

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АМОΡФНЫХ ПЛЕНОК $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$.

НАДЖАФОВ Б.А.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана

Рассмотрены электрические свойства, спектральная зависимость фотопроводимости, ЭПР и инфракрасные спектры поглощения в пленках $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$, а также структуры солнечных элементов р-і-п –перехода и типа барьера Шоттки Pt/ $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$. Полученные результаты показывают, что пленки $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$, где $x \leq 0,20$ являются термодинамически стабильными и радиационно стойкими материалами для изготовления солнечных элементов. Получены солнечные элементы с коэффициентом полезного действия (к.п.д.) $\eta = 5.9\%$ и $\eta = 4.2\%$ для структур р-і-п и типа барьера Шоттки Pt/ $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$, соответственно.

Введение

В настоящее время интенсивно изучаются аморфные гидрогенизированные пленки твердых растворов $a\text{-Si}_{1-x}\text{H}_x$, $a\text{-Si}_{1-x}\text{N}_x\text{:H}$, $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, $a\text{-Ge}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$, $a\text{-Si}_{1-x}\text{O}_x\text{:H}$, а также $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ [1].

Гидрогенизированные аморфные пленки $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ по сравнению с $a\text{-Si:H}$ имеют меньшую ширину запрещенной зоны, а следовательно, и лучшие оптоэлектронные свойства в длинноволновой области видимого спектра, а также являются термодинамически более стабильными и радиационно стойкими [2, 3]. Это позволяет использовать их для создания солнечных элементов [4-6]. Среди материалов $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ составы с $x \leq 0,20$ считаются наиболее стабильными для создания солнечных элементов. Поэтому исследованный в данной работе состав $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ представляет интерес для приборного использования в фотоэлементах.

Известно, что аморфные пленки $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ без гидрогенизации обладают довольно высокой плотностью состояний в запрещенной зоне [7]. Чтобы уменьшить количество этих состояний, в пленки добавляют водород или получение пленок осуществляют в водородной среде. Введение в процессе осаждения в пленки $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ водорода также позволяет управлять шириной запрещенной зоны этого материала.

Изучение концентрации связей Н-Si и Н-Ge методами ЭПР [1, 8] и ИК поглощения [9] показывают, что атом Н в связи Н-Ge не является эффективным пассиватором свободной связи атома германия. Другими словами, пассивирующие свойства водорода в $a\text{-Ge}$ гораздо хуже, чем в $a\text{-Si}$, поэтому в целом фотоэффективность пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ оказалась несколько ниже, чем пленок $a\text{-Si:H}$. Определяющую роль в пассивации свободных связей атомов германия играют связи Н-Si. В связи с этим, интерес представляют результаты исследований ослабления эффекта Стаеблера-Вронского с ростом концентрации Ge (для $x \leq 0,20$) в пленках $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ [1].

2. Эксперимент

Пленки $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ были получены методом плазмохимического осаждения толщиной пленок 0,8 мкм, при температуре 200°C , скорость осаждения на подложку была $3 \text{ \AA}/\text{с}$, а расстояние между мишенью и подложкой $L \sim 25 \text{ см}$. Нарастивание пленок производилось примерно в течение одного часа. Напряженность электрического поля при измерениях электрических свойств пленок не превышала 10^4 В/см . Толщина пленок $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ определялась оптическим методом в условиях возникновения

интерференционных явлений. Концентрация водорода в пленках вычислялась методом эффузии и с помощью спектров поглощения. Ее значение составляет $1,7 \div 17,3$ ат.%. Осаждение пленки на подложку производилось в атмосфере водорода при различных давлениях. Процесс осаждения производился в водородной плазменной среде, которая была получена с помощью магнетрона, постоянного магнитного и высокочастотного поля (ВЧ). Мишенью служили пластинки кристаллического сплава $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}$ с диаметром 60- 63 мм. Аморфность пленок контролировалась электронографическими методами. В качестве подложек были использованы кристаллический Si для ИК измерений и алюминиевая фольга для ЭПР измерений. Спектры ИК поглощения измерялись в спектрометре ИКС -29, измерения ЭПР снимались на радиоспектрометре РЭ – 1306 с рабочей частотой 9,4 ГГц ($\lambda = 3,2$ см) при температуре 80 К. Параметры спектров ESR и концентрация парамагнитных центров определялись по эталону Mn^{2+} в решетке MgO. При получении пленки частота высокочастотного ВЧ поля (rf) составляла 230 МГц (или 50 W). Относительная ошибка при определении концентрации водорода составляла 10-12 ат.%. Однако в тонкопленочных солнечных элементах для видимой области спектра излучения должно также выполняться условие $\alpha d \geq 1$, где d – толщина активного слоя. При этом коэффициент поглощения $\alpha = 8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ для пленок a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}$: H.

