

М.С. ГРИГОРОВ
**КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ
ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Григоров М.С. Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.

Аннотация. Интенсивное развитие цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля открывает возможности по автоматизации этого процесса для разрабатываемых и производимых изделий микроэлектроники с неоднородной структурой. В работе предложена классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля по следующим критериям: способ формирования рентгеновского изображения, тип детектора, способ считывания рентгеновского изображения с детектора. Проведен анализ цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники и определены системы, наиболее восприимчивые к автоматизации.

Ключевые слова: неразрушающий рентгеновский контроль, автоматизация, рентгеновское изображение, классификация.

Grigorov M.S. Classification of digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products.

Abstract. An intensive progress of digital systems of non-destructive x-ray control opens the capabilities of automation of this process for the development and producible microelectronic products with nonhomogeneous structure. The classification of digital systems of non-destructive x-ray control on the following criteria: the way of x-ray image formation, the detector type, the method of x-ray image detector reading is offered in this paper. The digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products are analyzed, and systems most susceptible to automation are defined.

Keywords: non-destructive x-ray control, automation, x-ray image, classification.

1. Введение. Современное состояние неразрушающего рентгеновского контроля (НРК) изделий микроэлектроники (ИМ) характеризуется интенсивным развитием цифровых систем (ЦС), которые предполагают получение радиационного изображения (РИ) объекта контроля (ОК) в виде цифрового сигнала. Массив данных, полученный из этого цифрового сигнала, может быть обработан с использованием различных алгоритмов и затем выведен для представления оператору контроля в виде полутонового изображения на экран графического дисплея [1–7].

Основными причинами, оказавшими влияние на развитие ЦС НРК ИМ, являются [6–10]:

– желание отказаться от процедуры химической обработки, применяемой в пленочной технологии и требующей дополнительных помещений и затрат;

– развитие компонентной базы электронной промышленности, позволяющей разрабатывать современные типы детекторов рентгеновского излучения;

– развитие вычислительных мощностей современных компьютеров, позволяющих реализовывать сложные алгоритмы обработки массивов данных радиационных изображений за минимальное время;

– предоставление широких возможностей по автоматизации процесса НРК ИМ при использовании ЦС и т.д.

Современные ИМ характеризуются сложной неоднородной структурой, содержащей элементы с различной толщиной и проникающей способностью (линейным коэффициентом ослабления), что предопределяет необходимость получения нескольких рентгеновских изображений с разными значениями интенсивности рентгеновского излучения для одного ОК, обеспечивающих требуемое качество изображения по выбранному критерию (например, пространственное разрешение) для каждого его элемента. Увеличение количества формируемых изображений, необходимость их анализа для выбора следующего режима просвечивания приводит к снижению оперативности НРК ИМ в целом [18].

Таким образом, актуальной задачей является анализ и классификация ЦС НРК ИМ с целью определения наиболее перспективного типа с точки зрения возможности автоматизации и, следовательно, повышения оперативности контроля при требуемом качестве РИ.

2. Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники. На основе анализа литературы [1–17] предложена следующая классификация ЦС НРК ИМ (рисунок 1).

В соответствие с ней по способу формирования РИ цифровые системы НРК ИМ разделены на две группы:

– полнокадровые системы, характеризующиеся получением проекции полного участка ОК на детектор за одну экспозицию;

– сканирующие, характеризующиеся построчным получением проекции ОК.

Важной характеристикой, влияющей на классификацию ЦС НРК ИМ по способу формирования РИ, является скорость получения РИ. В соответствии с ней рассматриваемые системы разделены на две основные группы:

– системы с запоминанием изображения. В литературе [6–10] встречается описание данных систем как систем "оцифровки

рентгеновских пленок" и "компьютерной рентгенографии" (зарубежное обозначение: CR – Computed Radiography);

