

Системы рентгеновской инспекции электронных узлов отечественного производства

Устинов Артем Олегович

ООО «ПРОДИС.НДТ», 105318 г. Москва, ул. Ибрагимова д.33, корп. 417, офис 411,

uao@prodis.tech

Аннотация - Разработан высокочувствительный рентгеновский детектор на основе КМОП сенсора с размером пикселя 50 мкм и образец системы инспекции для задач неразрушающего контроля электронных узлов. Осуществлены испытания разработанной системы контроля на печатной плате в режиме реального времени с детектированием зоны контакта шарика BGA с металлизацией платы и выводом микросхемы.

Ключевые слова: рентген; детектор; неразрушающий контроль; КМОП; BGA; качество пайки

X-ray inspection systems for electronic parts made in Russia

Ustinov Artem Olegovich

«PRODIS.NDT», 105318, Moscow, ul. Ibragimova, d. 33, k.417, office 411,

uao@prodis.tech

Abstract: High sensitivity x-ray flat panel detector and inspection system prototype for nondestructive testing of electronic parts was developed. Detector is based on CMOS sensor with pixel pitch 50 um. Inspection system was tested in real time mode using printed circuit board with detection of BGA ball contact with board metallization and IC.

Keywords: x-ray; flat panel; nondestructive testing; CMOS; BGA; soldering quality

Рентгеновский неразрушающий контроль (РК) является одним из основных методов диагностики качества паяных соединений на микроэлектронном производстве, в том числе компонентов BGA. В области РК в качестве приемников излучения используются системы визуализации, принадлежащие к различным этапам развития техники: рентгеновская пленка, CR системы, усилители рентгеновского изображения, цифровые детекторы. Преимуществами цифровых приемников рентгеновского изображения являются: высокий динамический диапазон, высокая чувствительность, линейность регистрации, быстрота получения изображения [1].

Схема детектора рентгеновского изображения включает в себя: сцинтиллятор, волоконно-оптическую плиту (ВОП), КМОП сенсор, считывающую и интерфейсную электронику, подсистему питания. Рентгеновское излучение преобразуется в оптическое с помощью слоя сцинтиллятора. Так как в ряде случаев КМОП-сенсоры обладают низкой стойкостью к рентгеновскому излучению, используется разнесение слоя сцинтиллятора и сенсора с помощью ВОП. Это позволяет существенно увеличить срок жизни детектора. Во избежание потемнения ВОП при длительном воздействии рентгена используется добавки церия. Сочетание современного КМОП сенсора с цериевой ВОП позволяет создать долговечный и высокочувствительный рентгеновский детектор [2].

На рис.1 изображены рентгеновские детекторы компании ООО «ПРОДИС.НДТ», разработанные по описанной выше технологии с использованием КМОП сенсора с размером пикселя 50 мкм. Формат активной зоны детекторов составляет 11,4x14,5 и 22,8x29,1 см.

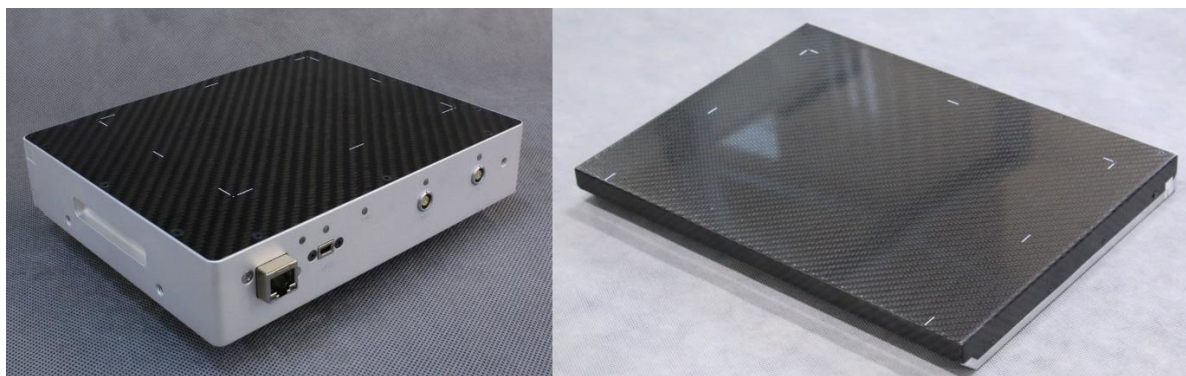


Рис.1. Детекторы Продис.Марк 1215 и 2430

В таблице 1 представлены характеристики современных детекторов на базе КМОП сенсоров. Как видно из таблицы – разработанные детекторы обладают минимальным размером пикселя и большим размером активной зоны. Важной особенностью детекторов является возможность работы в режиме реального времени, что позволяет осуществлять контроль электронных узлов «in-line» при наличии соответствующей линии подачи микроскопических компонентов. Возможность установки нескольких типов сцинтилляторов позволяет варьировать чувствительность детектора в широком диапазоне рентгеновского спектра.

