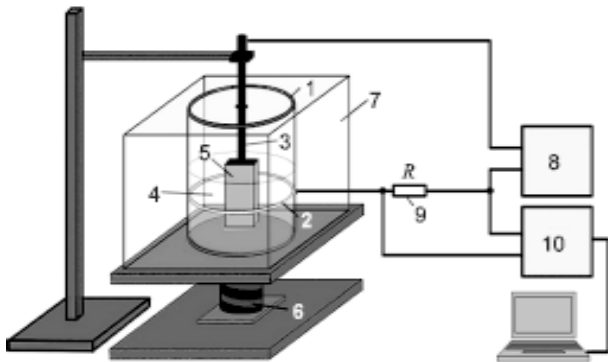


Рис. 1. Ячейка для электрохимического травления. 1 – фторопластовая ёмкость для электролита; 2 – кольцевой Pt-электрод; 3 – держатель образца; 4 – электролит; 5 – образец; 6 – регулируемая подставка; 7 – светозащитный колпак; 8 – прецизионный источник напряжения; 9 – измерительное сопротивление; 10 – блок АЦП.

Травления проводилось при плотности тока анодирования 80 мА/см^2 , продолжительностью 4 – 5 мин в полной темноте. Источником напряжения служил прецизионный блок питания на основе модуля KIS-3R33S. Токовая кинетика процесса травления регистрировалась АЦП оригинальной конструкции и отображалась на экране компьютера в режиме реального времени.

Морфологии полученных пористых структур исследовались с помощью растрового электронного микроскопа REM-109.

Толщина полученных слоёв *por-GaAs* в экспериментах составляла от 40 до 80 нм.

На рис. 2 изображена полученная морфология поверхности *por-GaAs* после процесса травления.

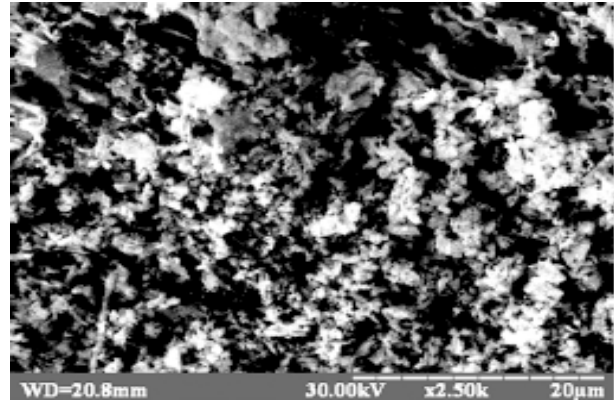


Рис. 2. Морфология поверхности GaAs после травления в электролите на основе $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{HF}$ (1:1).

Как видно из рис. 2 размер пор варьируется от сотен нанометров до единиц микрон. Значительный разброс в геометрических размерах образовавшихся пор говорит о том, что процесс порообразования является функцией времени [4]. Поры равномерно расположены по всей поверхности образца, некоторые перетравливание поверхности и геометрия полученных пор обусловлены высоким током анодирования на начальном этапе травления. Изменяя состав электролита, величину тока анодирования и время травления позволяет получать разную геометрию пор и глубину пористого слоя.

Спектральные зависимости коэффициента отражения от приготовленных образцов в диапазоне длин волн 400 – 1150 нм измеряли с помощью спектрофотометра Perkin Elmer 330.

Измерение вольт-амперных характеристик и параметров фотопреобразователей осуществлялось на тестере контроля солнечных элементов с импульсным освещением ксеноновой лампой с продолжительностью импульса 5 мс и интенсивностью светового потока 1000 Вт/м^2 при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерения полного коэффициента отражения (R), как функции длины волны (λ) для солнечных элементов с различными тол-

щинами сформированных слоёв пористого арсенида галлия изображены на рис. 3.

