



Рентгеновская томография

Н. Н. Потрахов¹, А. В. Ободовский¹, В. Б. Бессонов¹, Е. Н. Потрахов², К. К. Гук¹

¹ ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), кафедра электронных приборов и устройств, www.etu.ru, Санкт-Петербург, Россия

² ЗАО «Электронная Техника – Медицина» (ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед»), www.eltech-med.com, Санкт-Петербург, Россия

В статье представлены результаты исследований в области разработки отечественных рентгеновских томографов. Описаны конструкция первого серийного рентгеновского томографа семейства МРКТ. Приведены результаты томографических исследований различных объектов.

Ключевые слова: Рентгеновская томография, рентгеновский томограф, послойное изображение, трехмерное изображение.

Статья получена: 07.05.2019. Принята к публикации: 27.05.2019

X-Ray Tomography

N. N. Potrakhov¹, A. V. Obodovsky¹, V. B. Bessonov¹, E. N. Potrakhov², K. K. Guk¹

¹ Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, www.etu.ru, St. Petersburg, Russia

² Electronic Technique-Medicine (ELTECH-Med, company), www.eltech-med.com, St. Petersburg, Russia

The article presents the results of research in the development of domestic x-ray tomography. The design of the first serial x-ray tomograph of the MRCT family is described. The results of tomographic studies of various objects are presented.

Keywords: X-ray tomography, x-ray tomography, layered image, three-dimensional image.

Received: 07.05.2019. Accepted: 27.05.2019

ВВЕДЕНИЕ

Относительно недавно в сети Интернет под рубрикой «Занимательная рентгенография» один из пользователей весьма увлеченно рассказывал о просвечивании «филаментных лампочек» на системе рентгеновского контроля Nordson DAGE XD7600NT Ruby, установленной в одном из московских технических университетов. Эту установку автор сообщения определил дословно как «3D-рентген с функцией программного томографа».

По ряду причин, и в том числе пока преподаватели ведущих отечественных вузов исполь-

зуют термины типа «филаментные» вместо «светодиодные», российские предприятия не производят установки, подобные этой Nordson DAGE. Однако решать задачи рентгеновского контроля в электронной промышленности, приборостроении, авиакосмической отрасли, медицине, биологии и т. д. в нашей стране необходимо. Поэтому целью данной статьи является информационный по возможности рассказ о некоторых результатах отечественных исследований в области рентгеновской томографии «высокого» разрешения – микрофокусной рентгеновской томографии.

1. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Как известно, благодаря высокой проникающей способности рентгеновское излучение (РИ)

* Примечание редактора: Статья рекомендована программным комитетом конференции, проходившей в рамках специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики. 2019».

способно проходить сквозь любые предметы. При прохождении сквозь объект исследования или, как принято говорить, рентгеновском просвечивании, РИ взаимодействует с веществом объекта. Это взаимодействие заключается, во-первых, в ослаблении так называемого первичного пучка РИ, а, во-вторых, также рассеивания его под самыми разными углами по отношению к первоначальному направлению своего распространения.

Ослабление РИ зависит от плотности и толщины самого объекта исследования, если он однороден, или от плотности и размеров деталей его составляющих. В результате взаимодействия прошедшее сквозь объект РИ «получает» информацию о внутреннем строении этого объекта.

С целью визуализации информации, содержащейся в так называемом скрытом рентгеновском изображении, используются специальные приемники рентгеновского изображения. В настоящее время это современные цифровые устройства на основе твердотельных детекторов РИ.

2. РЕНТГЕНОГРАФИЯ

Рентгенография (от греч. *grapfo* – писать, изображать) – получение изображения с помощью РИ. Для этого объект исследования располагается между источником рентгеновского излучения (ИРИ) и приемником рентгеновского изображения (ПРИ).

Рентгеновское изображение, получаемое в результате рентгенографии, содержит информацию о суммарной плотности вещества по толщине объекта исследования в каждой условной точке (пикселе) на площади рентгеновской тени или проекции объекта в плоскости ПРИ. Оно представляет собой сумму проекций от всех деталей строения объекта, наложенных друг на друга.

