

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ
ПО ШУМОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

**ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ
ЗА ШУМОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

RELIABILITY PREDICTION FOR LIGHT EMITTING DIODES BY NOISE CHARACTERISTICS

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются результаты измерений низкочастотных шумов светоизлучающих диодов. Установлено, что светоизлучающие диоды с повышенным уровнем шумов или с аномальной кинетикой роста их в первые часы испытаний потенциально ненадежны, то есть проявляют в дальнейшем быструю или катастрофическую деградацию (отказ). Показана перспективность шумовых измерений для отбора светоизлучающих диодов по показателям надежности.

Анотація. В даній статті розглядаються результати вимірювань низькочастотних шумів світловипромінюючих діодів. Установлено, що світловипромінюючі діоди з підвищеним рівнем шумів або з аномальною кінетикою зростання їх в перші години випробувань потенційно ненадійні, тобто виявляють у подальшому швидку або катастрофічну деградацію (відмову). Показана перспективність шумових вимірювань для відбору світловипромінюючих діодів за показниками надійності.

Summary. In this paper, we consider the results of low-frequency noise measurements for LEDs. It is established that LEDs with high level of noises or anomalous kinetics of their increase at the first hours of the test are potentially unreliable, that is, reveal further a rapid or catastrophic degradation (failure). It is shown that noise measurements show promise for the selection of LEDs by their reliability characteristics.

Оценка надежности полупроводниковых приборов, входящих в состав электронных устройств, становится все более актуальной в связи с усложнением этих устройств и увеличением требований к их надежности. Особый интерес представляет собой вопрос о надежности светоизлучающих диодов (светодиодов) – одного из важнейших звеньев оптоэлектронных устройств. Важной особенностью полупроводниковых источников света – светодиодов является то, что они, в отличие от традиционных ламп, не выходят из строя даже через 50-100 тысяч часов эксплуатации. Наблюдается лишь постепенное снижение их светового потока, при этом вопрос оценки снижения потока, то есть деградация полупроводниковых светодиодов, приобретает особую актуальность.

Приводящая к уменьшению надежности устройств деградация светодиодов изучается различными авторами под различными углами зрения, обусловленными технологическими и метрологическими возможностями и стоящими задачами.

Выяснение причин деградации направлено на последующее влияние на них так, чтобы уменьшить скорость и величину деградации и на выявление ранних признаков (предвестников) быстрой и сильной деградации в ходе дальнейшей эксплуатации приборов и отбраковку таких потенциально ненадежных приборов.

Здесь мы обсудим преимущественно второй аспект проблемы, а именно, возможности прогнозирования поведения светодиодов. Среди множества опубликованных работ, посвященных выбранной теме, отметим следующие работы.

В работе [1] описаны результаты ускоренных испытаний фосфид-галлиевых светодиодов в форсированном режиме. Это позволило авторам за сравнительно небольшое время испытаний определить медианный ресурс партии светодиодов – время уменьшения яркости вдвое. При этом не удалось определить срок службы каждого светодиода в отдельности.

Метод отбраковки потенциально ненадежных светодиодов по результатам ускоренных испытаний в форсированном режиме, позволяющий определить индивидуальный срок службы, был описан нами ранее в работе [2]. Испытания проводились в течение 100 часов. К относительным недостаткам метода можно отнести значительное время испытаний (около 400 часов), необходимое для установления эталонной зависимости.

Изучению закономерностей деградации светодиодов на основе нитрида галлия посвящена работа [3]. В ней также описываются испытания светодиодов при повышенных температурах и плотностях тока. В связи с высокой стабильностью светодиодов испытания проводились в течение

более 1000 часов, после которых наблюдались установившиеся зависимости, позволяющие сделать прогнозы относительно дальнейшего поведения светодиодов. Кроме того, требовалась большая точность измерений яркости излучения, что трудно достижимо при многократных периодических измерениях. Была подтверждена решающая роль плотности тока в процессе деградации светодиодов и рекомендация избегать больших токовых нагрузок.

Измерения шумовых характеристик полупроводниковых приборов также позволяют сделать выводы об их надежности. Наибольший интерес представляют низкочастотные шумы, причиной которых являются различного рода дефекты в структурах приборов. По возрастанию шума в контактах можно судить о приближении их разрушения. Возрастание шумов – признак деградации активных областей полупроводниковой структуры, могущей привести к полному отказу [4].