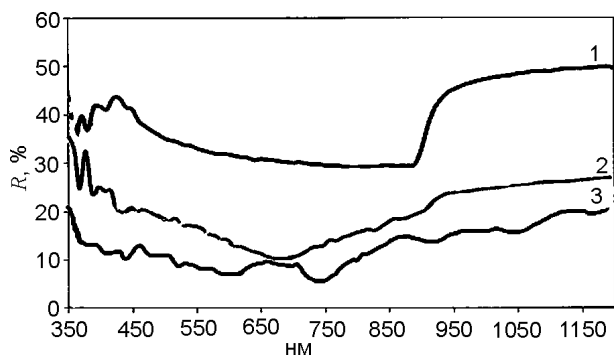


Рис. 3. Полный коэффициент отражения, как функция длин волн для полированного GaAs (1); слоя пор- GaAs с толщиной: 40 нм (2), 80 нм (3).

На приготовленных образцах наблюдалось явное увеличение поглощающей способности пор- GaAs с ростом толщины пористой поверхности, что свидетельствует о увеличении КПД преобразования таким фотоэлементом [5, 6]. Увеличения поглощения пор- GaAs в зависимости от толщины сформированной пористой поверхности обусловлено тем, что в данном случае размеры микрокристаллов и расстояния между ними меньше длины волны падающего излучения, поэтому свет многократно рассеивается на кристаллах внутри пор и происходит более полный захват падающих квантов света.

Экспериментальные вольт-амперные характеристики арсенид-галлиевых солнечных элементов с пористым слоем толщиной 80 нм (пористость 55%) и без пористого слоя, исследованы в образцах с площадью поверхности 75 мм² при интенсивности излучения 1000 Вт/м² и температуре 20 °С приведены на рис. 4. Значение тока короткого замыкания в солнечных элементах с слоем пор- GaAs увеличивалось примерно на 10% по сравнению с монокристаллическим образцом таких же размеров без просветляющего покрытия, в то время как напряжение холостого хода не изменялось. Определенное улучшение параметров можно объяснить увеличением активной площади поверхности пор- GaAs, которая уменьшает потери света на отражение и генерацией дополнительных фотоносителей в сформированном пористом слое арсенида галлия, а также уменьшением толщины подложки из монокристаллического GaAs, кото-

рая по-прежнему вносит вклад в фотопреобразование.

На полученных образцах исследовались температурные зависимости напряжения холостого хода и тока короткого замыкания.

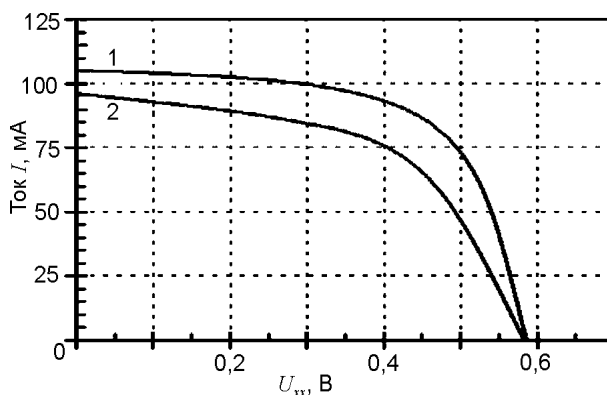


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики арсенид-галлиевых солнечных элементов с пористым слоем (1) и без пористого слоя (2) сняты при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5 представлены экспериментальные результаты зависимости тока короткого замыкания ($I_{кз}$) и напряжения холостого хода ($U_{хх}$) солнечных элементов с пористым арсенидом галлия толщиной пористого слоя 80 нм (пористость 55%) от температуры.

Температурный коэффициент напряжения холостого хода для солнечных элементов с пор- GaAs, $dU_{хх}/dT = 3,5\text{ мВ/град}$. Ток короткого замыкания в солнечных элементах с пор- GaAs в температурных пределах 20 – 100 °С возрастает примерно на 14%.