3. Результаты и обсуждение

а. Электрические свойства гидрогенизированных аморфных пленок a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}$:H.

Измерение температурной зависимости электропроводности $\sigma(T)$ в изученном интервале температур показывает, что $\sigma(T)$ имеет две области. Высокотемпературный участок проводимости $\sigma(T)$ выше $T \geq 250\text{K}$ определяется зонной проводимостью (рис.1) и описывается формулой

$$\sigma_T = \sigma_0 \exp(-\Delta\varepsilon / kT) \quad (1),$$

где σ_0 - предэкспоненциальный фактор, который изменяется в пределах $8,9 \cdot 10^{-2} \div 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ и определяется по наклону кривой (Рис.1). $\Delta\varepsilon$ для электронов имеет вид $\Delta\varepsilon = \varepsilon_c - \varepsilon_v$ и переход осуществляется зонной проводимостью. В зависимости от концентрации водорода (H) $\Delta\varepsilon = 0,62 \div 0,87$ эВ. Низкотемпературный участок ($T \leq 250\text{K}$) проводимости определялся прыжковым характером, локализованным состоянием в зазоре подвижности, о чем свидетельствует линейная зависимость $\lg(\sigma T^{1/2})$ от $T^{-1/4}$ [10]. При использовании формулы Мотта для низкотемпературных областей, кривые соответствуют следующим соотношениям:

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{T^{1/2}} \exp[-(T_0 / T)^{1/4}] \quad (2),$$

$$\text{где} \quad \sigma_1 = e^2 a^2 \gamma_\phi N(\varepsilon_F) \quad (3),$$

$$\text{и} \quad T_0 = (\lambda \alpha^3) / (kN(\varepsilon_F)) \quad (4).$$

Здесь e- заряд электрона, a–межатомное расстояние (типичное значение равняется 2 Å), γ_ϕ -фононная частота ($\sim 10^{13} \text{ с}^{-1}$) при температуре Дебая, α -параметр затухания волновой функции электронов в локализованном состоянии, λ -безразмерная постоянная ($\sim 18,1$), $N(\varepsilon_F)$ –распределение состояний вблизи уровня Ферми равна $8 \cdot 10^{18} \div 10^{16} \text{ см}^{-3} \text{ эВ}^{-1}$.

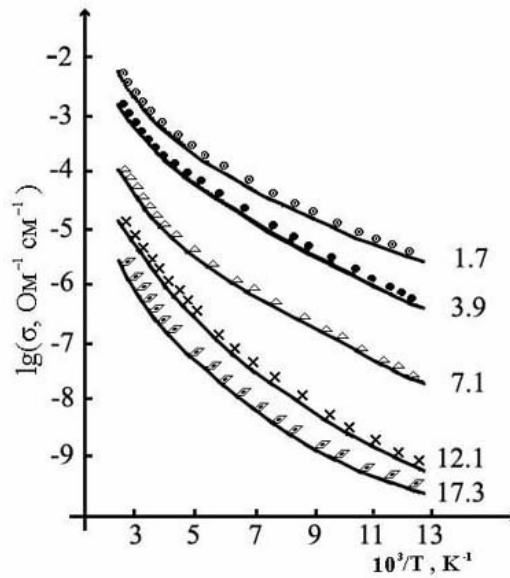


Рис.1 Температурные зависимости темновой проводимости $\sigma(T)$ от $1/T$ для аморфных пленок $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$. H, at.‰: 1.7; 3.9; 7.1; 12.1; 17.3

