

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ВАХ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**И.Г.ПАШАЕВ, М.Н.АГАЕВ, Р.Ф.МЕХТИЕВ, М.Г. ГАСАНОВ***Бакинский Государственный Университет*
agaevm50@mail.ru

В данной работе исследуемые образцы кремниевых солнечных элементов подвергнуты действию влияния ультразвуковой обработки (УЗО) с различной мощности (от 0,1 до 0,5Вт/см²) и временем обработки (от 12 мин до 270 мин). Частота ультразвука была равна 25 МГц. Показано, что обратный ток кремниевых солнечных элементов (СЭ) уменьшается и приближается к своему минимальному значению. Регулируя режим УЗО, можно целенаправленно корректировать параметры СЭ.

Многочисленные работы [1 ÷ 8] посвящены акусто-стимулированному улучшению свойств полупроводниковых кристаллов. Использование для этой цели ультразвуковых (УЗ) волн эффективно и для полупроводниковых приборов. Ультразвуковое воздействие является эффективным способом повышения внутренней энергии твердых тел. В зависимости от коэффициента поглощения и от интенсивности ультразвука, возможны различные структурные изменения, оказывающие влияние на фотоэлектрические и электрофизические свойства материалов, а также на процесс пластической деформации. Последний связан с локальным изменением ширины запрещенной зоны при прохождении через кристалл ультразвуковой волны.

В отличие от тепловой энергии, поглощаемой равномерно во всем объеме полупроводника, затухание ультразвуковых волн происходит у дефектов кристаллической решетки, в частности, на дислокациях. Ультразвук значительно увеличивает энергию дислокации и активизирует их источники. Поэтому при одновременном действии статических и высокочастотных динамических нагрузок снижается сопротивление деформированию кристаллических тел. При испытаниях после интенсивной УЗ обработки материалов отмечается возрастание предела текучести из-за роста плотности дефектов решетки. Для подтверждения данного предположения образец был подвергнут УЗО с мощностью порядка $W_{УЗ} = 0,1 \text{ Вт/см}^2$. На рис.1 показано изменение обратного тока образца под действием УЗО. Как видно из рис.1, после УЗО-1 ($W_{УЗ}=0,1-0,2 \text{ Вт/см}^2$, $t=12 \text{ мин.}$, $f_{УЗ}=25 \text{ МГц}$) обратный ток образца незначительно уменьшился, что свидетельствует об улучшении барьерных свойств p-n перехода. Отметим, что ультразвуковая волна

