

УДК 621.383

В. А. Габринец, Л. В. Накашидзе, Г. И. Заривняк, С. А. Митрохов
Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНЫХ ТИПОВ В ЭНЕРГОАКТИВНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Показано вплив на конструкцію сонячної фотоелектричної установки в складі енергоактивних огороджуючих конструкцій властивостей сонячних елементів різних типів, обумовлених особливостями генерування основних і неосновних носіїв заряду.

Ключові слова: сонячні елементи, фотоелектрична установка, енергоактивні огороджувальні конструкції, сонячне випромінювання.

Показано влияние на конструкцию солнечной фотоэлектрической установки в составе энергоактивных ограждающих конструкций свойств солнечных элементов разных типов, обусловленных особенностями генерирования основных и неосновных носителей заряда.

Ключевые слова: солнечные элементы, фотоэлектрическая установка, энергоактивные ограждающие конструкции, солнечное излучение.

The influence of properties of solar cells of the different types caused by features of generating of the basic and nonbasic carriers of a charge on the design of the solar photo-electric installation (as a part of power active protecting designs) is shown.

Key words: solar cells, photo-electric setting, energyactive non-load-bearing constructions, sun radiation.

Использование солнечных фотоэлектрических энергоустановок (СФЕУ) в составе энергоактивных ограждающих конструкций (ЭАОК) приводит к необходимости разработки новых путей повышения их эффективности и снижения стоимости генерируемой электрической энергии. Благодаря этому такие установки могут стать конкурентоспособными с источниками электрической энергии, получаемыми за счет использования традиционных методов преобразования.

Разрабатываемое направление исследований даст возможность обоснованно подходить к выбору структуры солнечных фотоэлектрических установок в составе энергоактивных ограждающих конструкций. При этом достигается снижение стоимости получаемой электроэнергии и высокий уровень энергогенерирования, как следствие учета в СФЕУ условий функционирования, при которых в полной мере проявляется потенциал солнечного элемента (СЭ). В соответствии с разрабатываемым подходом, солнечные элементы, как основные структурные компоненты, в первую очередь, должны подвергаться комплексному технико-экономическому анализу; при этом рассматривается структура СЭ и эффективность его энергогенерирования в разных условиях эксплуатации, выявляется эффект инвариантности при функционировании и т. п.

Цель данной работы – на примере полученных экспериментальных данных об особенностях токогенерирования монокристаллических кремниевых солнечных элементов структуры металл-диэлектрик-полупроводник и полупроводник-диэлектрик-полупроводник показать необходимость комплексного рассмотрения индивидуальных свойств и эффективности функционирования СЭ как составных элементов энергоактивных ограждающих конструкций.

Данный подход позволит, обоснованно определить схему построения энергоактивных ограждающих конструкций, и при этом наиболее эффективно использовать серийно производимые конструктивные элементы с учетом их индивидуальных свойств и характеристик, а также учитывать возможность совместного функционирования конструктивных элементов ЭАОК.

Для получения данных, позволяющих обосновать положения разрабатываемого направления, были проведены долгосрочные экспериментальные измерения энергетических параметров солнечных элементов в условиях естественного солнечного освещения. Полученные данные позволяют построить вольтамперные характеристики солнечных элементов структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) и структуры полупроводник-диэлектрик-полупроводник (ПДП) при функционировании в планарном режиме и при наличии фоконовой системы концентрации солнечного излучения (коэффициент концентрирования $K_f=4,5$). Построенные вольтамперные характеристики дают возможность получить данные о других параметрах СЭ, характеризующих особенности их функционирования. Одними из таких параметров является сопротивление нагрузки, при котором СЭ имеет максимальную энергогенерирующую способность (сопротивление рабочей точки), т. е. имеет максимальную мощность.

Полученные экспериментальным путем данные характеризующие динамику изменения сопротивления нагрузки в рабочей точке при увеличении уровня энергетической освещенности приведено в таблице 1.

