

характеристик антенны.

5. Теоретически и экспериментально исследована зависимость электрических параметров антенны от длины и радиуса проводников первого и второго вибраторов, от длины согласующего отрезка коаксиальной линии, от расстояния между вибраторами и между короткозамыкающими проводниками. Установлено, что антенна обеспечивает:

- симметричную диаграмму направленности в плоскости E (без раздвоения диаграммы и без отклонения максимума диаграммы направленности от плоскости, перпендикулярной к вибраторам антенны);

- круговую диаграмму направленности в плоскости H ;

- низкий КСВ в линии питания за счет согласования входных сопротивлений антенны и фидера в широкой полосе частот;

- удобный монтаж антенны на поясе решетчатой башни;

- другие преимущества, указанные в тексте диссертации.

6. разработана методика параметрического синтеза антенны. Показано, что предложенная антенна выбором ее размеров может быть согласована с фидером с заранее заданным волновым сопротивлением, в том числе с фидером с волновым сопротивлением, равным 75 Ом или 50 Ом.

На основе представленных исследований разработана, изготовлена и использована в качестве излучателей 16-элементной антенной решетки симметричная вибраторная антенна, обеспечивающая передачу нескольких радиовещательных станций в диапазоне 96...108 МГц с антенной опоры Челябинского областного радиотелевизионного передающего центра.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАДИАЦИОННО-ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ИСПЫТАНИЯ, ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. Н. Давыдов

Владимирский государственный университет, г. Владимир

Целью данной работы является решение ряда теоретических и практических задач, составляющих проблему разработки научно-методических основ построения производственных процессов, обеспечивающих повышение эффективности применения в промышленности радиационно-лазерных комплексов для испытания, обработки и контроля материалов электронной техники и электро-радиоизделий на их основе.

Результаты, полученные в процессе проведения исследований, можно сформулировать следующим образом:

1. Разработаны основы системного подхода к методическому и алгоритмическому обеспечению, к созданию аппаратно-программных средств и структурно-организационных моделей построения специализированных радиационно-лазерных процессов испытания, обработки и контроля

Установлена применимость единых подходов и принципов к построению различных по цели производственных и технологических процессов с использованием современных радиационно-лазерных комплексов испытания, обработки и контроля, имеющих в своем составе импульсно-периодические лазерные технологические установки микронного и субмикронного диапазонов излучения, изотопные источники интенсивного ИИ, малогабаритные импульсные ускорители и рентгеновские аппараты, генераторы импульсного рентгеновского и гамма-излучения на основе сильноточных электронных ускорителей. Результативность решения наиболее актуальных теоретических и прикладных задач испытания, обработки и контроля материалов и изделий обеспечена организационно-методическими, схемотехническими и конструкторско-технологическими построениями, обладающими патентной новизной.

Разработанные методы и средства испытания, алгоритмы контроля и процессы обработки материалов и изделий обладают признаками иерархической соподчиненности и в совокупности обеспечивают достижение качественно новых результатов при решении конкретных производственных задач.

2. Разработаны методы и средства прямого контроля показателей РС полупроводниковых цифровых микросхем к действию импульсного ИИ. Впервые предложено использовать замкнутые бистабильные и многустойчивые электрические структуры в качестве измерительных схем при испытании и контроле РС цифровых ИС и БИС. Показано, что подобные измерительные схемы обеспечивают относительное сопоставление показателей РС изделий в замкнутых структурах по методу парных и множественных сравнений, и их применение снижает жесткость требований к однородности рабочего пучка ИИ и стабильности его параметров и характеристик. Установлено, что при реализации разработанных групповых методов прямого контроля РС цифровых ИС и БИС равномерному облучению необходимо подвергать изделия в пределах отдельных замкнутых структур. Точность воспроизведения уровня ИИ не регламентируется. Интенсивность импульсного ИИ должна обеспечивать превышение УБР контролируемых изделий. Установлено, что из-за снижения жесткости требований к точности дозиметрии и воспроизводимости параметров и характеристик импульсного ИИ существенно уменьшается погрешность измерения ВПР полупроводниковых цифровых ИС и БИС (до значений менее 3 %), обусловленная различием электрических режимов работы однотипных контролируемых изделий.

