

осуществлением плазмохимического осаждения слоев аморфного кремния позволяет в течение необходимого времени перемещения кремниевой

пластины из одной установки в другую обеспечить необходимое время жизни неосновных носителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. High Efficiency a-Si:H / c-Si heterojunction solar cells / T. Zawada, N. Terada, S. Tsude et al. // Proc. of 1 st. -WPEC. Hawaii, USA, 1994. P. 1219–1226.
2. Sinton R., Cuevas A. Contactless determination of current-voltage characteristics and minority-carrier lifetimes in semiconductors from guasi-steady-state photoconductance data // Appl. Phys. Lett. 1996. Vol. 69. P. 2510–2512.
3. M.C.M vande Sanden / A. Illiberi, P. Kudlacek, F. H. Smets, M. Creatore // Appl. Phys. Lett. 2011. Vol. 98. P. 242115–242119.
4. Maruyama E. Recent Technological Progress of high-efficiency HIT Solar Cells, Panasonic / Solar Business Unit. 2013. P. 1–43.
5. Angermann A., Rappich J. Wet-chemical Condition of Silicon Substrates for a-Si:H / c-Si Heterojunction Cells in «Physics and Technology of Amorphous-Crystalline Heterostructure Silicon Solar Cells» / Eds. W. G. J. H. van Sark, L. Korte, I. Roca. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2012. 348 p.

D. I. Orekhov

R&D center of thin film technologies in energetics under Ioffe institute

OPTIMIZATION OF PASSIVATION PROCESS ON THE SILICON WAFER SURFACE DURING FORMATION HETEROSTRUCTURE SILICON SOLAR CELL

Results of formation of heterostructure solar cells on crystalline silicon by deposition on the wafer surface of amorphous hydrogenated silicon are presented in the paper. The procedure of heterostructure formation and crystalline silicon surface defect passivation is described. It is shown that it is possible to achieve minority carrier lifetime over 1 msec after surface passivation, which is sufficient to form heterostructure silicon solar cell with efficiency over 20 %.

Solar cells, amorphous hydrogenated silicon, heterojunction, solar cell efficiency

УДК:621.383.51

А. В. Семенов, В. П. Афанасьев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Исследование деградации двухкаскадных тонкопленочных модулей на основе аморфного и микрокристаллического кремния

Проведенное исследование деградации двухкаскадных тонкопленочных солнечных модулей показало, что снижение эффективности модулей, осажденных по модифицированному рецепту, равное 11 %, ниже почти на треть, по сравнению с деградацией эффективности модулей, осажденных по базовой технологии, которая составляет 15 %.

Тонкопленочные солнечные модули на основе кремния, эффективность, технология формирования, деградация

На основе аморфного и микрокристаллического кремния изготавливались тонкопленочные солнечные модули (ТСМ) размером 100 × 100 мм. На рис. 1 представлен ТСМ, изготовленный в Научно-

техническом центре тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Технология изготовления ТСМ описана в [1], [2].

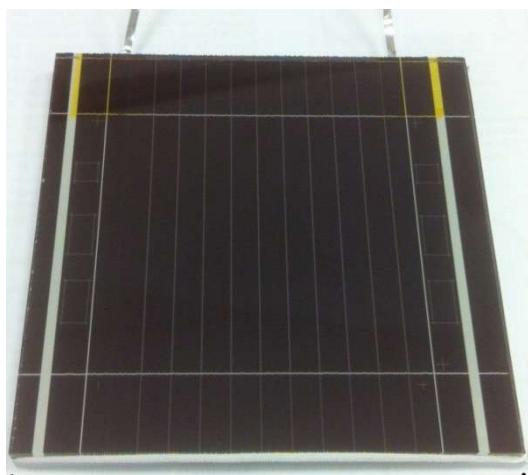


Рис. 1

Основной методикой, используемой для характеристики ТСМ, является исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ). Снятие ВАХ производилось на имитаторе солнечного излучения постоянного горения Sun Simulator V3.0 фирмы «Oerlikon Solar». Использовался спектр AM1.5 при мощности излучения 1000 Вт/м^2 . Эта методика позволяет получить данные об эксплуатационных характеристиках ТСМ: напряжении холостого хода ($U_{\text{хх}}$), токе короткого замыкания ($I_{\text{кз}}$), факторе заполнения FF, эффективности преобразования солнечной энергии η , а также позволяет вычислить последовательное (R_s) и параллельное (R_p) сопротивления.

Исследование деградации ТСМ осуществлялось при помощи установки Light Soak Bench фирмы «Oerlikon Solar», которая также имеет спектр излучения AM1.5 с интенсивностью 1000 Вт/м^2 . Модули укладывались на алюминиевый столик, температура образца поддерживалась равной 50°C , длительность облучения составляла 1000 ч. Для осуществления промежуточных измерений характеристик ТСМ вынимались из установки (секундомер, отсчитывающий 1000 ч, останавливался) охлаждались до комнатной температуры, и затем снимались ВАХ.

