

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАНИЙ, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОВОГО КОМПЛЕКСА, К ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЮ

АЛИ Ф. А.
izvestiya@ktu.aknet.kg

Рассматриваются разные методы защиты ФП от внешних воздействий. Предложена методика диффузий элементов литием при использовании ФП в комбинированных термоэлектрических гелиоустановках.

В настоящее время разработаны эффективные методы защиты ФП от внешних воздействий, в том числе и от радиационного излучения [1-2].

Однако временная деградация ФП обусловлена невозможностью полного исключения термоциклирования и деструктурирующим воздействием фотонов солнечного спектра [3].

Как следует из анализа литературных данных о надежности кремниевых ФП, их временная деградация при отсутствии порчи поверхности определяется генерацией дефектов в объеме полупроводника [2]. В связи с этим при разработке технологии изготовления ФП с повышенной надежностью необходимо предусматривать меры либо предотвращения процесса, генерации дефектов, либо их эффективного "залечивания". Последнее представляется более эффективным, поскольку в практике создания радиационно-стойких приборов этот прием использовался достаточно успешно [4-5].

Так, в [4] предложено для стабилизации ВАХ фотоприемников, работающих в условиях жесткого протонного и электронного излучения, легировать базу приборов золотом, атомы которого могут связывать радиационные дефекты, переводя их в электрически неактивное состояние. Однако данный способ, эффективный в случае высокочастотных приборов, не всегда приемлем для ФП на базе низкоомного кремния, поскольку растворимость междоузельного золота в кремнии не превышает $5 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$. В [5] для подобных целей применен литий. Такой выбор оправдан ввиду высокой растворимости и подвижности междоузельного лития в кремнии. Авторами [5] исследовано влияние легирования базы ФП литием в концентрации порядка 10^{16} см^{-3} методом многоступенчатой диффузии на устойчивость ФП к фотонной деградации.

Распределение лития в базе прибора определялось по методике, предложенной в [6]. С помощью компьютерных программ рассчитывали профили распределения лития для различных режимов загонки лития в объем кристалла кремния и последующего "размытия" исходного профиля в результате дальнейших термообработок. В ряде случаев определялся режим дополнительной термообработки для получения близкого к равномерному распределению лития в кремнии в концентрации на порядок более низкой, чем концентрация основной легирующей примеси. Предположительно, механизм "залечивания" сводится к оседанию лития в вакансиях кремния, при этом образуется электрически неактивный литий [7]. Если литий западает в вакансию, входящую в E- или A - центр, это приводит к развалу последнего. Анализ результатов работы [8] показал, что предложенная методика стабилизации параметров ФП наиболее приемлема для ФП, созданных на базе n- n +- эпитаксиальных структур, поскольку процессы деградации ФП развиваются скорее всего не в низкоомной (0.01 Ом x см) подложке, а в сравнительно высокоомной пленке, которая собственно и служит базой ФП. Тем более что создать в 35 микронной пленке равномерную концентрацию лития не представляет технической сложности.

- загонка лития проводилась при 320 °С в течение 1-2 мин;
- разгонка - при температуре 200 °С в течение 30 мин.

При этом по расчетам, проведенным в соответствии с [6], концентрация лития в пленке должна была быть равномерной и достигать величины 10^{16} см^{-3} . Структуры подвергались стандартной процедуре очистки и на их основе изготавливались ФП.

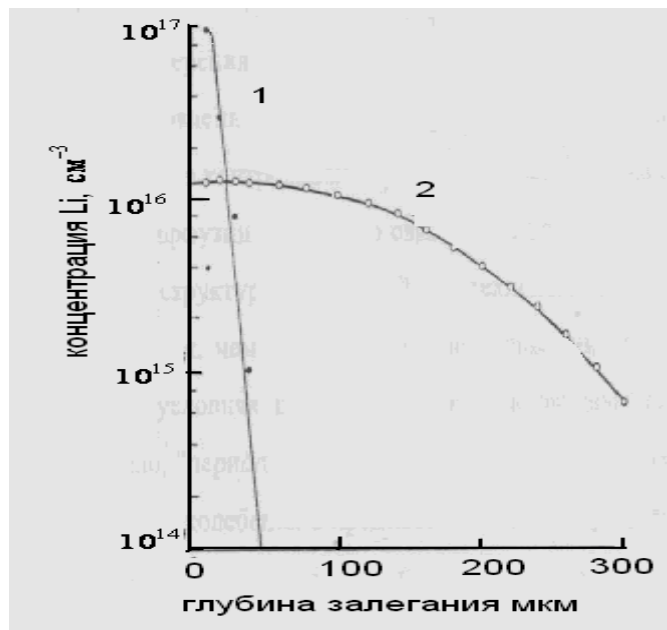


Рис. 1. Профили лития в кремнии после загонки (1) и разгонки (2)

Контрольные измерения показали, что изначальные электрические параметры ФП, изготовленных на базе легированных литием пластин, несколько выше, чем ФП из контрольной партии, изготовленных на базе таких же структур, но без диффузии лития. Это связано, по-видимому, с тем, что легированные литием структуры более стойки к технологическим воздействиям термоциклирования, чем нелегированные. Испытания обеих партий пластин в натуральных условиях показали, что нелегированные литием ФП проходят, как правило, "период адаптации". В течение нескольких суток их параметры испытывают колебания в пределах нескольких процентов (U_{xx} и $I_{кз}$) и только затем становятся стабильными на длительное время. Структурам же легированным литием, это не свойственно.