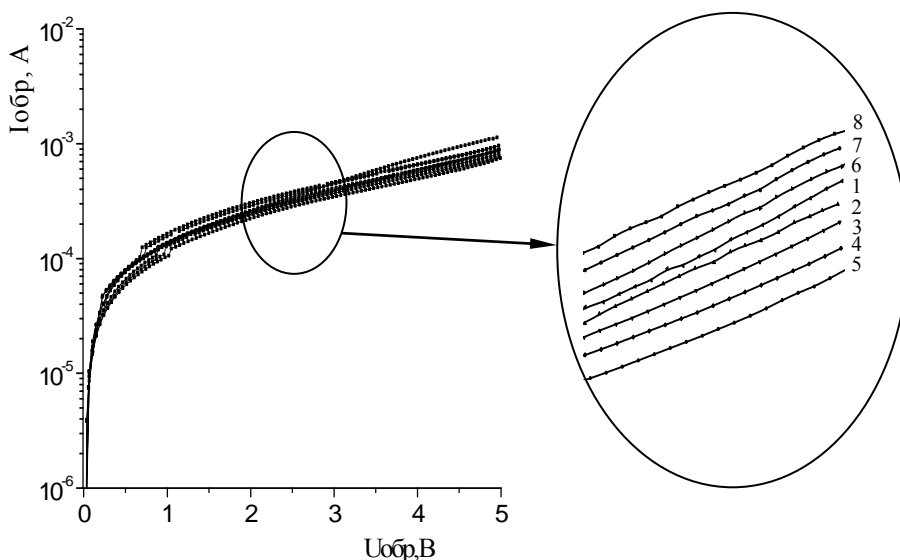


Рис.1. Изменение обратного темнового тока Al-Ni/Si-n+-p-p+ после УЗО ($T=300\text{K}$). Кривые: 1 – исходная, без УЗО; 2 – после УЗО-1 ($W_{УЗ}=0,1-0,2\text{Вт/см}^2$, $t=12$ мин.); 3 – после УЗО-2 ($W_{УЗ}=0,1-0,2\text{Вт/см}^2$, $t=36$ мин.); 4 – после УЗО-3 ($W_{УЗ}=0,1-0,2\text{Вт/см}^2$, $t=90$ мин.); 5 – после УЗО-4 ($W_{УЗ}=0,1-0,2\text{Вт/см}^2$, $t=270$ мин.); 6 – после УЗО-5 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=12$ мин.); 7 – после УЗО-6 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=36$ мин.); 8 – после УЗО-7 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=90$ мин.); Частота ультразвука на всех этапах $f_{УЗ}=25\text{МГц}$.

с мощностью $W_{УЗ}=0,1-0,2\text{Вт/см}^2$ не приводит к созданию новых дефектов и активации уже имеющихся, а, наоборот, эффективно поглощаясь на дефектах p-n перехода и базы приводит к деактивации последних. На рис.1 ясно видно, что после четвертой ультразвуковой обработки обратный ток приблизился к своему минимальному значению. Последующие три ультразвуковые обработки УЗО-5 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=12\text{мин.}$, $f_{УЗ}=25\text{МГц}$), УЗО-6 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=36\text{мин.}$, $f_{УЗ}=25\text{МГц}$), УЗО-7 ($W_{УЗ}=0,4-0,5\text{Вт/см}^2$, $t=90\text{мин.}$, $f_{УЗ}=25\text{МГц}$) хотя и имели намного большую мощность ультразвуковой волны, порядка $0,5\text{Вт/см}^2$, привели всего лишь к незначительному увеличению обратного тока. Уменьшение обратного тока видно из следующей формулы:

$$I_{к.з.} = qSN \alpha \cdot \frac{\sqrt{D_n \tau}}{1 + \alpha L_n}, \quad (1)$$

где $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания, q – заряд электрона, α – коэффициент поглощения, D_n – коэффициент диффузии электронов, τ – время жизни, L_n – длина диффузионного смещения, SN – общее количество фотогенерированных электронно-дырочных пар на площадке S . Поскольку величина SN остается практически постоянной в условиях данного эксперимента, то происходящее после ультразвуковой обработки УЗО-1 понижение фототока СЭ очевидно обу-

словлено уменьшением времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей в области р-п перехода и базы СЭ.

На рис.2 представлены изменения прямого тока образца Al-Ni/Si-n+-p-p+ после УЗО 100 мВт/см^2 и $T = 300\text{К}$. Как можно видеть, характер изменений прямого тока образца соответствует характеру изменений обратного тока, в связи с чем, мы не будем подробно останавливаться на описании этого эксперимента.

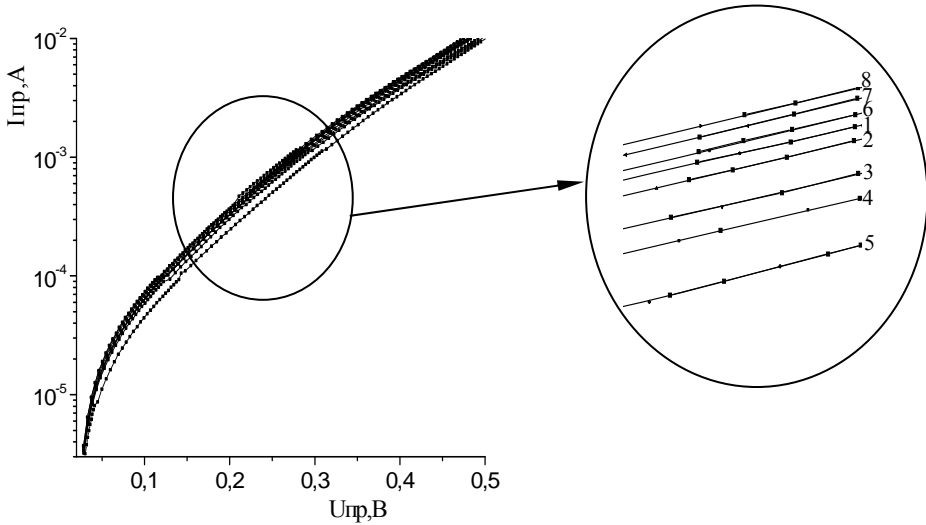


Рис. 2. Изменение прямого темнового тока Al-Ni/Si-n+-p-p+ после УЗО ($T=300\text{К}$). Обозначения те же, что на рис.1.

