



ул. Ленина, д. 52, г. Железнодорожный, ЗАТО Железнодорожный, Красноярский край, Российская Федерация, 662972  
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http://www.iss-reshetnev.ru  
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

## УТВЕРЖДАЮ

Член Президиума НТС, председатель секции НТС №2,  
заместитель генерального конструктора,  
лауреат Премии Правительства Российской Федерации в обла-  
сти науки и техники, кандидат технических наук, доцент

С.Г. Кочура

02.10. 2024 г.

## Отзыв

на автореферат диссертации Евгения Владимировича Контрош по теме «Исследование механизмов токопрохождения в многопереходных фотоэлектрических преобразователях», представленной к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 «Физика полупроводников»

Актуальность: Все более жёсткие требования, предъявляемые к бортовым системам космических аппаратов, требуют разработки солнечных батарей (БС) на основе многопереходных фотопреобразователей (МП ФЭП) с высокой энергопроизводительностью и сроком службы >15 лет. Увеличение эффективности МП ФЭП связывают с увеличением количества фотоактивных p-n переходов (субэлементов). Однако, рост числа субэлементов в МП ФЭП ведёт к естественному снижению величины общего фототока и доминированию механизмов транспорта носителей заряда («рекомбинационного» и «туннельно-ловушечного»), снижающих КПД МП ФЭП. Одним из наиболее перспективных путей решения этих задач является разработка высокоэффективных солнечных батарей нового поколения на основе многопереходных фотоэлектрических преобразователей (МП ФЭП) с концентраторами солнечного излучения (СИ). Диссертационная работа Контрош Е.В. посвящена исследованию фотоэлектрических характеристик МП ФЭП и направлена на разработку высокоэффективных МП ФЭП, что является актуальной научно-технической задачей.

Цель работы: Исследование влияния механизмов транспорта носителей заряда в фотоактивных субэлементах и соединительных туннельных диодах на КПД монокристаллических многопереходных фотопреобразователей

Научная новизна: Автором показано, что доминирование туннельно-ловушечного механизма транспорта носителей заряда при плотности темновых токов от  $1 \text{ mA/cm}^2$  до  $100 \text{ mA/cm}^2$  ведёт к наличию S-образной формы прямых темновых и световых ВАХ InGaP/GaInAs/Ge фотопреобразователей при температурах ниже 200 К и снижению фактора заполнения нагрузочной ВАХ и КПД.

Предложена новая конструкция соединительного p-i-n ТД с промежуточным нелегированным i-GaAs слоем.

Установлено, что плотность пикового тока ( $J_p$ ) p-i-n туннельного диода возрастает при увеличении толщины i-слоя, имеет максимум, а затем снижается из-за роста толщины потенциального барьера, через который туннелируют носители заряда.

Показано, что включение тонкого наноразмерного нелегированного i-GaAs слоя между вырожденными  $n^{++}\text{GaAs}$  и  $p^{++}\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  областями соединительных туннельных диодов обеспечивает рост максимального значения  $J_p$  и температурную стабильность вольтамперных характеристик.

Достоверность результатов обусловлена сопоставлением экспериментальных данных с расчётными данными, а также сравнением с результатами, полученными из различных литературных источников. Результаты работы опубликованы в реферируемых научных журналах и были представлены на российских и международных конференциях.

Научная и практическая значимость: Как следует из автореферата, диссертантом предложен новый тип термостабильного соединительного туннельного диода с промежуточным i-слоем перспективный для реализации в высокоэффективных многопереходных фотопреобразователях как солнечного, так и лазерного излучения. На основе проведённого моделирования механизмов транспорта GaAs/AlGaAs p-i-n соединительных ТД для монокристаллических многопереходных фотопреобразователей автором установлено, что включение тонкого ( $\leq 4 \text{ нм}$ ) i-слоя позволяет увеличить плотность пикового туннельного тока диода, степень кратности преобразуемого СИ и КПД. Диссертантом дано теоретическое объяснение обнаруженного эффекта. На основе выполненного моделирования с использованием метода молекулярно-пучковой эпитаксии выращены экспериментальные структуры соединительных туннельных диодов без и с наличием i-слоя. Результаты проведённых экспериментальных исследований подтверждают теорию.

Вместе с тем, следует отметить, что обозначенная в диссертационной работе Контрош Е.В. целесообразность применения МП ФЭП с линейными линзами Френеля в составе солнечных батарей (БС) космических аппаратов (КА) как – минимум дискуссионна, поскольку применение концентраторных систем в составе БС КА предъявляет повышенные требования к точности ориентации БС на Солнце.



Заключение: Автореферат диссертации изложен грамотным техническим языком и полностью раскрывает объём и качество выполненной работы. Результаты работы изложены в 15 журнальных публикациях и 15 выступлениях на конференциях. Полученные результаты и выводы работы хорошо обоснованы и подтверждены экспериментально. Содержание автореферата и список публикаций автора по теме диссертации позволяют считать, что диссертационная работа Контрош Е.В. является законченным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, безусловно, заслуживает присуждения искомой учёной степени по специальности физика полупроводников (1.3.11).

Выражаем согласие специалистов АО «ИСС», подписавших данный отзыв, на включение персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Контрош Евгения Владимировича и их дальнейшую обработку.

Начальник сектора проектирования и  
сопровождения летной эксплуатации  
систем электропитания космических  
аппаратов, разрабатываемых по феде-  
ральным заказам  
Кандидат технических наук



Роман Викторович Козлов

Учёный секретарь секции № 2 НТС



Александр Петрович Коренко

ФИО	Кочура Сергей Григорьевич
Наименование организации	Акционерное общество «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М. Ф. Решетнёва
Почтовый адрес	662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 52
Телефон	8(39197)24215
Факс	8(39197)26163
E-mail	kochura@iss-reshetnev.ru

ФИО	Роман Викторович Козлов
Наименование организации	Акционерное общество «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М. Ф. Решетнёва
Почтовый адрес	662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 52
Телефон	8(39197)62376
Факс	-
E-mail	kozlovpv@iss-reshetnev.ru

ФИО	Александр Петрович Коренко
Наименование организации	Акционерное общество «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ» имени академика М. Ф. Решетнева
Почтовый адрес	662972, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Ленина, д. 52
Телефон	8(39197)63269
Факс	-
E-mail	korenko@iss-reshetnev.ru