

В основу нашей работы положены методы анализа дат исторических событий и годов солнечной активности на протяжении XVIII-XXI веков. Чтобы проследить зависимость политической обстановки в мире от солнечной активности был выбран отрезок времени от 1700 до наших дней. График солнечных циклов совмещался с датами исторических и политических событий.

Анализ результатов показал, что в масштабах земного шара главные периоды жизни народов протекают циклично и синхронно. Концентрация исторических событий (политических конфликтов, войн, восстаний, революций) достигает наивысших значений при максимуме солнечной активности. Так, например, события на Украине выпали на пик солнечной активности. Незначительная концентрация событий приходится также и на минимум солнечной активности. Интенсивность длительных событий меняется синхронно с изменением солнечной активности. На основе прогноза солнечных циклов можно предположить увеличение числа политических конфликтов в 2023, 2034, 2046, 2057, 2065 гг.

Современная наука позволяет выявить фундамент историометрической теории Чижевского, ее физическую основу. В определенные эпохи, когда деятельность Солнца значительно и резко повышается, констатируется одновременный подъем нервно-психической возбудимости больших человеческих масс, выражающийся в увеличении числа массовых движений, психических и психопатических эпидемий. Таким образом, солнечная активность является сильнейшим экологическим фактором, значение которого пока недооценивается. Безусловно, историометрическая теория имеет право на дальнейшее развитие.

Литература.

1. Солнечная активность // Википедия [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Климатообразующая роль Солнца. Показатели солнечной активности // [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: [Mylektsii.ru http://www.mylektsii.ru/1-63586.html](http://www.mylektsii.ru/1-63586.html).
3. Г.П.Самарина, С.Е. Дорошко, В.А. Чекирда Ноосферная экономика: назад к истокам. Базисное значение труда и мотивации – СПб.:ПИФ.com, 2008. – 338 с.
4. А.Л. Чижевский Физические факторы исторического процесса - Калуга: 1-я Гостиполитография, 1924.

### НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

*А.В. Симонова<sup>1</sup>, инженер,  
научный руководитель: Градобоев А.В. <sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор,  
<sup>1</sup>АО «НИИПП», г. Томск,  
634034, г. Томск, ул. Красноармейская, 99а, +7 923 402 02 62*

*<sup>2</sup>Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, +7 913 866 84 05  
E-mail: <sup>1</sup>ainakim297@yandex.ru, <sup>2</sup>gradoboev1@mail.ru*

В настоящее время светодиодная техника становится все более популярной практически во всех сферах деятельности человека. При эксплуатации светодиодов (далее СД) большое внимание уделяется проблемам качества и надежности. Это особенно актуально для космической, атомной и военной промышленности.

Целью данной работы является обзор методов оценки надежности СД, при этом необходимо оценить эффективность их практического использования.

В качестве объекта исследования были выбраны СД и в меньшей степени лазерные диоды. Особое внимание уделено гетероструктурам, так как на сегодняшний день они являются основным материалами, используемым для производства СД для всего диапазона длин волн.

#### **Полученные результаты, анализ и обсуждение**

СД – это полупроводниковый прибор с  $p - n$  – переходом, генерирующий при прохождении через него электрического тока оптическое излучение. На рис. 1 показана типовая конструкция СД.

Надежность светодиодов определяется, во-первых, исходным материалом, во-вторых, технологией изготовления и, в-третьих, конструкцией [1].

Весьма большое влияние на надежность имеет материал металлизации [2-4]. Как показано в [2] качество контактов металл - полупроводник (Me-p/n) определяет работоспособность в условиях непрерывного воздействия гамма-излучения. В [2,3] изложены результаты исследования воздействия гамма-излучения в диапазоне доз  $10^2 - 2 \cdot 10^7$  Гр на контакты Me-p/n, изготовленные на основе сло-

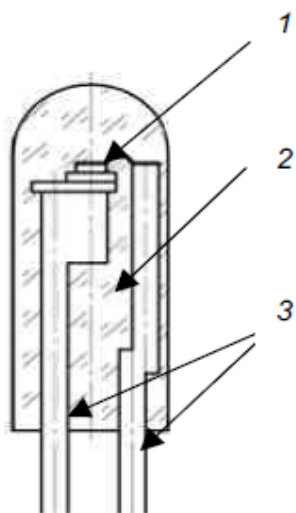


Рис. 1. Конструкция светодиода:  
1 – кристалл, 2 – линза и корпус  
из оптического компаунда,  
3 – выводы питания