Таблица 1. Характеристики существующих на рынке моделей КМОП детекторов

Производитель	Модель	Пиксель мкм	Активная зона, мм
ПРОДИС.НДТ	ПРОДИС.Марк 1215	50	114x145
	ПРОДИС.Марк 2430	50	228x291
Hamamatsu	C7942	50	120x120
Perkin Elmer (Varex)	Dexela 1207	75	114x65
	Dexela 1512	75	145x114
	Dexela 2923	75	291x230
Teledyne Dalsa	Shad-o-Box 3K HS	50	114x64
	Shad-o-Box 6K HS	50	145x114

Для задачи неразрушающего контроля электронных узлов обычно применяют источники рентгеновского излучения до 100 кВ [3], это обусловлено малым коэффициентом ослабления материала печатной платы. Использование источников с более высоким анодным напряжением позволяют осуществлять рентгеновский контроль корпусированных или экранированных электронных узлов.

Актуальной задачей импортозамещения является обеспечение потребностей микроэлектронной промышленности в качественных рентгенотелевизионных системах с микрофокусным источником [4]. Стандартная система инспекции должна обладать следующими характеристиками: разрешение не менее 25 мкм, размещение объекта контроля под углом не менее 30°, автоматизированное перемещение объекта, геометрическое увеличение не менее 10 крат [5, 6, 7]. В качестве дополнительных инструментов визуализации могут применяться технологии томосинтеза и томографии [8].

В таблице 2 представлены характеристики существующих на рынке систем рентгеновской инспекции настольного формата в сравнении с опытным образцом отечественной системы. Формат настольной системы выбран как наиболее экономичное решение для мелкосерийного производства. Для получения угловой проекции используется схема перемещения детектора без наклона, по горизонтальным осям. Это конструктивное решение позволяет удешевить систему перемещения и использовать существующие алгоритмы трехмерной послойной реконструкции объекта контроля (томосинтез).

Таблица 2. Характеристики систем рентгеновской инспекции электронных узлов настольного формата

Параметр	Unicomp CX3000	Scienscope X1000	MSEngineering MSX600	Creative Electron TruView Prime S	ПРОДИС. Электро
Увеличение	10x	25x	25x	100x	25x
Разрешение, мкм	1,5	5	5	5	2
Размер объекта, см	20x20	32x25	33x44	61x61	32x35
Диапазон энергий, кВ	до 90	до 80	до 100	до 80	до 150
Ток трубки, мкА	до 200	до 180	до 400	до 500	до 200
Фокус трубки, мкм	5	10	100	33	30
Электропитание, В	220	220	220	220	220
Размер, см	75x57x89	110x75x140	74x93x70	75x71x60	60x60x80
Вес, кг	300	450	160	до 200	до 100

Программное обеспечение системы контроля, помимо модуля визуализации и измерений, должно обладать функцией работы с технологической картой (размеченный рентгеновский снимок электронного узла с отметкой мест контроля). В создаваемой системе планируется использование универсального решения для создания технологической карты на основе gerber файлов для производства печатной платы. Данные файлы содержат в себе информацию о внутренней и внешней структуре объекта контроля, что повышает результативность работы.

На рис. 2 представлены примеры изображений печатной платы с компонентами различного типа монтажа, полученные на опытном образце системы. Как видно из рисунка система позволяет оценить дефекты пайки электронных компонентов или нарушение контакта металлизации.