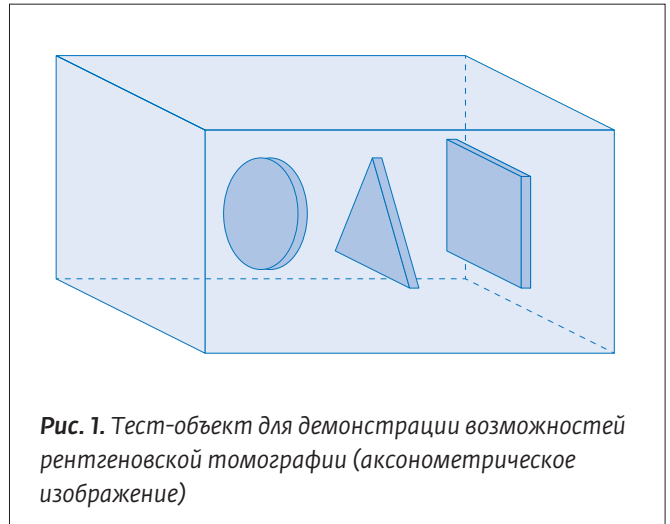


Рис. 1. Тест-объект для демонстрации возможностей рентгеновской томографии (аксонометрическое изображение)

Соответственно рентгеновское изображение объекта исследования в классической рентгенографии характеризуется как плоское (двумерное), теневое и суммационное [2].

3. РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

Рентгеновская томография (от греч. *tomos* – кусок, слой) в отличие от рентгенографии позволяет получить информацию о плотности вещества в каждой условной точке всего объема объекта исследования. Поэтому в результате рентгеновской томографии может быть реконструировано («нарисовано») рентгеновское изображение слоя объекта исследования определенной толщины в любом произвольном его сечении или аксонометрическое изображение всего объекта. В отличие от рентгенографии на изображение слоя не будут наложены тени от деталей строения объекта, не принадлежащих этому слою. Отсюда термин «томография» – получение изображения отдельного слоя объекта исследования.

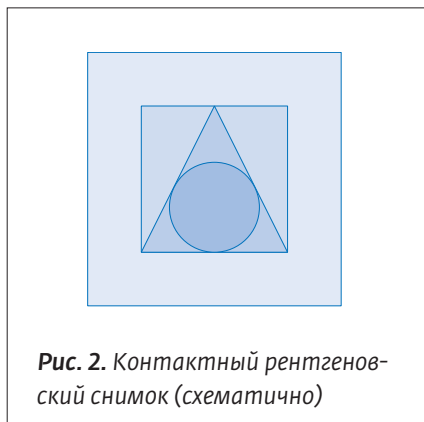


Рис. 2. Контактный рентгеновский снимок (схематично)

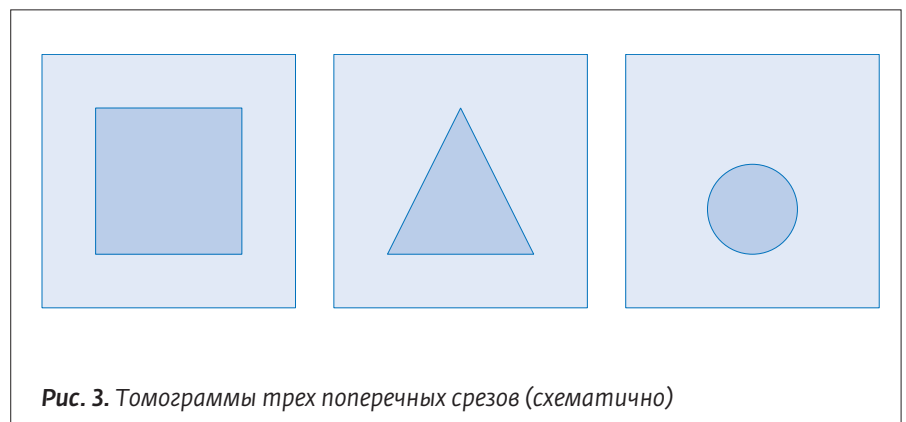


Рис. 3. Томограммы трех поперечных срезов (схематично)



Рис. 4. Контактный рентгеновский снимок грудной клетки

Соответственно рентгеновское изображение объекта исследования в томографии характеризуется как объемное (трехмерное).

