

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Преобразователь солнечной энергии в электрическую – это экологически чистый возобновляемый источник электрической энергии основной источник электропитания в космической аппаратуре. Важнейшими из этого класса преобразователями являются полупроводниковые преобразователи солнечной энергии в электрическую, конструктивно реализуемые на основе р-п переходов [1, 2].

Нами разработан преобразователь солнечной энергии в электрическую (ППСЭ), который в сравнении с аналогами обладает повышенными значениями выходной электрической мощности и стабильностью в работе.

Конструктивно полупроводниковый преобразователь солнечной энергии в электрическую (ППСЭ) состоит из полупроводниковой р<sup>+</sup>-i-n-р<sup>+</sup> фоточувствительной структуры, включающей i-слой широкозонного полупроводника, n-слой широкозонного полупроводника и р-слой так же одноименного широкозонного полупроводника. На р-слое широкозонного полупроводника сформирован р<sup>+</sup>-слой, который размещён на металлическом основании и является омическим контактом к этому основанию.

Принцип работы полупроводникового преобразователя солнечной энергии поясняет зонная диаграмма, изображенная на рисунке 1.

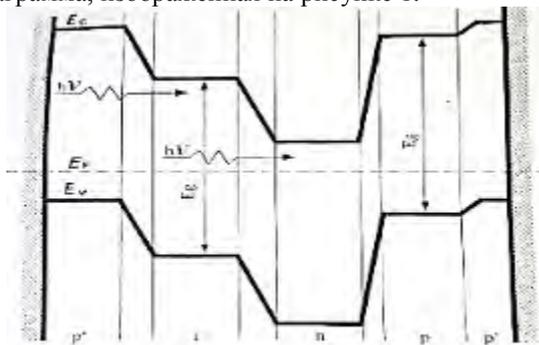


Рисунок 1 – Зонная диаграмма полупроводникового преобразователя солнечной энергии

При воздействии квантов света на рабочую поверхность ППСЭ со стороны просветляющего слоя фотоны с энергиями  $E\nu \geq E_d$ , где  $E_d$  ширина запрещенной зоны широкозонного полупроводника, проходят просветляющий слой, р<sup>+</sup>-слой широкозонного полупроводника, достигают i-слой собственной проводимости и создают в i-слое широкозонного полупроводника избыточ-

ную концентрацию носителей. Избыточная концентрация фотогенерированных электронов и дырок в i-слое определяется из зависимости:

$$\Delta n = \beta \eta I\nu \tau_n, \Delta p = \beta \eta I\nu \tau_p, \quad (1)$$

где  $\beta$  - квантовый выход;  $\eta$  - коэффициент поглощения света в i-слое;  $I\nu$ - интенсивность света;  $\tau_n, \tau_p$  – время жизни избыточных электронов и дырок.

Фотогенерированные дырки разделяются полем второго i-n перехода фоточувствительной структуры и движутся под действием электрического поля первого р<sup>+</sup>-i перехода к омическому контакту, а фотогенерированные электроны в i-слое движутся под действием электрического поля второго i-n перехода через n-слой к третьему n-р переходу фоточувствительной структуры ППСЭ.

Вследствие разделения зарядов на последовательно соединённых р<sup>+</sup>-и i-n переходах возникает суммарная фото ЭДС  $U_d$ , максимальное значение которой при холостом ходе

$$U_d \max = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I\phi}{I_s}\right) \quad (2)$$

и течет ток через i-n переход, обусловленный оптически генерированными электронами и дырками

$$I_a = I_s \left[ \exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right) - 1 \right] - I\phi. \quad (3)$$

Здесь  $I\phi$  – максимальная плотность фототока, соответствующая данной освещенности;  $I_s$ – ток насыщения n-р перехода.

В общем случае при заданной интенсивности света фототок, обусловленный избыточными носителями заряда с концентрациями  $\Delta n$  и  $\Delta p$  определяется выражением:

$$I\phi = e(\Delta n \mu_n + \Delta p \mu_p) U_d. \quad (4)$$

Напряжение  $U_d$  прямой полярности и градиент концентрации носителей в n-слое широкозонного полупроводника обеспечивают инжекцию электронов из n-слоя через третий резкий n-р переход в р-слой, причем плотность тока через него при последовательном соединении всех трёх переходов фоточувствительной структуры одинакова и равна значению тока  $I_a$ . Инжектирующие в р-слой широкозонного полупроводника электроны на ширине данного слоя поглощают из кристаллической решетки р-слоя энергию, повышая её до величины энергии электронов в р-слое. В результате отбора электрической энергии инжектированными электронами от

