

приведенных типов источников. После идентификации типа источника по энергетическим параметрам каждого определенного источника можно судить о степени его развитости.

Список литературы:

- [1] Панин, С. В., А. В. Бяков, В. В. Гренке и др. // *Физическая мезомеханика*. – 2009. – Т. 12. – № 6. – С. 63–72.
- [2] Корчевский, В. В. // *Контроль. Диагностика*. – 2006. – № 5. – С. 42–48.
- [3] Иванова В.С, Терентьев В.Ф. *Природа усталости металлов*. – М.: *Металлургия*, 1975. — 456 с.
- [4] Бобров А.Л. // *Дефектоскопия*. – 2009. – № 5. – С. 18–24.
- [5] Серьезнов, А. Н. и др. // *Контроль. Диагностика*. – 1999. – № 2. – С. 5–8.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ПРОГНОЗНОГО КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

*Московская Юлия Марковна, Артамонов Алексей Сергеевич, Егоров Андрей Николаевич, Давыдов Георгий  
Георгиевич, Бойченко Дмитрий Владимирович, Бобровский Дмитрий Владимирович, Никифоров Александр  
Юрьевич*

*Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"*

*ЭНПО "Специализированные электронные системы"*

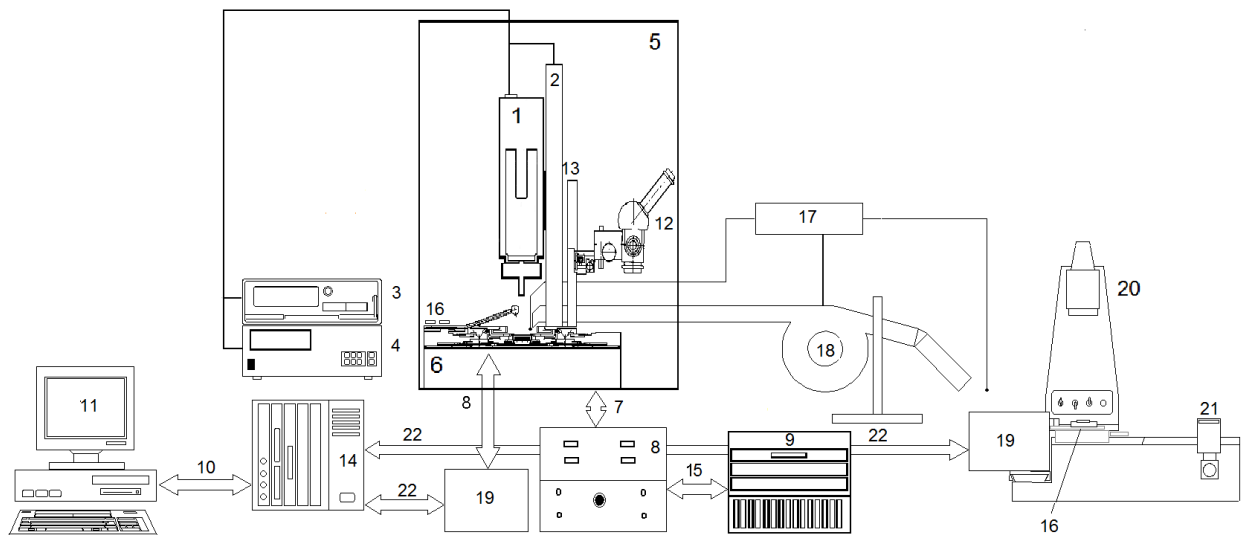
*Научный руководитель: Бойченко Д.В.*

*E-mail [ymmos@spels.ru](mailto:ymmos@spels.ru)*

В процессе производства электронной компонентной базы (ЭКБ) для космических и ядерных комплексов необходимо гарантировать стабильность воспроизведения уровней радиационной стойкости (РС) изделий [1,2]. Особенностью технологического контроля РС ЭКБ является его неразрушающий и прогнозный характер, так как контрольные операции осуществляются на тех этапах, когда готовое изделие еще отсутствует, т.е. объектами контроля являются тестовые структуры, имитаторы и полуфабрикаты изделий, результаты испытаний которых переносятся (распространяются) на готовую продукцию. Более того, положительные результаты радиационного контроля, полученные в лабораторных условиях производства, распространяются на существенно отличные от них по амплитудно-временным и спектрально-энергетическим характеристикам радиационных воздействий условия в процессе эксплуатации ЭКБ.

