

06; 06.1; 06.2; 06.3

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПРИСУТСТВИИ АТОМОВ МЕТАЛЛОВА.Н. З а в и л о п у л о, А.И. Ж у к о в,
А.В. С н е г у р с к и й

Солнечные элементы (СЭ) в силу своего функционального назначения являются наименее защищенным элементом космических аппаратов (КА). Влияние на работу СЭ оказывают УФ излучение, температура, потоки десорбированных частиц и другие факторы собственной атмосферы КА. Контроль за изменением свойств СЭ в условиях космического полета возможен лишь по изменению энергоемкости. В силу этого не вызывает сомнений актуальность лабораторных исследований свойств СЭ.

Несмотря на то, что исследованию процесса взаимодействия атомов и молекул с поверхностью посвящено значительное число работ (см., например, [1-3]), к настоящему времени отсутствует компактно собранный материал, из которого можно было бы почерпнуть надежные сведения о процессах на поверхности СЭ применительно к исследованию их электрофизических свойств. Цель данной работы заключалась в некотором восполнении этого пробела, для чего нами была создана установка, на которой исследованы электрофизические свойства стандартных СЭ при наличии на их поверхности конденсата (пленок) различных веществ.

Эксперимент проводился на установке НИМП [4], в рабочую камеру которой помещался испытываемый СЭ, источник света и эффузионный источник атомов для нанесения пленок металлов. СЭ смонтирован на заливной ловушке, охлаждаемой жидким азотом, кроме того, в камере размещались (см. рис. 1) заслонка З для прерывания пучка, термодары Т1 и Т2, электронная пушка, а также масс-спектрометр для контроля состава остаточного газа. Газодинамический пучок молекул О пересекал пучок атомов металла, что позволяло изучать влияние окислов на свойства СЭ.

Основной эксплуатационной характеристикой СЭ является фото-ЭДС, определяемая величиной его освещенности и R -нагрузки в цепи (рис. 1). Если при неизменной освещенности и нагрузке измерить вольт-амперную характеристику (ВАХ) элемента (см. рис. 1, а), то максимальная мощность СЭ будет равна: $W = I^{\circ} U^{\circ}$, где I° и U° - фототок и фото-ЭДС в рабочей точке СЭ.

После длительной откачки и обезгаживания измерялись ВАХ в различных условиях - с напылением пленки и без нее (на рис. 1, а показаны первичные кривые до нанесения пленки). Время напыле-

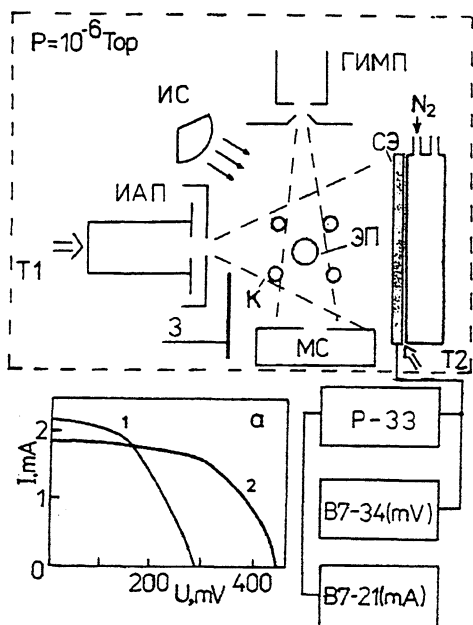


Рис. 1. Схема эксперимента. СЭ - исследуемый солнечный элемент, ГИМП - источник молекулярного пучка, ИАП - эффузионный источник атомов металлов, ИС - источник белого света, МС - монополюсный масс-спектрометр (1 - 200 А. Е. М.), Т1, Т2 - термодары, ЭП - аксиальная электронная пушка, К - квадрупольный конденсатор для измерения ионного тока, Р-33 - мост сопротивлений, В7-34, В7-21 - цифровые измерители напряжения и тока. На вставке: вольт-амперные характеристики СЭ, 1 - $T=293$ К, 2 - $T=193$ К.

ния выбиралось различным в зависимости от типа рабочего вещества и колебалось от 2 до 20 мин. Процесс напыления контролировался визуально и по изменению фото-ЭДС. Концентрация атомов вблизи поверхности СЭ измерялась непосредственно в эксперименте. Для этого пучок атомов пересекался электронным пучком от коаксиальной электронной пушки (рис. 1), а возникшие ионы детектировались с помощью квадрупольного электростатического конденсатора. Концентрация атомов (N) определялась из соотношения $N = I_i / (I_e \cdot Q \cdot L)$, где I_i , I_e - токи ионов и электронов, Q - сечение ионизации, L - длина области взаимодействия пучков. Экспериментально измеренные величины N дали возможность определить массу напыленного на СЭ вещества. Предложенная нами методика позволяла по изменению параметров СЭ (фото-ЭДС и фототока) судить об оптических свойствах конденсатов, осаджен-

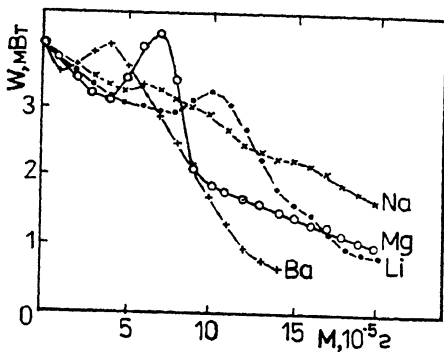


Рис. 2. Кривые зависимости мощности СЭ от массы адсорбированных атомов Li , Na , Mg и Ba .