При сравнении рис.1 и рис.2 хорошо видно, что УЗО с мощностью ультразвуковой волны, порядка $0,5 \text{ Вт/см}^2$, исходного образца приводит к некоторому увеличению обратного тока. Тогда как, три последовательные УЗО с такими же мощностями ультразвуковой волны, но разной продолжительностью, предварительно обработанного ультразвуковой волной мощностью, порядка $0,1 \text{ Вт/см}^2$, не привело к столь значительному уменьшению обратного тока. Что свидетельствует о том, что система уже находится в более устойчивом и стабильном состоянии, чем до маломощной УЗО образца.

Известно, что напряжения холостого хода СЭ определяется выражением:

$$U_{x.x.} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{к.з.}}{I_0} + 1 \right), \quad (2)$$

здесь A – безразмерный коэффициент, характеризующий скорость рекомбинации в слое объемного заряда. Как видно из формулы (2), $U_{x.x.}$ зависит от величины обратного тока I_0 и коэффициента A . Как уже было показано выше, после ультразвуковой обработки УЗО-1 обратный ток I_0 заметно увеличивается, а скорость рекомбинации в слое объемного заряда A растет, но незначительно. Все это, в конечном итоге, с учетом формулы (2), приводит к уменьшению $U_{x.x.}$. Ясно, что уменьшение таких фотоэлектрических параметров СЭ как $I_{к.з.}$ и $U_{x.x.}$ непосредственно приведет к снижению выходной мощности $P_{\text{вых}}$ снимаемой с на-

грузки, т.е. к понижению КПД исследуемого кремниевого СЭ.

Для определения степени изменения фотоэлектрических параметров исследуемых СЭ, после ультразвукового воздействия, снимались зависимости $I_{пр}$, $I_{обр}$ и их относительных изменений от этапов обработки. Такое построение графика позволяет взглянуть на картину в целом, в частности, проследить за тем, какие параметры СЭ, при каких режимах УЗО претерпевают ухудшение, а при каких улучшение. Следовательно, появляется возможность заранее прогнозировать влияние ультразвукового воздействия на фотоэлектрические свойства СЭ. В таблице представлены, определенные из вышеописанных экспериментов, фотоэнергетические параметры, образца. В том числе, приведены значения этих параметров после каждого этапа ультразвуковой обработкой образца. Такое построение таблицы позволяет проследить, на какую величину изменятся фотоэнергетические параметры, при подаче на образец ультразвуковой волны со строго заданной мощностью, частотой и в течении заданного времени. Воспользовавшись таблицей можно, задавая нужный режим УЗО, добиваться требуемых изменений фотоэнергетических параметров СЭ. Наблюдаемые эффекты, возможно, связаны с эффективным поглощением УЗ в местах, содержащие несовершенства кристаллической решетки. Последние представляют собой точечные дефекты и их комплексы, а также кластерные образования и дислокации. В результате становятся возможным процессы перестройки точечных дефектов и их комплексов.

Таблица

Фотоэлектрические параметры Al-Ni/Si-n+-p-p+ образца до и после УЗО при $P_{изл} = 100 \text{ mVt/cm}^2$ и $T=300\text{K}$

Состояние образца Параметры	до УЗО	после УЗО-1	после УЗО-2	после УЗО-3
$I_{к.з}, \text{Ma}$	28,60	24,87	25,56	22,00
$U_{хх}, \text{В}$	0,527	0,506	0,511	0,493
$\eta, \%$	9,192	7,701	8,102	6,550
$I_{об}, \text{a}$	$9,5 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
A	2,28	2,62	2,60	2,80