Изучению особенностей рекомбинационных процессов в светодиодах и их связи с шумовыми характеристиками в области низких частот посвящена работа [5]. Установлено, что во всей области токов частотная зависимость спектральной области шума в диапазоне частот 10-10000 Гц имела вид $1/f$, и более шумящие светодиоды обладают большей скоростью деградации в ходе дальнейшей эксплуатации. В испытаниях на малых токах возрастание шумов и падение эффективности светодиодов с ростом тока было обратимым. Показана целесообразность проведения исследований низкочастотного шума светодиодов при больших плотностях тока и предложена возможность предсказания степени деградации сильно шумящих приборов. В данной работе сами спектры низкочастотных шумов не приведены, и результаты испытаний в течение длительного времени эксплуатации не приводятся.

Однако, несмотря на значительный интерес, проявляемый к прогнозированию деградации светодиодов, в настоящее время не существует надежного и удобного метода прогнозирования.

Это стимулировало нас на проведение подробных исследований низкочастотных шумов в фосфид-галлиевых светодиодах, поэтому целью статьи является разработка метода отбраковки ненадежных светодиодов за небольшое время испытаний.

Измерения шумовых характеристик полупроводниковых приборов позволяют сделать выводы о надежности светоизлучающих диодов [6]. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Наибольший интерес представляют низкочастотные шумы, причиной которых являются различного рода дефекты в структурах приборов. Эти шумы иногда называют фликкер-шумами или $1/f$ шумами. Экспериментальные исследования показали, что зачастую первопричиной $1/f$ шумов являются медленные состояния вблизи поверхности раздела полупроводника и защитных слоев. Флуктуации плотности поверхностных состояний вызывают изменение пространственного заряда в обедненной области, и, как следствие, изменяют потенциальный барьер. Это влечет за собой флуктуации тока через $p-n$ -переход (шумы).

Различные объемные неоднородности (примеси, дислокации, микротрещины), являясь центрами захвата, также сильно влияют на прохождение тока через $p-n$ -переход. В результате относительно медленных процессов диффузии происходит выравнивание концентрации примесей в области $p-n$ -перехода, расширение перехода и диффузия примесей по дислокациям, что сопровождается возрастанием низкочастотных шумов. Таким образом, возрастание шума – признак деградации активных областей полупроводниковой структуры, могущий привести к полному отказу.

Уровень $1/f$ шума может на несколько порядков превышать уровень белого шума. Превышение же $1/f$ шума над средним значением у данного прибора также может служить предвестником отказа [4].

Мы предприняли некоторые исследования низкочастотных шумовых характеристик фосфид-галлиевых СИД для проверки применимости этих результатов в целях прогнозирования их надежности.

Нами исследовались фосфид-галлиевые СИД знаковые индикаторы типа АЛС321А на предмет соответствия их шумовых и световых характеристик. Светоизлучающие сегменты включались по одному, так как при одновременном включении всех сегментов их температуры различны в связи с различным их расположением на знаковом индикаторе.

Через сегменты пропускался максимально допустимый ток 25 мА. Спектральная плотность токового шума измерялась по падению напряжения на эталонном резисторе селективным микровольтметром В6-2. Яркость свечения измерялась кремниевым фотоэлементом в режиме короткого замыкания в относительных единицах.

Результаты измерений представлены на рис. 1...3.

На рис. 1, а представлены шумовые характеристики типичного СИД образца № 15, сегмент А, измеренные до наработки (кривая 1), после наработки 1 суток (кривая 2), 3 суток (кривая 3) и 8 суток

(кривая 4). На рис. 1, б представлены зависимости спектральной плотности шума от времени наработки на частотах 100 Гц (кривая 1), 180 Гц (кривая 2) и 540 Гц (кривая 3). Как видно из рис.1, а, б, спектр шума соответствует виду $1/f$, и по мере наработки шум резко возрастает в первые 10 суток, становясь практически постоянным в дальнейшем вплоть до 50 суток (1200 часов) и незначительно увеличиваясь после этого срока. Дальнейшая эксплуатация показала высокую стабильность яркости этого СИД.