На основании выше отмеченного и используя данные [8,10] в пленках $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$, можно оценить длину и энергию прыжка (R) и (E) электронов. При температуре 80 К длина прыжка (R) определяется по следующей формуле [8, 9]:

$$R = \left[\frac{9}{8} \pi \alpha N(\varepsilon_F) kT \right]^{\frac{1}{4}} \quad (5),$$

Соответственно для энергии прыжка находим

$$E = \frac{2}{3} \alpha R kT = \left(\frac{T_0}{1} \right) T^{\frac{3}{4}} \quad (6),$$

Из (5) и (6), в зависимости от концентрации водорода H при температуре 80 К, получим значения для $R = 31,46 \div 51,46 \text{ \AA}$ и $E = (0,029 \div 0,072) T^{\frac{3}{4}} \text{ эВ}$.

В. Спектральная зависимость фотопроводимости

Измерение фотопроводимости проводилось в интервале 1,0÷2,8 эВ. Для оптического возбуждения использовалась галогеновая лампа с соответствующими фильтрами. Изменение фототока в интервале 1,0÷2,8 эВ рассчитывалось с помощью следующей формулы [10, 11]

$$i_{\phi} = (eN_0 \nu \tau / t_i) (1 - R) \exp(-\alpha d) \quad (7),$$

где N_0 – число падающих в одну секунду фотонов, R – коэффициент отражения, d – толщина пленки, ν – квантовый выход, τ – рекомбинационное время жизни, t_i – время пролета носителей заряда, $t_i = d / E \mu_D = d^2 / V \mu_D$, где μ_D – дрейфовая подвижность или подвижность заряда под действием поля E при комнатной температуре, V – приложенное напряжение, ν – характеристика эффективности процесса генерации, которая определяется числом образующихся электронно-дырочных пар при поглощении фотона (в нашем случае она близка единице $\nu \approx 1$). Рекомбинационное время жизни (τ) и время пролета носителей (t_i) определяли с помощью электронного осциллографа, соответственно, по прямоугольной части сигнала тока, возникающего после освещения пленки импульсом света. Найдено, что с изменением концентрации водорода (H)

параметр $\nu\mu\tau$ изменяется в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-5} \text{ см}^2\text{В}^{-1}$. Коэффициент оптического поглощения (α) во всех исследуемых пленках достигает величины $8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$.

На основании полученных результатов предполагаем, что фототок в интервале энергии фотона 1,0–2,8 эВ линейно зависит от интенсивности освещения, рекомбинация частиц происходит из более глубоких рекомбинационных центров и подчиняется закону

$$i_{\phi} = AF^{\gamma} \quad (8),$$

в нашем случае $\gamma = 0,9$ [3].

Плотность потока фотона при всех длинах волн равна $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^2\text{с}^{-1}$. Ясно, что для определения А используются области спектров слабого поглощения, где произведение $\nu\mu\tau$ не зависит от энергии фотонов. Отметим, что для образцов с энергией фотонов в интервале 2,3-2,8 эВ в области спектра слабого поглощения можно считать, что

$$i_{\phi}/eN_0(1-R) \approx \alpha d \nu \tau / t_i \quad (9),$$

Перенос электронов в пленках описывается методом эффекта поля по модели Спира [10,11]. На рис.2 показана зависимость положения фотоответов пленки при комнатной температуре, как функция энергии фотона при различных концентрациях водорода.

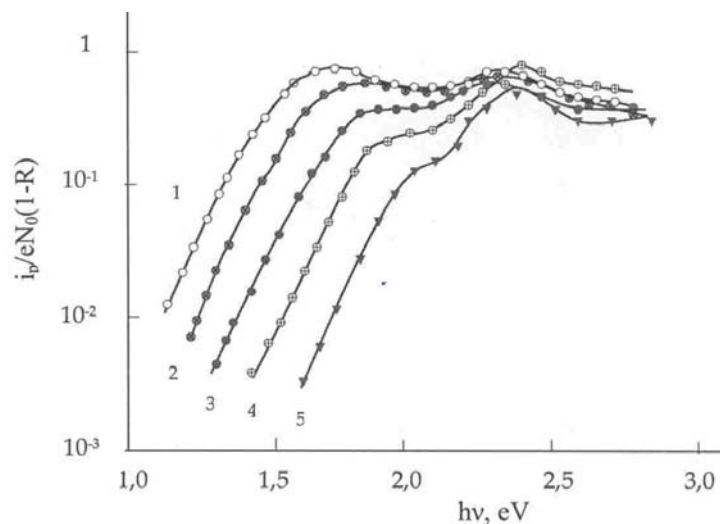


Рис.2. Зависимость фотопроводимости от энергии фотона в пленках а- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$.

