

КОЛЛИМАТОРЫ И КОДИРУЮЩИЕ МАСКИ В ГАММА-ТОМОГРАФИИ

В. П. Литвин

Старший научный сотрудник
Научно-исследовательская лаборатория
специализированных систем

Научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт «Искра»
ул. Звейнека, 145 с, г. Луганск, Украина, 91033

Контактный тел.: (0642) 71-75-92

E-mail: official@iskra.lugansk.ua

У статті даний короткий аналіз масок з кодованою апертурою для гамма-камер існуючого діагностичного устаткування. Розглянуті їх конструкції і особливості виготовлення у виробничих умовах.

Ключові слова: гамма-камера, тіньограма, колілятор, маска з кодованою апертурою.

В статье дан краткий анализ масок с кодированной апертурой для гамма-камер существующего диагностического оборудования. Рассмотрены их конструкции и особенности изготовления в производственных условиях.

Ключевые слова: гамма-камера, тенеграмма, коллиматор, маска с кодированной апертурой.

The article gives a summery analysis of masks with coded aperture for gamma-cameras of existing diagnostic equipment. It considers their constructions and manufacturing features under production conditions.

Keywords: gamma-camera, shadowgraph, collimator, mask with coded aperture.

1. Введение

Коллиматор определяет геометрическое поле зрения камеры и обуславливает пространственное разрешение и чувствительность всей системы. Современная гамма-камера содержит многоканальный коллиматор и позиционно-чувствительный детектор, содержащий кристалл NaI(Tl) с большой площадью поверхности, световод для оптической связи кристалла с матрицей фотоэлектронных умножителей и блок электронных устройств, обеспечивающих определение координат и амплитуд сигналов. Все указанные компоненты заключены в свинцовый экран достаточной толщины, чтобы свести к минимуму фон от источников радиации, находящихся вне поля зрения камеры [1].

2. Актуальность вопроса

В случае обычного коллиматора (или обычной коллиматорной решетки) изображение представляет собой копию двумерного объекта и в то же время является суперпозицией всех плоскостей (бесконечного множества поперечных срезов) трехмерного объекта, параллельных плоскости детектора или экрана [2]. Простой коллиматор не дает возможности получить трехмерное изображение исследуемого объекта, когда его невозможно наблюдать со всех направлений.

Ввиду изложенного выше на смену коллиматорам приходят более сложные устройства — маски с кодированной апертурой (кодирующие маски). Однако используется и термин «кодирующий коллиматор» [2].

Цель — анализ решения проблемы увеличения светосилы и вместе с ней сигнальной производительности коллиматора в системах томографии, а также возможности изготовления на производстве при существующих технологиях.

3. Основная часть

Первые публикации об использовании кодированной апертуры для визуализации плоских объектов связаны с рентгеновской астрономией [3].

К настоящему времени кодирующие маски получают все большее распространение для работы в ближнем поле в компьютерной гамма-томографии для медицинской диагностики. Здесь при исследовании трехмерного объекта с помощью продольной томографии решается задача получения изображения, так называемого среза, выбранного сечения объекта, сечения, лежащего в фокусной плоскости детектора. При этом вклады от остальных плоскостей, лежащие вне фокальной плоскости, размыты и гораздо менее заметны.

Конструктивно кодирующая маска может представлять собой некую плоскость в виде квадрата из прозрачного для гамма-излучения материала. На ней в заданном порядке размещены отдельные пластины, непрозрачные для этого излучения и занимающие половину ее площади. Прозрачные участки кодирующих масок в основной массе существующих приборов имеют форму квадратов.

О построении двумерных кодирующих устройств изложено в [4].

Последующая математическая обработка зарегистрированной тенеграммы, образуемой маской на плоскости кристалла ПЧД, позволяет восстановить изображение объекта [5].

Сравнение различных многопинхолевых коллиматоров позволяет сделать вывод о преимуществе псевдослучайного расположения пинхолов [6]. Это в равной степени относится и к кодирующим маскам.

Для маски с кодированной апертурой существует ряд патентов [7–14].

Толщина кодирующей маски для наблюдения близких источников составляет обычно от 1 до 3 мм [15].

Использование гексагональной структуры пикселей предоставляет возможность значительно улучшить качество получаемых изображений. Примером такого

подхода может служить система коллимации с гексагональной кодированной апертурой [16, 17, 18].

Решению задачи по повышению чувствительности и эффективности систем получения гамма-изображений путем применения кодирующих апертур посвящен ряд работ, где рассматриваются маски гексагональной структуры. Так, в [19] представлена маска, кодирующая апертура которой выполнена из сплава вольфрама с гексагональным узором.

Характерным свойством (или признаком) гексагональной системы является присутствие одной шестерной оси симметрии, т.е. способность такой системы полностью совмещаться при повороте на 60° около главной оси. Это свойство используется для построения кодированной апертуры маски и антимаски, когда одна и та же маска выполняет обе эти функции.

Процедура маска-антимаска позволяет также снизить влияние фоновых подсветок видимым излучением в детекторе, устранить влияние неидеальности маски.

