



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Проф. Попова, д.5, Санкт-Петербург, 197376  
Телефон: (812) 346-44-87 Факс: (812) 346-27-58. E-mail: eltech@eltech.ru http:// www.eltech.ru  
ОКПО 02068539 ОГРН 1027806875381 ОКВЭД 80.3, 73.1 ОКТМО 40392000000  
ИНН/КПП 7813045402/781301001

№ \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

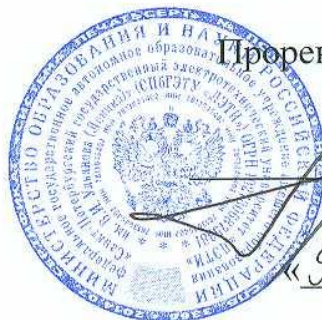
УТВЕРЖДАЮ:

Проректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

по научной работе  
Шестопалов М.Ю.

«9» октября 2015 г.

ГУАП	Документ зарегистрирован
	12.10.2015
	Входящий № 72-1671/15
	Документовед ОДОУ Сорокоумова И.Ю.
	20



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

**ГРИГОРОВА Михаила Сергеевича**

**«Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертационная работа М.С. Григорова посвящена решению актуальной задачи - разработке математического и программно-технического обеспечения формирования, обработки и анализа рентгеновских изображений, обеспечивающего повышение оперативности неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей. **Объектами исследования** являются системы неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей.

**Актуальность темы**

Важной частью процесса разработки и совершенствования вычислительных систем является производство для их структурных компонентов электронных модулей, представляющих собой широкий спектр номенклатуры электрон-

ных устройств, реализованных на основе технологических процессов, характеризующихся высокой степенью интеграции компонентов, составляющих эти устройства. Такой технологический подход позволяет реализовать электронные модули в виде многослойных структур, каждый слой которых, в свою очередь, имеет сложное компонентное решение. Очевидно, что подобный подход к проектированию и производству электронных модулей требует от разработчиков выполнения процесса контроля качества готовых электронных модулей, проводимого на требуемом уровне.

Одним из наиболее востребованных методов, применяемых в ходе этого процесса, является метод неразрушающего рентгеновского контроля, в результате которого формируется ряд рентгеновских изображений электронных модулей, выполненных с различной экспозицией, учитывающей эффект ослабления рентгеновского излучения при прохождении через многослойную неоднородную структуру электронных модулей. При этом эффективность процесса контроля качества электронных моделей существенно повышается с увеличением количества рентгеновских изображений, сформированных путем вариации рентгеновской экспозиции. В силу того, что наиболее распространенным методом исследования полученных рентгеновских изображений является экспертный метод, увеличение их количества приводит к существенным временным затратам как на этапе формирования набора рентгеновских изображений, так и на этапе исследования экспертом этого набора.

Поскольку в настоящее время получаемые рентгеновские изображения хранятся и обрабатываются в цифровом виде (растровые изображения) существует потенциальная возможность применения методов машинной графики и теории распознавания образов для реализации ряда этапов процесса контроля качества электронных модулей. При этом появляется возможность автоматизации не только процесса предварительной обработки полученного набора рентгеновских изображений для облегчения эксперту процедуры принятия решения, но и процесса формирования этого набора по критерию оптимальности затрачиваемых на данную процедуру времени и ресурсов. Работы в этой предметной области являются одним из актуальных направлений научно-технических ис-

следований, связанных с производством электронных модулей. Особую актуальность они приобретают в условиях реализации концепции импортозамещения, взятой на вооружение, в том числе, и производителями отечественной микроэлектроники.

Существующие программно-аппаратные комплексы, автоматизирующие различные этапы контроля качества электронных модулей и основанные на технологии мультэнергетической рентгенографии, в большинстве своем являются решениями импортного производства и, зачастую, имеют достаточно высокую стоимость, как на этапе их приобретения, так и на этапе технической поддержки. При этом в ряде современных исследований разработаны методологические подходы к оптимизации процедур формирования, обработки и последующего анализа рентгеновского излучения. Однако в большинстве своем такие исследования имеют узконаправленную проблематику и не учитывают всего многообразия особенностей процедуры неразрушающего рентгеновского контроля, основанной на технологии мультэнергетической рентгенографии в ходе реализации процесса контроля качества электронных модулей.

В связи с этим, решение представленной в диссертационной работе задачи является актуальным, как с точки зрения теоретического вклада в развитие методологического аппарата формирования, обработки и анализа цифровых рентгеновских изображений, так и с точки зрения оптимизации контроля качества электронных модулей, имеющих сложную неоднородную структуру.

#### **Основные научные результаты, полученные автором и их новизна**

Основными результатами, полученными в работе, являются:

1. Структурно-функциональная модель системы неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей.
2. Метод формирования рентгеновского мультиизображения электронного модуля на основе набора его рентгеновских изображений.
3. Методика мультэнергетической рентгенографии, обеспечивающая формирование набора рентгеновских изображений электронного модуля.
4. Программно-технический комплекс неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей.