Большинство радиационных испытаний ЭКБ проводится на радиационных установках – ускорителях в режиме генерации тормозного излучения, изотопных гамма-источниках, ядерных реакторах, ускорителях протонов и тяжелых заряженных частиц. Организация полного комплекса радиационно-испытательного оборудования в условиях производства ЭКБ совершенно нереальна как по соображениям радиационной безопасности и трудностей проведения измерений бескорпусных изделий на пластинах, так и вследствие полной технико-экономической неэффективности таких решений. Поэтому в качестве источников испытательных воздействий целесообразно использовать рентгеновский и лазерный имитаторы.

В работе предложен автоматизированный аппаратно-программный комплекс для прогнозного контроля радиационной стойкости как для задач мониторинга радиационно-ориентированного технологического процесса (типовой объект неразрушающего радиационного контроля – тестовые структуры параметрических мониторов), так и для задачи контроля производственных партий пластин по РС в объеме подгруппы «Е» ОТУ (типовой объект испытаний – или типовые оценочные схемы – имитаторы или полуфабрикаты готовых изделий). Комплекс обеспечивает возможность проведения 100%-ной разбраковки кристаллов по РС в процессе производства [1]. Типовая структура автоматизированного комплекса для прогнозного контроля РС ЭКБ в производстве представлена на *рис. 1*.



*Рис.1. Структура автоматизированного комплекса для контроля радиационной стойкости ЭКБ:*

*1- рентгеновский источник; 2 - устройство перемещения 3 - блок управления устройством перемещения; 4 - блок управления рентгеновским источником; 5 - защитный бокс; 6 - координатная система зонда с контактным фиксированным устройством (16) и столиком для установки пластины; 7 - канал связи между блоком управления зондовым устройством и зондами; 8 - блок управления зондовым устройством; 9 - зондовый автомат без координатной системы; 10 - канал связи между контрольно-измерительным комплексом и компьютером; 11 - компьютер; 12 - оптический микроскоп, смонтированный в защитном боксе, 13 - система перемещения оптического микроскопа; 14 - контрольно-измерительный комплекс; 15 - канал связи между блоками 8 и 9; 16 - контактирующие устройства для подключения выводов микросхем; 17 – блок контроля температуры; 18 – блок задания температуры; 19 – блок согласований и коммутаций; 20 – источник лазерного излучения (может быть выполнен с гибким световодом); 21 – блок контроля параметров лазерного излучения; 22 – канал связи между средствами контроля и блоком согласования и коммутаций.*

В состав контрольно-испытательного комплекса входят рентгеновский и лазерный источники. Источник рентгеновского излучения серии РАП (РАП-50 или РАП-100 с максимальным напряжением на рентгеновской трубке 50 и 100 кВ соответственно), установлен в защитном боксе на устройстве перемещения. Конструкция защитного бокса обеспечивает выполнение санитарных норм при эксплуатации источника рентгеновского излучения и обеспечивает полную защиту обслуживающего персонала (оператора) как от прямого, так и от рассеянного рентгеновского излучения. Специальная блокировка исключает возможность генерации излучения при открытой дверце защитного бокса. Устройство перемещения предназначено для изменения положения моноблока источника рентгеновского излучения по вертикали внутри бокса. Для контроля стабильности излучения используется компаратор рентгеновского излучения на основе полупроводникового детектора.

Неодимовый лазер с модулированной добротностью, генерирующий наносекундные (7...9 нс) импульсы на длине волны 1064 нм или ее второй гармонике 532 нм, оснащен аттенуатором и расширителем лазерного пучка, обеспечивающими необходимые энергетические и пространственные характеристики облучения. Для контроля параметров лазерного импульса комплекс включает набор фотоэлектрических детекторов на основе низкоскоростного и высокоскоростного фотодиодов (энергия, длительность импульса), а также фотодиодной матрицы (распределение лазерного излучения по пятну). Транспортировка лазерного излучения до тестируемого объекта может осуществляться с помощью системы зеркал либо гибкого оптического волновода. Комплекс обеспечивает точную синхронизацию лазерного импульса с контрольно-измерительной аппаратурой, что позволяет производить испытания изделий ЭКБ на РС в различные моменты временной диаграммы. Дозиметрическое обеспечение осуществляется устройствами контроля рентгеновского и лазерного излучений, а также на основе калибровки на моделирующих установках (изотопных гамма-источниках и установках тормозного гамма-излучения) [2,3] .