H, at. %: 1.7; 3.9; 7.1; 12.1; 17.3

Из рис.2 видно, что эффективность генерации электронов с изменением концентрации водорода не меняется и, следовательно, в пленках, полученных указанным методом при концентрации водорода от 1,7 до 17,3 ат.%, квантовые выходы (ν) остаются постоянными. Также видно, что вблизи энергии фотона 2,3 эВ все кривые пересекают друг друга и приближаются к единице с повышением энергии фотона, которое связано с повышением эффективности генерации электронов в материале.

В зависимости от концентрации водорода Н граница фотопроводимости располагается в пределах 1,0 -1,5 эВ и смещение этой границы связано с увеличением ширины щели E_C-E_V и возбуждением уровня Ферми (который сдвигается с изменением концентрации Н).

Плато на рисунке для всех исследуемых образцов в интервале энергий фотона 1,6-2,1 эВ интерпретируется как следствие максимума плотности состояний (E_v), а последующий рост фотопроводимости обуславливается переходами из зоны в зону.

На основании полученных результатов можно сказать, что с изменением концентрации водорода (H) параметр ($\nu\mu\tau$) изменяется в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-5} \text{ см}^{-2}\text{В}^{-1}$ и величина γ остается постоянной.

с. ЭПР и ИК спектры поглощения аморфных пленок $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$.

Спектры ЭПР, снятые для пленок $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ при температуре 80 К имеют асимметричную форму, поскольку состоят из двух видов, относящихся, соответственно, к свободным связям Si и Ge (Рис. 3).

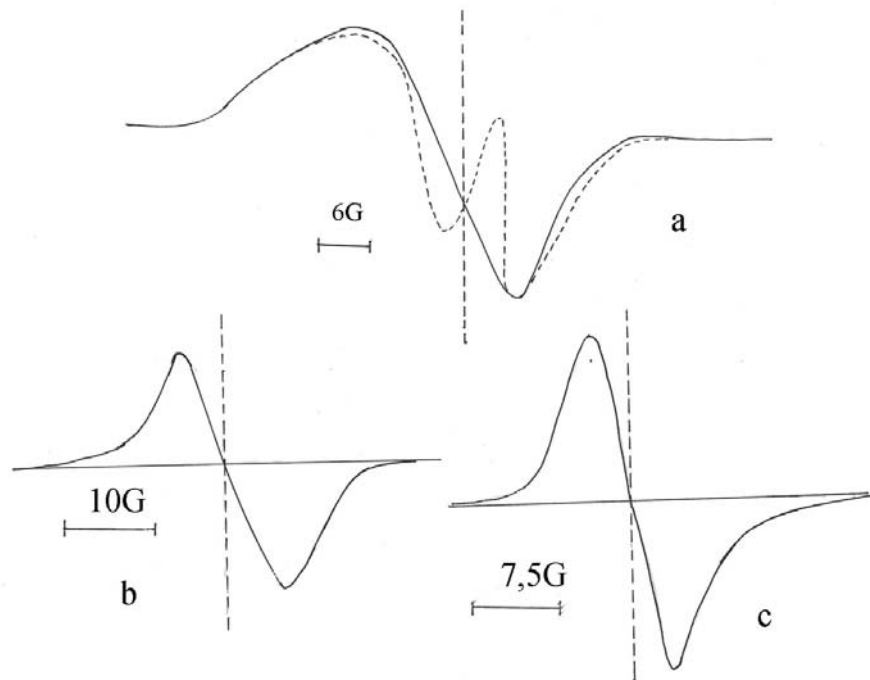


Рис.3. ЭПР спектры, снятые при температуре 80 К на пленках:
а) $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$; б) $a\text{-Si:H}$; в) $a\text{-Ge:H}$, где H = 17,3 ат. %.