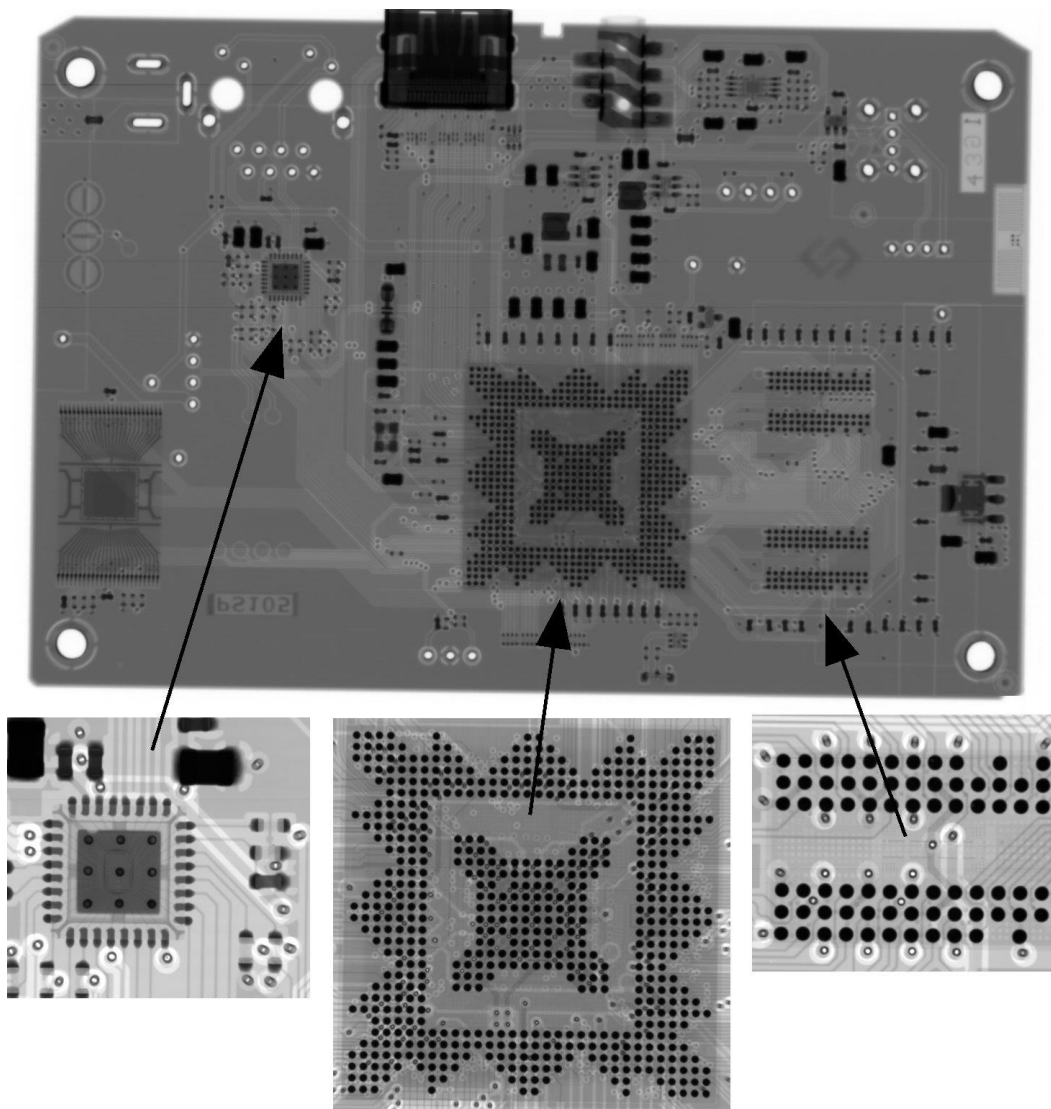


Рис.2. Примеры изображений, полученных на опытном образце системы рентгеновской инспекции печатных плат

Важной задачей рентгеновского контроля электронных узлов является оценка качества контакта BGA микросхем. Шарики припоя могут быть посажены неравномерно и вызвать неработоспособность изделия. Для подтверждения наличия контакта шарика припоя с металлизацией платы и микросхемой необходимо получить рентгеновское изображение зоны контакта под углом. В случае хорошего контакта на изображении будут видны зоны контакта сплющенного шарика (рис. 3, слева). Другой важной задачей является анализ пустот в паяных соединениях (рис. 3, справа).