Были исследованы серии ТСМ, изготовленные как по базовому технологическому рецепту, так и по модернизированному рецепту. Установлено, что все параметры ТСМ в той или иной степени подвержены деградации. На рис. 2 приведены зависимости эффективности преобразования модулей, изготовленных по базовой технологии (рис. 2, а) и по модернизированной технологии (рис. 2, б), от времени освещения.

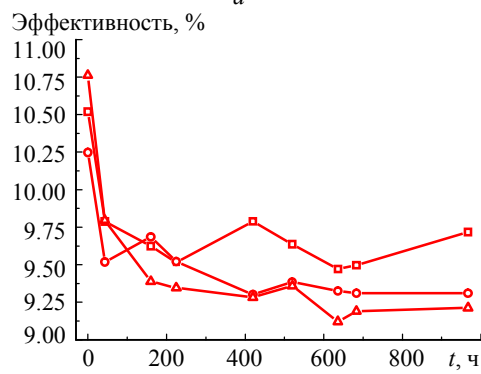
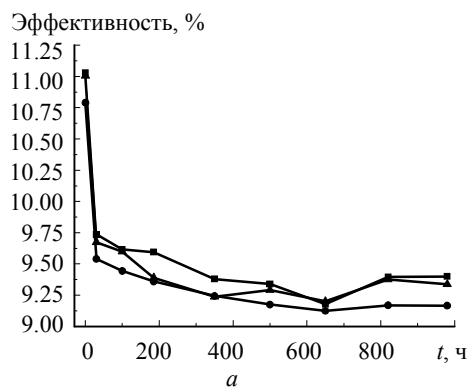


Рис. 2

На рис. 3 представлена относительная средняя деградация максимальной мощности (P_{max}) модулей, изготовленных в разных режимах, от времени при облучении светом. Из рис. 3 видно, что после облучения длительностью 1000 ч деградация для модуля, изготовленного по базовому рецепту, равняется 15 %, а для модуля, изготовленного по модернизированному рецепту, – 10 %.

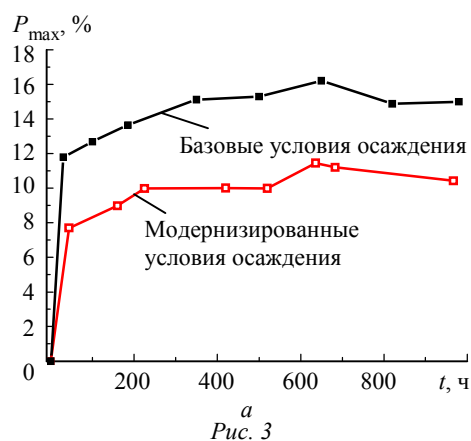


Рис. 3

В таблице сведены полученные результаты по относительной деградации средних значений параметров модулей для различных серий ТСМ.

Из данной таблицы видно, что для всех исследуемых модулей сильнее всего подвержен деградации фактор заполнения, в меньшей степени – ток короткого замыкания. Деградация напряжения холостого хода выражена слабо. Де-

№ серии	Условия осаждения	$\Delta P_{\max}, \%$	$\Delta U_{\text{xx}}, \%$	$\Delta I_{\text{кз}}, \%$	$\Delta FF, \%$
1	Базовые	14.9	1.3	2.6	11.5
2	Базовые	15.2	0.6	3.4	13.0
3	Модернизированные	10.4	0.4	1.5	9.2
4	Модернизированные	11.4	0.7	0.8	10.0

градиация двухкаскадных тонкопленочных солнечных ФЭП на основе аморфного и микрокристаллического кремния имеет двойственную природу: первая – это фотоиндуцированная деградация (эффект Стаблера–Вронского) [3], вторая – это темновая деградация. Стоит отметить, что модернизированный рецепт отличается только измененным слоем i-μс-Si:H второго каскада, т. е. снижает влияние темновой деградации.

Таким образом, меньший уровень деградации для двухкаскадных ТСМ, изготовленных по модифицированному рецепту, связан с меньшим количеством дефектов в слое микрокристаллического кремния, что связано с пониженной долей кристалличности (базовой и модернизированной рецепты имеют долю кристаллической фазы ~66 и ~53 % соответственно) и лучшей пассивацией границ раздела зерен аморфной фазой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
2. Спектральные исследования пленок аморфного гидрогенизированного кремния разного состава / Е. И. Теруков, А. С. Абрамов, В. П. Афанасьев, М. М. Бад-релдин-Миргхани, Е. В. Мальчукова, А. В. Семенов // Вестн. Рязанского гос. радиотехн. ун-та. 2012. № 4 (вып. 42). Ч. 2. С. 52–55.
3. Thin-film silicon solar cells / Ed. Arvind Shah // EPFL Press. 2010. 430 p.

A. V. Semenov, V. P. Afanasjev
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

STUDY OF THE DEGRADATION OF TWO-STAGE THIN-FILM MODULES BASED ON AMORPHOUS AND MICROCRYSTALLINE SILICON

A study of the degradation of two-stage thin-film solar modules is presented. It shows that the reduction the efficiency of the modules deposited on a modified recipe, is equal to 11 %. This estimation almost one third is less, than degradation of the modules (15 %), precipitated by underlying technology.

Thin-film solar modules based on silicon, efficiency, technology of formation, degradation