

УДК 681.3

**СИНТЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ
Сычик В.А., Глухманчук В.В., Уласюк Н.Н.**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предложен метод синтеза структуры полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электрическую, при котором изготавливают диэлектрическую подложку с синусоидальным периодическим профилем поверхности, формируют на этой поверхности первый омический контакт и последовательно наносят на образовавшуюся структуру сильнолегированный p^+ -слой из одного широкозонного полупроводника, затем наносят на p^+ -слой электропроводящий просветляющий слой, по периметру которого формируют второй омический металлический контакт.

Ключевые слова: полупроводник, солнечная энергия, p - n переход, гармоническая поверхность, подложка, лазерная обработка, омический контакт, ионноплазменное распыление, термоотжиг.

SYNTHESIS OF SEMICONDUCTOR SOLAR ENERGY CONVERTER

Sychyk V.A., Gluhmanchuk V.V., Ulasiuk M.M.

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. A method has been proposed for synthesizing the structure of a semiconductor converter of solar energy into electrical energy, in which a dielectric substrate with a sinusoidal periodic surface profile is manufactured, the first ohmic contact is formed on this surface and a heavily doped p^+ -layer from one wide-gap semiconductor is sequentially applied to the resulting structure, then applied to the p^+ -layer an electrically conductive antireflection layer, along the perimeter of which a second ohmic metal contact is formed.

Key words: semiconductor, solar energy, p - n junction, harmonic surface, substrate, laser treatment, ohmic contact, ion plasma sputtering, thermal ignition.

*Адрес для переписки: Сычик В.А. пр-т Рокоссовского, 49-18, г. Минск, 220095, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by*

Преобразователи солнечной энергии в электрическую являются важнейшими устройствами возобновляемых источников электрической энергии. Наиболее высокими электрофизическими свойствами обладают полупроводниковые преобразователи солнечной энергии на основе p - n структур [1; 2], причем их свойства существенно зависят от конструктивной и технологической реализации их структуры. Разработан способ формирования структуры преобразователя солнечной энергии в электрическую [1], в котором существенно повышается активная полезная площадь.

На диэлектрической подложке, например керамической или пластмассовой, заданной толщины путем формовки, ионно-лучевого фрезерования, лазерной обработки создают синусоидально-гармоническую поверхность в плоскости XY , которую полируют, например в ультразвуковой камере, соответствующей суспензией, очищают от поверхностных загрязнений и сушат в инфракрасной установке.

На очищенную поверхность методом электронно-лучевого распыления конформно, то есть равномерно, наносят слой металла-омического контакта к формируемой фоточувствительной структуре. Толщина металлического слоя составляет 3–5 мкм, скорость его нанесения в пределах 40–100 Å/с, температура подложки T составляет 150–250 °С.

Методом молекулярно-лучевой эпитаксии на слой омического контакта наносят сильнолегированный n^+ -слой из широкозонного полупроводника, например кремния, толщиной 0,1–0,3 мкм со скоростью 10–30 Å/с при температуре подложки 250–300 °С. Легирующий элемент – фосфор, а концентрация легирующей донорной примеси $N_D = 10^{20}$ – 10^{21} см³.

Наносят на той же установке молекулярно-лучевой эпитаксии i -слой собственного полупроводника-кремния толщиной 0,7–0,91, где L_a – длина свободного пробега оптически генерированных носителей заряда. Температура $T = 200$ – 500 °С, а скорость формирования i -слоя V составляет 30–50 Å/с.

На этой же установке в едином технологическом процессе формируют p^+ -слой фоточувствительной структуры толщиной 0Д-0»31< при температуре подложки 200–500 °С. Легирующая примесь – бор, концентрация легирующей акцепторной примеси $N_A = 10^{20}$ – 10^{21} см³, скорость формирования p^+ -слоя составляет 10–30 Å/с. Фоточувствительную p^+ - i - n^+ -структуру формируют из одного и того же широкозонного полупроводника, например кремния.

На сформированный p^+ -слой широкозонного полупроводника-кремния наносят методом ионно-плазменного распыления электропроводящий слой из светопрозрачного материала, напри-

мер из окиси олова-индия, толщиной 1–2 мкм, который является омическим контактом к p^* -слою широкозонного полупроводника и просветляющим слоем. Скорость нанесения электропроводящего слоя составляет 10–30 Å/с, а температура подложки $T = 250\text{--}400$ °С. Методом электронно-лучевого распыления по наружному периметру электропроводящего слоя наносят металлический слой шириной 1–2 мм, толщиной 3–5 мкм, являющийся вторым омическим контактом.