Наличие в составе комплекса зондового устройства (при необходимости) позволяет проводить контроль не только изделий в корпусном исполнении, но и на кристаллах в составе пластины. Оборудование позволяет проводить радиационное тестирование в диапазоне температур среды -60...+125°C.

Контрольно-измерительная аппаратура реализована на основе модульной системы National Instruments с программным управлением, разработанным в среде LabVIEW. [3,4,5]. Состав модулей выбирается исходя из системы параметров-критериев контролируемых ЭКБ. Типовой набор модулей, используемых при контроле цифровых микросхем, состоит из: одного или нескольких цифровых модулей ввода/вывода с настраиваемыми напряжениями логических уровней (PXI-7952R+NI-6581), обеспечивающих необходимое число линий ввода/вывода, источник питания, совмещенный с измерителем тока (PXI-4114), высокоточный мультиметр-измеритель тока (PXI-4071), осциллограф (PXI-5114). Разнообразие аналоговых схем не позволяет выделить типовой набор модулей.

Автоматизированный комплекс обеспечивает достоверный и информативный контроль РС ЭКБ по эффектам накопленной дозы и мощности дозы ионизирующего излучения, одновременно обеспечивая возможности проведения широкого спектра радиационных исследований как по диагностике отказов, так и по отработке методик испытаний, выбору критических режимов и условий работы.

Список литературы:

[1] *Методы и результаты контроля радиационной стойкости микроэлектронных изделий. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах / Давыдов Г. Г., Согоян А. В., Никифоров А. Ю., Киргизова А. В., Петров А. Г., Седаков А. Ю., Яшанин И. Б. // Электроника, 2008, том 37, № 1, с. 67-77*

[2] *Ю.М. Московская Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе.// Наноиндустрия. 2017, №1.*

[3] *The radiation test based assessment of process quality and reliability for conventional 65-nm CMOS technology, Kessarinskiy L. N., Davydov G.G., Boychenko D.V., Artamonov A. S., Nikiforov A. Y. and Yashanin I.B. // Microelectronics Reliability, vol. 64,1 pp. 130-133, 2016.*

[4] *Automatic test complex for parametric control of power NMOS and PMOS transistors / Aristova N. E., Borisov A. Y., Tararaksin A. I., Kessarinskiy L. N., and Yanenko A. V. /n Proc.2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 Omsk; Russian Federation; May 21 -23, 2015, article number 7146984.*

[5] *Реализация базовых методов радиационных испытаний ЭКБ на основе аппаратно-программного комплекса аппаратуры National Instruments Бобровский Д.В., Давыдов Г.Г., Петров А.Г., Яненко А.В., Ахметов А.О., Борудина А.Б., Калашников О.А., Кессаринский Л.Н., Некрасов П.В., Никифоров А.Ю., Уланова А.В. // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2012. № 5 (97). С. 91-104.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ**

*Галахов Антон Николаевич, Александр Германович Митин, Денис Андреевич Кондрашов, Андрей Владимирович Леер, Валерий Григорьевич Ефимов, Анна Николаевна Охотникова  
АО Федеральный научно-производственный центр «Алтай»  
Ефимов Валерий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор  
E-mail [galakhov-87@mail.ru](mailto:galakhov-87@mail.ru)*

Основной характеристикой процесса горения высокоэнергетических композиционных материалов (ВКМ) является скорость. Для точной оценки значений скорости горения способы измерения не должны оказывать влияния на процесс горения. Ультразвуковой метод наиболее полно отвечает требованиям обеспечения высокой точности, дистанционности, безопасности, дешевизны, автоматизации обработки результатов испытаний и является объектом повышенного внимания в зарубежных исследованиях [1-2]. Комплекс технических средств, реализующий такой метод разработан и апробирован в АО «ФНПЦ «Алтай». Погрешность определения скорости составила порядка 7 %. Дальнейшее развитие ориентировано на совершенствование алгоритмов выделения зашумленного эхо - импульса, отраженного от горячей поверхности материала и доработку измерительного оборудования в части повышения частоты регистрации.

В работе приведены результаты экспериментальной отработки методов и средств определения скорости горения ВКМ с начальной толщиной свода 120 мм. Анализ полученных результатов осуществлялся при помощи реализованной обработки, особенностью которой является использование вейвлет-анализа, адаптированного к задачам ультразвуковой эхо-локации. Применение вейвлет-анализа позволило выявить гармонические компоненты в изменении скорости горения на указанных участках работы и установить масштаб разложения сигнала, при котором его энергия имеет максимальное значение.

Список литературы: