

## Список литературы

1. Lean система (Бережливое производство) // src-master.ru URL: <https://www.src-master.ru/article25952.html> (дата обращения: 23.09.2019г.).
2. Сущность и основные элементы концепции бережливого производства // infopedia.su URL: <https://infopedia.su/3xb12b.html> (дата обращения: 23.09.2019г.).
3. Инструменты Бережливого Производства – «Карта потока создания ценности» // <http://ec-univer.ru> URL: [http://ec-univer.ru/m/newlearn/lecture/index/159?flow\\_id=60&object\\_id=100&object\\_type=2&program\\_id=14](http://ec-univer.ru/m/newlearn/lecture/index/159?flow_id=60&object_id=100&object_type=2&program_id=14) (дата обращения: 29.09.2019г.).
4. Карта потока создания ценности как основной инструмент «бережливого производства» // ips.tpu.ru URL: <http://ips.tpu.ru/stati-kursantov/ekspertyi-instituta-proizvodstvennyi-2/> (дата обращения: 29.09.2019г.).
5. Потери - виды потерь в бережливом производстве // iambuilding.ru URL: <https://iambuilding.ru/stati/kaizen/poteri-vidy-poter-v-berezhlivom-proizvodstve/> (дата обращения: 29.09.2019г.).

УДК 621.383.52:543.552:544.022.344

## КОНТРОЛЬ ПРОЯВЛЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Сёмчин Егор Александрович, Градобоев Александр Васильевич, Симонова Анастасия Владимировна, Потрепалов Иван Дмитриевич*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*  
E-mail: gradoboev1@mail.ru

## CONTROL OF MANIFESTATION OF DISLOCATIONS UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS

*Syomchin Egor Aleksandrovich, Gradoboev Alexander Vasilievich, Simonova Anastasiia Vladimirovna, Potrepalov Ivan Dmitrievich*  
*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** Статья посвящена контролю проявления дислокаций при воздействии внешних факторов на светодиоды на основе гетероструктур AlGaAs инфракрасного диапазона вследствие воздействия ионизирующего излучения гамма-квантов, быстрых нейтронов, электронов, а также длительной эксплуатации. На основе результатов исследований выполнено моделирование прямой ветви вольт-амперной характеристики светодиодов. Путем сопоставления с известными литературными данными и результатами экспериментальных исследований доказана достоверность и адекватность разработанной математической модели. Также разработана специальная технологическая оснастка для исследования температурных полей светодиодов с дислокациями и без них для тепловизионного микроскопа высокого разрешения. Разработанная математическая модель может быть использована для исследования других типов полупроводниковых приборов на основе p-n-перехода.

**Abstract:** The article is devoted to controlling the appearance of dislocations when exposed to external factors on LEDs based on AlGaAs heterostructures of the infrared range due to exposure to ionizing radiation from gamma rays, fast neutrons, electrons, as well as long-term operation. Based on the research results, the simulation of the direct branch of the current-voltage characteristics of LEDs was performed. By comparison with the known literary data and the results of experimental studies proved the reliability and adequacy of the developed mathematical model. A special technological equipment has also been developed for studying the temperature fields of LEDs with

dislocations for a high-resolution thermal imaging microscope. The developed mathematical model can be used to study other types of semiconductor devices based on the p-n-junction.

**Ключевые слова:** дислокация; светодиод; гетероструктура; светодиод на основе AlGaAs; ионизирующее излучение.

**Keywords:** dislocation; LED; heterostructure; AlGaAs based LED; ionizing radiation.

В наших условиях дислокации в активном слое светодиодов (далее СД) проявляются в результате формирования облаков Коттрелла, которые обладают проводящими свойствами, за счет взаимодействия вводимых внешним воздействием дефектов с исходными дефектами [1,2]. Таким образом, дислокации можно представить в виде объемных каналов утечки рабочего тока СД. Стоит отметить, что дислокации неоднозначно влияют на работу полупроводниковых приборов на основе p-n-перехода [3-6].

Целью работы является контроль появления дислокаций в результате воздействия различных внешних факторов на СД инфракрасного диапазона длин волн, изготовленные на основе гетероструктур AlGaAs путем математического моделирования.

Стоит учитывать, что дислокации влияют на различные характеристики СД. В частности, подключение дислокаций параллельно p-n-переходу СД изменяет форму прямой ветви его вольт-амперной характеристики (далее ВАХ). На рисунке 1 показана ВАХ исходного СД и соответствующая функция прямой ветви ВАХ при подключении дислокаций.

По полученным данным было определено общее выражение зависимости тока от напряжения:

$$I_i = k_1(U_i - U_0)^{k_2}, \quad (1)$$

где  $U_0$  – первоначальное напряжение, напряжение начала излучения;

$U_i$  – напряжение при  $i$ -том токе;

$k_1, k_2$  – константы, зависящие от свойств СД и наличия дислокаций.