3. На основе метода аппаратного самоконтроля цифровых устройств и разработанных принципов построения бистабильных и многустойчивых замкнутых электрических структур впервые предложены измерительные схемы для проведения групповых контрольных испытаний РС цифровых ИС, содержащих транзисторные ключи, логические элементы, триггеры, полусумматоры, дешифраторы и т.п. функциональные элементы, используемые, в том числе, в качестве тестовых элементов БИС и СБИС.

Подобные схемы контроля предопределяют исключение из состава контрольно-измерительных средств передающих информационно-измерительных кабельных линий связи с зоной облучения и соответствующих высокоскоростных регистраторов быстропротекающих в полупроводниковых элементах электрических переключательных процессов, инициированных излучением. Этим достигается повышение помехоустойчивости контрольно-измерительного оборудования в условиях воздействия нестабильных пучков интенсивного импульсного ИИ.

Показано, что достоверность результатов прямого контроля РС изделий полупроводниковой электроники и высокая точность сопоставления ВПР и УБР цифровых ИС и БИС в бистабильных и многоустойчивых измерительных схемах достигается при облучении изделий в пассивном режиме работы с последующим подключением напряжения питания микросхем в момент окончания импульса ИИ. Определены принципы построения быстродействующих коммутаторов напряжения питания измерительных схем, заключающиеся в функциональном совмещении полупроводниковых датчиков излучения и электронных транзисторных ключей, что устраняет задержку включения коммутаторов.

4. Разработаны алгоритмы непосредственного отбора однотипных изделий с экстремальными значениями показателей РС из контролируемой партии и циклические алгоритмы отбора в группу заданного объема наиболее радиационно-стойких изделий методами прямого контроля.

Средствами математического аппарата К-арной логики доказана работоспособность алгоритмов. Алгоритмы позволили впервые организовать отбраковочные испытания изделий комбинационными методами парных и множественно-множественных сравнений по показателям РС к действию импульсного ИИ. Разработаны математические модели процессов контроля РС изделий и показано, что при организации процесса испытания цифровых ИС и БИС методами прямого контроля с использованием замкнутых негенерирующих структур достигается повышение точности результатов отбраковочных испытаний в 2...18 раз в неоднородных полях импульсного ИИ по сравнению с методами дистанционного измерительного контроля в зависимости от количества одновременно облучаемых изделий в рабочем пучке от 4 до 100 шт.

5. Впервые предложены средства оснащения технологических процессов контроля РС изделий, базирующиеся на использовании замкнутых бистабильных структур в качестве измерительных схем контроля уровня выходного напряжения цифровых ИС и БИС в состоянии радиационного насыщения. Математическим моделированием процесса контроля полупроводниковых ИС показано, что этим достигается снижение в 2,7 раза реального уровня ИИ в рабочем пучке по отношению к методам контроля, основанным на дистанционной регистрации электрических сигналов отклика, передаваемых по кабельным линиям связи.

На основе измерительных схем в виде замкнутых бистабильных структур впервые разработан групповой метод определения показателей РС цифровых ИС и БИС, обеспечивающий высокую точность измерения УБР,

ограниченную по существу лишь погрешностью дозиметрии ИИ. Использование замкнутых бистабильных структур в качестве средств измерения показателей РС цифровых ИС и БИС упрощает состав контрольно-измерительного оборудования и повышает помехоустойчивость измерительных схем за счет исключения передающих кабельных линий связи с зоной облучения.

6. Впервые разработаны алгоритмы процессов контроля и средства измерения размаха значений ВПР выборки одновременно облучаемых цифровых ИС и БИС групповыми методами статического и динамического тестирования с использованием формирователей эталонных импульсов. При этом повышена помехоустойчивость контрольно-измерительных схем во время действия импульсного ИИ за счет сокращения до одного числа передающих кабельных линий связи с зоной облучения и применения частотной модуляции передаваемого по кабелю высокочастотного измерительного сигнала. Математическим моделированием показано, что при использовании устройств, реализующих разработанные методы, достигается снижение инструментальной погрешности измерения размаха значений ВПР в 5,5...51 раз в зависимости от класса точности измерителей временных интервалов (1...10 %) по сравнению, например, с методом кольцевого генератора.