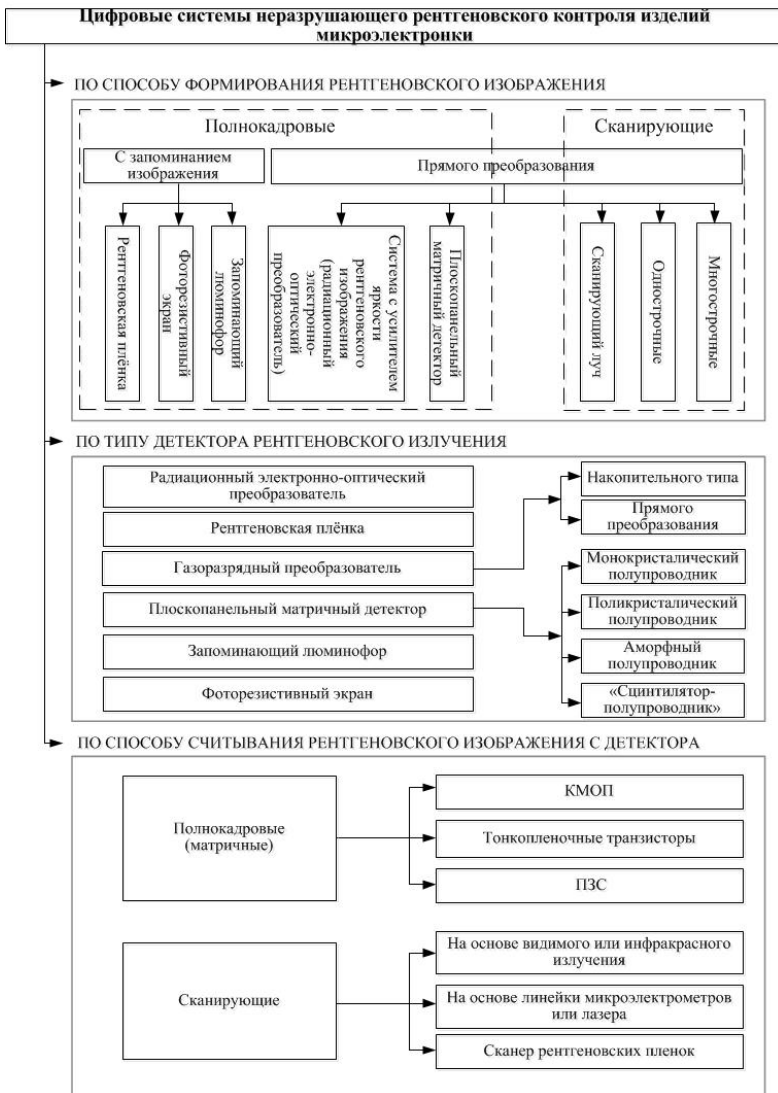


Рис. 1. Классификация ЦС НРК ИМ

– системы прямого преобразования рентгеновского излучения в РИ. В литературе [6–10] встречается описание данных систем как систем "цифровой рентгенографии". Зарубежное обозначение: DR (встречаются различные расшифровки: Digital Radiography – цифровая рентгенография или Direct Radiography – прямая рентгенография).

К полнокадровым ЦС НРК ИМ с запоминанием изображения относятся системы, основанные на использовании рентгеновской плёнки, фоторезистивных экранов, экранов (пластин) с нанесенным на них запоминающим люминофором. Используемые в данных системах детекторы являются, по сути, буфером хранения скрытого РИ, которое необходимо считать (перевести в цифровой сигнал) с использованием дополнительного оборудования.

Технология с использованием рентгеновской плёнки основана на химическом эффекте ионизации [11]. Результат детектирования определяется по разнице почернения различных участков пленки под воздействием рентгеновского излучения в зависимости от плотности и толщины ОК. До недавнего времени эта технология являлась основной при проведении рентгенологических исследований в различных областях применения. Однако существует ряд причин, вызвавших необходимость разработки других способов регистрации РИ [6–10]: низкая квантовая эффективность пленки; ограниченный динамический диапазон, препятствующий одновременной передаче ОК различной плотности, и затрудняющий выбор оптимальной экспозиции; растущие расходы на процесс фотохимической обработки рентгеновской пленки; трудность содержания пленочного архива.

Рентгеновская пленка как детектор имеет существенные отличия от других детекторов с запоминанием изображения в том, что она может быть использована только один раз и имеется возможность считать информацию в "аналоговом виде" непосредственно с пленки путем ее просвечивания источником света. Однако из-за развития систем и методов оцифровки экспонированной пленки системы на основе такого детектора, принято относить к цифровым системам [6–10].

Фоторезистивные экраны – это пластины с нанесенным на них слоем аморфного селена. Принцип детектирования основан на преобразовании рентгеновского излучения в электростатическое изображение (потенциальный рельеф), которое затем считывается специальным сканером с помощью микроэлектрометров или лазера. После считывания информация с фоторезистивного экрана стирается и экран можно использовать повторно [12].