ных на его поверхность. Изучалось также влияние молекулярного кислорода на динамику изменения мощности СЭ.

Прежде чем перейти к непосредственному рассмотрению результатов эксперимента, сделаем несколько замечаний. Одной из важнейших характеристик тонких металлических пленок является пропускание ими света определенной длины волны. Например, чистые тонкие пленки щелочных металлов (K , Na , Rb , Cs) слабо прозрачны для видимого света и обладают хорошим пропусканием для УФ-излучения, а длина волны пропускания растет с увеличением атомного веса напыленного металла. При определенной толщине пленки наступает так называемый эффект „просветления“, заключающийся в относительном повышении пропускания света. Как известно [1], просветление однослойной пленки максимально, когда ее толщина равна нечетному числу четвертей длины волны падающего света. С другой стороны, эффект просветляющих покрытий хорошо проявляется для многослойной оптически прозрачной структуры [5]. Именно через такую структуру с различными показателями преломления проходит свет, прежде чем попасть на фоточувствительный слой СЭ, покрытый кварцевым стеклом. Действительно, для СЭ с осажденным конденсатом наиболее вероятно многослойное образование типа: 1-й слой — защитное кварцевое стекло, 2-й слой — пленка чистого напыленного металла, 3-й слой — окисная пленка. Таким образом, появление на поверхности СЭ пленки вещества изменяет условия прохождения света на фоточувствительный элемент, что приводит, в свою очередь, к изменению электрофизических свойств СЭ.

Обратимся к рис. 2, на котором представлены измеренные нами кривые зависимости максимальной мощности СЭ от массы напыленного вещества. Общей закономерностью полученных кривых является уменьшение мощности СЭ с увеличением толщины напыляемой пленки металла. При определенной массе напыленного вещества наступает некоторое увеличение мощности СЭ, которое, вероятно, можно

связать с эффектом просветления пленки. Как видно из рис. 2, наиболее четко эффект просветления проявляется для пленок магния. Заметим, что для всех пленок при длительном экспонировании (3–10 ч) в среде кислорода мощность СЭ оставалась почти неизменной. Это свидетельствует о том, что пленка на поверхности СЭ сформирована, стабильна и дальнейшее воздействие кислорода не влияет на свойства СЭ.

Проведенный нами масс-спектрометрический анализ подтвердил высказанное выше предположение о возможности существования многослойной структуры перед фоточувствительным слоем СЭ. На масс-спектрах, измеренных при работе в пересекающихся пучках кислород—металл, обнаружены пики окислов металлов, свидетельствующие о высокой эффективности реакции окисления в пучках [6]. В режиме работы двух пучков исследовалась временная зависимость изменения мощности СЭ. Оказалось, что экспозиция в таком режиме даже на протяжении 10 ч не приводит к существенному изменению параметров СЭ. Одной из возможных причин этого является образование устойчивой защитной окисной пленки, препятствующей дальнейшему росту толщины конденсата. Было обнаружено, что с осажденным конденсатом сильно выражен тепловой эффект: с ростом температуры СЭ от 173 К до 293 К конденсаты *Li*, *Na* и *Ba* испарялись и практически восстанавливалась первичная мощность СЭ. Очень устойчивыми к реиспарению оказались пленки *Mg*, поэтому для них были получены микрофотографии поверхности СЭ, на которых четко прослеживается динамика зарождения пленки от островковой до зернистой.

Полученные экспериментальные данные позволяют заключить следующее:

1. Анализируя зависимости мощности СЭ от массы напыленного вещества, можно предположить, что для всех атомов в той или иной мере наблюдается образование просветляющих пленок, а дальнейшее увеличение толщины пленки приводит к снижению мощности СЭ.

2. Для большинства исследуемых веществ присутствие молекулярного кислорода, являющегося важной компонентой реальной атмосферы в условиях космического полета, не вызывает заметного изменения свойств СЭ. Кроме того, нами было обнаружено, что при возрастании давления в камере от 10^{-6} – 10^{-2} Тор и температуры СЭ от 173 К до 293 К конденсаты всех вещества (кроме *Mg*) реиспарялись с поверхности СЭ менее чем за 12 ч, причем этот эффект оказывается более сильным, чем влияние окисляющей среды.

Авторы выражают признательность О.Б. Шпенику, П.П. Пуге, А.В. Ладе и В.Ю. Лое за помощь при выполнении работы и полезные консультации.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Зегуил Э. Физика поверхности. М.: Мир, 1990.
- [2] Пека Г.П. Физические явления на поверхности полупроводников. Киев: Вища школа, 1984.
- [3] Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
- [4] Shrenik O.B., Zavilopulo A.N., Snegursky A.V., Fabrikant I.I. // J. Phys. B. 1984. V. 17. P. 887.
- [5] Введенский В.Д., Метельников А.А., Столов Е.Г., Фурман Ш.А. // ОМП. 1980. № 11. С. 31.
- [6] Завилопуло А.Н., Снегурский А.В., Жуков А.И., Шпенник О.Б., Романовский Ю.А. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 2. С. 86.

Поступило в Редакцию

20 мая 1991 г.