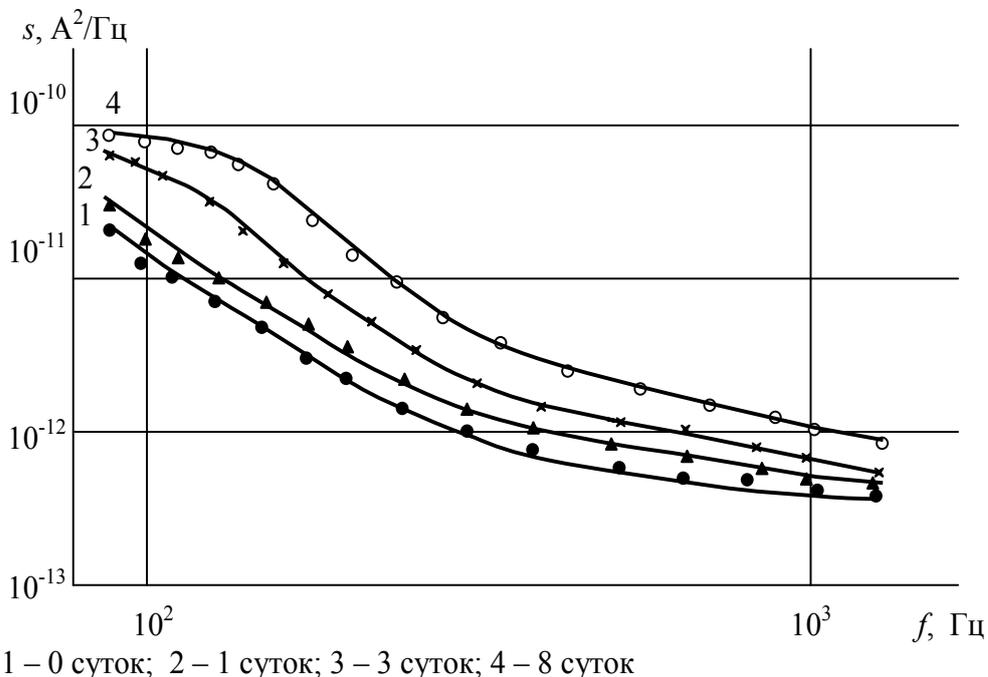


Рисунок 1, а – Шумовые характеристики типичного СИД образца № 15 (сегмент А)

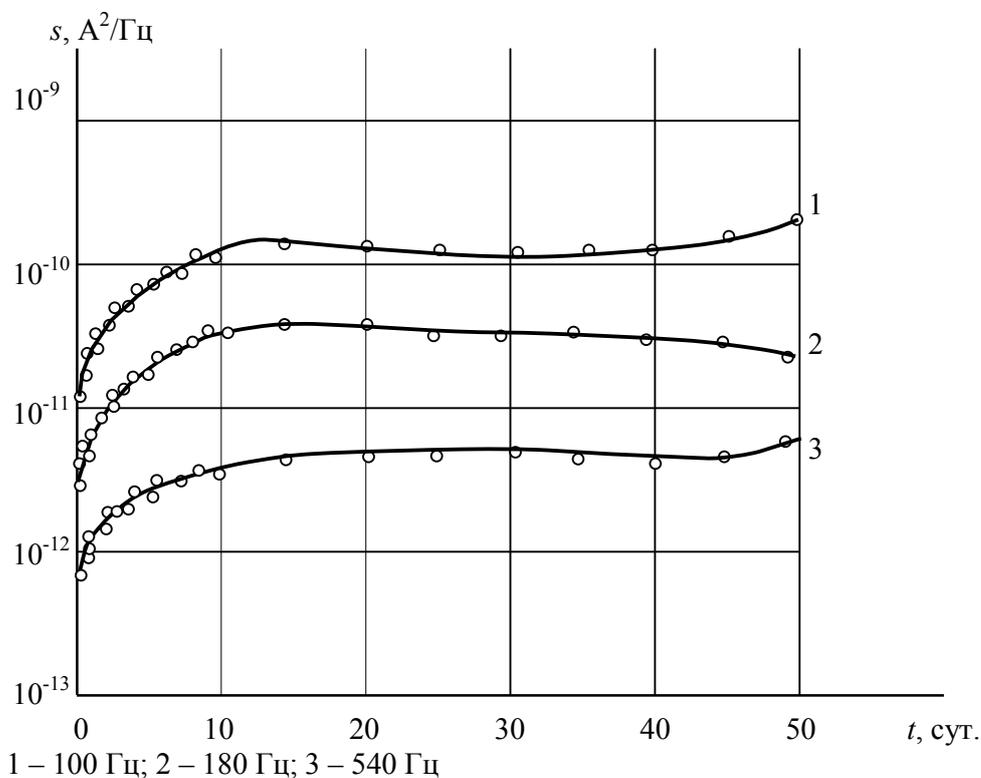


Рисунок 1, б – Зависимости спектральной плотности шума от времени наработки

На рис. 2, а представленны шумовые характеристики СИД образца № 31, сегмент Г, измеренные до наработки (кривая 1), после наработки 2 суток (кривая 2) и после наработки 10 суток (кривая 3).