Однако наблюдаемый сигнал не является простой суперпозицией этих двух сигналов (для Si и для Ge), так как они сильно взаимодействуют между собой и получающийся в результате сигнал в промежуточном интервале стремится принять вид единственной линии. Поэтому наблюдаемые спектры слева и справа можно описать суперпозицией этих двух сигналов: с g-фактором $g=2,004 \div 2,006$ и шириной линии 73–86 Гс, $g=2,018 \div 2,022$ и шириной линии 73–86 Гс, относящихся к кремневым и германиевым свободным связям, соответственно.

В плёнках $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ по интенсивности сигнала определяется концентрация парамагнитных центров N_s по следующему соотношению:

$$N_s = \alpha N(\epsilon_f) kT \quad (10),$$

которое однозначно дает значение плотности состояний при условии, что энергия корреляции между двумя электронами в запрещенной зоне намного меньше kT ($U \ll kT$), $N(\epsilon_f)$ – плотность состояний около уровня Ферми (порядка $10^{18} \text{ см}^{-3}\text{эВ}^{-1}$) и $\alpha \approx 3$ [10]. Если же $U \gg kT$, то состояния, лежащие ниже ϵ_f будут парамагнитными, независимо от температуры. Указанные соотношения позволяют оценить плотность состояний в запрещенной зоне вблизи уровня Ферми. Однако, в соответствии с расчетом молекулярных орбиталей в $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$, наличие соседних с орбиталями атомов почти не меняет значение g ЭПР-сигналов от свободных связей как Si, так и Ge [8]. Исследования влияния γ -излучения на свойства аморфных гидрогенизированных пленок $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ позволяют получить достаточно ценную информацию о дефектах

в этих материалах. Исследования γ -излучения от источника излучения $10^{17} \div 10^{18}$ фотон/см² обнаружили, что энергия кванта, проходя через пленку $a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$, не разрывает связи (как это обычно происходит, например, при излучении видимого света).

д. Солнечные элементы.

В этом разделе рассматриваются некоторые физические параметры тонких пленок $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ (где $H=17,3$ ат.%) и солнечных элементов с барьером Шоттки $\text{Pt}/a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ и р-і-n-структурой. Для получения фотогальванического эффекта пленка освещалась источником света мощностью $\sim(90 \text{ мВт}\cdot\text{см}^2)$. Толщина пленки $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ составляла $d=0,8$ мкм. Для использования р-і-n- структуры подложка была выбрана стеклянная, покрытие – ОИО (окись-индия-олова) толщиной $\sim 500 \text{ \AA}$, которое пропускает свет 80%. Причем і-слой являлся нелегированным и коэффициент оптического поглощения α в видимой области спектра достигал величины $8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ и описывался следующим соотношением:

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^2 \quad (11)$$

Значение B , определенное экстраполяцией зависимости $(\alpha h\nu)^{1/2}$ от $h\nu$, составляет $539 \text{ эВ}^{-1} \text{ см}^{-1/2}$. E_g – ширина запрещенной зоны, $E_g=1,72 \text{ эВ}$. Величина $\mu\tau$ для і – слоя равна $10^{-7} \text{ см}^2 \text{ В}^{-1}$. Эффективность процесса генерации в нашем случае равна единице ($\nu \approx 1$). Тонкие p^+ и n^+ слои имеют толщину $200\text{-}350 \text{ \AA}$ и изготавливаются в разряде SiH_4 , содержащем $\sim 1\% \text{ В}_2\text{H}_6$ и PH_3 (рис. 4).

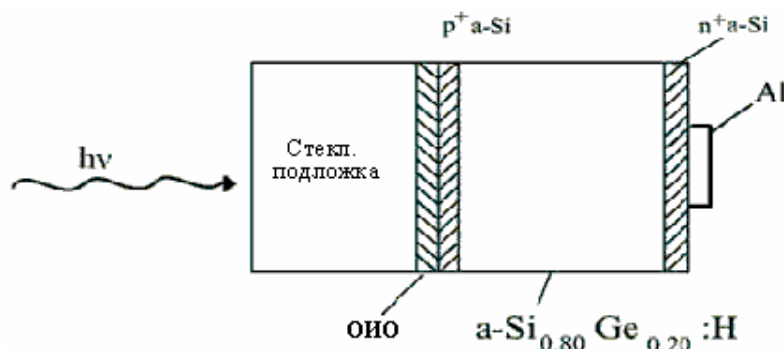


Рис.4. Структура солнечных элементов с р-і-n-переходом на основе $a\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$. $H=17,3$ ат.%.

