

СОПРЯЖЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.С.МАДАТОВ, И.А.КАБУЛОВ, Я.Б.КАРАЕВ

Сектор Радиационных Исследований АН Азербайджана
Баку-143, пр. Г.Джавида, 31^а.

Приводятся некоторые результаты исследования сопряженного действия температуры и освещения на скорость восстановления кремниевых солнечных элементов (СЭ) после электронного облучения с энергией 5 МэВ. Показано, что фото-термический отжиг облученных СЭ увеличивает скорость и понижает температуру восстановления параметров фотопреобразователей.

Известно, что при термообработке облученных солнечных элементов их фотоэнергетические параметры восстанавливаются вследствие отжига радиационных дефектов [1,2]. Такая обработка солнечных элементов сопровождается введением в материал так называемых термодфектов. Механизм явлений, происходящих в полупроводниковых структурах при термообработке, в большинстве случаев не до конца ясен, так как на процесс образования термодфектов влияют не только различные исходные несовершенства кристалла, но и режимы термообработки.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты исследования сопряженного воздействия температуры и освещения на скорость восстановления фотоэнергетических параметров фотопреобразователей на основе Si.

Экспериментальные солнечные элементы изготавливались из выращенного по методу Чохральского монокристаллического Si p-типа проводимости. Толщина базы составляла 300 мкм, а глубина залегания p-n-перехода ~ 2 мкм.

При условии АМІ эти фотопреобразователи давали фото ЭДС холостого хода ~ 0,5 В и фототок короткого замыкания 25 мА/см². После облучения образцов потоками электронов $10^{10} \div 10^{13}$ см⁻² с энергией 5 МэВ при комнатной температуре $U_{\text{хх}} = 0,42 \div 0,45$ В, а $J_{\text{кз}} = 15 \div 20$ мА/см².

Для сравнительной оценки влияния температуры и освещения на радиационную деградацию СЭ, отдельные образцы облучались при комнатной температуре без освещения.

До и после облучения определялись вольт-амперные характеристики солнечных элементов при освещении 3-5 кратным концентрированным солнечным излучением при условии АМО.

На рис. 1 представлены зависимости фотоэнергетических параметров кремниевых солнечных элементов от плотности потока ускоренных электронов, свидетельствующие о том, что во всем диапазоне изменения плотностей интегральных потоков электронов с увеличением освещенности степень деградации $J_{\text{кз}}$ уменьшается, а $U_{\text{хх}}$ практически не изменяется. С

целью определения степени деградации солнечных элементов проводилась дополнительная термообработка образцов. При этом для выяснения влияния освещенности на процесс отжига радиационных дефектов осуществлялось два режима термообработки - с освещением и без освещения образцов.

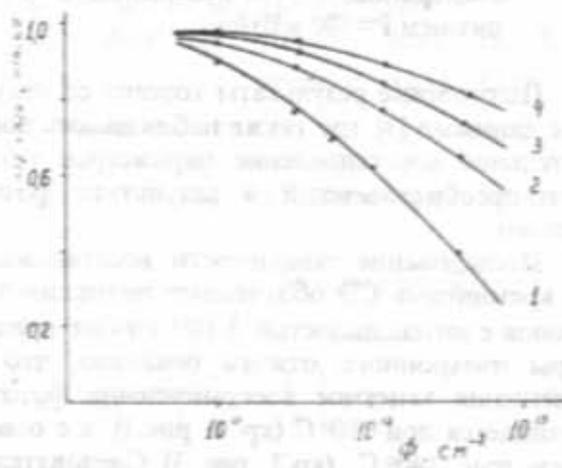


Рис. 1. Зависимость фототока короткого замыкания кремниевых СЭ от плотности ускоренных электронов при различных условиях: 1 - в темноте; 2-4 - с освещением при 300; 400; 500 мВт/см².