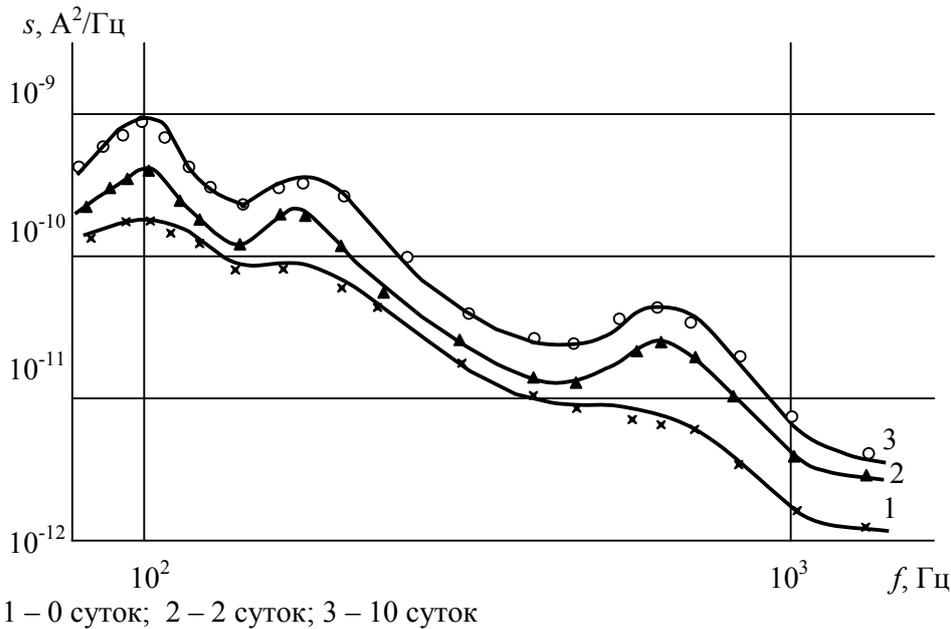


Рисунок 2, а – Шумовые характеристики СИД образца № 31 (сегмент Г)

На рис. 2, б представлены зависимости спектральной плотности шума от времени наработки на частотах 200 Гц (кривая 1), 500 Гц (кривая 2) и 1000 Гц (кривая 3). Как видно из рис. 2, а, б спектр шума исходного СИД отличается от $1/f$ наличием трех нерезких максимумов в области частот 100...1000 Гц, и тем, что по мере наработки в первые 1-2 суток шум резко увеличивается в дальнейшем. После наработки 530 часов этот сегмент СИД испытал катастрофическую деградацию (отказ). Следует отметить, что начальный уровень шума на частоте 100 Гц был на порядок больше, чем у СИД № 15, сегмент А.