Уровень легирования был $\text{В}_2\text{H}_6 / \text{SiH}_4$ и $\text{PH}_3/\text{SiH}_4 \leq 10^{-4}$. Так как сопротивление легированного $a\text{-Si:H} \geq 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, в качестве контактного электрода на освещаемой стороне элемента использовали полупрозрачный проводящий слой ОИО (окись-индий-олово), а на обратную сторону элементов наносился слой Al . При этом наибольший коэффициент полезного действия составлял 5.9% и наилучшее значение величин тока короткого замыкания $J_{кз}$, напряжения разомкнутой цепи (V_∞) и коэффициента заполнения (ζ) соответственно равны $12,4 \text{ мА}\cdot\text{см}^2$; 790 мВ; 0,52. Используя зависимости $J_{кз}$ от V_∞ и, применив следующее соотношение

$$V_\infty = \frac{n'kT}{q} \ln\left(\frac{J_{кз}}{J_0} + 1\right) \quad (12),$$

определили коэффициент качества диода n' при освещении, значение которого составляет 2, 48.

Величина J_0 определяется из темновой вольтамперной характеристики (I-V) и ее значение для р-і-n-структуры соответствует $J_0 \sim 10^{-12} \text{ А/см}^2$ [11,12].

Аналогично были созданы солнечные элементы типа барьера Шоттки: Pt/a - $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$, (где $\text{H}=17,3 \text{ at.}\%$). Для этой цели была выбрана стальная подложка, а в качестве покрытия использовалась окись ZrO_2 и пропускание света этого покрытия составляло $\sim 80\%$.

Чтобы улучшить воспроизводимость и работу солнечного элемента на подложку наносился тонкий p^+ слой толщиной 200 \AA , который изготавливался из SiH_4 (рис.5).

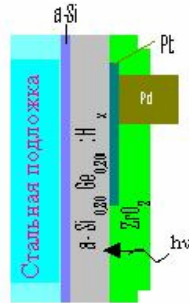


Рис.5. Структура солнечных элементов типа барьера – Шоттки Pt/a $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$, $\text{H}=17,3 \text{ ат.}\%$.

Параметры активного слоя a - $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$ обсуждались выше. Используя темновые вольтамперные характеристики, определили плотность тока насыщения по следующей формуле [10]:

$$J_0 = q\mu_c N_c E_s \exp\left(-\frac{\phi_B}{kT}\right) \quad (13),$$

где μ_c – подвижность электрона в зоне проводимости, которую находим из зависимости σ (Т) от $1/T$, и ее значение составляет : $\mu_c = 6 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$; N_c – эффективная плотность состояний в зоне проводимости, ее значение равно - $N_c = 10^{21} \text{ см}^{-3}$ [13], а $E_s = 10^4 \text{ В/см}$. Зная также значение плотности тока насыщения $J_0 = 10^{-10} \text{ А/см}^2$ находим, что высота барьера (ϕ_B) = 1,2 эВ, а коэффициент качества диода равен $n=1,4$.

Из (C-V) характеристики [14] находим значение внутреннего потенциала $V_0 = 0,42$ и $N \sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Тогда, применив следующее уравнение из [15]

$$W_B = (\epsilon/2\pi q)^{1/2} (V_0/N)^{1/2} \quad (14),$$

находим, что ширина обедненной области $W_B = 0,35 \text{ мкм}$.

На рис.6 показаны I-V характеристики для солнечного элемента Pt/a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$ и p-i-n структуры, снятые после освещения мощностью 90 мВт/см^2 .