кристаллической решётки р-слоя 3 её температура понижается и соответственно снижается температура ППСЭ. Величина поглощаемой тепловой энергии определяется зависимостью

$$Q = \Pi It, \quad (5)$$

где  $\Pi$  – коэффициент Пельтье;  $I = I_a \cdot S$  – ток, протекающий в р-слое широкозонного полупроводника сечением  $S$ ;  $t$  – время протекания тока. Поскольку для р- из n перехода из невыраженных полупроводников

$$\Pi = A * \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n}{n_p}, \quad (6)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий соотношение энергий электронов в р- и n- областях;  $n_n$  и  $n_p$  – концентрация собственных электронов в n- и р- слоях р-n перехода, причём соотношение  $\ln(n_n/n_p) \geq 6$ , то температура ППСЭ понижается до отрицательных значений, обеспечивая резкое снижение концентрации собственных носителей заряда в i-слое широкозонного полупроводника, увеличение диффузионной длины носителей заряда и соответственно резкое повышение концентрации фотоносителей  $\Delta n$  и  $\Delta p$ , то есть величину фототока  $I_f$ .

Величина фото ЭДС определяется суммарной высотой потенциальных барьеров первого р+и слоя и второго i-n переходов и составляет  $\Delta U \approx (0,8 - 1,0)$  В.

Создано экспериментальное устройство – полупроводниковый преобразователь солнечной энергии, который может использоваться как элемент-модуль солнечной электростанции. Устройство выполнено структурой р+иSi резкий

УДК 621.382.002

## ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ КВАРЦА

Телеш Е.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Пленки оксинитрида кремния широко применяются в микроэлектронике и оптике благодаря сочетанию свойств  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [1, 2]. Обычно их получают осаждением из смесей газов или распылением кремния ионами аргона, кислорода и азота. В последнем случае необходимо точно поддерживать соотношение активных газов. Для упрощения процесса было предложено распылять мишень из кварца ионами аргона и азота. Покрываются на подложках кремния, арсенид галлия и стекла ионно-лучевым распылением кварцевой мишени ионами аргона и азота.

Проведено исследование зависимости скорости нанесения  $V_n$  от мощности плазменного разряда  $P$ , степени компенсации заряда на мишени и состава рабочего газа (рисунок 1). Остаточный

переход i-nSi плавный переход и n-pSi резкий переход с омическими контактами из светопродводящего прозрачного окисла олова.

Экспериментальный полупроводниковый преобразователь солнечной энергии размером полезной площади 48 x 48 мм при интенсивности солнечного излучения  $P_{\Sigma} = 65$  мВт/см<sup>2</sup> позволяет получать  $I = 0,32$  А, рабочее напряжение 0,8 В, полезную выходную мощность  $P_{\text{вых}} \approx 0,256$  Вт. Рабочая температура  $T_p \approx -2$  °С, расчётная надёжность безотказной работы ППСЭ составляет 105 часов. Для аналогов эквивалентных размеров эти параметры составляют:  $I \approx 0,11$  А;  $P_{\text{вых}} \approx 0,15$  Вт;  $T_p \approx 25$  °С и надёжность работы не выше  $2 \cdot 10^4$  часов.

На базе предлагаемого ППСЭ при использовании матрицы элементов может быть создана солнечная батарея электрической энергии больших мощностей, используемая как автономный источник электроэнергии в стационарных, подвижных и космических объектах.

1. Афанасьев, В.П. Приемники излучения на основе аморфного гидрогенизированного кремния / В.П. Афанасьев, В.А. Васильев // Известия С. – Петербургского электротехнического университета. – 1994, №471. -с.46-68.
2. Мирсагатов, Ш.А. Фотоприемники с управляемым спектром фоточувствительности / Ш.А. Мирсагатов, Б.И. Айтбаев, В.М. Рубинов // Физика и техника полупроводников. -1996. 30.№3. –с.-550-557.

вакуум в камере не превышал  $2 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст. Рабочий вакуум в процессе нанесения составлял от  $3,3 \cdot 10^{-4}$  до  $6,3 \cdot 10^{-4}$  мм рт.ст. Содержание азота при этом составляло около 25%.

Увеличение  $P$  приводит к росту  $V_n$ . При эффективной компенсации заряда на мишени также наблюдается увеличение  $V_n$ .

На рисунке 2 приведена зависимость скорости нанесения и травления в травителе  $\text{NH}_4\text{F}:\text{H}_2\text{O}:\text{HF}+150:300:60$  процентного содержания азота в рабочем газе. Установлено, что увеличение доли азота в рабочем газе снижает  $V_n$ , что связано с меньшим коэффициентом распыления кварца ионами азота по сравнению с аргоном. В то же время снижение  $V_n$  способствует повышению плотности пленок, что выражается в уменьшении их скорости травления. Реализуе-