стых структур  $Au-ZrB_x-AlGaN-GaN$  и  $Au-TiB_x-Al-Ti-nGaN$ , при этом было выявлено несколько характерных эффектов:

- усиление диффузионной проницаемости слоев золота и борида циркония (радиационно-стимулированная диффузия);
- перераспределение кислорода в структуре контакта при облучении (в данном случае кислород появляется в контакте Me-п/п в процессе его формирования).

Данные эффекты являются следствием развития структуры радиационных повреждений в облученных материалах, обусловленной созданием в них высоких концентраций точечных дефектов.

Под влиянием термической активации точечные дефекты, приобретая высокую подвижность, могут рекомбинировать, поглощаться дислокациями, границами зерен, порами, свободными поверхностями и т.д. При этом чаще всего наблюдается снижение числа избыточных вакансий вследствие стремления структуры к термодинамическому равновесию. В результате радиационно-стимулированных процессов происходит коалесценция вакансий друг с другом в устойчивые комплексы, вплоть до образования пор (рис. 2), а также комплексообразование с атомами примеси.

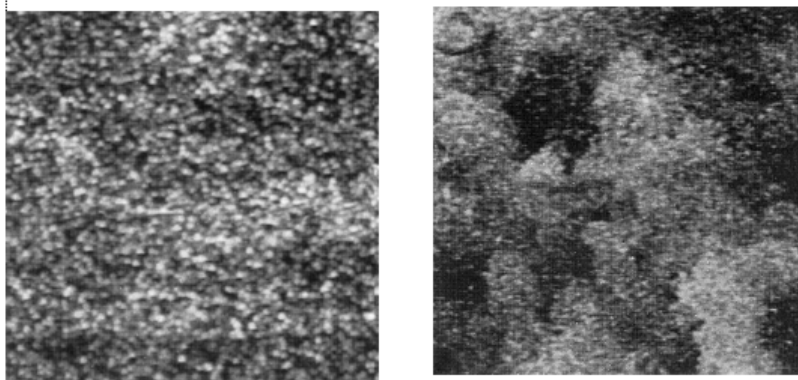


Рис. 2. Морфология поверхности пленки  $Au$  на структуре  $Au-ZrB_x-AlGaN-GaN$ : слева – до облучения и справа – после облучения до дозы  $W = 10^6$  Гр (площадь  $5 \times 5$  мкм) [3]

Под влиянием термической активации точечные дефекты, приобретая высокую подвижность, могут рекомбинировать, поглощаться дислокациями, границами зерен, порами, свободными поверхностями и т.д. При этом чаще всего наблюдается снижение числа избыточных вакансий вследствие стремления структуры к термодинамическому равновесию. В результате радиационно-стимулированных процессов происходит коалесценция вакансий друг с другом в устойчивые комплексы, вплоть до образования пор (рис. 2), а также комплексообразование с атомами примеси.

Таким образом, анализ результатов исследования радиационной стойкости контактов Me-п/п позволяет сделать следующие выводы. Дegradaция электрофизических параметров контактов Me-п/п при воздействии ионизирующего излучения обусловлена, во-первых, перераспределением исходных дефектов, в том числе легирующей примеси, во-вторых, перераспределением атомов металлизации в полупроводнике под действием облучения и формированием новых дефектов.

В [4] представлены результаты исследования влияния высоких температур на различные типы металлизации Me-п/п. При этом было установлено, что наиболее часто наблюдаются следующие виды брака: потеря адгезии металлизации; образование интерметаллических соединений между слоями металлизации; проплавление барьерного слоя; отслоение обкладок металлизации. К сожалению, авторы [4] не рассматривали явление электромиграции (массопереноса) при воздействии высоких температур на металлизацию и сильных локальных электрических полей, что вполне ожидаемо в наблюдаемом случае. На практике достаточно широко используется методика прогнозирования надежности СД, в основе которой лежит определение энергии активации деградации по кривым Аррениуса [4-6].