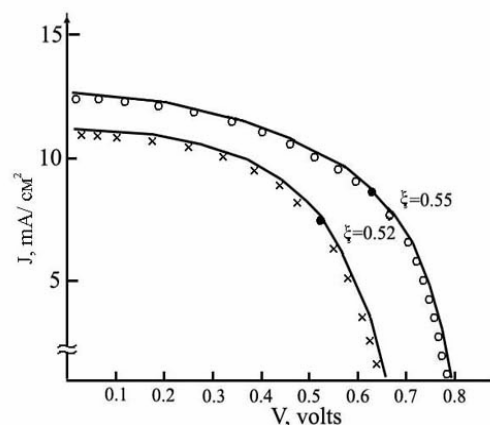


Рис.6. J-V характеристики для солнечного элемента при освещении мощностью $P=90 \text{ мВт/см}^2$: 1- типа барьера Шоттки, 2 – с p-i-n- структурой.

Используя зависимость $J_{кз}$ от V_{∞} , находим коэффициент качества диода n' при освещении, который оказался равным 1,52.

Из рис. 6 определили значение наибольшего коэффициента полезного действия (к.п.д.), которое составляет 4,2%. Находим, что наилучшие значения величины тока короткого замыкания ($J_{кз}$), напряжения разомкнутой цепи (V_{∞}) и коэффициента заполнения (ζ) соответственно равны: $J_{кз} = 11,2 \text{ mA/cm}^2$, $V_{\infty} = 650 \text{ mV}$, $\zeta = 0,55$.

На рис.7 показана зависимость коэффициента сбора от длины волны света при потоке фотонов $\sim 10^{13} \div 10^{14} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ в режиме короткого замыкания, рассчитанная по данным оптического поглощения для пленки толщиной 0,8 мкм; при расчете падающий поток фотонов уменьшен на 80% для учета ограниченного оптического пропускания металлической пленки (кривая 1) и аналогично показан коэффициент сбора для р-і-n- структуры (кривая 2) при освещении со стороны стеклянной подложки.

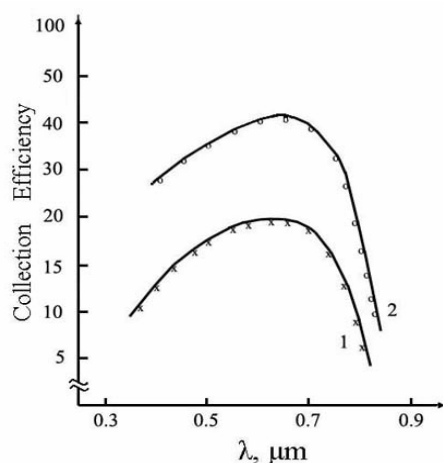


Рис.7. Зависимость коэффициента соирования от длины волны света для солнечного элемента:
кривая 1–типа барьера Шоттки; кривая 2–р-і-n–структурой.

В случае насыщения фототока, когда все возбужденные светом носители собираются в режиме короткого замыкания, измеренный коэффициент сбора не зависит от обратного смещения. Максимум коэффициента сбора соответствует длине волны $\lambda \leq 0,7 \text{ мкм}$. Уменьшение коэффициента сбора в области больших длин волн в основном объясняется уменьшением коэффициента поглощения для активного і-слоя.

Для улучшения качества пленок или повышения к.п.д (η) солнечных элементов, созданных на основе а – $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}$ и а – Si:H , требуются новые технологические разработки, а также модификация свойств активного і-слоя

4. Заключение

Полученные результаты позволяют утверждать, что для изготовления солнечных элементов на основе а- $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ ($x \leq 0,20$) требуются пленки с наименьшей концентрацией парамагнитных центров, N_s , наибольшей энергией активации прыжка (E) и эффективностью процесса генерации носителей электронно-дырочных пар $\nu \approx 1$, а также наибольшим оптическим поглощением α в видимой области спектра. Показано, что наилучшими свойствами обладают солнечные элементы с наибольшим током короткого замыкания $J_{кз}$, напряжением в замкнутой цепи (V_{∞}) и коэффициентом заполнения элементов (ζ).

Следует отметить, что для улучшения качества солнечных элементов требуется дальнейшая разработка новых технологических установок и модификация свойств активного і-слоя.

