

работающей в режиме генератора (лазера), что недопустимо с точки зрения применения ее в качестве усилителя яркости. Также в ходе экспериментальных и теоретических исследований было показано, что повышение частот следования импульсов излучения возможно при реализации накачки в режиме пониженного энергозатрата в разряд [X].

Данная работа посвящена разработке высокочастотного источника накачки усилителя яркости на парах бромида меди, обеспечивающего режим пониженного энергозатрата в разряд. Понижение вводимой мощности в источнике достигается за счет уменьшения длительности импульса накачки. Так, по полувысоте длительность выходного импульса не превышает 60 нс, при частоте следования импульсов до 1.1 МГц. Источник накачки основан на базе модуляторной лампы ГМИ-27Б включенной по схеме с общей сеткой, что позволяет снизить паразитные эффекты при переключении. Система управления построена с использованием многоканального микроконтроллера STM32F407 и обеспечивает плавную регулировку частоты и длительности выходных импульсов.

С использованием разработанного источника накачки были выполнены тестовые эксперименты работы активной среды на парах бромида меди. При этом активная среда работала в режиме генератора (при наличии резонатора). Экспериментальные диаграммы на различных частотах представлены на рис. 1.

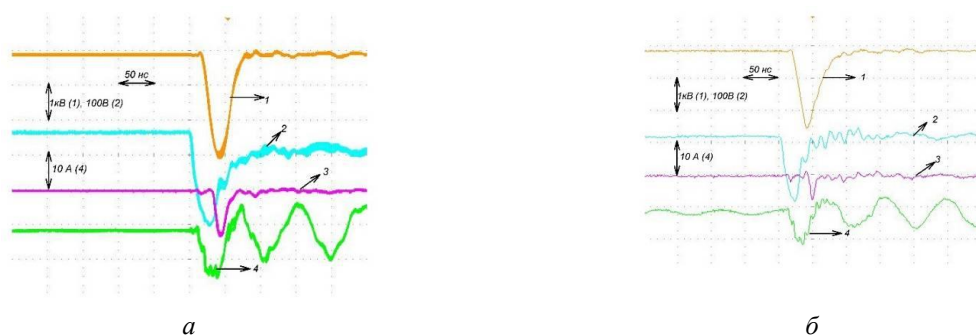


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на аноде модуляторной лампы (1), напряжения на транзисторе (2) импульса излучения усилителя яркости (3) и тока через ГРТ (4) при частотах следования импульсов накачки: а – 200 кГц; б – 420 кГц.

Экспериментальные осциллограммы показывают, что использование разработанного источника позволяет обеспечить работу усилителя яркости с высокой частотой следования импульсов излучения в режиме пониженного энергозатрата в разряд. В частности, длительность импульса накачки (по полувысоте) не превышает 50 нс, при сравнительно малой амплитуде тока через ГРТ – не более 15 А. В ходе проведения экспериментов было получено излучение активной среды на парах бромида меди при работе в режиме сверхсветимости на частоте 200 кГц.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список публикаций:

- [1] Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyarov D.V. // *Review of Scientific Instruments*. 2014. Vol. 85. Issue 3. Article number 033111. p. 1-5.
- [2] Nekhoroshev V.O., Fedorov V.F., Evtushenko G.S., Torgaev S.N. Copper bromide vapour laser with a pulse repetition rate up to 700 kHz // *Quantum Electronics*. - 2012 - Vol. 42 - №. 10 - p. 877-879.
- [3] Boichenko A.M., Evtushenko G.S., Nekhoroshev V.O., Shiyarov D.V., Torgaev S.N. CuBr-Ne-HBr laser with a high repetition frequency of the lasing pulses at a reduced energy deposition in the discharge // *Physics of Wave Phenomena*. - 2015 - Vol. 23. - Issue 1. - p. 1-13.
- [4] 15. Evtushenko G.S., Torgaev S.N., Trigub M.V., Shiyarov D.V., Evtushenko T.G., Kulagin A.E. // *Optics Communications*. 2017. Vol. 383. p. 148-152.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ПРОГНОЗНЫЙ КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Московская Юлия Марковна
 Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"
 ЭНПО "Специализированные электронные системы"
 НПК "Технологический центр"