Принцип детектирования с помощью экранов (пластин) с запоминаящим люминофором заключается в том, что в процессе рентгеновской экспозиции происходит "запоминание" люминофором скрытого изображения, которое затем считывается специальным сканером с помощью видимого или инфракрасного излучения. После считывания информация с экрана стирается путем засвечивания или нагрева и его можно использовать повторно [13].

К полнокадровым ЦС НРК ИМ с прямым преобразованием относятся системы, основанные на использовании плоскочелюстных матричных детекторов или усилителя яркости рентгеновского изображения.

Системы на базе усилителя яркости рентгеновского изображения основаны на преобразовании рентгеновского излучения в световое излучение в слое сцинтиллятора, передаче получаемого излучения через оптику переноса, преобразовании светового излучения в электрический сигнал ПЗС-матрицей со сцинтилляционным слоем (рисунок 2).

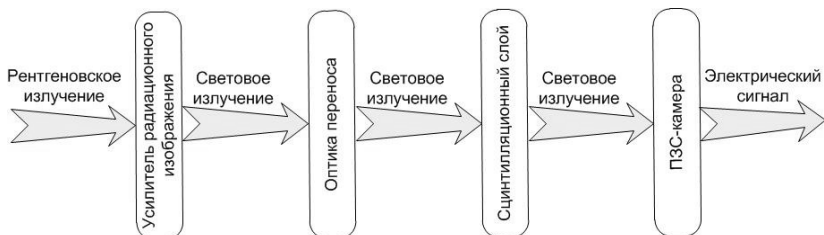


Рис. 2. Схема преобразований информации в системе с УРИ

Данные системы обладают некоторыми недостатками: в системе исходная информация искажается из-за большого количества преобразований (размытие в сцинтилляционном слое, дисторсия изображения в оптике переноса); сцинтилляторы, используемые как среда преобразования рентгеновского излучения, подвержены эффекту "выжигания", что приводит к постоянной деградации чувствительности; временная деградация оптики переноса под воздействием рентгеновского излучения [6–8, 14].

Системы на основе плоскочелюстных матричных детекторов можно разделить на системы, использующие детекторы с сцинтилляционным слоем и без него. Схемы преобразований информации в этих системах существенно отличаются друг от друга по количеству преобразований первичной информации (рисунок 3) [8–14].

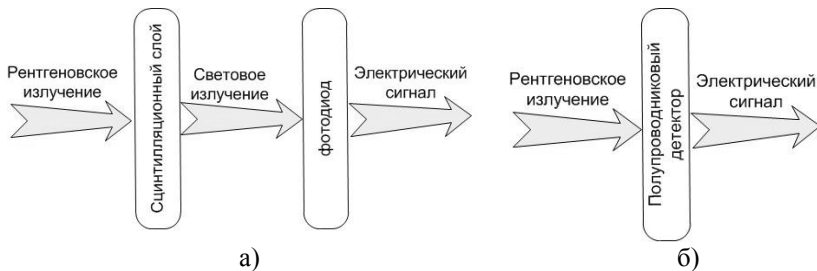


Рис. 3. Схема преобразования информации в детекторах: а) со сцинтилляционным слоем; б) без сцинтилляционного слоя

В детекторах со сцинтилляционным слоем в качестве сцинтиллятора используются соединения цезия или гадолиния, в качестве преобразователя света в электрический заряд – матрица светодиодов на основе аморфного кремния. Детекторы на основе соединения цезия имеют преимущество перед детекторами на основе соединения гадолиния из-за монокристаллической структуры, по которой свет, образующийся в результате фотоэффекта, распространяется к фотодиодной матрице вдоль волокон, что приводит к существенному снижению рассеивания света, и как следствие к улучшению пространственного разрешения детектора [8].

В детекторах без использования сцинтилляционного слоя, то есть с прямым преобразованием рентгеновского излучения в электрический заряд самим полупроводником, используются монокристаллические, поликристаллические и аморфные полупроводники. В наиболее распространенных системах используются детекторы на основе аморфного селена и монокристаллического теллурида кадмия. Последний имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами детекторов, а именно: большую четкость изображения из-за отсутствия сцинтилляционного слоя и связанных с ним рассеивания и "эффекта выжигания"; высокий коэффициент экранирования рентгеновского излучения, что существенно снижает эффект временной деградации считывающей электроники; отсутствие "фантомных изображений" характерных для аморфного селена при высоких энергиях рентгеновского излучения (>180 кэВ) [8, 14].