На рис. 1 представлен тест-объект, который может быть использован для демонстрации возможностей рентгеновской томографии. Плотность материала, из которого выполнен тест-объект, одинакова по всему объему его прямоугольного тела. Внутри тест-объекта на его продольной оси равномерно расположены три плоские детали – круг, треугольник и ква-

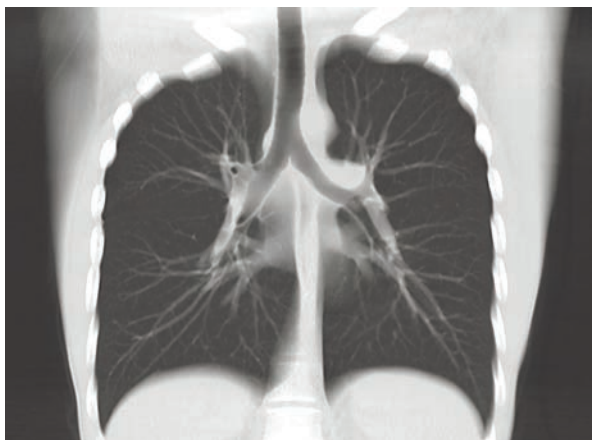


Рис. 5. Томограмма грудной клетки во фронтальной плоскости

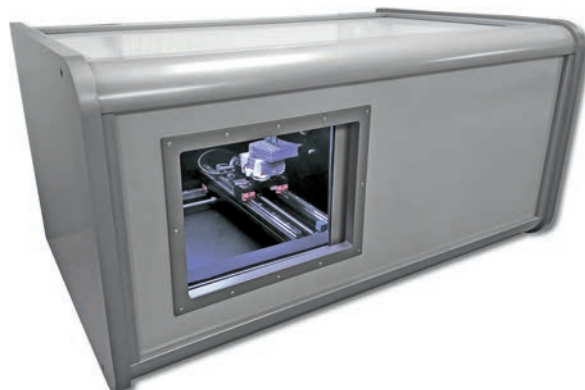


Рис. 6. Микрофокусный рентгеновский компьютерный томограф МРКТ-04

драт, выполненные из материала большей плотности.

Просвечивание тест-объекта вдоль его продольной оси по методике контактной рентгенографии (ось пучка РИ направлена вдоль продольной оси тест-объекта), как уже было отмечено, позволяет получить рентгеновский снимок, на котором тени от всех деталей наложены друг на друга (рис. 2). Очевидно, что в случае «сложного» объекта исследования с большим количеством деталей разнообразной формы, например в медицине, описание снимка, то есть обнаружение и дифференциация деталей его строения на рентгеновском изображении затруднены.

Исследование тест-объекта по одному из способов рентгеновской томографии (ось пучка РИ направлена перпендикулярно продольной оси тест-объекта) позволяет получить отдельные изображения трех условных слоев (срезов) тест-объекта. Изображение каждого слоя содержит тень только от той детали, которая принадлежит данному слою (рис. 3).

В качестве примера на рис. 4 и 5 представлены результаты двух рентгенологических исследований грудной клетки взрослого пациента: контактный рентгеновский снимок (рис. 6) и томограмма во фронтальной плоскости (рис. 7).

Для осуществления рентгеновской томографии рентгеновские снимки объекта исследования выполняются последовательно с разных сторон. Производится так называемая многоакурсная съемка, дающая целый набор отдельных снимков (проекций) объекта. При этом каждая условная точка объекта исследования многократно (по числу проекций) просвечивается.

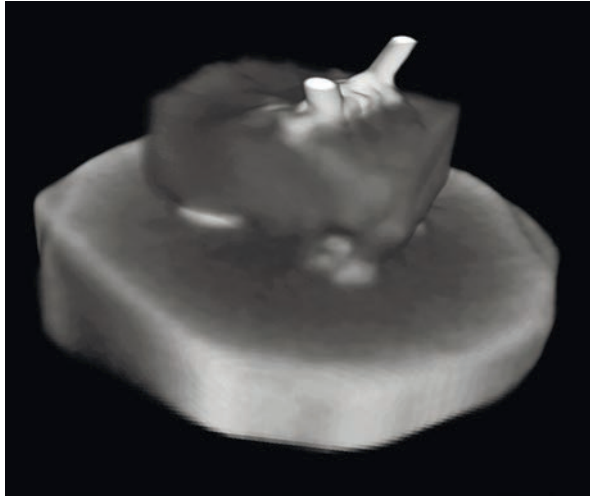


Рис. 7. Трехмерное рентгеновское изображение диода Ганна

4. МИКРОФОКУСНЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ТОМОГРАФ

Несколько лет назад на кафедре ЭПУ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» были начаты исследования в области рентгеновской томографии «высокого» разрешения. Финансирование исследований проводилось в основном из собственных средств. Однако значительная часть результатов была получена в ходе реализации ряда федеральных целевых программ, в том числе при поддержке Фонда содействия инновациям. В настоящее время разработан полный комплект технических средств рентгеновской томографии, включая специали-