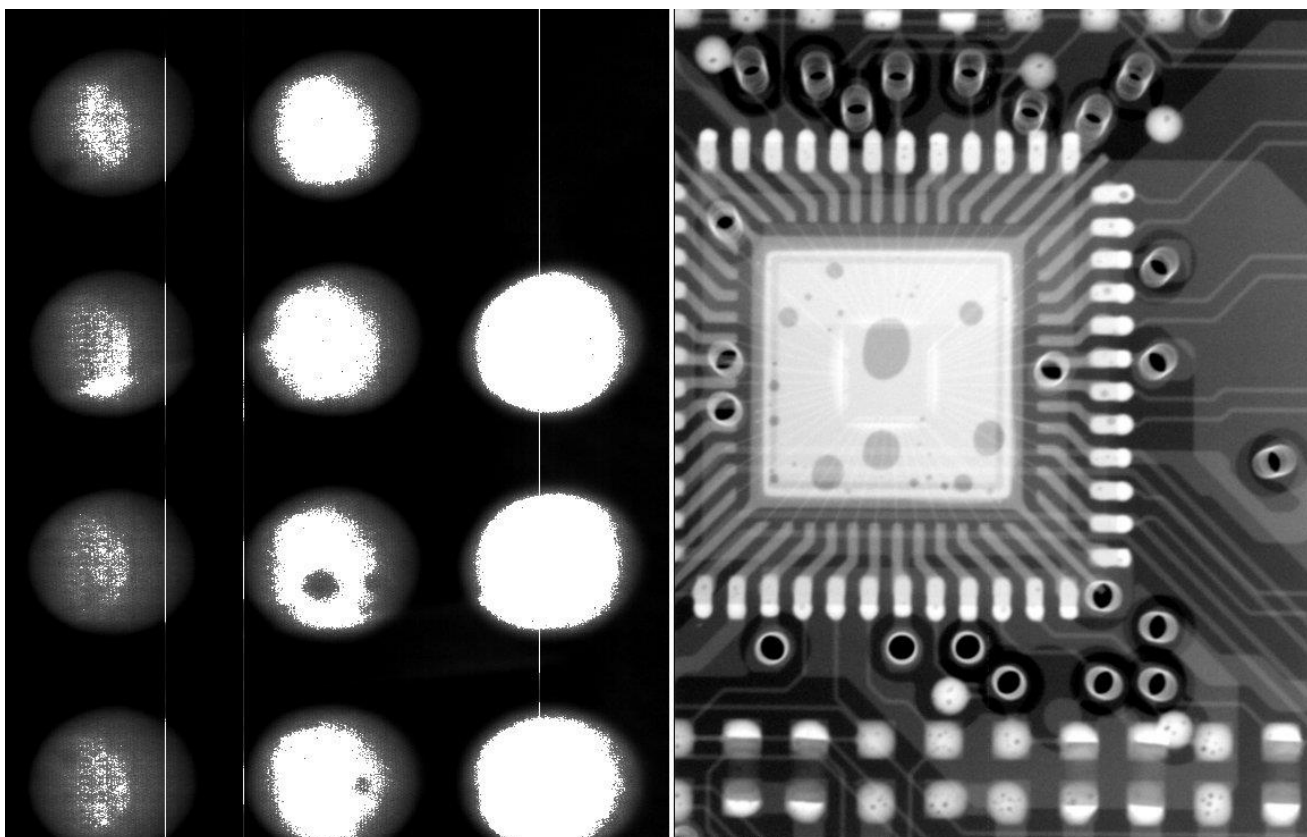


Рис.3. Примеры изображений: слева –массив шариков BGA, пороговая фильтрация; справа – пустоты в паяном соединении

Существенной проблемой является автоматизация анализа рентгеновских изображений. Программное обеспечение должно осуществлять сегментацию изображения, выделяя корректные области для анализа; рассчитывать допустимый процент пустот в паяных соединениях, находить массивы шариков припоя и определять зоны контакты с платой и выводом микросхемы. На сегодняшний день на рынке присутствует большое количество программных продуктов для нахождения контактных площадок и анализа процента пустот, однако отсутствует программное обеспечение для автоматического анализа зон контакта BGA микросхем. Разработка подобной программы является актуальной задачей технологического контроля.

На рис. 4 изображена трехмерная модель опытного образца системы, изготовленная из алюминиевого профиля. Система перемещения реализована на линейных направляющих с ременным приводом и шарико-винтовой передаче. В системе реализовано пять осей перемещения: оси X и Y перемещения объекта контроля, ось Z перемещения объекта контроля, оси A и B перемещения рентгеновского детектора. Источник рентгеновского излучения расположен в основании системы. Поддон для установки объекта контроля изготовлен из алюминиевого листа толщиной 1 мм для дополнительной фильтрации пучка рентгеновского излучения. В дальнейшем предлагается использование поддона, изготовленного из рентгенпрозрачного материала (карбон).