Электрические сигналы, получаемые на выходе матричного детектора (рисунок 3), считываются электроникой с использованием различных технологий (ПЗС, КМОП, тонкопленочные транзисторы) [8–14].

Сканирующие ЦС НРК ИМ являются системами с прямым преобразованием и разделяются на:

- однострочные системы, характеризующиеся применением одномерных матричных детекторов (линеек);
- многострочные системы, характеризующиеся применением нескольких одномерных матричных детекторов (линеек);
- системы типа "сканирующий луч", характеризующиеся применением узконаправленного пучка рентгеновского излучения.

Сканирующие системы, построенные с применением линеек детекторов, основаны на просвечивании ОК веерным пучком рентгеновского излучения, который формируется при помощи щелевого коллиматора источника излучения, и одной или нескольких линеек детекторов (одномерных матричных детекторов) также коллимированных для снижения влияния рассеянного рентгеновского излучения. Система из источника и линейки детекторов перемещается одновременно вдоль ОК и в результате формируется итоговое полное РИ [6, 7, 10, 15].

Детекторы, применяемые в данных системах, можно разделить на следующие типы: полупроводниковые без сцинтилляционного слоя; полупроводниковые с использованием сцинтилляционного слоя; газоразрядные преобразователи. Принцип работы полупроводниковых детекторов тот же, который применяется в матричных детекторах.

Газоразрядные преобразователи (ГРП) разрабатываются на основе искровых камер, которые применяются для регистрации треков элементарных частиц в ядерной физике. ГРП подразделяются на две группы [16]:

– накопительные ГРП (регистрация отдельных квантов излучения с накоплением отдельных событий и последующим получением изображения);

– ГРП прямого преобразования (одновременная регистрация потока излучения и получение на преобразователе сразу всего изображения).

К накопительным ГРП относятся преобразователи с различными:

– конструкцией: двух- и трехэлектродные, с детектирующим пространством и сеткой, сплошные и проволочные, отпаянные и проточные;

– режимом работы: пропорциональные и непропорциональные;

– способом съема информации: оптический и электрический.

Принцип работы ГРП прямого преобразования состоит в формировании в газе под действием рентгеновского излучения

электронно-ионного изображения, усилении этого изображения посредством газового разряда и преобразовании ультрафиолетового излучения газового разряда в видимое излучение в люминофорном слое [16].

Сегодня наибольшее распространение получают ГРП в виде многопроволочных пропорциональных камер, сигнал с которых пропорционален энергии кванта излучения [16].

Системы типа "сканирующий луч" основаны на использовании "игольчатого" пучка излучения, формируемого щелевым коллиматором и модулятором (вращающийся диск с радиально-направленными щелями на краях) источника излучения, либо бомбардировкой анода рентгеновской трубки бегущим электронным лучом. Детектирование "луча" осуществляется "одноэлементным" комбинированным преобразователем с последующей оцифровкой и обработкой цифрового сигнала [7].

Системы считывания, применяемые в ЦС НРК ИМ, разделяются на две группы:

- матричные, применяемые в системах прямого преобразования рентгеновского излучения в РИ ("цифровая рентгенография");

- сканирующие, применяемые в системах с запоминанием изображения ("оцифровка рентгеновских пленок" и "компьютерная рентгенография").

Матричные системы считывания (в том числе одномерные) основаны на применении технологий с использованием [7–10]:

- тонкопленочных транзисторов (TFT – thin film transistors). Используются как для детекторов со сцинтилляционным слоем (сборка фотодиодов на активной TFT-матрице), так и без него (детекторный слой располагается прямо на матрицу);

- КМОП-элементов (CMOS – complementary metal-oxide semiconductor);

- ПЗС-элементов (CCD – charge-coupled device);

- газоразрядных преобразователей.

Применение конкретного типа технологии считывающей системы определяется особенностями применяемого детектора рентгеновского излучения.

Сканирующие системы считывания, применяемые в системах с запоминанием изображения, решают задачу считывания информации (скрытого изображения) с различного типа носителей. Типом носителя скрытого изображения определяется принцип считывания информации.