В работах [7-12] рассмотрены результаты исследования надежности СД, а в работах [13-16] – результаты исследования радиационной стойкости СД. В частности в [12], исследовали деградацию СД при длительной наработке и влияние технологии крепления кристалла СД к теплоотводу на эксплуатационные характеристики светодиодов. На рис. 3 показано изменение светового потока в процессе наработки для различных конструкций СД, полученные в данной работе.

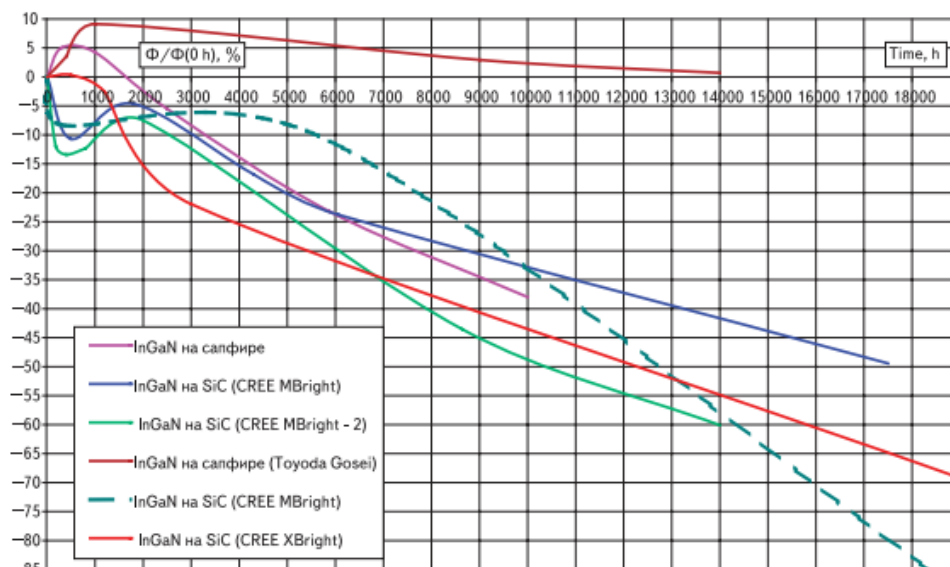


Рис. 3. Дegradационные характеристики светового потока светодиодов синего цвета свечения на основе гетероструктур AlInGaN в составе излучающих кристаллов различных конструкций [12]

Из представленных результатов видно, что длительность наработки существенно образом зависит от технологии изготовления СД (время наработки, в течение которого световой поток падает до предельно допустимого значения, изменяется в 1,5 – 5 раз).

В работе [12] было установлено, что ультразвуковая сборка СД на основе гетероструктур InGaN приводит к деградации светотехнических характеристик (для других приборных структур наблюдаются идентичные результаты). Также было установлено, что операция ультразвуковой разварки выводов влияет не только на степень деградации параметров, но и на изменение структуры активного слоя кристалла, что приводит к изменению распределения плотности светового потока по объему кристалла и/или вида вольт-амперной характеристики. При анализе рис. 3 можно отметить, что по достижении длительности наработки до 20 000 часов (около 2,5 лет) практически у всех кристаллов остается немногим более 30 % светового потока от начального значения. Поэтому нет смысла говорить о 50 000 часах наработки с потерей 30 % светового потока, которое указано в спецификациях большинства производителей.

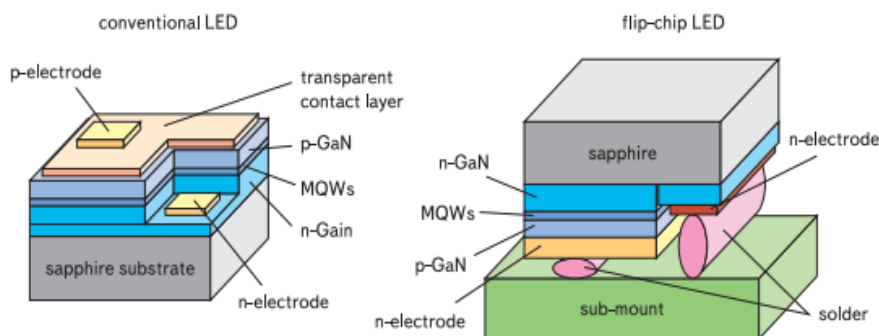


Рис. 4. Сравнительный анализ монтажа кристалла InGaN на подложке Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> традиционным и flip-chip методами [12]

Общий анализ результатов исследования надежности СД позволяет сделать вывод о том, что для кристаллов из различных материалов, для различных конструкций физические механизмы деградации подобны. Обратим внимание на деградационную кривую СД фирмы *Toyoda Gosei* на рис. 3. Данный кристалл смонтирован без применения ультразвуковой приварки проводников к омическим контактам. Здесь применяется технология flip-chip (рис. 4). Использование данной технологии является перспективным в части улучшения показателей надежности СД.