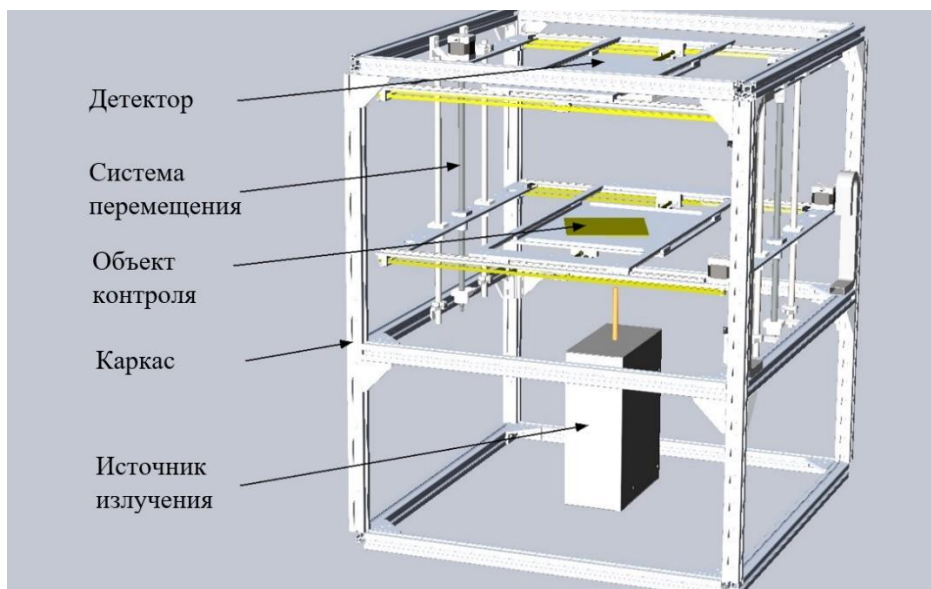


Рис.4. Трехмерная модель опытного образца системы рентгеновской инспекции печатных плат

Разработанный образец системы имеет низкую себестоимость за счет использования распространенных комплектующих для станков с численно-программным управлением, произведенных в России рентгеновских детектора и излучателя. Размер пикселя разработанных цифровых детекторов позволяет достичь высокой чувствительности контроля, соответствующей мировым стандартам. Применение микрофокусного излучателя с размером фокального пятна 30 мкм, позволило создать опытный образец отечественной системы рентгеновской инспекции электронных узлов, не уступающий мировым аналогам в своем классе. Размер фокального пятна определяет максимальное эффективное увеличение системы инспекции, достигаемое без размытия изображения.

Для дальнейшего улучшения качества контроля и коэффициента увеличения системы необходимо использовать микрофокусный источник рентгеновского излучения с меньшим размером фокальной точки, до 10 мкм. Такой источник может быть создан на отечественной элементной базе, в том числе на рентгеновской трубке с прострельным анодом, однако требуется высокоэффективная система охлаждения анода. Более перспективным является применение металл-керамических микрофокусных трубок из-за их стоимости и надежности. Рентгеновские микрофокусные излучатели с жидким металлическим анодом позволяют прикладывать большую мощность при сохранении малого размера фокального пятна, однако имеют высокую стоимость по сравнению с металл-керамическими трубками.

Литература

1. Bernard D., Ainsworth S. Comparing Digital and Analogue X-ray Inspection for BGA, Flip Chip and CSP Analysis // Dage Precision Industries, 2003
2. Henson T. D., Torrington G. K. Space radiation testing of radiation resistant glasses and crystals // SPIE Proceedings, Vol. 4452, 2001, pp. 54-65
3. Bernard D. X-ray tube selection criteria for BGA/CSP X-ray inspection // Proceedings of SMTA International Conference, Chicago, September 2002
4. Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы // Приказ Минпромторга России от 19 августа 2016 года № 2918
5. ГОСТ Р 55693-2013 Платы печатные жесткие. Технические требования
6. ГОСТ Р 55744-2013 Платы печатные. Методы испытаний физических параметров
7. Шамаков. М. Выбор системы рентгеновского контроля. Взгляд технолога // Технологии в электронной промышленности, №4, 2006
8. Петров С. Современный рентгеновский контроль электронных узлов // Печатный монтаж, №4-5, 2009