Сканирующие системы оцифровки рентгеновской пленки используют общий принцип получения изображения в цифровой форме: просвечивание пленки источником света и регистрация светового излучения, прошедшего через пленку, линейкой фотодатчиков, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов. В таких системах различаются типы источника света: лазер, флуоресцентная лампа, светодиодная лампа [11, 17].

Сканирующие системы считывания с экранов (пластин) с запоминающим люминофором используют пучок видимого или инфракрасного излучения, испускаемый лазером, для освобождения накопленной в люминофоре энергии в виде вспышек света – фотостимулированной люминесценции, которые преобразуются фотоэлектронным умножителем в электрические сигналы, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов [7–10, 13].

Сканирующие системы считывания с фоторезистивных экранов используют линейку микроэлектрометров для считывания потенциального рельефа, сформированного на экране в результате облучения, с последующим аналого-цифровым преобразованием сигналов [7, 12].

3. Заключение. К настоящему времени в области НРК ИМ цифровые системы почти полностью вытеснили традиционные экрано-пленочные радиографические системы. Это обусловлено тем, что современные ЦС НРК ИМ позволяют [1–14, 18]:

- получать изображения внутренней структуры ОК с требуемым разрешением и большим динамическим диапазоном;
- существенно ускорить процесс получения РИ для анализа;
- исключить процесс фотохимической обработки;
- использовать алгоритмы обработки и анализа РИ на предмет обнаружения дефектов и сравнения ОК с аналогами;
- увеличить информативность представления РИ за счет возможностей графических редакторов;
- облегчить процесс хранения архивов изображений и их транспортировки.

Развитие ЦС НРК ИМ сопровождается выявлением недостатков существующих и разработкой новых типов систем.

ЦС НРК ИМ с запоминанием изображения, пришедшие на смену традиционным экранно-пленочным системам имеют ряд очевидных недостатков [18] связанных с:

- большим количеством операций, необходимых для получения РИ, что приводит к увеличению времени проведения НРК. При проведении НРК ИМ с неоднородной структурой это время увеличивается в K раз (где K – количество экспозиций, необходимое

для получения РИ всех разнородных областей с требуемым качеством);

– появление артефактов на РИ при длительном использовании детекторов, обусловленное механическим воздействием при применении специальных сканирующих устройств;

– низкая восприимчивость к автоматизации процесса формирования РИ.

Наиболее активно сейчас развиваются ЦС НРК ИМ прямого преобразования на основе плоскопанельных и строчных матричных детекторов без использования сцинтилляционного слоя, о недостатках применения которого было сказано выше. Данные системы обладают рядом преимуществ, одним из которых является малое время формирования РИ, что позволяет оперативно реагировать на необходимость дополнительного просвечивания ОК, а получение РИ в сразу цифровом виде определяет высокую восприимчивость систем данных типов к автоматизации.

При этом сканирующие системы на основе строчных матричных детекторов наряду с общими преимуществами имеют ряд отличающих достоинств [7–10, 13]:

– отсечка рассеянного излучения, что повышает контрастность итогового РИ;

– большая область контроля за одну экспозицию (проход сканирующей системы);

– более низкая стоимость производства и обслуживания системы.

Выбор в пользу той или иной ЦС НРК ИМ прямого преобразования будет производиться в зависимости от условий проведения НРК и ограничений по стоимости используемой системы.

Литература

1. *Гафт С.* Рентгеновский контроль – мощное средство для диагностики и локализации дефектов современных печатных узлов // Компоненты и технологии. 2004. № 7. С.182–183.
2. *Бернард Д.* Критерии выбора рентгеновской трубки // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 4. С.38–43.
3. *Шмаков М.* Выбор системы рентгеновского контроля. Взгляд технолога // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 4. С.60–68.
4. *Бернард Д., Брайнт К.* Использование последних технологических достижений для рентгеновского контроля электронных изделий // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2. С.16–21.
5. *Мазуров А.И.* Последние достижения в цифровой рентгенотехнике // Медицинская техника. 2010. № 5(263). С.10–14.
6. *Белова И.Б., Китаев В.М.* Цифровые технологии получения рентгеновского изображения: принцип формирования и типы (обзор литературы) // Медицинская визуализация. 2000. № 1. С.33–40.