Впервые разработана структура контрольно-измерительных средств для одновременного испытания РС группы изделий дифференциальным методом сравнения с многозначной мерой в нестабильных полях импульсного ИИ. В качестве многозначной меры предложено использовать наиболее радиационно-стойкие цифровых ИС и БИС из испытываемой партии, дополненные формирователями эталонных импульсов. Математическим моделированием показано, что этим достигается повышение точности результатов испытания изделий в 2,5...10,5 раз в зависимости от размаха значений ВПР изделий в партии 10...50 %.

Впервые разработан метод разбраковки партии интегральных ЗУ по РС к действию ИИ, основанный на информационном тестировании запоминающих элементов матрицы ЯП средствами имитационного моделирования и корреляционного анализа данных электрических измерений и радиационных испытаний выборки БИС ЗУ. Для снижения относительной погрешности измерения времени сохранения тестового информационного массива в ЯП БИС ЗУ предложен теплофизический принцип управления длительностью процессов рассасывания электрических зарядов в структуре полупроводников. Показано, что метод обеспечивает неоднократное повышение точности измерения времени сохранения тестового информационного массива в ЯП БИС ЗУ, что предопределяет повышение достоверности результатов входного контроля УБР партии БИС ЗУ.

7. Методами асинхронного логического моделирования показаны закономерности формирования ложных переключательных процессов в ранжированных по показателям РС цифровых цепях ИС РЭУ и МЭУ при интенсивном импульсном радиационном воздействии на полупроводниковые микросхемы. Для повышения устойчивости выходных информационных

сигналов цифровых РЭУ и МЭУ предложено осуществлять селективную сборку цепей в порядке снижения показателей РС комплектующих ИС.

Впервые разработан метод **приемо-сдаточных** испытаний к действию импульсного ИИ цифровых микросборок МЭУ (а также функциональных узлов первого конструктивного уровня РЭУ), содержащих элементы одноступенчатой и двухступенчатой логики, посредством классификации элементной базы по показателям РС и специальной подготовки опытных образцов. Метод основан на селективной сборке опытных образцов асинхронных комбинированных МЭУ из комплектующих цифровых ИС, ранжированных по показателям РС. Для промышленной реализации технологических процессов селективной сборки цифровых РЭУ и МЭУ впервые разработаны алгоритмы и средства электрического и имитационного моделирования действия импульсного ИИ на полупроводниковых ИС и определения их показателей РС, базирующиеся на методах корреляционного анализа и сравнения с мерой. Отбор изделия в группы наиболее и наименее радиационно-стойких ИС осуществляется средствами парных и множественных сравнений. Показано, что по данным радиационных испытаний опытных образцов МЭУ, прошедших селективную сборку входных, выходных и промежуточных каскадов, принимаются достоверные решения о РС проектируемых МЭУ к действию импульсного ИИ.

В дополнение к средствам селективной сборки цифровых РЭУ и МЭУ впервые предложен метод повышения устойчивости цифровых функциональных узлов, БГИС и микросборок в условиях воздействия интенсивного ИИ за счет импульсного электрического перенапряжения цепей питания ИС входных и промежуточных каскадов цифровых устройств, начиная с момента их облучения. Данное структурно-функциональное решение цифровых МЭУ и РЭУ приводит к ускорению процессов рассасывания избыточных носителей зарядов, наведенных ИИ в полупроводниковых материалах ИС, то есть к сокращению времени нахождения в состоянии радиационного насыщения ИС входных и промежуточных каскадов, и обеспечивает устранение на информационных выходах цифровых устройств последовательности **ложных** переключательных процессов неопределенной формы и длительности. Методом асинхронного логического моделирования показано, что численная характеристика генерируемой излучением импульсной последовательности ограничивается формированием на отдельных выходах РЭУ и МЭУ не более одного ложного импульса, который в ряде случаев обусловлен откликом на интенсивное облучение микросхем выходного каскада.