Таблица 1

Динамика изменения сопротивления нагрузки в рабочей точке при увеличении уровня энергетической освещенности

Уровень энергетической освещенности, Вт/м ²	Скорость изменения сопротивления нагрузки соответствующей рабочей точке				Соотношение величины сопротивления нагрузки в рабочей точке при функционировании СЭ в режимах планарном и концентрирования солнечного излучения	
	Планарный режим		Режим концентрирования солнечного излучения			
	МДП	ПДП	МДП	ПДП	МДП	ПДП
	200	-0,300	-0,03	-0,200	-0,04	0,81
300	-0,300	-0,03	-0,200	-0,04	0,77	1,87
400	-0,300	-0,03	-0,200	-0,04	0,70	1,82
500	-0,300	-0,03	-0,200	-0,04	0,65	1,80
600	-0,500	-0,006	-0,150	-0,002	0,57	2,25
700	-0,001	-0,006	-0,001	-0,002	0,48	2,40
800	-0,001	-0,006	-0,001	-0,002	0,43	2,92

Примечание: знак <<+>> – указывает на увеличение скорости изменения параметра, знак <<->> – указывает на уменьшение скорости изменения параметра

КПД является одним из важных параметров характеризующих способность энергогенерирования СЭ. Обобщенные сведения о динамике изменения КПД СЭ и коэффициента заполнения вольтамперной характеристики при изменении уровня энергетической освещенности приведены в таблице 2.

Таблица 2

Динамика изменения КПД СЭ и коэффициента заполнения вольтамперной характеристики при изменении уровня энергетической освещенности

Уровень энергетической освещенности, Вт/м ²	Скорость изменения КПД СЭ				Соотношение параметров при функционировании СЭ в режиме концентрирования солнечного излучения и в планарном варианте	
	Планарный режим		Режим концентрирования солнечного излучения			
	МДП	ПДП	МДП	ПДП	МДП	ПДП
200	+0,01	+0,01	+0,05	+0,02	1,14	2,15
300	+0,01	+0,01	+0,05	+0,02	1,66	2,95
400	+0,01	+0,01	+0,05	+0,02	2,39	2,65
500	+0,1	+0,3	+0,05	+0,2	1,47	1,20
600	+0,1	+0,3	+0,05	+0,2	1,96	1,10
700	+0,007	+0,05	+0,05	+0,01	2,60	1,10
800	+0,007	+0,05	-0,002	+0,01	2,63	1,09

Примечание: знак <<+>> – указывает на увеличение скорости изменения параметра, знак <<->> – указывает на уменьшение скорости изменения параметра

Приведенные результаты экспериментальных исследований позволяют дать рекомендации об условиях эксплуатации и применения СЭ структуры МДП. Эти структуры наиболее целесообразно применять при уровне энергетической освещенности не ниже 500 Вт/м². Выше рассмотренные данные свидетельствуют о том, что СЭ структуры ПДП наиболее целесообразно применять при уровне освещенности от 600 до 800 Вт/м². Применение системы концентрирования солнечного излучения в данном случае не приведет к значительному улучшению энергогенерирующей способности СЭ.

Эти различия определяются типом и характеристиками р-п-перехода, механизмами протекания в нем обратного тока, высотой потенциального барьера и др. [1; 2]. Так, высокая энергогенерирующая способность СЭ структуры металл-диэлектрик-полупроводник может быть обусловлена такими характерными особенностями, как:

- наличие сильного электрического поля вблизи поверхности полупроводника, направленного таким образом, чтобы способствовать коллектированию носителей, создаваемых коротковолновым светом;

- напряжение холостого хода в таких солнечных элементах возрастает при увеличении толщины изолирующего слоя;

- при увеличении толщины диэлектрика уменьшается ток короткого замыкания, что может приводить к уменьшению эффективности преобразования.

На уровень энергогенерирования СЭ структуры полупроводник-диэлектрик-полупроводник могут влиять [3] следующие характерные особенности:

- механизм переноса носителей заряд определяется толщиной промежуточного слоя, системой поверхностных электронных состояний и температурой;

- с ростом толщины диэлектрического слоя возрастает значение напряжения холостого хода; слой диэлектрика между полупроводниками должен быть очень тонким (1...3 нм).

- введение промежуточного диэлектрического слоя увеличивает фоточувствительность в коротковолновой области спектра.

- свойства границы раздела определяются не только поверхностной обработкой базового полупроводника, технологией создания промежуточного слоя, но и условиями осаждения пленок барьерообразующего полупроводника.

На основании анализа графиков ВАХ были получены следующие зависимости, характеризующие различия в энергогенерировании СЭ структур металл-диэлектрик-полупроводник и полупроводник-диэлектрик-полупроводник.

В таблице 3 приведены обобщенные данные, количественно характеризующие влияние различных материалов, обуславливающих конструкцию элемента на напряжение холостого хода и ток короткого замыкания в СЭ структур металл-диэлектрик-полупроводник и полупроводник-диэлектрик-полупроводник.