Задачи обеспечения, оценки и контроля радиационной стойкости (РС) электронной компонентной базы (ЭКБ) требуют моделирования и прогнозирования уровней РС на этапе разработки изделий, а также стабильной воспроизводимости и контроля характеристик РС в производстве с учетом реальных технологических вариаций и разбросов, вносимых различиями параметров исходных структур (пластин), технологических материалов и операций, а также погрешностей технологического контроля. Ранее принятый подход, основанный на том, что приемо-сдаточные радиационные испытания малой выборки изделий проводятся при завершении ОКР и их положительные результаты априори распространяются на всю выпускаемую продукцию в течение всего времени ее производства (без какого-либо ограничения сроков актуальности информации) оказывается неприемлемым, так как на практике не обеспечивает гарантий стабильности воспроизведения радиационной стойкости в процессе производства. Действующие стандарты на основе ГОСТ РВ 20 57.415 не ограничиваются радиационными испытаниями при разработке изделий и ставят задачу контроля производственных партий пластин по РС – подгруппа «Е» Общих технических условий (ОТУ) на Микросхемы интегральные. Вместе с тем методики и оборудование для проведения контроля партий пластин не регламентированы и главное, не установлено место такого контроля в общей системе гарантий РС продукции.

Более перспективный и эффективный подход к гарантированию РС основан на характеристике и квалификации процесса изготовления ЭКБ в части обеспечиваемых уровней РС с учетом реальных запасов и разбросов. Для радиационно-ориентированного технологического процесса наличие системы мониторинга и статистического контроля производства с учетом аспектов РС является обязательным. При этом подразумевается, что должны быть выявлены характерные доминирующие радиационные эффекты в изделиях, установлены наиболее критичные для обеспечения РС технологические операции и выбраны соответствующие контрольные точки техпроцесса. Объектами экспериментального, а в большинстве случаев – радиационного контроля в этих точках могут являться различные тестовые структуры (ТС), имитаторы изделий - типовые оценочные схемы (ТОС) и полуфабрикаты изделий. При этом отметим, что в большинстве случаев объекты контроля отличны от готовых изделий и для достоверной оценки РС должны быть установлены корреляционные показатели для ТС, ТОС и готовых изделий. Таким образом, контроль РС в производстве имеет прогнозный характер. Конкретные методы и методики контроля РС в процессе производства, а также способы распространения результатов радиационных испытаний перечисленных тестовых объектов на готовую продукцию должны быть регламентированы в нормативных документах.

В данной работе представлены основные положения подхода к организации прогнозного неразрушающего контроля РС ЭКБ в производстве на примере широкого и репрезентативного класса изделий – КМОП микросхем на объемных (монокремниевых и эпитаксиальных) и кремний-на-диэлектрике (КНД) структурах (к последним относятся КНС: кремний-на-сапфире и КНИ: кремний-на-изоляторе). В качестве базовых объектов для отработки и апробации системы выбраны микросхемы НПК «Технологический центр», АО «Ангстрем» и НПЦ НИИИС им.Ю.Е.Седакова.

Если для технологических процессов не удалось выбрать репрезентативный тестовый имитатор изделия, а по сути, не удалось установить корреляцию между параметрами контролируемых тестовых объектов и готовых изделий, то целесообразно применять неразрушающий диагностический контроль каждого образца (кристалла) изделия методом 100% радиационной отбраковки (РО). Характерным признаком такого технологического процесса является значимый разброс характеристик стойкости кристаллов на одной пластине и на разных пластинах в составе общей производственной партии.

РО по импульсным (мощности дозы) радиационным эффектам предполагает испытательное лазерное воздействие на кристалл микросхемы в рабочем режиме и последующий контроль работоспособности (отсутствия катастрофических отказов, тиристорного эффекта или функциональных сбоев). Корреляция между характеристиками лазерного воздействия и моделируемого реального радиационного фактора устанавливается по результатам сравнительных калибровочных испытаний.

РО по дозовым эффектам предполагает последовательное нормированное испытательное гамма или рентгеновское воздействие на каждый кристалл, определение степени радиационной деградации выбранного критического параметра изделия, прогнозный контроль соответствия уровня РС изделия заданным требованиям и восстановления (так называемого «отжига») электрических характеристик потенциально годных изделий с положительным результатом прогнозного контроля.