Затем методом пайки или методом приклеивания электропроводящим клеем на основе эпоксидной смолы и серебряного порошка присоединяют внешние металлические алюминиевые выводы к металлическим омическим контактам.

Завершающей операцией способа изготовления полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электрическую является термоотжиг сформированной p^+i-n^+ фоточувствительной структуры в инертной среде в течение 10–15 мин при температуре 200–400 °С для создания надежных омических контактов к p^+ - и n^+ -слоям широкозонного полупроводника. Структура преобразователя солнечной энергии, синтезированная указанным способом, приведена на рисунке 1.

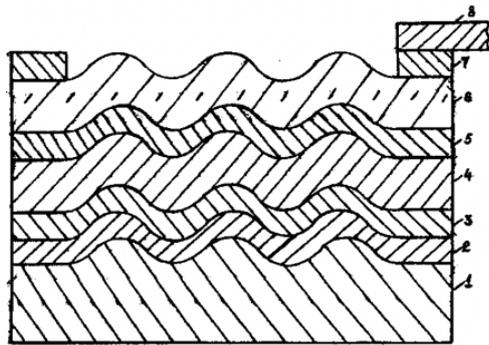


Рисунок 1 – Структура преобразователя солнечной энергии

Изготовление полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электрическую на диэлектрической поликарбонатной подложке с фоточувствительной p^+i-n^+ структурой с омическими контактами в соответствии с представленной на рисунке 1 схемой, включает следующие технологические операции:

1. На диэлектрической подложке 1 из поликарбоната размером 38×38 мм, толщиной 2 мм методом лазерной обработки создают синусоидально-гармоническую поверхность в плоскости XY. Амплитуда синусоидально-гармонической поверхности составляет 1 мм, а ее длина волны равна 2 мм.

2. Полируют обработанную поверхность подложки 1 в ультразвуковой камере с алмазной суспензией в течение 20 мин, затем очищают поверхность подложки от загрязнений промывкой подложки 1 в мыльном растворе, деонизированной

воде, сушкой в инфракрасной установке при температуре 150 °С в течение 5 мин.

3. На подготовленную чистую синусоидально-гармоническую поверхность подложки 1 методом электронно-лучевого распыления наносят слой алюминия 2 – омического контакта к формируемой фоточувствительной структуре толщиной 5 мкм. Скорость нанесения слоя Al составляет 86 Å/с, а температура подложки 1 $T = 250$ °С.

4. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии на слой алюминия 2 наносят сильно легированный n^+ -слой широкозонного полупроводника кремния 3 толщиной 0,5 мкм при скорости формирования слоя кремния 3 20 Å/с и температуре подложки 300 °С. Легирующая донорная примесь-фосфор, а концентрация донорной примеси в n^+ -слое кремния 3 $N_D = 5 \cdot 10^{20}$ см³.

5. Наносят методом молекулярно-лучевой эпитаксии на той же установке i -слой кремния 4 толщиной 2 мкм. Скорость формирования i -слоя кремния 4 составляет 30 Å/с, а температур подложки 4 $T = 300$ °С.

6. На той же установке методом молекулярно-лучевой эпитаксии формируют на i -слое кремния 4 сильнолегированный p^+ -слой кремния 5 толщиной 0,3 мкм при скорости формирования p^+ -слоя кремния 5 $V = 20$ Å/с и температуре подложки 300 °С. Легирующая акцепторная примесь бор, а концентрация акцепторной примеси в p^+ -слое кремния 5 $N_A = 5 \cdot 10^{20}$ см³.

7. На сформированный p^+ -слой кремния 5 методом ионноплазменного распыления наносят проводящий слой 6 из светопрозрачного материала-окись олова толщиной 2 мкм, который является омическим контактом к p^+ -слою кремния 5 и просветляющим слоем. Скорость нанесения проводящего слоя 6 составляет 30 Å/с, а температура подложки $T = 300$ °С.

8. По наружному периметру электропроводящего слоя 6 методом электронно-лучевого распыления формируют слой алюминия 7 шириной 2 мм и толщиной 5 мкм, являющийся вторым омическим контактом. Скорость распыления слоя алюминия составляет 80 Å/с, температура подложки 1 $T = 250$ °С.

9. Присоединяют по отработанной технологии склеивания к нижнему омическому контакту-слою алюминия 2 и к верхнему омическому контакту-слою алюминия 7 с помощью клея с консистенцией 40 % эпоксидная смола и 60 % серебряный порошок внешние омические выводы алюминиевые площадки 8 шириной 3 мм и толщиной 1 мм.