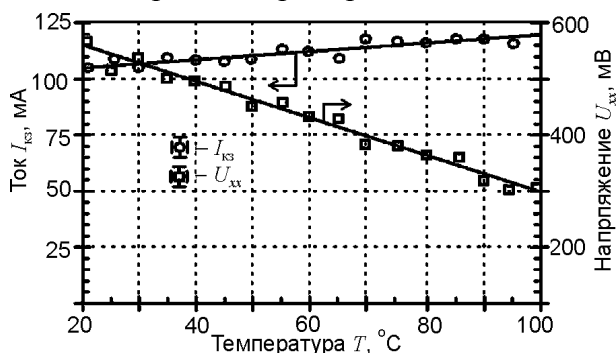


Рис. 5. Зависимость тока короткого замыкания ($I_{кз}$) и напряжения холостого хода ($U_{хх}$) солнечных элементов с слоем пор- GaAs от температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье исследовано применение пористых слоев арсенида галлия в качестве антиотражающего покрытия для солнечных элементов. С помощью пористых слоёв удалось снизить поверхностное отражение, расши-

ритель рабочий спектральный диапазон преобразования солнечной энергии и получить возрастание тока короткого замыкания солнечных элементов.

На приготовленных образцах наблюдалось явное увеличение поглощающей способности в слоях por-GaAs с ростом толщины пористой поверхности, что свидетельствует о увеличении КПД преобразования таким фотоэлементом.

Значение тока короткого замыкания в солнечных элементах с por-GaAs увеличивалось примерно на 10% по сравнению с таким же монокристаллическим образцом, в то время как напряжение холостого хода не изменялось.

Возрастание тока короткого замыкания обусловлено также увеличением “активной” площади фотопреобразователя на основе GaAs за счёт пористости поверхности.

Установлено, что фотопреобразователи с пористым верхним слоем по эффективности могут конкурировать с преобразователями, на поверхность которых нанесены просветляющие покрытия “активной” поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрук Н.Л., Мамонтова И.Б. Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения с текстурированной поверхностью // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 2000. – № 35. – С. 67-90.
2. Колтун Н.М. Селективные оптические покрытия преобразователей солнечной энергии. – М.: Наука, 1979.

3. Горбач Т., Пидлисний Е., Свечников С. Морфологические и оптические свойства анизотропно-травленного арсенида галлия. – К.: Наукова думка, 1988.
4. Улин В.П. Природа процессов электрохимического порообразования в кристаллах A^3B^5 (Часть I) // Физика и техника полупроводников. – 2007. – Т. 41, № 7. – С. 854-867.
5. Foil H., Langa S., Carstensen J., Lolkes S., Christophersen M., Tiginyanu I.M. // III-Vs Review. – 2003. – Vol. 16 (7), No. 42.
6. Schmuki P., Fraser J., Vitus C.M., Graham M.J., Isaacs H.S. // J. Electrochem. Soc. – 1996. – Vol. 143 (10). – P. 3316.

LITERATURA

1. Dmitruk N.L., Mamontova I.B. Fotoelektričeskie preobrazovateli solnechnogo izlucheniya s teksturirovannoj poverhnost'yu // Optoelektronika i poluprovodnikovaya tehnika. – 2000. – № 35. – S. 67-90.
2. Koltun N.M. Selektivnye opticheskie pokrytiya preobrazovatelej solnechnoj energii. - M.: Nauka, 1979.
3. Gorbach T., Pidlisnyj E., Svechnikov S. Morfoloģicheskie i opticheskie svojstva anizotropno-travlenogo arsenida galliya. – K.: Naukova dumka, 1988.
4. Ulin V.P. Priroda processov elektrohimičeskogo poroobrazovaniya v kristallah A^3B^5 (Chast I) // Fizika i tehnika poluprovodnikov 2007. – T. 41, № 7. – S. 854-867.
5. Foil H., Langa S., Carstensen J., Lolkes S., Christophersen M., Tiginyanu I.M. // III-Vs Review. – 2003. – Vol. 16 (7), No. 42.
6. Schmuki P., Fraser J., Vitus C.M., Graham M.J., Isaacs H.S. // J. Electrochem. Soc. – 1996. – Vol. 143 (10). – P. 3316.