Таким образом, нам представляется перспективным отработать технологические приемы легирования литием определенных структур, предназначенных для изготовления ФП, поскольку эти приемы, несомненно, увеличивают стойкость ФП к термоциклированию во время технологического процесса.

Кроме того, проведенные эксперименты показывают, сколь значительно влияние температуры ФЭМ на его эффективность и долговечность. Это подтверждается и данными [9]. Эмпирическая зависимость для мощности P кремниевого ФМ имеет вид:

$$P(\theta) = P(\theta_1) [1 - C(\theta - \theta_1)],$$

где $C = 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$. θ - температура ФП, $P(\theta)$ - мощность при θ_1 .

Следует отметить, что существует еще одна причина важности поддержания температуры ФП стабильной. Это относится к случаю, когда один из элементов батареи ФП может выйти из строя. В этом случае будет иметь место интенсивный нагрев элемента, что приведет к нагреву всего ФЭМ. Аналогичная ситуация будет иметь место при неравномерном нагреве элементов батареи ФП. В связи с вышеуказанными обстоятельствами чрезвычайно важно обеспечить стабильность температуры ФП. Это задача может быть решена теплотехническими средствами. Нами предлагается установить ФП внутри теплогелиоустановок. В этом случае система теплоотвода тепловых узлов теплогелиоколлекторов используется для отвода тепла от ФП, являющегося в комбинированной гелиоустановке теплоприемной поверхностью (рис.2). Организация интенсивного теплоотвода позволяет ввести в схему использования ФП элемент регулировки температуры ФП, что существенно повышает эффективность и стабильность ФП. Наличие в комбинированной термоэлектрической гелиоустановке теплоизолирующих поверхностей позволяет снизить также величину температуры, что обеспечивает стабильность и долговечность ФП.

Установка представляет собой совмещение ФЭМ и плоского гелиоколлектора. Разработана конструкция элементов теплогелиоустановки, которая обеспечивает, с одной стороны, повышение эффективности и стабильности производства электроэнергии, а с другой - значительное повышение энергии солнечного излучения за счет преобразования в тепловую. Повышение эффективности

производства электрической энергии обусловлено обеспечением оптимальной температуры ФП. Общая энергетическая эффективность обеспечивается тем, что тепловая энергия, полученная ФП, передается теплоносителю гелиотеплоустановки. Тем самым энергия солнечного излучения используется как для производства электрической энергии, так и тепловой. Повышение эффективности и долговечности ФЭМ достигается также за счет использования защитной поверхности теплогелиоколлектора для герметизации ФЭМ и конвертирования солнечного излучения, поступающего на ФЭМ. Как известно [9], мощность P кремниевого фотоэлемента снижается с увеличением температуры θ :

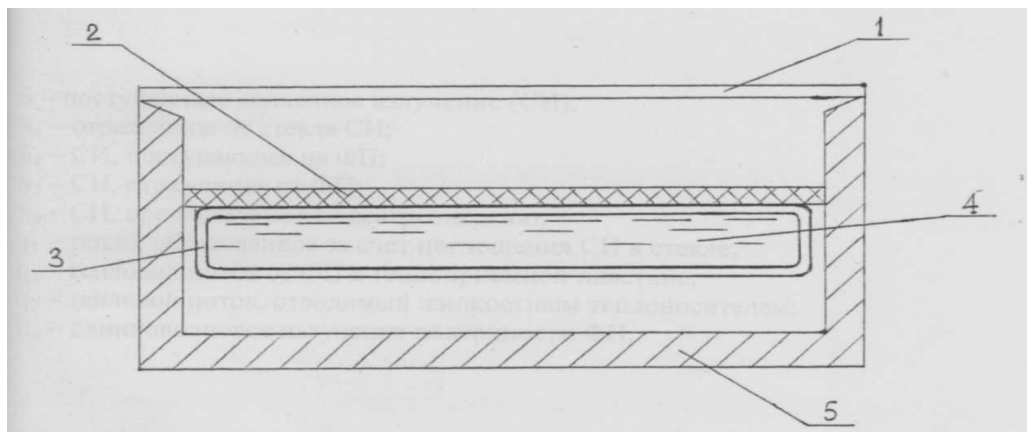
$$P(\theta) = P(\theta_1) [1 - C(\theta - \theta_1)],$$

где $C = 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$, θ - температура ФП, $P(\theta)$ - мощность при θ .