При проведении неразрушающего контроля с применением 100% РО кристаллов по дозовым эффектам необходимо выполнение следующих условий [1]:

1. Отсутствие остаточного влияния РО на эксплуатационные характеристики микросхем, в том числе - эффективное восстановление критериальных параметров БИС.
2. Высокая степень корреляции характера радиационного поведения БИС до и после проведения РО, то есть радиационное поведение и показатели стойкости БИС не должны существенно изменяться вследствие РО.

Корреляция между характеристиками рентгеновского воздействия и моделируемого реального радиационного фактора устанавливается по результатам сравнительных калибровочных испытаний.

Принято, что для объемных КМОП микросхем на кремниевых структурах основным способом РО является радиационно-термическая обработка (РТО), в ходе которой облучение кристаллов осуществляется, как правило, групповым методом на гамма-установке, а восстановление параметров микросхем после облучения достигается с помощью термического отжига [2]. Возможность облучения кристаллов в пассивном режиме определяется тем обстоятельством, что в современных КМОП ИС основной механизм дозовой деградации наиболее критичного параметра – тока потребления – в основном связан в эффектами в областях «толстого» окисла, а тонкий подзатворный окисел вносит сравнительно меньший вклад в формирование радиационных отказов. Несмотря на присущие данному подходу ограничения он в течение многих лет успешно применяется в АО «Ангстрем».

Методика неразрушающего контроля РС в процессе производства КМОП КНС БИС основана на рентгеновском облучении каждого кристалла, разбраковки облученных кристаллов по токам потребления и последующего восстановления их параметров с помощью так называемого «радиационно-стимулированного отжига» - дополнительного облучения в режиме с закороченными выводами. Такой подход в настоящее время успешно используется в ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова».

Представленную методику РО не удается столь же эффективно применить для разбраковки микросхем на КНИ-структурах, радиационно-стимулированный отжиг которых не позволяет восстановить характеристики изделий. В ходе поиска и сравнительного исследования специалистами АО «ЭНПО СПЭЛС» возможных механизмов отжига заряда: радиационного, фотоинжекционного, инжекционного и термического было показано, что ни один из указанных методов не обладает достаточной эффективностью восстановления характеристик ИС (на примере 1620PE5Y) после контрольного облучения.

Во многих (если не в большинстве) практических случаях разброс уровней стойкости по пластине и в целом в составе каждой производственной партии является приемлемым и удается подобрать репрезентативный тестовый объект контроля РС - ТОС, положительные результаты которого можно распространить на все изделия производственной партии. В этом случае использовать РО всех кристаллов нет необходимости и достаточно провести контроль партий пластин по РС в объеме подгруппы «Е» ОТУ. Такой подход на практике широко применяется для полузаказных КМОП БИС на БМК [3]. При этом специализированная ТОС размещена на каждой пластине производственной партии и задействует максимум используемых библиотечных элементов.[4,5]. В случае если обеспечивается достаточный запас фактически определенного уровня РС ТОС относительно нормативного уровня с учетом необходимых полноты и информативности контроля, то допустимо распространить результаты радиационных испытаний ТОС на соответствующую рабочую зашивку БИС. Если заданный (требуемый) уровень РС БИС на БМК соответствует без запаса нормативному уровню стойкости, указанному в ТУ, то в общем случае для обеспечения необходимого уровня гарантий следует проводить контрольные радиационные испытания каждой рабочей зашивки БМК. В случае получения стабильных результатов контроля последовательности производственных партий возможно перевести контроль партий пластин на периодическую основу.

В целом, предложенная система прогнозного контроля РС обеспечена методически и технически, прошла апробацию, показала свою эффективность по обеспечению стабильности заданного уровня РС продукции в процессе производства и может быть рекомендована к широкому внедрению.

Список литературы:

- [1] Г. Г. Давыдов, А. В. Согоян, А. Ю. Никифоров, А. В. Киргизова, А. Г. Петров, А. Ю. Седанов, И. Б. Яшанин. Методы и результаты контроля радиационной стойкости микросхемных изделий. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах. // Электроника, 2008, том 37, № 1, с. 67-77
- [2] Согоян А.В., Никифоров А.Ю., Улесов А.Т. Экспериментальная оценка нестабильности показателей стойкости готовых КМОП ИС вследствие их радиационно-термической обработки // Радиационная стойкость электронных систем "Стойкость-1999": тез. докл. СПЭЛС. 1999. С. 43-44.

