

УДК 621.382

ИЗУЧЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТ-АМОРФНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА**Пашаев И.Г.***Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: islampashayev@rambler.ru*

Рассмотрены экспериментальные результаты доказывающие возможность влияния и управления параметрами кремниевых солнечных элементов (СЭ) TiAu/Si-n + -p-p + изготовленных из аморфного металлического сплава (TiAu) с помощью ультразвуковой обработки (УЗО). Показана возможность частичного восстановления фотоэлектрических свойств солнечных элементов, нарушенных -облучением, с помощью УЗО. С целью исследования влияния УЗО на изменение механизма токопереноса, после каждого этапа ультразвуковой обработки, измерялись фотоэлектрические характеристики СЭ в прямом и обратном направлении тока.

Ключевые слова: ультразвуковые волны, фотоэлектрических свойств, солнечные элементы, аморфного, -облучения, ультразвуковые обработки

RECOVERY STUDY CHARACTERISTICS SILICON SOLAR CELLS, AMORPHOUS METAL ALLOYS**Pashayev I.G.***Baku State University, Baku, e-mail: islampashayev@rambler.ru*

Experimental results influences proving possibility and management in parametres of silicon solar elements SE TiAu/Si-n + -p-p + made of an amorphous metal alloy (α TiAu) by means of ultrasonic processing (UP) are considered. Possibility of partial restoration of photo-electric properties of the solar elements broken – an irradiation, by means of ultrasonic processing is shown. C the research objective of influence UP on mechanism change токопереноса, after each stage of ultrasonic processing, measured photo-electric characteristics SE a direct and return direction of a current.

Keywords: ultrasonic waves, photo-electric properties, solar elements, amorphous, -irradiations, ultrasonic processings

В последние годы не ослабевает интерес к проблеме целенаправленного изменения физических свойств полупроводниковых материалов и приборов на их основе путем внешнего контролируемого воздействия. В русле решения этой проблемы, в настоящее время, большое внимание уделяют воздействию ультразвуковых волн, прохождение которых через полупроводник сопровождается изменением его свойств, в частности фоточувствительности, электропроводности, интенсивности излучательной рекомбинации, шумовых характеристик [1–3]. Необходимо отметить, что если раньше использовался ультразвук килогерцового диапазона частот, то сейчас используется ультразвук мегагерцового диапазона частот. Практически во всех публикациях по данной тематике указывается, что УЗО влияет на дефектную подсистему Si, но при этом остается неясным вопрос о конкретных механизмах этого воздействия. Как известно, при облучении полупроводниковых приборов заряженными частицами высоких энергий происходит накопление в объеме полупроводника радиационных дефектов, что приводит к существенному ухудшению электрофизических и фотоэлектрических характеристик приборов [1, 2, 4, 5]. Контролируемое воздействие на дефектную структуру полупроводникового прибора в области *p-n*-перехода и ба-

зовой области позволяет целенаправленно корректировать его характеристики. Традиционно для восстановления нарушенных свойств облученных материалов применяют термическую обработку, использование которой приводит к некоторым негативным последствиям [5, 6]. Поэтому в качестве альтернативы все чаще внимание уделяется атермическим способам обработки, одним из видов которых является УЗО. В данной работе исследуется возможность восстановления с помощью УЗО первоначальных свойств исследуемых кремниевых СЭ, свойства которых ухудшились в результате радиационного облучения.

Для изготовления кремниевых TiAu/Si-n + -p-p + СЭ на основе аморфного металлического сплава TiAu *p-n*-перехода применялась стандартная диффузионная технология получения *p-n*-перехода в кремниевой пластине [5, 6]. О возможности получения пленок этого сплава с аморфной структурой сообщалось в работе [7, 8]. Скорости испарения компонентов выбирались таким образом, чтобы состав пленки соответствовал сплаву $Ti_{60}Au_{40}$ поскольку в работе [7, 8] сообщалось, что такой сплав склонен к аморфизации. Для напыления пленки металлического сплава $Ti_{60}Au_{40}$ с аморфной структурой использована промышленная установка «ОРАТОРИЯ-9», позволяющая получать пленки методом