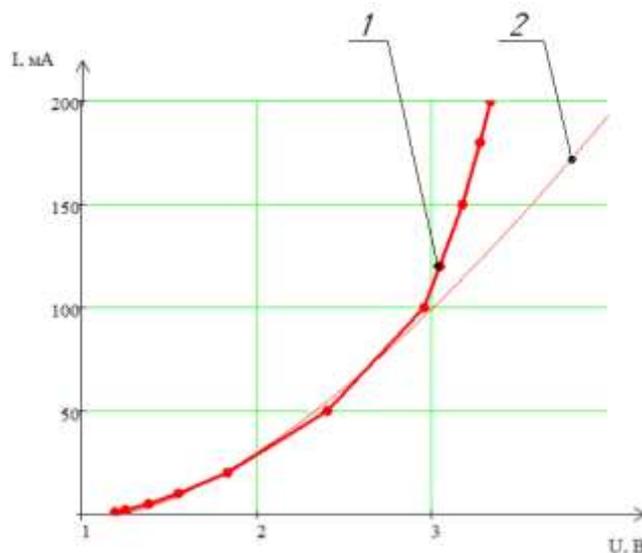


Рисунок 1 – Влияние дислокаций на вольт-амперные характеристики: 1 – ВАХ исходного СД без дислокаций; 2 – функция изменения ВАХ с подключением дислокаций

Помимо изучения различных ВАХ характеристик также была определена зависимость изменения мощности светодиодов от облучения (см. рисунок 2).

Установленная закономерность была определена по выражению:

$$\frac{P_{\gamma}}{P_0} = (k_1 \cdot D_{\gamma})^{-k_2} \quad (2)$$

где  $\frac{P_{\gamma}}{P_0}$  – отношение мощности СД после облучения к исходной мощности;

$D_{\gamma}$  – доза облучения гамма-квантами, выраженная в Гр;еях;

$k_1, k_2$  – константы, зависящие от свойств СД и наличия дислокаций.

В зоне дислокаций происходит локальный разогрев активного слоя СД, что приводит к деградации его параметров и характеристик с последующим развитием катастрофического отказа.

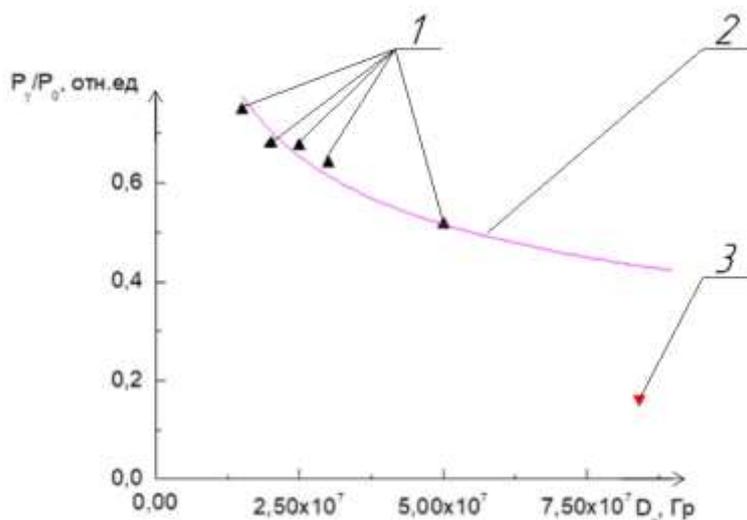


Рисунок 2 – Изменение мощности излучения при 50 мА СД на основе гетероструктур AlGaAs при облучении гамма-квантами: 1 – до подключения дислокации; 2 – установленная закономерность; 3 – после подключения дислокаций

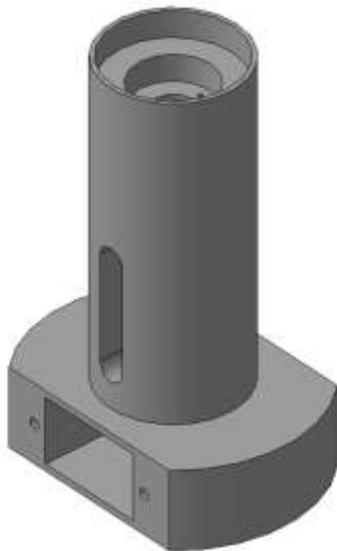
Для достижения поставленной цели решён ряд задач. Разработана математическая модель прямой ветви ВАХ СД на основе программного обеспечения Mathcad и Origin. Произведено моделирование изменения ВАХ СД для различных схем подключения дислокаций. Адаптированы математические модели, формирующие различные зависимости изменений прямой ветви ВАХ объектов исследований. При этом, разработанная математическая модель позволяет решать как прямую так и обратную задачи. Прямая задача связана с определением изменений формы ВАХ СД при модельном подключении дислокаций, а вторая задача – с разложением аномальной ВАХ СД на составляющие.

Путем анализа аномальных вольт-амперных характеристик исследуемых СД доказана достоверность разработанной математической модели прямой ветви ВАХ. При этом для анализа использовались как известные литературные данные, так и экспериментальные результаты, полученные в данной работе. Анализу были подвергнуты СД, предварительно облученные гамма-квантами, быстрыми нейтронами, электронами, а также подвергнутые действию факторов длительной наработки (повышенная температура и электрический режим).