7. *Лебедев М.Б., Сидуленко О.А., Удод В.А.* Анализ современного состояния и развития систем цифровой рентгенографии // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т.312. № 2. С.47–55.
8. *Майоров А.А.* Цифровые технологии в радиационном контроле // В мире неразрушающего контроля. 2009. № 3(45). С.5–12.
9. *Базаев К.А.* Цифровая радиография, обзор технологий и зарубежных стандартов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2012. № 7. С.11–13.
10. *Клюев В.В., Соснин Ф.Р.* Современные средства и методы цифровой радиационной дефектоскопии // В мире неразрушающего контроля. 2002. № 4(18). С.52–56.
11. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 1. Ф.Р. Соснин. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 2. Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. – 2-е изд., испр. // М.: Машиностроение. 2008. 560 с.
12. *Борисов А.А.* и др. О двух технологиях построения цифровых приемников рентгеновских изображений // Медицинская техника. 2006. №5. С.7–10.
13. *Майоров А.А.* Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин – что это такое? // В мире неразрушающего контроля. 2004. № 3. С.42–43.
14. *Литвинов А.* Высокое качество изображения. Последнее поколение детекторов рентгеновского излучения "SID-A50" // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 6. С.44–47.
15. *Блинов Н.Н. (мл.)* и др. Исследование параметров сканирующих рентгеновских систем // Медицинская техника. 2004. №5. С.8–11.
16. *Алхимов Ю.В., Кулешов В.К.* Преобразователи рентгеновского излучения с газовым усилением: учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2010. 284 с.
17. *Базаев К.А., Улудинцева А.И.* Системы оцифровки рентгеновских пленок при радиографическом контроле промышленных объектов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 1(26). С.54–56.
18. *Григорьев М.С., Басов О.О.* Метод иерархической сегментации рентгеновских изображений изделий микроэлектроники // Современные инновации в науке и технике: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно-практической конференции. В 4-х томах. Том 1. // Курск: Юго-Зап. гос. ун-т. 2014. С.303–305.

References

1. Gaft S. [X-ray control is a powerful tool for the diagnosis and localization of defects modern printed circuit assemblies]. *Komponenti i tehnologii – Components and technologies*. 2004. vol. 7. pp. 182–183. (In Russ.).
2. Bernard D. [Criteria for the selection of x-ray tube]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2010. vol. 4. pp. 38–43. (In Russ.).
3. Shmakov M. [The selection of x-ray inspection system. Look technologist]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2006. vol. 4. pp. 60–68. (In Russ.).
4. Bernard D., Bryant K. [Use of latest technological achievements for x-ray control of electronic products]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2012. vol. 2. pp. 16–21. (In Russ.).
5. Mazurov A.I. [Latest advances in digital rentgenotekhnika]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2010. vol. 5(263). pp. 10–14. (In Russ.).
6. Belova I.B., Kitaev V.M. [Digital x-ray imaging: the principle of formation and types (literature review)]. *Medicinskaya vizualizaciya – Medical visualization*. 2000. vol. 1. pp. 33–40. (In Russ.).

7. Lebedev M.B., Sidorenko O.A., Udod V.A. [Analysis of the current state and development of digital radiography systems]. *Izvestiya Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2008. vol. 2. pp. 47–55. (In Russ.).
8. Mayorov A.A. [Digital technologies in the radiation control]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2009. vol. 3(45). pp. 5–12. (In Russ.).
9. Bagaev K.A. [Digital radiography, an overview of the technologies and international standards]. *Ekspozitsiya. Neft. Gaz – Exposition. Oil. Gas*. 2012. vol. 7. pp. 11–13. (In Russ.).
10. Klyuev V.V., Sosnin F.R. [Modern means and methods of digital radiation radiography]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2002. vol. 4(18). pp. 52–56. (In Russ.).
11. *Nerazrushayushiy kontrol: Spravochnik: v 8 t.* [Non-destructive control: Reference: 8 vol.]. Edited by V.V. Klyuev. T.1: V 2 kn. Kn. 1. F.R. Sosnin. *Vizualniy I izmeriteelnyy kontrol*. Kn. 2. F.R. Sosnin. *Radiacinniy kontrol*. Izd. 2. Ispr. M.: Mashinostroenie. 2008. 560 p. (In Russ.).
12. Borisov A.A. and others. [About the two technologies build a digital receivers x-ray images]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2006. vol. 5. pp. 7–10. (In Russ.).
13. Mayorov A.A. [Computer radiography using fluorescent storage plates - what is it?]. *V mire nerazrushayushogo kontrolya – In the world of non-destructive control*. 2004. vol. 3. pp. 42–43. (In Russ.).
14. Litvinov A. [Image quality. The latest generation of detectors of x-ray radiation "SID-A50"]. *Tehnologii v jelektronnoy promishlennosti – Technology in the electronics industry*. 2011. vol. 6. pp. 44–47. (In Russ.).
15. Blinov N.N. (jr) et. al. [Research of parameters of scanning x-ray systems]. *Medicinskaya tehnika – Biomedical Engineering*. 2004. vol. 5. pp. 8–11. (In Russ.).
16. Alhimov J.V., Kuleshov V.K. *Preobrazovateli rentgenovskogo izlucheniya s gazovim usileniem: uchebnoe posobie* [Converters x-ray radiation with gas strengthening: the textbook]. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo Polytechnicheskogo Universiteta. 2010. 284 p. (In Russ.).
17. Bagaev K.A., Uludinceva A.I. [System digitizing x-ray films during the radiographic inspection of industrial objects]. *Ekspozitsiya. Neft. Gaz – Exposition. Oil. Gas*. 2013. vol. 1(26). pp. 54–56. (In Russ.).
18. Grigorov M.S., Basov O.O. [The method hierarchical segmentation of x-ray images of microelectronic products]. *Sovremennye innovacii v nauke I tehnike: Sbornik nauchnih trudov 4-oi Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii. V 4 tomah. Tom 1* [Modern innovations in science and technology]. Kursk: Yugo-Zap. Gos. Universitet. 2014. pp. 303–305. (In Russ.).