Установлено, что термообработка СЭ при температурах и освещенностях, соответствующих условиям облучения, не приводит к восстановлению параметров образцов облученных в темноте, но существенно улучшает параметры солнечных элементов, облученных с освещением. Это свидетельствует о влиянии освещенности на процесс отжига дефектов вводимых электронами.

Исследование эффективности отжига

$$(F)_{\text{кз}} = \frac{J_{\text{кз}} \sigma_{\text{кз}}}{J_{\text{кз}} \sigma_{\text{кз}}} \quad \text{где } - J_{\text{кз}}, J_{\text{кз}}^{\text{отж}}, J_{\text{кз}}^{\text{до}} \text{ - значения}$$

тока короткого замыкания до и после облучения, и после отжига соответственно) от плотности интегрального потока электронов в темноте и в освещенном состоянии для кремниевых

солнечных элементов показало, что эффективность фото-термического отжига значительно выше, чем термического отжига при пассивном состоянии элементов (рис.2).

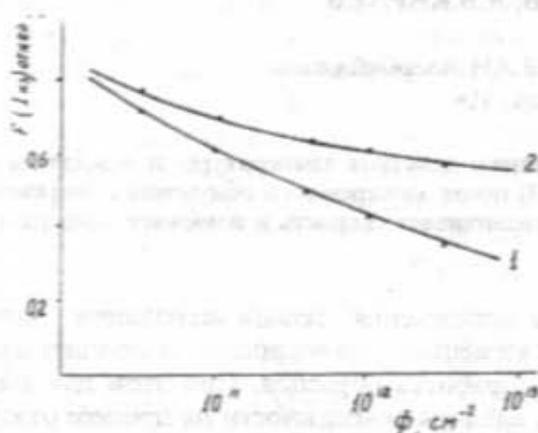


Рис.2. Зависимость эффективности отжига ($T=150^\circ\text{C}$, $t=2\text{ч}$) от плотности ускоренных электронов: 1 - без освещения; 2- с освещением $P=500 \text{ мВт/см}^2$.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными [3], где также наблюдалось дополнительное восстановление параметров гетерофото-преобразователей в результате фотоинжекции.

Исследование зависимости восстановления J_{sc} кремниевых СЭ облученных потоками электронов с интенсивностью $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ от температуры изохронного отжига показало, что без освещения заметное восстановление фототока начинается при 180°C (кр. 1, рис.3), а с освещением при 140°C (кр.2, рис. 3). Следовательно

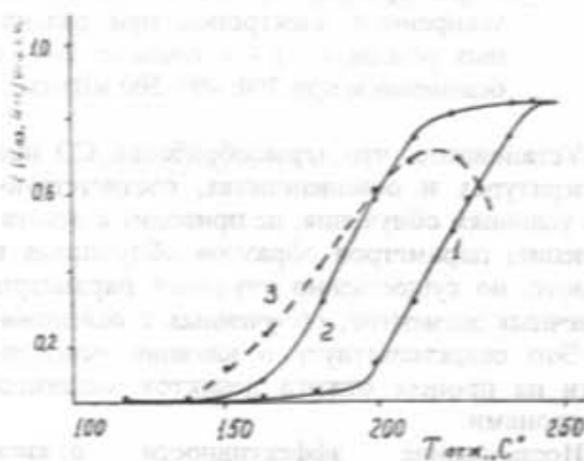


Рис. 3. Кривые изохронного отжига образцов после облучения электронами при 10^{13} см^{-2} : 1- J_{sc} - в темноте; 2- J_{sc} - с освещением ($t = 30 \text{ мин}$), $P=500 \text{ мВт/см}^2$; 3- U_{oc} - с освещением и в темноте.

освещение понижает температуру начала восстановления фототока. Эффект такой фото-термообработки при 140°C равноценен обычной термообработке при 180°C . Как видно из рис. 3, термообработка фотоэлемента в темноте и при освещении не приводит к изменению значения U_{oc} (кр.3), так как температура восстановления U_{oc} начинается при 140°C . Это объясняется тем, что в результате облучения дефекты создаются в области базы элемента, т.е. вне слоя объемного заряда.