Учитывая существенную неравномерность поступления солнечной энергии в течение суток и года, вопрос снижения мощности из-за роста температуры является актуальным. Обеспечение оптимальной температуры фотоэлемента является одним из направлений повышения эффективности и снижения стоимости вырабатываемой энергии. Последнее обстоятельство наиболее ярко проявляется в случае использования солнечной энергии в теплоэнергетической установке, предназначенной для одновременной выработки тепловой и электрической энергии. Как известно, коэффициент полезного действия фотоэлементов составляет около 15 %. Это означает, что большая часть энергии солнечного излучения, поступающая на поверхность фотоэлементов, рассеивается в виде теплового излучения и конвективной теплоотдачи. Из этого обстоятельства следует два важных вывода:

1) Эффективность использования солнечной энергии может быть увеличена в несколько раз при одновременном производстве тепловой и электрической энергии.

2) Доля невосприимчивой фотоэлементом солнечной энергии значительна, что может привести к значительному повышению температуры из-за конструктивных особенностей и, как следствие, к снижению выработки электроэнергии. Рассмотрим основные требования к теплоэнергетической установке, в которой используются фотоэлементы. На наш взгляд, прежде всего, необходимо обеспечить максимальную эффективность производства электроэнергии за счет конструкции элементов теплоэнергетической установки. Это обусловлено, во-первых, высокой стоимостью узла фотоэлементов; во-вторых, большой потребительской ценностью электроэнергии в сравнении с тепловой. [10] Второе требование состоит в обеспечении максимальной надежности и долговечности фотоэлементной части. Это обусловлено тем, что теплоэнергетическая часть узлов является более простой и основной. Возможности в обеспечении долговечности тепловой части значительно шире, чем фотоэлементной. Последнее требование означает, что при конструировании комбинированной установки следует осуществлять теплосъем с внесением минимальных изменений в условия эксплуатации фотоэлементной части. Исходя из вышеуказанных требований, были определены наиболее перспективные направления в создании комбинированных теплоэнергетических установок. Центральным моментом для такой конструкции является схема организации теплоотвода от фотоэлемента. Наиболее привлекательной является совмещение тыльной токосъемной металлической пластины фотоэлемента с тепловоспринимающей поверхностью теплоэнергетического узла. В этом варианте главным преимуществом является максимальное поглощение солнечной энергии фотоэлементом. На рис. 2 показана предложенная схема комбинированной теплогелиоустановки.



*Рис. 2. Предложенная схема комбинированной теплогелиоустановки
1. Стекло; 2. Фотопреобразователь; 3. Штампованный плоский
теплоколлектор; 4. Теплоноситель (воздух); 5. Теплоизоляция*

Как видно из рисунка 2, предпочтение для использования в комбинированной энергоустановке отдается конструкции с воздушным теплосъемом. Это обусловлено тем, что в системах воздушного теплоснабжения не требуется высокая температура для отопления жилых помещений. Тем более, как мы знаем, при температурах выше 40°C КПД ФП начинает резко падать. В работе [11] была рассчитана нужная площадь разных солнечных коллекторов для отопления одной трёхкомнатной квартиры, площадь которой составляет 95 м² в условиях города Дамаска, и это составляет, в зависимости от типа коллектора, 107 м² для плоских коллекторов и 95 м² для коллекторов с вакуумными трубами. Как раньше посчитали наша ФЭС, которая входит в состав СВК, состоит из 47 м² солнечных ФП, что составляет почти 50% нужной площади солнечных коллекторов, нужных для отопления квартиры, а если учитывать использование воздуха в качестве теплоносителя, то при 30°C температуре коллектора мы сможем участвовать в отоплении этой квартиры, так как при отоплении жилых помещений используется воздух с температурой 25°C. И таким образом, мы сможем экономить часть расходов, утраченных на отопление в зимнее время года, тем не менее, мы оставим эту часть для дальнейших исследований и усовершенствований в будущем.

Литература

1. Лидоренко Н.С., Рябиков СВ., Стребков Д.С. Преобразование солнечной энергии. – М.: Наука, 1985.
2. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Сов. радио, 1971.
3. Андреев В.М., Румянцев В.Д. Солнечные гетерофотоэлементы и энергоустановки на их основе. // Электротехника. – №2.1986. – С. 11.
4. Loferski J.J., J.Appl.Phys. 1956. v.27, № 4, 777.
5. Koifman A.I., Muminov R.A. et al., Phys. Stat.Sol. (a), 1982. v.71, 59.
6. Байзаков Б.Б., Койфман А.И. и др., Изв.АН УзССР, сер. Физ-мат. № 41, 1980. № 2, 52, 1981.
7. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. – М.: Физмат-гиз, 1963.
8. Захидов Р.А., Койфман А.И. Гелиотехника. № 4, 1994. С. 20-23.
9. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. –М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Али Файсал. Повышение эффективности фотоэлементов в комбинированной теплоэнергетической установке. Деп. в КазНИИНТИ № 8686 - Ка99. – 3 с. Алматы, 1999. Вып. 5-6.
11. Али Ф.А. Исследование возможности соединения системы горячего водоснабжения с существующей системой отопления. Министерство коммуникации и технологии. Дамаск. 2006.