Величина КПД для СЭ на основе МДП-структуры выше соответствующего параметра СЭ ПДП-структур вследствие проявления характерных особенностей поведения носителей заряда. В МДП-структурах в переносе тока носителей заряда принимают участие поверхностные уровни в большей степени, чем в случае ПДП-структуры. Поэтому в СЭ МДП-структуры ток короткого замыкания увеличивается относительно соответствующего параметра в СЭ ПДП-структуры и, следовательно, увеличиваются напряжение холостого хода и КПД. Кроме того, при функционировании СЭ ПДП-структуры возникают рекомбинационные токи, что негативно отражается на КПД этих структур.

Таблица 3

Влияние различных материалов, обуславливающих конструкцию элемента на напряжение холостого хода и ток короткого замыкания

Уровень энергетической освещенности, Вт/м ²	Соотношение энергетических параметров СЭ МДП-структуры и ПДП-структуры			
	Для тока короткого замыкания		Для напряжения холостого хода	
	Планарный режим	При концентрировании солнечного излучения	Планарный режим	При концентрировании солнечного излучения
200	1,93	0,67	1,023	0,86
300	1,87	0,84	1,022	0,95
400	1,74	0,95	1,019	1,01
500	1,61	1,03	1,016	1,10
600	1,52	1,19	1,014	1,15
700	1,41	1,24	1,012	1,19
800	1,31	1,26	1,011	1,24

В таблице 4 приведены данные, характеризующие динамику влияния технологического-конструкционного фактора на КПД СЭ при разном уровне освещенности.

Таблица 4

Влияние технологического-конструкционного фактора на КПД при разном уровне освещенности

Уровень энергетической освещенности, Вт/м ²	Соотношение КПД СЭ МДП и ПДП-структуры	
	Планарный режим	Концентрирование солнечного излучения
200	0,84	2,64
300	0,97	3,80
400	1,24	4,29
500	1,42	4,48
600	1,55	4,63
700	1,61	4,86
800	1,65	5,09

На КПД СЭ существенно влияет высота потенциального барьера. СЭ МДП-структуры изготовлены на основе монокристаллического кремния р-типа с ориентацией (100). Для поверхности с такой ориентацией плотность поверхностного электронного состояния оказывается минимальной, а время жизни неосновных но-

сителів довільніше. Для СЗ ПДП-структури використовується кремній п-типа со структурою (111) для якого время життя неосновних носителей заряду доволно велике, що оказує велике впливання на енергоефективність, чим велика густина поверхневих станів. Вище перераховані фактори приводять до того, що робота виходу на 0,15–0,17 эВ вище для СЗ МДП-структури, чим для ПДП-структури, що дозволяє отримати відповідно велику висоту потенціального бар'єра.

Отримана кількісна оцінка впливання структури СЗ на його енергогенеруючу здатність підтверджує необхідність розгляду і урахування структури СЗ при проектуванні СФЕУ в складі ЕАОК.

Експериментально отримані дані свідчать про вплив конструкції побудови СЗ на їх енергогенеруючу здатність. Наявність таких даних підтверджує необхідність попереднього розгляду ефективності функціонування СЗ в різних умовах експлуатації. На основі такого прогнозу можливо створення електрогенеруючої установки в складі ЕАОК, яка має найбільш цілесообразне схемне рішення, з точки зору енергетичних, масогабаритних, техніко-економічних критеріїв.

Бібліографічні посилання

1. Андреев В. М. Фотоелектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В. М. Андреев, В. А. Грилихес, В. Д. Румянцев. – Л., 1989. – 310 с.
2. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М., 1983. – 397 с.
3. Фаренбрух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб : пер. с англ., под ред. М. М. Колтуна. – М., 1987. – 280 с.

Надійшла до редколегії 10.10.09

УДК 621.3:662.997

В. О. Габринєць, В. Л. Марков, С. О. Митрохов, Л. В. Накашидзе, Г. І. Зарівняк
Дніпропетровський національний університет ім. Олеси Гончара

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОАКТИВНИХ ОГОРОДЖЕНЬ ЯК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуті особливості побудови, вимоги до складових елементів та матеріалів, а також варіанти конструктивного виконання енергоактивних огороджень.

Ключові слова: енергоактивне огородження, термічний опір будівлі, сонячне випромінювання, енергія навколишнього середовища

Рассмотрены особенности построения, требования к составным элементам и материалам, а также варианты конструктивного исполнения энергоактивных ограждений.

Ключевые слова: энергоактивное ограждение, термическое сопротивление здания, солнечное излучение, энергия окружающей среды.