8. Впервые разработан метод приемо-сдаточных испытаний к действию непрерывного ИИ микросборок МЭУ, а также функциональных узлов первого конструктивного уровня РЭУ, основанный на измерительном контроле параметров, определяющих показатели РС комплектующих полупроводниковых приборов, ИС и БИС, и отборе изделий, имеющих противоположно-экстремальные значения регистрируемых электрических или динамических параметров в отдельные группы. Выделенные группы подвергаются радиационной обработке, соответственно, при наибольших и

наименьших допустимых температурах и осуществляют селективную сборку специальных образцов МЭУ. Показано, что по результатам контроля параметров данных опытных образцов принимаются альтернативные решения о принципах комплектования микросборок элементной базой и температурных режимах их эксплуатации.

Впервые разработан метод приемо-сдаточных испытаний к действию непрерывного ИИ транзисторных блоков, основанный на измерительном контроле статического коэффициента передачи тока комплектующих транзисторов в схеме с общим эмиттером, их классификации на группы с экстремальными значениями данного коэффициента и облучении транзисторов непрерывными ИИ в различных электрических режимах работы. Показано, что по результатам измерительного контроля параметров опытных образцов блоков, специально изготовленных из транзисторов различных классификационных групп, принимается решение об оценке размаха значений показателей РС транзисторных блоков, подготовленных к серийному производству.

9. Разработаны методы формирования, математические модели и алгоритмы управления изготовлением радиационно-стойких и помехоустойчивых линий связи РЭУ и МЭУ – оптических волноводов. Показано, что наиболее высокая плотность упаковок элементов интегральной оптики может быть получена при исполнении системы ОВ в виде интегрированной многослойной структуры путем последовательного формирования слоев внутри монокристаллической подложки, основываясь на действии на стекло проникающих ЛИ и гамма-излучений. С учетом физических процессов взаимодействия проникающих ЭМИ с материалами подложек ФИС предложены следующие пути повышения плотности интеграции ОВ:

- формирование ИОУ с послойной интеграцией ОВ в объеме подложки;
- создание симметричных ОВ в приповерхностной области подложки путем нанесения на ее поверхность симметрирующих слоев.

На основе физического явления радиационного тонирования стекол впервые разработан технологический процесс локального наведения и отсвечивания РЦО и изменения ПП стекла, обеспечивающий формирование ИОЭ и ОВ. Разработана математическая модель технологического процесса, основанная на уравнении кинетики процесса фоторазрушения РЦО, позволяющая осуществить автоматизацию процесса обработки путем определения характеристик управляющих воздействий через функциональные параметры ОВ. Наличие волноводных свойств у сформированной структуры доказано построением поперечного распределения электромагнитного поля путем численного интегрирования дифференциального волнового уравнения с учетом реального профиля ПП материала подложки.

Методами статистического анализа экспериментальных данных доказано, что экспоненциальная математическая модель фоторазрушения РЦО адекватно отражает динамику процесса. При этом максимальное изменение ПП стекла $\delta n = 0,018$ способствует созданию в подложке

локальных градиентов ПП и обеспечивает формирование ОВ в объеме подложки при соответствующем выборе алгоритма управления.

Для реализации управления процессами формирования функциональных ИОЭ обработки сигналов предложено использовать модель реального градиентного ОВ в виде волновода со ступенчатым профилем ПП. Разработаны математические модели зависимости функциональных параметров эквивалентного ОВ от управляющего воздействия технологических факторов, позволяющие определить постоянные распространения СИ вдоль осей ОВ методом Маркатили.

Разработан алгоритм управления процессом обработки радиационно-тонированной стеклянной подложки пучком проникающего ЛИ, обеспечивающий формирование нескольких слоев ОВ в единой подложке. Реализация управления процессом обработки в соответствии с данным алгоритмом позволяет повысить степень интеграции ФИС пропорционально числу слоев.