10. Производят термоотжиг изготовленного полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электричество с фоточувствительной n^+i-p^+ структурой в инертной (аргоновой) среде в течение 15 мин при температуре 300 °С для создания надежных омических контактов к n^+ - и p^+ -слоям фоточувствительной структуры.

Изготовленный предложенным способом полупроводниковый преобразователь солнечной энергии в электрическую фоточувствительной структурой n^+-i-p^+ типа в виде двух последовательно соединенных переходов широкозонного полупроводника кремния размером 38×38 мм с разветвленной поверхностной структурой при интенсивности солнечного излучения 65 мВт/см^2 позволяет получить рабочий ток 2 А, рабочее напряжение 0,9 В, полезную выходную мощность 1,8 Вт и время безотказной работы не менее 10^5 ч.

Созданный способ изготовления полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электрическую обладает следующими преимуществами перед способами – аналогами:

– более чем на порядок повышается активная полезная площадь устройства;

– в среднем в 5 раз возрастает выходная мощность устройства;

– повышается производительность процесса изготовления полупроводникового преобразователя солнечной энергии в электричество вследствие исключения длительных процессов термической диффузии.

Литература

1. Фотоэлектрические явления в солнечных элементах / Ю.В. Николаев [и др.] // Физика и техн. полупроводников. – 2002. – Вып. 36, № 9. – С. 1128–1132.
2. Ермаков, О.Н. Светодиоды на основе эпитаксиальных р-п структур / О.Н. Ермаков, В.Н. Мартынов // Изв. вузов.: материалы электронной техники. – 2002. – № 3. – С. 68–71.
3. Носов, Ю.Р. Новые поколения светодиодов. Сборник научных трудов / Ю.Р. Носов. – М : МГУП, 2021. – С. 31–37.

УДК 621.78

ИСТОЧНИК ХОЛОДНОЙ ВОДЫ Сычик В.А., Русан В.И., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Источник холодной воды, содержащий теплообменник, систему орошения воздуха, патрубков подачи воздуха, снабжен холодильной машиной с воздушным и водяным конденсаторами, дополнительным теплообменником и контроллером.

Ключевые слова: источник, вода, теплообменник, конденсатор, холодильная машина, испарительная установка, вентиль воздуха, контроллер.

COLD WATER SOURCE Sychyk V.A., Rusan V.I., Ulasiuk M.M.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A cold water source containing a heat exchanger, an air irrigation system, an air supply pipe, is equipped with a refrigeration machine with air and water condensers, an additional heat exchanger and a controller.

Keywords: source, water, heat exchanger, condenser, refrigeration machine, evaporation unit, air valve, controller.

Адрес для переписки: Сычик В.А. пр-т Рокоссовского, 49-18, г. Минск, 220095, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by

Источник холодной воды широко используется для систем производства чистой холодной воды, кондиционирования воздуха и технологических нужд. Нами создана структура источника холодной воды, обладающая широким температурным диапазоном охлаждаемой воды и высокой производительностью генератора холодной воды.

Структурная схема источника холодной воды изображена на рисунке 1.

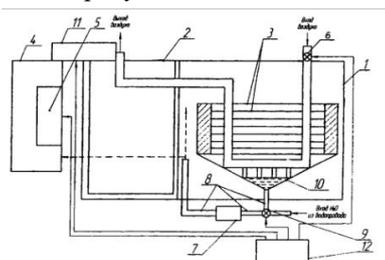


Рисунок 1 – Источника холодной воды

Структурно источник холодной воды состоит из закрытой испарительной установки 1 (градирни), включающей теплообменник с двойными стенками 2 и пластинчатый теплообменник 3 холодильной установки 4 с компрессором 5. Подача воздуха в закрытую испарительную установку 1 регулируется вентилем воздуха 6. Подпитка водой из водопровода в закрытой испарительной установке 1 производится насосом 7 посредством размещенного на трубопроводе 8 вентиля воды 9, соединенного с поддоном 10 пластинчатого теплообменника 3, в который воздух поступает через вентиль воздуха 6. Работой всех функциональных устройств, блоков и контролем их параметров руководит электронный контроллер 12. Система орошения 11 функционально связывает закрытую испарительную установку 1 с холодильной установкой 4.

Теплообменник с двойными стенками 2 выполнен из пропилена, обладающего высокой теплопроводностью.