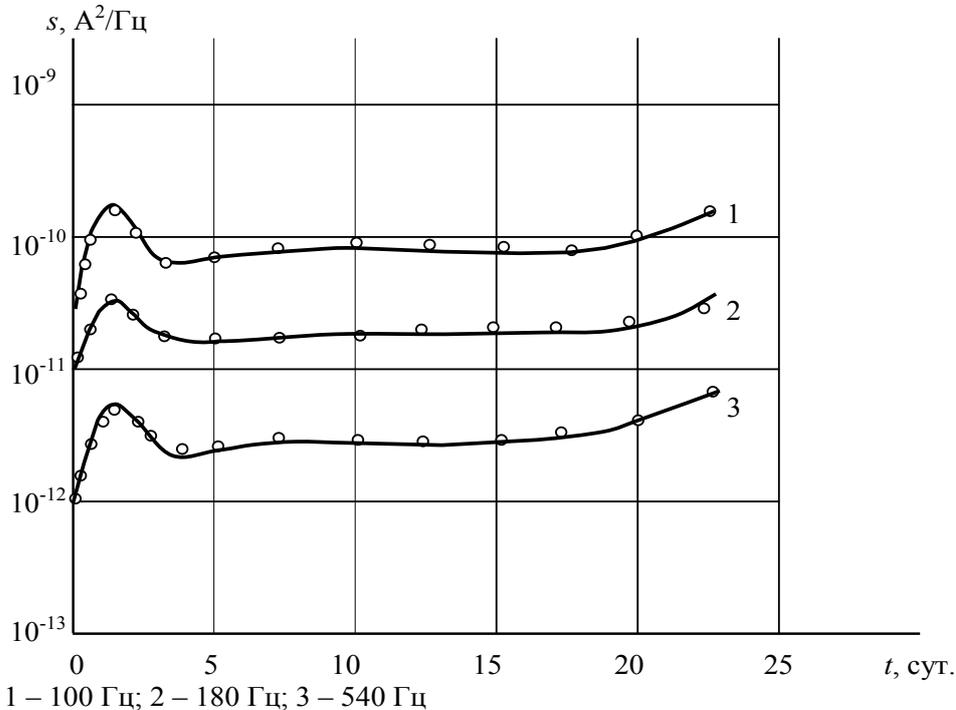


Рисунок 2, б – Зависимости спектральной плотности шума от времени наработки (образец № 31, сегмент Г)

На рис. 3, а представлены шумовые характеристики СИД № 9, сегмент С, измеренные до наработки (кривая 1), после наработки 3 суток (кривая 2), 5 суток (кривая 3) и 8 суток (кривая 4). На рис. 3, б представлены зависимости спектральной плотности шума от времени наработки на частотах 80 Гц (кривая 1), 160 Гц (кривая 2) и 1000 Гц (кривая 3). Как видно из рис. 3, а, б спектр шума исходного СИД отличается повышенным уровнем, а по мере наработки аномальностью в виде преобладания шума в районе частоты 160 Гц и в целом очень высоким уровнем шума во всем диапазоне частот. У этого СИД быстро начинает уменьшаться яркость, смещается спектр свечения в длинноволновую область, т. е. наблюдается сильная деградация.

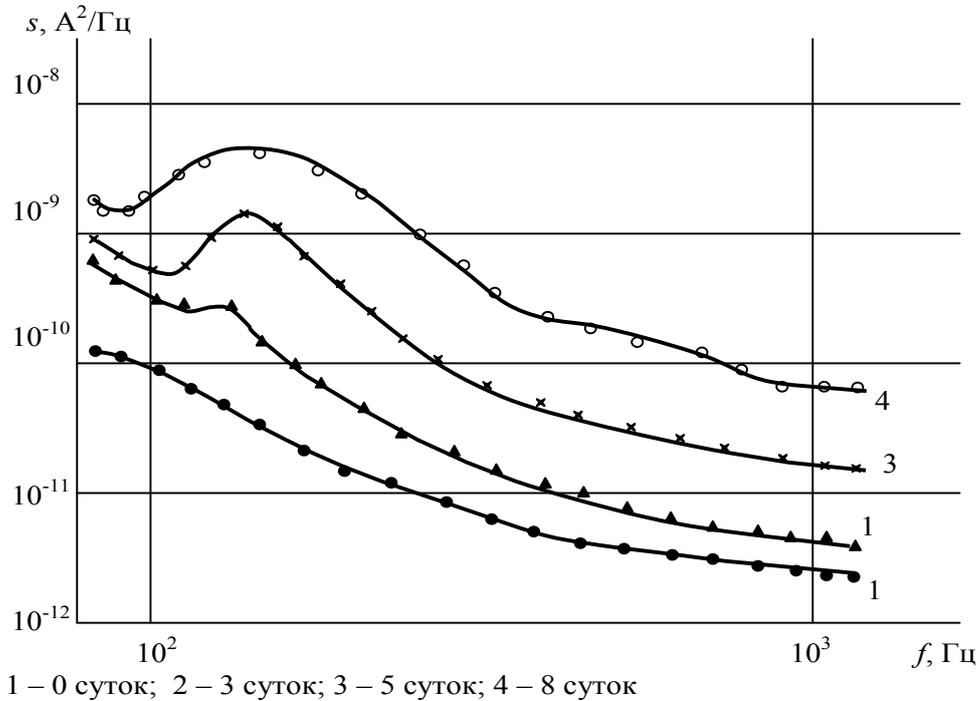


Рисунок 3, а – Шумовые характеристики СИД образца № 9 (сегмент С)