### **Научная новизна**

Полученные автором диссертационной работы результаты обладают научной новизной:

1. Предложена структурно-функциональная модель системы реализации процесса неразрушающего рентгеновского контроля, основанного на технологии мультэнергетической рентгенографии, особенностью которой является наличие процедур формирования из набора отдельных (рентгеновских изображений) единого изображения (мультиизображения), предоставляемого эксперту для проведения дальнейшего анализа.

2. Предложен метод формирования рентгеновского мультиизображения, основанный на методологическом базисе теории распознавания образов и машинной графики, отличающийся предварительным получением показателя качества формируемого мультиизображения на основе методов экспертного опроса.

3. Предложена методика мультэнергетической рентгенографии, позволяющая получить оптимальный с точки зрения дальнейшего формирования рентгеновского мультиизображения набор рентгеновских изображений, отличающаяся от известных технологических решений учетом зависимости интенсивности рентгеновского излучения от параметров его источника.

4. Разработан комплекс программно-технических средств, автоматизирующий ряд этапов процесса неразрушающего рентгеновского контроля, основанного на технологии мультэнергетической рентгенографии.

Практическая значимость разработанного комплекса заключается в модификации процесса неразрушающего рентгеновского контроля за счет процедур, базирующихся на разработанных методе и методике.

### **Достоверность полученных результатов и выводов**

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается корректным применением избранных методов исследования, согласованностью теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки разработанного математического и программно-технического обеспечения неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей, а также апробацией

основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на международных научных конференциях.

### **Практическая значимость полученных автором результатов**

Практическая значимость работы заключается:

- в разработке программы формирования рентгеновского мультиизображения электронных модулей, реализующей соответствующий метод и позволяющей повысить оперативность неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей;

- в реализации экспериментального образца детектора рентгеновского излучения, обеспечивающего повышение чувствительности и расширение динамического диапазона преобразования излучения в частоту импульсов;

- в установлении экспериментальной зависимости показателя качества рентгеновского изображения от режима работы источника рентгеновского излучения, позволяющей сформировать команды источнику, при обеспечении минимального числа рентгеновских изображений;

- в разработке программных средств, позволяющих провести анализ качества «разварки» соединительного проводника кристалл-рамка по расположению контактных площадок кристалла интегральной микросхемы.

Предложения и рекомендации диссертации могут быть использованы при совершенствовании процесса проведения неразрушающего рентгеновского контроля в ходе производства электронных модулей.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертация Григорова М.С. является законченной научно-квалификационной работой и содержит обоснованные решения, представляющие ценность для развития методологии и практики неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей, обладающие научной новизной и практической значимостью.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация и автореферат по своей структуре и оформлению соответствуют требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 и других нормативных документов, регламентирующих оформление научно-технических публикаций.

Изложение материала в диссертации выполнено в логической последовательности, деление текста на разделы представляется обоснованным.

Материалы диссертации в полной мере представлены в работах, опубликованных соискателем. По теме диссертации имеется 17 публикаций, в том числе 4 публикации в рецензируемых научных журналах и сборниках научных трудов, включённых Высшей аттестационной комиссией России в список изданий, рекомендуемых для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук, 2 патента на изобретение, 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Основное содержание и результаты диссертационной работы Григорова Михаила Сергеевича соответствует профилю научной специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

#### **Замечания по диссертации**

1. Предложенная соискателем классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля (п. 1.2) не в полной мере учитывает требования к правилам классификации и типологии.

2. Основной задачей разработки структурно-функциональной модели системы неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей, описываемой во второй главе (п. 2.2), соискателем заявлено определение возможности автоматизации таких систем, что входит в противоречие с результатами концептуального моделирования (п. 2.1) систем неразрушающего рентгеновского контроля, которые имеют в своем составе средства автоматизации.

3. Для рассматриваемых в третьей главе метода формирования рентгеновского мультиизображения электронного модуля (п. 3.1) и методики мультиэнергетической рентгенографии (п. 3.3) методы-прототипы, относительно которых выполнялась несущая новизну модификация, представлены в неявном виде, что затрудняет определение вклада соискателя в их разработку.

4. Неполно представлено оценивание свойств алгоритмов выбора текущего режима работы системы неразрушающего рентгеновского контроля, распознавания правильности расположения контактных площадок и сравнения рентгеновских изображений (глава 4).

## Заключение

Диссертационная работа по актуальности решаемых задач, научной новизне и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", поскольку является законченной квалификационной работой, содержащей научно обоснованные решения, имеющие существенное значение для обеспечения неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей. Внедрение предложенных решений может способствовать повышению оперативности неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей в условиях существенного увеличения их количества и прогрессирующей сложности структуры.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертация "Математическое и программно-техническое обеспечение неразрушающего рентгеновского контроля электронных модулей" соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Григоров Михаил Сергеевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Отзыв, составленный на основании знакомства с текстом диссертации и авторефератом, доклада М.С. Григорова, рассмотрен и одобрен на заседании кафедры электронных приборов и устройств СПбГЭТУ 09 октября 2015 г. (протокол № 7).

Заведующий кафедрой электронных приборов и устройств  
Санкт-Петербургского государственного  
электротехнического университета «ЛЭТИ»,  
д.т.н., профессор

Н.Н. ПОТРАХОВ

Ученый секретарь кафедры  
к.т.н., доцент

Е.А. СМОРНОВ