

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Минтаирова М.А. на тему «Анализ связей вольт-амперных характеристик и фотовольтаических параметров многопереходных солнечных элементов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников

Разработка и создание новых многопереходных солнечных элементов (МП СЭ), в том числе космического назначения, требует глубокого анализа их вольт-амперных характеристик и получаемых из них фотовольтаических параметров. Особенно остро стоит вопрос о создании и совершенствовании отечественных солнечных элементов с высокой эффективностью преобразования световой энергии в электрическую. Конструирование и отработка технологии МП СЭ невозможна без создания аналитического аппарата, который позволяет выявить взаимное влияние и дать четкую физическую интерпретацию работы отдельных субэлементов МП СЭ по интегральной ВАХ, получаемой на современных имитаторах солнечного излучения.

Целью работы Минтаирова М.А. является исследование влияния различных структурных особенностей МП СЭ на их вольт-амперные характеристики и фотовольтаические (ФВ) зависимости, разработка методов анализа эффектов, свойственных гетероструктурам МП СЭ, ввести параметры, которые позволяют численно описывать регистрируемые особенности и эффекты.

Тема работы является актуальной.

Для достижения вышеуказанных результатов были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Определить фундаментальные причины базовой сдвиговой связи между темновой и световыми ВАХ.
2. Описать влияние дисбаланса фотогенерированного (ФГ) тока на ФВ параметры МП СЭ, определяемые режимами холостого хода и оптимальной нагрузки.
3. Определить вклад люминесцентной связи в дисбаланс ФГ токов и проанализировать ее влияние на ВАХ и ФВ зависимости МП СЭ.

4. Описать особенности световых ВАХ и ФВ зависимостей напряжения холостого хода от ФГ тока, вызванные генерацией в туннельном диоде встречной фото-ЭДС.

5. Исследовать отличительные особенности влияния на ВАХ МП СЭ туннельных диодов с низким пиковым током, а также гетероинтерфейсов с нелинейной ВАХ.

6. Исследовать влияние на резистивную составляющую ВАХ МП СЭ процесса растекания тока между полосками лицевого металлического контакта.

7. Разработать экспериментальные методы получения генераторной части ВАХ МП СЭ, в которой исключено падение напряжения на соединительных элементах гетероструктуры.

8. Разработать сегментную модель МП СЭ с учетом присущих им эффектов, которая позволяет аппроксимировать ВАХ и ФВ зависимости реальных МП СЭ.

Научная новизна работы состоит в том, что:

1. Установлено, что эффект дисбаланса токов, фотогенерированных в субэлементах МП СЭ, можно описать добавочным напряжением дисбаланса, величина которого определяется диодным коэффициентом р-п перехода субэлемента с наибольшим ФГ током и коэффициентом дисбаланса, равным отношению избыточного ФГ тока к наименьшему. Показано, что для режимов напряжения холостого хода и оптимальной нагрузки соответствующие добавочные напряжения дисбаланса являются константами;

2. Обнаружено, что в случае дисбаланса ФГ токов между ВАХ, полученными при разной кратности солнечного излучения, нарушается базовая сдвиговая связь, заключающаяся в том, что ВАХ переходят друг в друга при их смещении на разницу ФГ тока;

3. Обнаружено, что при дисбалансе ФГ токов эффект люминесцентной связи субэлементов МП СЭ всегда уменьшает величину добавочного напряжения дисбаланса (в предельных случаях влияние эффекта сводится к уменьшению коэффициента дисбаланса);

4. Установлено, что при балансе ФГ токов наведённые внутренней электролюминесценцией токи (эффект ЛС) не влияют на базовую сдвиговую связь между ВАХ, полученными при разных концентрациях падающего излучения;

5. Установлена связь между нелинейными особенностями ВАХ в районе точки напряжения холостого хода и их проявлениями на ФВ зависимостях, вызванными наличием в структурах МП СЭ неоптимизированных туннельных диодов, высокорезистивных гетероинтерфейсов или генерацией туннельными диодами (ТД) встречной фото-ЭДС;

6. Установлено, что эффект встречной фото-ЭДС в ТД, пиковый ток которых значительно превосходит ток оптимальной нагрузки СЭ, проявляется на ВАХ как незначительно зависящее от уровня освещения сосредоточенное последовательное сопротивление;

7. Обнаружено, что с ростом числа субэлементов МП СЭ увеличивается равномерность растекания тока между контактами, что приводит к уменьшению резистивных потерь для режима оптимальной нагрузки;

8. Разработан сегментный подход к описанию ВАХ и ФВ зависимостей МП СЭ, учитывающий влияние всех исследуемых в работе эффектов на ВАХ МП СЭ, и предложены экспериментальные методы определения параметров сегментированной ВАХ;

9. Предложен и экспериментально апробирован метод получения ВАХ генераторной части МП СЭ (ВАХ, включающая в себя только сумму ВАХ р-п переходов, генерирующих полезную энергию), основанный на измерении взаимозависимости трёх величин «ток»-«напряжение»-«интенсивность электролюминесценции». Показано, что на результаты метода не влияют эффекты встречной фото-ЭДС, люминесцентной связи, а также резистивных потерь на последовательном сопротивлении МП СЭ.

Основной результат работы состоит в том, что создан и применен на практике аналитический аппарат, позволяющий интерпретировать фотогенерацию отдельных субэлементов МП СЭ в составе единого полупроводникового прибора.

Практическая значимость работы. Полученные результаты позволяют проводить комплексный анализ основных характеристик МП СЭ с учетом собственных им эффектов, проводить численную характеристику этих эффектов, а также выявлять структурные особенности (в том числе отдельных субэлементов), которые могут быть оптимизированы для улучшения утилитарных параметров МП СЭ. Это востребовано при оптимизации конструкций МП СЭ и особенно при разработке новых структурных концепций. Полученные результаты не привязаны к

конкретному типу МП СЭ, количеству входящих в его состав субэлементов или спектральному составу преобразуемого излучения.

К автореферату можно сделать следующее замечание: в работе автореферате не уточняется, в каких программных продуктах, используемых для конструирования и создания МП СЭ, применялись разработанные модели и методики анализа работы МП СЭ.

Перспективы дальнейшего развития темы состоят в интеграции результатов работы с современными программными комплексами для создания высокоэффективных МП СЭ.

Замечания не влияют на положительную оценку представленной работы. Диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Минтаиров Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.11 - Физика полупроводников.

Главный научный сотрудник АО ГНЦ «Центр Келдыша»,

доктор технических наук

Ребров Сергей Григорьевич

[rebrov sergey@mail.ru](mailto:rebrov_serгей@mail.ru), +74954566483

Начальник группы бортовой энергетики

АО ГНЦ «Центр Келдыша»

Янчур Сергей Викторович

yanchur@kerc.msk.ru, +74954564063

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской

Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»

125438, Москва Онежская ул., д. 8

kerc@elnet.msk.ru

+7 (495) 456-46-08

Подписи главного научного сотрудника АО ГНЦ «Центр Келдыша»

д.т.н. Реброва С.Г. и начальщика группы Янчура С.В. удостоверяю:

Ученый секретарь, д.т.н

И.С. Партола