электроннолучевого испарения из двух источников. Условия испарения выбирались таким образом, чтобы атомные соотношения металлов в сплаве соответствовало $Ti_{60}Au_{40}$. В табл. 1 указаны условия, при которых удалось получить нужное концентрационное соотношение [7]

Таблица 1

Рабочий вакуум	$P = 5 \cdot 10^{-5}$ мм
Температура подложки	$T = 423$ К
Ток испарения Ti	$I_{Au} = 13$ мкА
Ток испарения Au	$I_{Ti} = 2,2$ мкА
Время испарения	$T = 300$ с
Толщина пленки	$d_{AuTi} = 0,5$ мкм

С целью исследования микроструктуры и поверхности пленок применялся рентгеноструктурный анализ и растровая элек-

тронная микроскопия. На рис. 1. представлена типичная картина микроструктуры поверхности чистой пленки Ti, Au и аморфной пленки сплава Ti–Au, сделанная на растровом электронном микроскопе РЭМ. Как видно из рис. 1,а, поверхность пленки Au имеет зернистую структуру, и четко видны границы зерен, которые являются ускоряющими факторами деградационных процессов, характерных для поликристаллической структуры.

Исследуемые кремниевые СЭ облучались γ -квантами ^{60}Co дозой $\sim 10^6$ Rad при комнатной температуре. Затем эти образцы были последовательно, в два этапа, подвергнуты УЗО; продольная волна вводилась с тыльной стороны образца, перпендикулярно к его рабочей поверхности. На первом этапе УЗО-1 (частота $f_{y3} = 9$ МГц, интенсивность $W_{y3} = 0,5$ Вт/см², продолжительность $t = 120$ мин); на втором, УЗО-2, ($f_{y3} = 27$ МГц, $W_{y3} = 1$ Вт/см² и $t = 200$ мин).

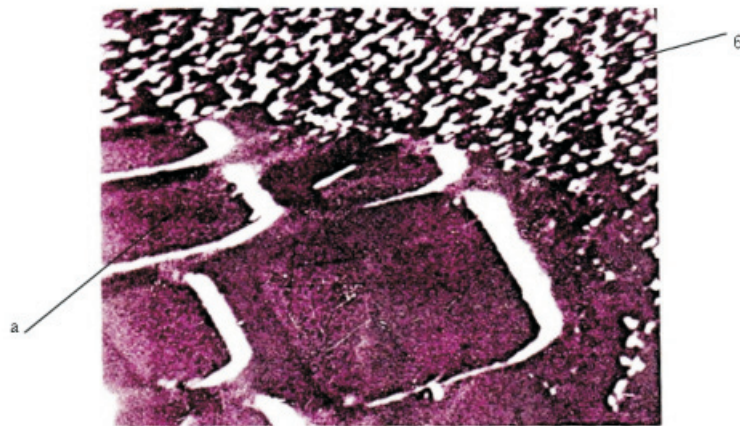


Рис. 1. Снимка растрового электронного микроскопа:
а – полукристаллический Au; б – аморфный металлический сплав $Ti_{60}Au_{40}$

Структура пленки сплава контролировалась рентгенографическим анализом, как видно из рентгенограммы на рис. 2 сплава $Ti_{60}Au_{40}$ имеет аморфной структурой [7]. В аморфной пленке $Ti_{60}Au_{40}$, также как

и в кристаллах, первый максимум полностью разрешен, т.е. первый минимум касается оси абсцисс. Это значит, что на определенном расстоянии плотность рассеянных электронов практически равна нулю [3].