Так как современные СД изготавливаются на основе гетероструктур с наноразмерными активными слоями и наноразмерными квантовыми ямами, то необходимо исследовать влияние размерности активных слоев на показатели надежности СД [6, 9].

Весьма многообещающим выглядит контроль теплового сопротивления *p-n*-переход-корпус [16], что позволяет отбраковывать потенциально ненадежные СД и тем самым повысить их эксплуатационную надежность. Изучение электрических и электролюминесцентных, температурных и временных характеристик СД [17 – 20], также может быть использовано для целей исследования и прогнозирования надежности.

В настоящее время доказана эффективность применения косвенных методов прогнозирования надежности СД, основанных на анализе шумовых характеристик (тепловые и избыточные шумы, а также  $1/f$  – низкочастотный шум) [21]. Как утверждают авторы [22] данный метод оценки надежности применим со всем ПП и дает более объективные результаты по разбраковке приборов по надежности, чем вольт-амперная характеристика.

#### **Заключение**

В данной работе представлен анализ источников литературы по надежности СД. Представленные выше результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Вопросы обеспечения требуемых радиационной стойкости и эксплуатационной надежности во многом имеют общий фундамент, поскольку в обоих случаях введение различных дефектов (различными способами) приводит к подобной деградации приборных характеристик светодиодов.
2. Качество контактов металл - полупроводник во многом определяет надежность светодиодов, также как и многих других полупроводниковых приборов.
3. Расчет энергии активации деградации контакта металл-полупроводник может быть использован для прогнозирования надежности светодиодов.
4. Для повышения надежности исходных гетероструктур необходимо улучшать качество их изготовления, исследовать взаимодействие слоев друг с другом и чувствительность основных приборных характеристик к воздействию внешних факторов в процессе длительной эксплуатации.
5. Основные пути обеспечения требуемой эксплуатационной надежности светодиодов включают в себя: отбор исходных приборных структур, оптимизацию технологии изготовления, оптимизацию конструкции, схемотехнические решения при эксплуатации; применение специальных технологических приемов и оптимизацию рабочих режимов.

Необходимо особо отметить, что современные технологии производства приборных структур и светодиодов на их основе должны учитывать множество факторов, оказывающих влияние не только на качество отдельных производственных операций, но и на то, как впоследствии использованные режимы и условия проведения этих операций скажутся на работоспособности и стабильности параметров произведенных приборов.

#### **Литература**

1. Градобоев А.В., Суржиков А.П. Радиационная стойкость СВЧ приборов на основе арсенида галлия / Томск: Изд-во ТПУ. – 2005. – 277 с.: ил.
2. Куракин А.М. Влияние гамма-радиации на характеристические сопротивления нитридгаллиевых гетероструктурных транзисторов с высокой подвижностью электронов // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29. – Вып. 18. – С. 1 – 5.
3. Беляев А.Е., Болтовцев Н.С., Конакова Р.В. и др. Радиационные повреждения контактных структур с диффузионными барьерами, подвергнутых  $\gamma$ -облучению  $^{60}\text{Co}$  // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44. – Вып. 4. – С. 467 – 475.
4. Черных М.И., Фиронов В.А., Цоцорин А.Н. и др. Оценка надежности различных типов многослойной металлизации при воздействии высоких температур // IV Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2014. Режим доступа: <[http://mwelectronics.ru/2014/Poster/2/P02\\_04\\_FironovVA\\_Ocenka\\_nadezhnosti.pdf](http://mwelectronics.ru/2014/Poster/2/P02_04_FironovVA_Ocenka_nadezhnosti.pdf)>.