Это позволяет использовать вышесказанное при изготовлении p-n-перехода, и создания контактов к нему. При введении в полупроводниковую структуру акустической волны перемещения дислокаций в полях остаточных и создаваемых акустической волной знакопеременных напряжений, подобные эффекты перемещения (иногда и размножения дислокаций) в объемных кристаллах кремния под действием ультразвука известны [5]. В исследованных СЭ наблюдалось также изменение диффузионных и рекомбинационных токов. Очевидно, что перемещение дислокаций сопровождается и “оттоком” от p-n перехода точечных дефектов, играющих роль рекомбинационных центров. В [6] авторы отмечали подобный “уход” примесей под действием УЗО из рабочей области кремниевого *p-i-n* детектора ядерного излучения в объем подложки.

Важно подчеркнуть, что новое состояние совокупности дефектов в области p-n перехода СЭ, сформировавшиеся после УЗО, оказывается устойчивым. ВАХ диодов практически не изменился при продолжительном (6 месяцев) хранении и последующем испытании.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные показывают, что характер и степень изменений фотоэлектрических и электрофизических свойств СЭ зависят от выбранного режима УЗО, т.е., регулируя режим УЗО, можно целенаправленно корректировать параметры СЭ. Это, в свою очередь, дает нам возможность предложить УЗО кремниевых солнечных элементов в качестве эффективной термической геттерирующей обработки, приводящей к улучшению кремниевых СЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонтарук А.Н., Корбутяк Д.В., Корбут Е.В. // Письма в ЖТФ, 1998, т.24, №15 с.64-68.
2. Аскеров Ш.Г., Олих Я.М., Гусейнов Н.А. и др. Труды Пятой Международной научно-технической конференции // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе. Баку-Сумгаит: 2005, с.138-141.
3. Ермолович И.Б., Миленин В.В., Конакова Р.В. и др. // ПЖТФ, 1996, т.22, в.6, с.33-36.
4. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. М.: Высшая Школа, 1983, с.127-138.
5. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. М.: Высшая школа, 1986, с.200-368.
6. Островский И.В., Стебленко Л.П., Надточий А.Б. ФТП, 2000, т.34, №3, с. 257-260.
7. Парчинский П.Б., Власов С.И., Муминов Р.А. и др. Письма в ЖТФ, 2000, т.26, №10, с.40-45.
8. Парчинский П.Б., Власов С.И., Лигаи Л.Г. и др. Письма в ЖТФ, 2003, т.26, №10, с.40-45.

ULTRASƏS İŞLƏNMƏSİNİN (USİ) SİLİSİUM GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN (GE) VAX-na TƏSİRİ

İ.Q.PAŞAYEV, M.N.AĞAYEV, R.F.MƏHDİYEV, M.H.HƏSƏNOV

XÜLASƏ

Bu işdə silisium günəş elementləri nümunələrinə müxtəlif gücdə ($0,1 \text{ Vt/sm}^2$ -dən $0,5 \text{ Vt/sm}^2$ -ə kimi) və işlənmə müddətində (12 dəqiqədən 270 dəqiqəyə kimi) USİ-nin təsiri tədqiq edilmişdir. Ultrasəsin tezliyi bütün hallarda 25 MHz olmuşdur. Göstərilmişdir ki, GE-nin əks cərəyanı azalaraq öz minimal qiymətinə yaxınlaşmışdır. USİ-nin rejimini tənzimləməklə GE parametrlərini məqsədyönlü şəkildə korreksiya etmək olar.

INFLUENCE OF ULTRASOUND PROCESSING ON THE VOLTAMPERE CHARACTERISTICS OF SOLAR ELEMENTS

I.G.PASHAYEV, M.N.AGAYEV, R.F.MEHDIYEV, M.H.HASANOV

SUMMARY

The presented paper exposes the explored samples of silicon solar elements to the ultrasound of different powers (from $0,1 \text{ W/sm}^2$ to $0,5 \text{ W/sm}^2$) and the processing period (from 12 min to 270 min). The ultrasound frequency was 25 MHz. It is shown, that the bake-up current of SE decreases and approaches its minimum value. The SE parameters can be purposefully controlled by tuning the ultrasound regime.