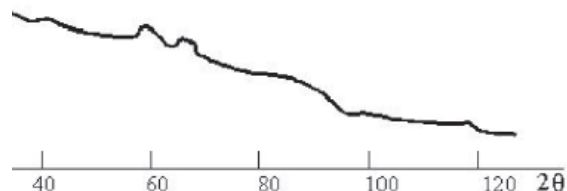


Рис. 2. Рентгеноструктурный анализ аморфных металлических пленок $Ti_{60}Au_{40}$

Влияние γ -облучения и УЗО непосредственно на фотоэлектрические характеристики исследуемых СЭ видно из рис. 3, на

котором представлены нагрузочные ВАХ исследуемых СЭ. Как и следовало ожидать γ -облучение приводит к ухудшению нагру-

зочной ВАХ СЭ, что проявляется в уменьшении тока короткого замыкания $I_{кз}$ и напряжении холостого хода $U_{хх}$ и как следствие, в снижении максимальной выходной мощности P_{max} , и ξ – коэффициента заполнения. Последующие УЗО-1 и, особенно, УЗО-2 восстанавливают нагрузочные ВАХ СЭ, приближая их к исходным, (рис. 3, кривые 3 и 4).

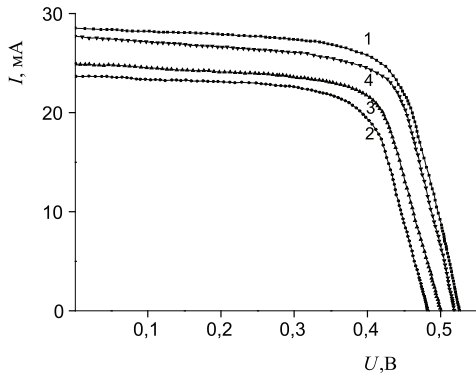


Рис. 3. Нагрузочная ВАХ TiAu/Si-n + -p-p + образца подвергнутого облучению γ -квантами и УЗО при $I = 100 \text{ мВт/см}^2$ и $T = 300 \text{ К}$. Кривые: 1 – исходная; 2 – после γ -облучения дозой 10^6 Rad ; 3 – после УЗО-1 ($W_{\gamma 3} \approx 0,5 \text{ Вт/см}^2$, $t \approx 120 \text{ мин}$, $f_{\gamma 3} \approx 9 \text{ МГц}$); 4 – после УЗО-2 ($W_{\gamma 3} \approx 1 \text{ Вт/см}^2$, $t \approx 200 \text{ мин}$, $f_{\gamma 3} \approx 27 \text{ МГц}$)

Проанализируем возможные механизмы наблюдаемых изменений. Известно, что величина фототока определяется из выражения [2, 4]:

$$I_{\Phi} = qSN_{\Phi}Q,$$

где q – заряд электрона; SN_{Φ} – общее количество фотогенерированных электронно-дырочных пар на площадке S ; Q – коэффициент собирания носителей заряда.

Поскольку величина SN_{Φ} остается практически постоянной в условиях данного

эксперимента, то происходящее в результате γ -облучения падение фототока СЭ, очевидно, обусловлено уменьшением Q . Когда диффузионная длина неосновных носителей в базе $L_n \ll d_p$, величина Q определяется из [2, 9]:

$$Q = \frac{\alpha L_n}{\alpha L_n + 1}, \quad (1)$$

где α – коэффициент поглощения света.

Известно, что $L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$, где D_n – коэффициент диффузии; τ_n – время жизни неосновных носителей в базе.

Учитывая (1) для фототока получаем следующее выражение:

$$I_{\Phi} = qSN_{\Phi} \frac{\alpha \sqrt{D_n \tau_n}}{\alpha \sqrt{D_n \tau_n} + 1}.$$

Напряжение холостого хода $U_{хх}$ определяется как (2)

$$U_{хх} \approx \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{кз}}{I_0}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; T – температура; A – безразмерный коэффициент, характеризующий скорость рекомбинации в слое объемного заряда; I_0 – обратный ток насыщения, протекающий через p - n -переход; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания.

Как показывают наши оценки, облучение γ -квантами не приводит к значительному изменению A . Влияние γ -облучения и УЗО непосредственно на фотоэлектрические характеристики исследуемых СЭ видно из таблицы, в которых представлены параметры образца СЭ. Как показано в таблице последующие УЗО-1 и, особенно, УЗО-2 восстанавливают параметры СЭ, приближая их к исходным.