- [3] Московская Ю.М. Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе. // *Наноиндустрия*. 2017, №1.
- [4] Рациональный состав типовой оценочной схемы для контроля радиационной стойкости партий пластин базовых матричных кристаллов / Московская Ю.М., Сорокоумов Г., Бобровский Д.В., Никифоров А.Ю., Денисов А.Н., Сницар В.Г., Жуков А.А., Уланова А.В. // *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2016. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского*. М.: ИППМ РАН, 2016. Часть IV. С. 153-157.
- [5] Состав и принцип формирования типовой оценочной схемы для оценки радиационной стойкости базовых матричных кристаллов и полупроводниковых БИС на их основе / Московская Ю.М., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Никифоров А.Ю., Уланова А.В., Бобровский Д.В. // *Наноиндустрия*. 2017, №1

УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

Петухов Тимофей Дмитриевич, Геннадий Сергеевич Евтушенко, Станислав Николаевич Торгаев, Евгений Николаевич Тельминов

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»*

Евтушенко Геннадий Сергеевич
smileedition@gmail.com

В связи с развитием лазеров на парах щелочных металлов с диодной накачкой перспективно рассмотреть возможность применения такого типа лазеров в усилителях яркости изображения для неразрушающего контроля изделий.

В данной работе рассматривается механизм получения генерации в ячейке с парами натрия при продольной накачке лазером на красителе, меньшей длиной волны, чем переход из основного состояния в уровень D_2 , что моделирует накачку лазерными диодами. Приводится расчет уширения линии излучения.

1. Схема эксперимента

Упрощенная схема переходов в спектре натрия и схема эксперимента представлены на Рис. 1, 2, соответственно. В работе использована ячейка с парами натрия, с длиной подогреваемой зоны 10.5 см и диаметром 2.6 см. Температура внешней стенки ячейки составляла 235-235 °С, давление буферного газа – гелия при рабочей температуре достигает 500 Торр (исходное давление 300 Торр). Накачка красителя Пиромитен 597 осуществлялась второй гармоникой Nd-YAG-лазера (532 нм).

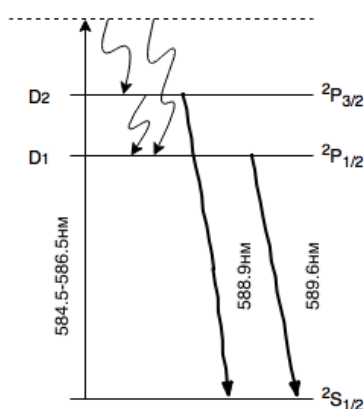


Рис. 1 Схема рабочих переходов натрия

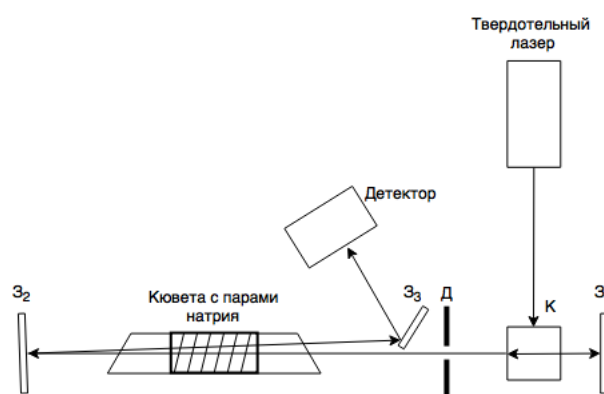


Рис. 2 Схема эксперимента

2. Результаты эксперимента

Излучения на линиях D_2 и D_1 натрия регистрировалось в основном на краю пятна прошедшего излучения накачки. Наилучшее регистрируемое соотношение интенсивностей линий накачки и линий натрия при различных энергиях накачки составило 1:1 при одном проходе излучения.

Регистрируемое двупроходное излучение характеризуется отношением интенсивности линии накачки к линиям натрия как 1:2 (Рис.3) Регистрируется излучение на обеих линиях D_2 и D_1 натрия.