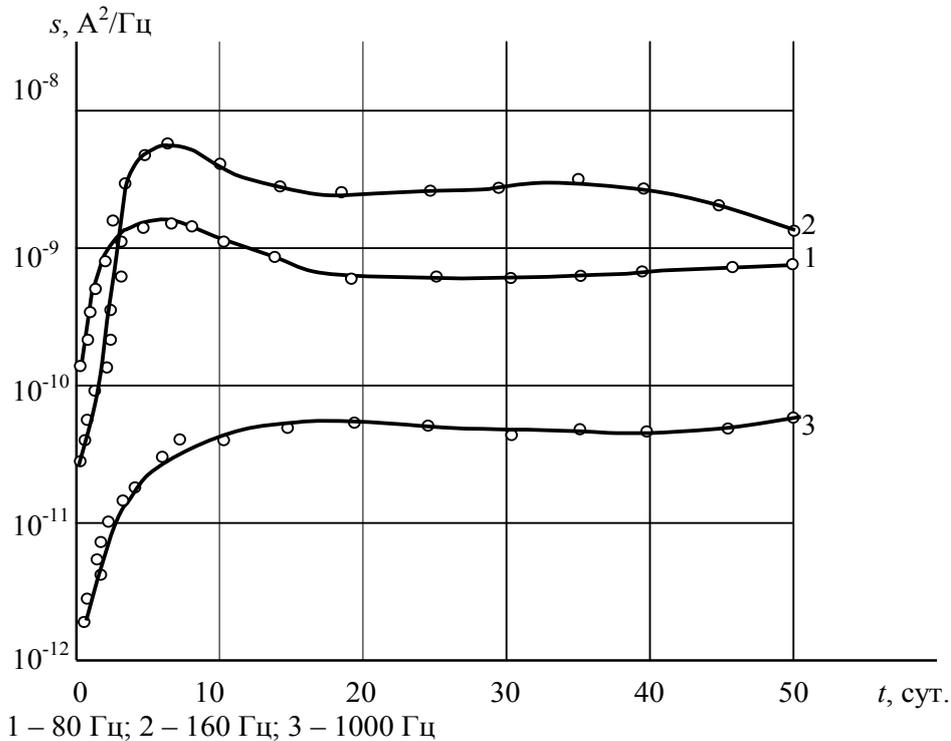


Рисунок 3, б – Зависимости спектральной плотности шума от времени наработки (образец № 9, сегмент С)

В заключение следует сказать, что измерение шумовых характеристик СИД в области низких частот при выявлении приборов с повышенным исходным уровнем шумов позволяет отбраковывать их как потенциально ненадежные. Выявление же приборов с немонотонным исходным спектром $1/f$ шума и с аномальным ходом роста шумов в первые же сутки при максимально допустимом токе позволяет отбраковывать экземпляры, склонные к катастрофической деградации (отказу) в течение нескольких десятков суток эксплуатации.

Рассмотренные меры позволяют существенно улучшить показатели надежности исследуемой партии СИД либо сразу, либо за 2-3 суток испытаний на стенде.

Литература

1. *Егоров Л.П.* Форсированные испытания для оценки надежности светоизлучающих приборов / Л.П. Егоров, С.С. Никифоров, В.А. Воротинский // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы. – 1989. – № 7. – С.113-116.
2. *Викулин И.М.* Закономерности деградации светоизлучающих диодов / И.М. Викулин, В.И. Ирха, Б.В. Коробицын, В.Э. Горбачев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 2 – С. 55-56.
3. *Полищук А.А.* Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов / А.А. Полищук, А.В. Туркин // Компоненты и технологии. – 2008. – № 2. – С.25-28.
4. *Чернышов А.А.* Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: [монография] / А.А.Чернышов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
5. *Аверкиев Н.Н.* Особенности рекомбинационных процессов в светодиодах на основе InGaN/GaN при больших плотностях тока / Н.Н. Аверкиев, М.Е. Левинштейн, П. В. Петров // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. – Вып. 19 – С.97-102.
6. *Дубицкий Л.Г.* Предвестники отказов в изделиях электронной техники: [монография] / Дубицкий Л.Г. – М: Радио и связь, 1989. – 96 с.