зированное программное обеспечение (ПО). Но, самое главное, под руководством ведущих преподавателей кафедры создан коллектив молодых сотрудников из числа выпускников ЛЭТИ, способных ставить и решать самые амбициозные научно-технические задачи, связанные с разработкой и применением технических средств рентгеновской томографии. На рис. 6 представлена одна из последних в семействе микрофокусных рентгеновских томограф МРКТ – портативный томограф МРКТ-04 [2].

В состав томографа входит рентгенозащитная камера для проведения рентгенографических работ. Внутри камеры расположены ИРИ моноблочного типа РАП-150М-0,1-5 с микрофокусной рентгеновской трубкой БС16 (IV), ПРИ на основе твердотельного плоскочастотного двухкоординатного детектора, а также автоматизированное устройство для вращения и перемещения объекта исследования вдоль оси пучка РИ.

Для управления работой основных узлов томографа, сбора и обработки проекционных данных, а также реконструкции изображения объекта исследования используется оригинальное ПО [3, 4].

Максимальное напряжение на рентгеновской трубке томографа – 150 кВ, максимальный ток трубки – 0,1 мА. Размеры входного окна детектора РИ равны 300×300 мм. Размер пикселя детектора РИ – 140 мкм. Размер вокселя получаемого изображения составляет менее 5 мкм.

Габариты рентгенозащитной камеры (длина×ширина×высота) равны 1100×670×550 мм, габариты приборной камеры исследования (камеры

VII 18–20 ноября 2019 года состоялся
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО КОГЕРЕНТНОМУ
ОПТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ И СТРУКТУР МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
ПО КОГЕРЕНТНОМУ ОПТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И СТРУКТУР



ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФ»
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

О СИМПОЗИУМЕ

Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур (КОИПСС) является регулярным научным форумом, в котором участвуют сотрудники ведущих научных учреждений, работающие по современным направлениям фундаментальных исследований в области когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур.

На VII Симпозиуме КОИПСС-2019 рассматривались разделы: полупроводниковые лазеры на гетероструктурах, исследование мощного когерентного излучения инжекционных лазеров, полупроводниковые лазеры с оптической и электронной накачкой, униполярные полупроводниковые лазеры, перспективные направления создания оптических когерентных источников, физика разрушения и деградации излучательных полупроводниковых структур.

Участие ученых Москвы, Владивостока, Нижнего Новгорода, Самары, Санкт-Петербурга, а также иностранных коллег из стран СНГ и дальнего зарубежья в работе Симпозиума позволило представить результаты на широком научном обсуждении и поставить новые научные цели в области изучения фундаментальных основ когерентного оптического излучения полупроводниковых структур.

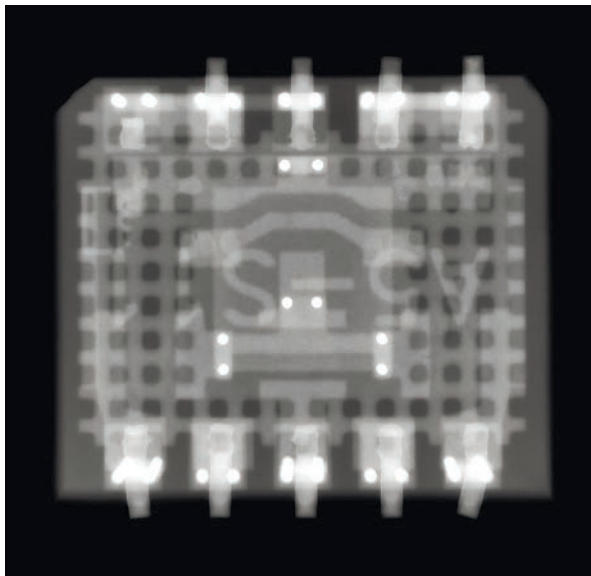


Рис. 8. Трехмерное рентгеновское изображение печатной платы



Рис. 9. Трехмерное рентгеновское изображение крысы

для размещения образцов) позволяют исследовать объекты размером до 210×250×250 мм. Общий вес томографа не превышает 250 кг.