10. Впервые предложено осуществлять управляемое формирование на поверхности подложки ФИС симметрирующих слоев из порошков путем воздействия на границу раздела подложка-порошок проникающего сквозь подложку ЛИ. Показано, что этим достигается необходимая эффективность каналирования СИ в асимметричных приповерхностных ОВ, адекватная симметричным волноводам (что, в конечном итоге, способствует более плотной упаковке ОВ в подложках). Данный метод симметрирования ОВ обеспечивает (при использовании смеси порошков различных по оптическим поглощающим и отражающим свойствам) воспроизведение наряду с характеристиками ПП свойств светопропускания материала, нанесенного на поверхность стеклянного основания. Это допускает возможность реализации в структуре ФИС элементов фильтрации смеси порошков различных по оптическим поглощающим и отражающим свойствам) воспроизведение наряду с характеристиками ПП свойств светопропускания материала, нанесенного на поверхность стеклянного основания. Это допускает возможность реализации в структуре ФИС элементов фильтрации с требуемыми характеристикам слоя. Для определения необходимой по функциональному назначению ОВ формы сечения симметрирующего слоя предложено использовать зависимость линейного размера области экспоненциального затухания поля мод СИ от поперечных постоянных распространения. Показано, что при управлении процессами формирования ОВ необходимо нормировать истинную мощность на выходе технологического лазера путем умножения на коэффициент $k_p = 0,567635$. Данное соотношение получено на основе эквивалентности двумерного и одномерного гауссового пучка в условиях накопления эффектов (отсвечивание РЦО и плавления частиц порошка) в разработанных автдиодложках). Данный метод симметрирования ОВ обеспечивает (при использовании симметрируемых процессах формирования ОВ).

Исследованы пороговые характеристики режимов локального фоторазрушения (внутриобъемного скрайбирования) макроструктуры стекла и впервые разработаны технологические процессы изменения оптических

свойств и формирования ИОЭ в стекле (в том числе, элементов маркировки и клеймения стеклоизделий) в условиях автоматизированной лазерно-импульсной обработки и термического внешнего воздействия.

11. Разработаны модели процессов формирования переходов, оптически соединяющих отдельные волноводы, и описания зависимости его волноводных характеристик от конструктивных параметров ОВ и параметров технологического процесса. Показана незначительность влияния неоднородности толщины ОВ в области межслойного перехода на излучательные потери, что обусловлено сильной выраженностью мод СИ (потери энергии СИ на переходе не превышают 2,2 %).

Разработана методика проектирования межслойного перехода, основанная на определении максимального радиуса изгиба ОВ по заданному уровню потерь. Для этого в первом приближении необходимо пренебречь зависимостью длины изогнутого участка от радиуса изгиба и определить допустимый по функциональному назначению ОВ радиус. Показано, что использование данной методики обеспечивает достаточную точность определения параметров волноводного перехода.

Для компенсации различного рода погрешностей изготовления предложено после сборки ФИС подстраивать параметры ОВ, обеспечивая управляемое внесение в электромагнитную волну СИ фазового сдвига, путем изготовления с помощью проникающего ЛИ элементов подстройки с известными характеристиками.

Сформулированы требования к точности технологического оборудования (механизмам координатного перемещения), необходимой для формирования ОВ с пренебрежимо малыми потерями на рассеяние. Предложен вариант технологической реализации процесса формирования ОВ в тонированной по полочке с помощью двух пучков ЛИ и показано, что при шаге (точности) координатного механизма 0,1 мкм потери на рассеяние не превышают 0,1 дБ/см и ими можно пренебречь по сравнению с потерями на затухание в ОВ.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ МИКРОСБОРОК

О.В.Карпов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

1. При определении уровня надежности по результатам испытаниеприменение комплексных методов прогнозирования показаны способы позволяющие уменьшить объем выборки, сократить время испытаний и уменьшить их стоимость. В последнее время все большее применение находят методы статистического контроля с переменным планом. Такой