Представленные результаты экспериментальных исследований доказывают достоверность и адекватность разработанной математической модели прямой ветви вольт-амперной характеристики светодиодов. Таким образом, данная модель может быть распространена на другие типы полупроводниковых приборов, работа которых основана на p-n-переходе.

Разработана специальная оснастка для детального исследования температурных полей СД с дислокациями и без дислокаций с использованием тепловизионного микроскопа высокого разрешения. При этом данная оснастка позволяет проводить измерения светотехнических характеристик СД в фотометрическом шаре. Основной компонент оснастки – цилиндр, модель которого приведена на рисунке 3.

Данное устройство позволит в дальнейшем исследовать изменение светотехнических и электрофизических характеристик кристаллов СД, изготовленных из различных приборных структур, в результате воздействия различных внешних факторов (высокая температура, повышенное электрическое питание, различные виды ионизирующего излучения).



*Рисунок 3 – Модель цилиндра*

Экономическая эффективность и значимость работы заключается в разработке подхода к научному обоснованию изменений характеристик светодиодов при воздействии внешних факторов. Отмеченный подход позволяет: рационально использовать материальные ресурсы при создании и разработки СД; улучшить их параметры; повысить потребительские свойства.

Практическая значимость работы связана с тем, что адаптированная математическая модель и программа моделирования характеристик могут быть использованы для исследования изменения ВАХ различных полупроводниковых приборов, работа которых основана на использовании р-п-перехода.

#### **Список литературы**

1. Колюбакин А.И., Шевченко С.А. Особенности электропроводности пластически деформированного германия // Письма в ЖЭТФ – 1979, т.30, вып. 3, С. 208-211.
2. Шикин В.Б., Шикина Ю.В. Заряженные дислокации в полупроводниковых кристаллах // Успехи физических наук – 1995, № 8, С. 887 – 917.
3. Зи М.С. Физика полупроводниковых приборов, В 2-х книгах. Кн.1. Пер. с англ. – 2-е перераб. и доп. изд. М.: Мир, – 1984. – 456 с.
4. Парфенов В.В., Закиров Р.Х., Болтакова Н.В. Физика полупроводниковых приборов. Методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань, 2004. – 56 с.
5. Саченко А.В., Беляев А.Е. Токотеренос по металлическим шунтам в омических контактах к  $n^+-Si$  // Физика и техника полупроводников. – 2014. – N 4. – С.509–513

6. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

7. Сидоров В.Г., Сидоров Д.В., Соколов В.И. Влияние внутренних механических напряжений на характеристики светодиодов из арсенида галлия. СПб.: Санкт-Петербургский государственный технический университет, 1998. – 6 с.

УДК 614.842.6:665.63.012

## ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

*Сергеев Кирилл Сергеевич, Сечин Андрей Александрович*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

*E-mail: k.sergeev23@mail.ru*

## RISK ASSESMENT OF EMERGENCY AT THE ENTERPRISE OF THE OIL REFINING INDUSTRY

*Sergeev Kirill Sergeevich, Sechin Andrey Alexandrovich*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

**Аннотация:** Работа посвящена проведению оценки риска возникновения потенциально-возможных аварийных ситуаций на опасном производственном объекте нефтехимического комплекса путем определения источников и причин аварий, характерных для рассматриваемого объекта, анализом возможных последствий и приведением рекомендаций по организации необходимых для предотвращения аварии мероприятий.

**Abstract:** The work is devoted to assessing the risk of potential emergency situations at a hazardous production facility of the petrochemical complex by identifying the sources and causes of accidents typical of the facility in question, analyzing the possible consequences and providing recommendations on the organization of measures necessary to prevent the accident.

**Ключевые слова:** опасный производственный объект, технологический процесс, аварийная ситуация, предотвращение аварии, возможная взрывоопасная зона.

**Keywords:** hazardous production facility, technological process, emergency situation, accident prevention, possible explosive area.

На сегодняшний день предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли являются неотъемлемой частью Российской промышленности. В следствие их высокой плотности, большого количества технологического оборудования, разнообразности технологических процессов и различных степеней опасности обращающихся в этих процессах веществ вопрос безопасности остается и продолжает быть актуальным.

Среди объектов нефтепереработки и нефтехимии в нашей стране все еще наблюдается высокий показатель аварийности, несмотря на ужесточение законодательной базы в сфере обеспечения промышленной и пожарной опасности. Степень этого показателя связана не только с ненадлежащим качеством технологического оборудования, подверженного механическому и коррозионному износу, но также высоким содержанием в исходном сырье сернистых соединений.

Так, в 2018 году на опасных производственных объектах произошло 19 аварий, ущерб от которых за года составил 14 млрд 827 млн рублей. Также за 12 месяцев 2018 года количество травмированных в результате аварии составило 23 человека, в том числе со смертельным исходом – 12. Количество групповых несчастных случаев составило 4 случая.