1. Аморфные полупроводники и приборы на их основе под ред. Хамакава Й. (М.Металлургия, 1986) с.376 . Перевод с английского: Amorphous Semiconductors Technologies and Devices, ed. Y.Hamakawa (Nort –Holland, Amsterdam – New York- Oxford, (1983)]
2. *Najafov B.A., Mursakulov N.N.* Physics of Electronic Materials. International Conference Proceedings Kaluga, Russia, October 1-4., p.136 (2002).
3. *Najafov B.A.* Eurasia Conference on Nuclear Science and its Application. Izmir – Turkey p.519 (2000)
4. *Nakamura G., Sato K., Yukimoto Y., Shizahata K., Murahashi T., Fujiwara K.* J.Appl.Phys., 20, 231 (1981)
5. *Najafov B.A.* Ukr.Journal of Phys., 45 1221 (2000)
6. *Nguen Van Dong, Tran Huu Danh and J.Y. Leny.* J.Appl.Phys., 52, (1) 338 (1981)
7. *Bakirov M.Y., Najafov B.A., Mamedov V.S., Madatov R.S.* Phys.St.Sol.(a), 114, 45(1989).
8. *Akiharu Morimoto, Takashi Minra, Minoru Kumeda and Tatsuo Shimizu.* ESR IR studies on a – Si_{1-x}Ge_x:H. Prepared by Glow Discharge Decomposition. Japanese Journal of Applied Physics. 1981, v.20, № 11, p.833-836
9. *Rudder R.A., Cook J.W., and Jucovsky G.* High photoconductivity in dual magnetron sputtered amorphous hydrogenated silicon and germanium alloy films. Appl. Phys. Lett., 1984, v.45, №8, p.887-889.
10. The physics of Hydrogenated Amorphous silicon Electronic and Vibrational Properties, ed. By John *Joamaopulos D., and Lucovsky G.*, Springer-Verlag, (1984) p.571.
11. *Najafov B.A., Mursakulov N.N.* Physics of Electronic Materials. International Conference Proceedings, Kaluga, Russia, October 1-4, p.137 (2002).
12. *Najafov B.A.* Proceedings of the 8th Conference on Silicon-germanium alloys. Institute of Physics, Academy of Sciences, Uzbekistan, Tashkent, p.11(1991).
13. *Najafov B.A.* Semiconductors, v.34, №11, pp.1383-1385 (2000).
14. *Наджафов Б.А.*// Ученые записки НАА – Баку, 2004 г., т.6, №1, с.157-159.
15. *Brodsky M.H.* Amorphous Semiconductors. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg- N.Y; 1990, p.347

a-Si_{0,80}Ge_{0,20}:H AMORF TƏBƏQƏSİ ƏSASINDA GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİ

NƏCƏFOV B.A.

Məqalədə baryer-Şottki Pt/a – Si_{0,80}Ge_{0,20}:H və p-i-n keçid tipli element, həmçinin a-Si_{0,80}Ge_{0,20}:H təbəqəsində foto keçiriciliyin spektral asılılığı, elektrik xassəsi, EPR və infraqırmızı udulma spektrinə baxılmışdır. Alınmış nəticələr göstərir ki, a-Si_{1-x}Ge_x:H (x≤0,20) təbəqəsi termodinamik stabildir və radiasiyaya davamlıdır, günəş elementi üçün yararlıdır. Alınmış günəş elementin faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) baryer Şottki Pt/a-Si_{0,80}Ge_{0,20}:H və p-i-n struktur üçün uyğun olaraq η=5,9% və η=4,2%-dir.

SOLAR ENERGY CONVERTERS ON THE BASE OF a – Si_{0,80} Ge_{0,20}:H AMORPHOUS THIN FILMS

NAJAFOV B.A.

In the paper the electrical properties, spectral dependence of photoconductivity, ESR and infrared absorption spectrum in a-Si_{0,80}Ge_{0,20}:H thin films as well as solar cells structures of p-i-n- junction and Pt/a - Si_{0,80}Ge_{0,20}:H Schottky barrier type have been considered. The obtained results show that a-Si_{1-x}Ge_x:H films (where x≤0,20) are being thermodynamically stabled and radiationally steadfast in using them for solar cell's preparation. The solar elements with efficiency's coefficients η =5,9% & η=4,2% for p-i-n and Pt/a- Si_{0,80}Ge_{0,20} : H Schottky barrier type structures, respectively have been obtained.