Григоров Михаил Сергеевич — научный сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: обнаружение сигналов побочных электромагнитных излучений технических средств, проектирование систем контроля. Число научных публикаций — 40. Gms.orel@mail.ru; Академия ФСО России, ул. Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; п.т. +79202864033.

Grigorov Mihail Sergeevich — research engineer, Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: detection of signals of compromising emanations of technical equipment, engineering of control systems. The number of publications — 40. Gms.orel@mail.ru; Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitelnaya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79202864033.

РЕФЕРАТ

Григоров М.С. **Классификация цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.**

В условиях устойчивого развития цифровых рентгеновских систем повышаются возможности проведения неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники. При этом для изделий микроэлектроники, которые обладают неоднородной структурой, возникает противоречие между необходимостью оперативно проводить контроль и получать рентгеновское изображение каждого элемента изделия с требуемым качеством.

По этой причине возникают задачи по автоматизации производимых операций неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники. Для определения возможностей по автоматизации, а, следовательно, и выбора системы, наиболее восприимчивой к автоматизации, в работе была проведена классификация существующих цифровых систем неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники.

Показано, что цифровые системы неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники с запоминанием изображения, которые заменили традиционные экранно-пленочные системы имеют недостатки, в том числе и низкую восприимчивость к автоматизации. Наибольшими возможностями по повышению оперативности контроля за счет автоматизации операций получения и обработки рентгеновского изображения изделий микроэлектроники с неоднородной структурой обладают цифровые системы неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники прямого преобразования на основе плоскопанельных и строчных матричных детекторов без использования сцинтилляционного слоя. При этом приоритетом будут обладать системы сканирующего типа на основе строчных матричных детекторов за счет отсечки рассеянного излучения, возможности увеличения области контроля за одну экспозицию, более низкой стоимости производства и обслуживания системы.

SUMMARY

Grigorov M.S. Classification of digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products.

The capabilities of non-destructive x-ray control of microelectronic products are increased in the conditions of sustainable progress of digital x-ray systems. For microelectronic products with heterogeneous structure there is a contradiction between the need of controlling and getting of the x-ray image of each element of product with the required quality.

For this reason, there are tasks of automation of operations of non-destructive x-ray control of microelectronic products. In this paper the existing digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products were classified to identify the capabilities of automation and system selection susceptible to automation.

It is shown that digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products with the image saving, that have replaced traditional ekrano-film systems, have disadvantages including low susceptibility to automation. The digital systems of non-destructive x-ray control of microelectronic products of direct conversion based on a flat panel and linear array detectors without using of the scintillation layer have the greatest capabilities of increasing of the control efficiency at the expense of automation of operations of receiving and processing of x-ray images of microelectronic products with nonhomogeneous structure. While the scanning systems based on the linear array detectors due to the cutoff of the scattered radiation, the possibility of increasing of control area of one exposure, with lower cost of system production and service, will have the priority.