Исследование зависимости эффективности восстановления от времени изотермического отжига показало, что после 2-3 часов отжига дальнейшего восстановления J_{sc} не происходит как в освещаемых, так и в неосвещаемых образцах.

На основе полученных результатов приходим к заключению, что эффективность отжига облученных кремниевых солнечных элементов при сопряженном воздействии температуры и освещенности значительно выше, чем эффективность термического отжига. Эффективность фото-термического отжига увеличивается с увеличением интенсивности освещения, а при высоких интегральных потоках электронов уменьшается.

Наблюдаемый стимулированный фото-термический отжиг радиационных дефектов в кремниевых солнечных элементах объясняется фотоинжекционным отжигом [4,5].

Предполагается, что при нагревании облученных образцов под действием освещения, вследствие инжекции неосновных носителей, в них реализуется механизм перезарядки дефектов, в основе которого лежит захват неравновесного носителя дефектом, с локализованным на нем зарядом противоположного знака и при этом выделяемая энергия рекомбинации электронно-дырочных пар передается дефектам. Поэтому дефекты, наведенные и стабильные при данной температуре в пассивном состоянии, быстрее отжигаются в случае инжекции неосновных носителей заряда. Это приводит к увеличению скорости отжига радиационных дефектов.

Таким образом, на основе выполненных исследований можно заключить, что высокая скорость восстановления фото-энергетических параметров СЭ при сопряжении температуры и освещения связана с фотоинжекционным отжигом радиационных дефектов на базе.

1. В.М.Андреев, Г.М.Гусинский, В.С.Калиновский, О.К.Салиева, О.В.Соловьев, Н.С.Ханмедов, ФТП, 1988, т.22, № 8, с. 1391-1395.
2. Г.М.Григорьева, В.А.Гриликес, К.Н.Звягина, М.Б.Коган, Т.Л.Любашевская, О.И.Честа, Гелиотехника, 1989, № 1, с.8-12.
3. М.Я.Бакиров, А.Б.Берклиева, К.Аннаев, Р.С.Мадатов, И.А.Кабулов, Р.С.Исмайлова, Н.Назаров, Гелиотехника, 1992, № 2, с.32-33.
4. D.Sbiergaard, J.C.Bourgoin, Annealing of radiation at the injection. 17-th IEEE photovoltaic Spec. Conf. Kissimmee, 1984, p.1103-1107.
5. Т.Д.Джафаров, Радиационно-стимулированная диффузия в полупроводника, Москва, 1991, с. 246.

R.S.MƏDƏTOV, İ.A.KABULOV, Y.B.QARAYEV

GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN PARAMETRLƏRİNİN BƏRPA OLUNMA SÜR'ƏTİNƏ TEMPERATURUN VƏ XARİCİ FAKTORLARIN BİRGƏ TƏ'SİRİ

Enerjisi 5 MeV olan elektron dəstəsi ilə şüalandırılmış günəş elementlərinin energetik parametrlərinin bərpa olunma sür'ətinə temperaturun və işıqlanmanın birgə tə'siri öyrənilmişdir.

Göstərilmişdir ki, foto-termik dəmləmə şüalandırılmış elementlərin bərpa olunma temperaturunu azaldır və onun sür'ətini artırır.

R.S.MADATOV, İ.A.KABULOV, Y.B.KARAYEV

CONJUGATE ACTION OF TEMPERATURE AND EXTERNAL FACTORS ON SPEED REESTABLISHING PARAMETER OF SOLAR CELLS

Some results of investigation of conjugate action temperature and lighting on speed of re-establishment performances of Si solar cells after elektron-irradiation with 5 MeV energy, are presented. It is shown, that photo-thermal annealing radiation damage solar cells increase of speed and lower of temperature resestablishment performances of photovoltaic devices.

Дата поступления: 21.01.97.

Редактор: М.Керимов.