5. Шмидт Н.М., Усиков А.С., Шабунина Е.И. и др. Исследование деградации внешней квантовой эффективности ультрафиолетовых светодиодов на основе гетероструктур AlGaIn/GaN, выращенных методом хлоридно-гидридной эпитаксии // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – Вып. 13. – С. 73 – 80.
6. Петухов А.А., Журтанов Б.Е., Молчанов С.С. и др. Электролюминесцентные характеристики светодиодов среднего ИК-диапазона на основе гетероструктуры InGaAsSb/GaAlAsSb при высоких рабочих температурах // Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. Вып. 4. – С. 91 – 96.
7. Генкин А.М., Генкина В.К., Гермаш Л.П. Влияние длительной работы и температуры на спектры карбид-кремниевых светодиодов, работающих в режиме электрического пробоя // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69. – Вып. 10. – С. 69 – 76.
8. Белоус М.В., Генкин А.М., Генкина В.К. и др. Влияние длительной работы при максимальной токовой нагрузке на характеристики карбид-кремниевых светодиодов, работающих в режиме электрического пробоя // Журнал технической физики. – 1997. – Т. 67. – № 1. – С. 130 – 132.
9. Никифоров С.Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5.
10. Рожанский И.В., Закгейм Д.А. Анализ причин падения эффективности электролюминесценции светодиодных гетероструктур AlGaInN при большой плотности тока накачки // Физика и техника полупроводников. – 2006. – Т. 40. – Вып. 7. – С. 861 – 867.
11. Соломонов А.В., Тарасов С.А., Менькович Е.А. и др. Исследование характеристик ультрафиолетовых светодиодов на основе гетероструктур GaN/AlGaIn, выращенных методом хлоридно-гидридной эпитаксии // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48., Вып. 2. – С. 259 – 264.
12. Никифоров С.Г. Стабильность параметров и надежность светодиодов закладываются на производстве // Компоненты и технологии. – 2007. – № 5. – С. 59 – 66.
13. Радиационная стойкость гетероструктур AlGaAs для светодиодов ИК-диапазона: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 01.04.07 / Рубанов П.В.; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. А. В. Градобоев. – Томск. – 2012.
14. Градобоев А.В., Рубанов П.В. Деградация светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs при облучении электронами // Известия ВУЗ. Физика. – 2011. – № 1/2. – С. 195 – 197.
15. Градобоев А.В., Скаков М.К., Полицинский Е.В. и др. Стойкость светоизлучающих диодов ИК-диапазона к воздействию импульсного лазерного излучения // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 125 – 129.
16. Градобоев А.В., Рубанов П.В., Скакова И.М. Деградация светодиодов на основе гетероструктур InGaIn/GaN при облучении гамма-квантами // Известия ВУЗ. Физика. – 2011. – № ½. – С. 190 – 194.
17. Мальцев А., Мальцев И. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению р-п-переход-корпус // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 2. – С. 40 – 41.
18. Петухов А.А., Кижаев С.С., Молчанов С.С. Электрические и электролюминесцентные свойства светодиодов  $\lambda = 3,85 - 3,95 \mu\text{m}$  на основе InAsSb в интервале температур 20 – 200 С // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 1. – С. 73 – 76.
19. Ковалев А.Н., Маняхин Ф.И., Кудряшов В.Е. и др. Изменения люминесцентных электрических свойств светодиодов из гетероструктур InGaIn/AlGaIn/GaN при длительной работе // Физика и техника полупроводников. – 1999. – Т. 33. – Вып. 9. – С. 224 – 232.
20. Мамакин С.С., Юнович А.Э., Ваттана А.Б. и др. Электрические свойства и спектры люминесценции светодиодов на основе гетеропереходов InGaIn/GaN с модулировано-легированными квантовыми ямами // Физика и техника полупроводников. – 2003. – Т. 37. – Вып. 9. – С. 1131 – 1137.
21. Бочкарева Н.И., Иванов А.М., Клочков А.В. и др. Прыжковый транспорт в области объемного заряда р-п-структур с квантовыми ямами InGaIn/GaN как источник избыточного 1/f шума и потерь эффективности светодиодов // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 49. – Вып. 6. – С. 847 – 855.
22. Горлов М.И., Емельянов В.А., Смирнов Д. Возможность отбраковки полупроводниковых приборов по уровню низкочастотного шума // Компоненты и технологии. – 2005. – № 8.