Таблица 1

Фотоэлектрические параметры TiAu/Si-n + -p-p + образца СЭ до и после γ -облучения и после УЗО при $P_{изл} = 120 \text{ мВт/см}^2$ и $T = 300 \text{ К}$

Состояние образца	Параметры	A	$U_{хх}$, В	$I_{кз}$, mA	P, мВт	ξ
До облучения		2,32	0,542	26,82	12,54	0,7232
После γ -облучения		2,66	0,498	21,14	9,53	0,7214
После УЗО-1		2,56	0,528	22,61	10,52	0,7235
После УЗО-2		2,42	0,536	26,65	12,41	0,7263

Как известно, облучение γ -квантами ^{60}Co с энергией порядка $\sim 1,2 \text{ МэВ}$, эквивалентно внутреннему облучению СЭ быстрыми электронами, возникающими в результате комптоновского рассеяния и фотопоглощения, что приводит в основном к образо-

ванию дефектов точечного типа. При этом в результате взаимодействия радиационных дефектов с уже имеющимися в кристалле дефектами, в области p - n -перехода и базы создаются дополнительные электрически и оптически активные центры, играющие

роль рекомбинационных центров, что приводит к уменьшению времени жизни неосновных носителей τ_n и параметров Q и I_{Φ} , зависящих от τ_n .

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при составе $Ti_{60}Au_{40}$ образец является аморфным. Выявлены закономерности влияния УЗО на фотоэлектрические свойства исследуемых кремниевых СЭ и установлено, что взаимодействие ультразвуковых волн с неоднородностями полупроводниковой структуры кремниевых СЭ оказывает воздействие на генерационно-рекомбинационный механизм переноса тока. На основании фотоэлектрических измерений доказано, что восстановление фотоэлектрических свойств кремниевых СЭ с помощью ультразвуковой обработки, нарушенных γ -облучением, происходит за счет перегруппировки и атермического отжига радиационных дефектов образованных -квантами.

Список литературы

1. Аскеров Ш.Г., Гусейнов Н.А., Асланов Ш.С. Определение основных параметров кремниевых фотопреобразо-

вателей // Вестник БГУ. Сер. физ.-мат. наук. – 2005. – № 2. – С. 86–89

2. Влияние ультразвуковой обработки на микропроцессы формирования барьеров Шоттки гетеросистем М-n-n + GaAs (M = Pt, Cr, W) / И.Б. Ермолович, В.В. Миленин, Р.В. Конакова и др. // ПЖТФ. – 1996. – Т. 22, № 6. – С. 33–36.

3. Гипье А. Рентгенография кристаллов. – М., 1963. – С. 600.

4. Коутс Т.Дж., Микин Дж.Д. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики. – М.: Мир, 1988. – С. 307.

5. Оптические исследования пленок AlN/n-Si(100), полученных методом высокочастотного магнетронного распыления / Н.С. Заяц, В.Г. Бойко, П.А. Генцарь и др. // ФТП. – 2008. – Т. 42 (2). – С. 195–198.

6. Островский И.В., Стебленко Л.П., Надточий А.Б. Образование поверхностного упроченного слоя в бездислокационном кремнии при ультразвуковой обработке // ФТП. – 2000. – Т. 34. – № 3. – С. 257–260.

7. Судзуки К., Фулзумори Х., Хасимов К. Аморфные металлы: пер. с англ. Е.У. Поляка, под. ред. И.В. Кекало. – М.: Металлургия, 1987. – С. 328.

8. Пашаев И.Г. Влияние различных обработок на свойства диодов Шоттки // ФТП. – 2012. – Т.46, № 8. – С. 1108–1110.

9. Парчинский П.Б., Власов С.И., Муминов Р.А. Влияние ультразвука на параметры структур металл-диэлектрик-полупроводник // Письма в ЖТФ. – 2000. – Т. 26. – № 10. – С. 40–45.