В качестве примера результатов исследований, выполненных на томографе МРКТ-04, на рис. 7 представлено трехмерное рентгеновское изображение одного из изделий отечественной электронной техники – диода Ганна. Диаметр проволочных выводов равен 20 мкм. На рис. 8 приведено изображение фрагмента печатной платы. Монтаж компонентов платы выполнен по BGA-технологии – диаметр BGA «шариков» равен 200 мкм. На рис. 9 представлены результаты трехмерной визуализации крысы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наработанный опыт создания и эксплуатации рентгеновских томографов семейства МРКТ показывает, что в нашей стране сформировался новый класс технических средств рентгеновского контроля и диагностики – портативные рентгеновские томографы. Диагностические возможности томографов этого класса позволяют решать большинство задач, до недавнего времени посильных лишь зарубежным стационарным системам рентгеновского контроля, например Nordson DAGE. Однако использование оригинальных технических решений и ключевых комплектующих отечественного производства позволило принципиально снизить габариты, вес и, самое главное,

стоимость томографа. В результате дорогостоящая стационарная система рентгеновского контроля превратилась в настольный рентгенографический инструмент, подобно известному всем специалистам и радиолюбителям тестеру, который используется для измерения параметров радиоэлектронных схем, электрических сетей и прочих изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы рентгенодиагностической техники* / Под. ред. Н. Н. Блинова: Учебное пособие. – М.: Медицина, 2002.
2. **Подымский А. А., Потрахов Н. Н.** Микрофокусные рентгеновские трубки нового поколения. *Контроль. Диагностика.* 2017; 4: 4–8.
3. Свид. об. офиц. рег. прог. для ЭВМ. № 2015610017 (16.09.16). Программа моделирования процессов реконструкции томографических изображений (TomoSim). А. В. Ободовский, В. Б. Бессонов, Н. Н. Потрахов, А. Ю. Грязнов, К. К. Жамова.
4. Свид. об. офиц. рег. прог. для ЭВМ. № 2015610048 (16.09.16). Программа управления системой перемещения томографической установки (TomoControl). А. В. Ободовский, В. Б. Бессонов, Н. Н. Потрахов, А. Ю. Грязнов, В. В. Клонов, И. А. Ларионов.

REFERENCE

1. *Osnovy rentgenodiagnosticheskoy tekhniki* / Pod. red. N. N. Blinova: Uchebnoye posobie. – M.: Medicina, 2002.
2. **Podymskij A. A., Potrahov N. N.** Mikrofokusnye rentgenovskie trubki novogo pokoleniya. *Kontrol'. Diagnostika.* 2017; 4: 4–8.
3. Svid. ob. ofic. reg. prog. dlya EVM. № 2015610017 (16.09.16). Programma modelirovaniya processov rekonstrukcii tomograficheskikh izobrazhenij (TomoSim). A. V. Obodovskij, V. B. Bessonov, N. N. Potrahov, A. YU. Gryaznov, K. K. Zhamova.
4. Svid. ob. ofic. reg. prog. dlya EVM. № 2015610048 (16.09.16). Programma upravleniya sistemoy peremeshcheniya tomograficheskoy ustanovki (TomoControl). A. V. Obodovskij, V. B. Bessonov, N. N. Potrahov, A. YU. Gryaznov, V. V. Klonov, I. A. Lariонов.



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ИННОВАЦИОННОЙ
ПОЛИТИКИ РБ



РОССИЙСКАЯ
АССОЦИАЦИЯ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»



БVK БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



РОССИЙСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

Специализированные выставки

- **Машиностроение. Металлообработка**
- **Инновационный потенциал Уфы**
- **Сварка**
- **Средства защиты**

26-28 февраля
ВДНХЭКСПО УФА 2020

www.prombvk.ru

+7(347) 246-41-80, 246-41-77

promexpo@bvkeexpo.ru



[prombvk](https://www.facebook.com/prombvk)



[promexroufa](https://www.instagram.com/promexroufa)

[#рпфуфа](https://www.instagram.com/#рпфуфа)

[#промфорумуфа](https://www.instagram.com/#промфорумуфа)

[#бvk](https://www.instagram.com/#бvk)