В гамма-томографе «Эфатом» используется комплект коллиматоров из защитного материала, среди которых ячеистые коллиматоры с гексагональной системой параллельных каналов [20]. Сечение самих отверстий также имеет гексагональную форму диаметром описанной окружности 1,5 мм. Известна конструкция LEHR коллиматора со 148000 гексагональными отверстиями BiCORE, примененная Сименс в СПЕКТ/СТ томографе Symbia [21] и т. д.

Следует отметить, что необходимым условием для исключения артефактов или сведения их к минимуму, для получения качественного изображения, является точность изготовления и сборки составных частей гамма-камеры. Чем меньше размеры мозаики апертуры, тем выше требования к точности изготовления маски, точности размещения прозрачных и непрозрачных элементов, точности позиционирования положений маски и антимаски. В известных конструкциях штативно-поворотные устройства обеспечивают точность позиционирования детектора при повороте на заданный угол не хуже, чем $0,1^\circ$ [22].

Кодирующая маска представляет собой структуру гексагональных элементов, расположение которых описывается гексагональным равномерно избыточным массивом. Поглощающий элемент маски представляет собой шестиугольную призму.

Технически получить матрицу гексагональной структуры можно различными способами.

Материалом для маски служат металлы высокой плотности, способные к максимальному поглощению гамма-излучения. Свинец (плотность $11,34 \text{ г/см}^3$) [23], вольфрам ($19,3 \text{ г/см}^3$), золото ($19,32 \text{ г/см}^3$), тантал ($16,6 \text{ г/см}^3$), платина ($21,4 \text{ г/см}^3$) [24]. Наиболее легко обрабатываемые: свинец, тантал, золото. Как известно, самый дешевый материал — свинец. Однако, свинец очень мягкий материал, который подвержен деформации и со временем «плышет».

При операциях штамповки и пробивки образуются заусенцы, существует проблема тонких перемычек — материал сминается, происходит выпучивание плоской заготовки при пробивке многих отверстий. Отливка требует изготовления точной формы и высокой текучести используемого материала маски. Сверление-долбление — трудоемкая и длительная операция, требующая высокой точности. Кроме этого, перечисленные методы не подходят для обработки такого твердого и тугоплавкого ма-

териала, как вольфрам. Лазерная обработка — слишком длительный и дорогостоящий процесс.

Наиболее подходящим методом, особенно для вольфрама, является электрохимическая обработка (ЭХО). Она основана на явлении анодного растворения материала при пропускании постоянного электрического тока через электрод-инструмент и электрод-заготовку в среде электролита. При ЭХО применяются такие электролиты, катионы которых не осаждаются при электролизе на поверхности катода, что обеспечивает основное достоинство ЭХО — неизменность формы электрода-инструмента (ЭИ).

Интенсивность процесса анодного растворения подчиняется закону, открытому Фарадеем, согласно которому количество растворенного металла анода (заготовки) возрастает с увеличением силы тока, проходящего через электролит в межэлектродном промежутке (МЭП), и масса M вещества, растворенного на аноде, составляет [25]:

$$M = kI\tau_3, \text{ г,}$$

где k — электрохимический эквивалент вещества, $\text{г}/(\text{А} \cdot \text{мин})$; I — сила тока, проходящего через электролит, А ; τ_3 — время электролиза, мин .

Удельный съем металла вольфрама методом ЭХО в среде 10 %-го раствора NaOH составляет $57 \text{ мм}^3/(\text{А} \cdot \text{ч})$, при этом энергоемкость электрохимического растворения $79,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$ [25].

О шероховатости обрабатываемых поверхностей при ЭХО на основании проведенных исследований с вольфрамом и его сплавами изложено в [26] и [27].

4. Выводы

Физически кодированная апертура представляет собой набор отверстий в непрозрачном для излучения экране в соответствии с выбранным математическим алгоритмом, с некоторым сложным, специальным образом закодированным законом пропускания.

На первом этапе происходит запись изображения, фокусируемого апертурой маски. На втором этапе проводится обработка зарегистрированного изображения цифровыми методами с целью восстановления реального объекта.

Для получения рекомбинации маска-антимаска для гексагональных апертур угол поворота маски вокруг центральной оси должен быть кратным 60 градусам. Точность изготовления такой маски, а также ее составных частей должна обеспечивать максимальное совмещение мозаики апертуры. Чем меньше размеры мозаики апертуры, тем выше требования к точности изготовления.

Наилучшим материалом для изготовления кодирующих масок является листовый вольфрам.

Наиболее подходящими методами для получения кодирующих масок в промышленных условиях является метод ЭХО.

Литература

1. Уэбб С. Физика визуализации изображений в медицине: в 2-х томах. — Т. 1. : пер. с англ. [Текст] / под ред. С. Уэбба, Д. Данс, С. Эванс. — М. : Мир, 1991.
2. Терещенко С. А. Методы вычислительной томографии [Текст] / С. А. Терещенко. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 320 с.

3. Mertz L., Joung N. Fresnel. Transformation of 1.ages // In Proceedings of International Conference on Optical Instruments and Techniques. London: 1961. — P. 305.
4. Федоров Г. А. Интегрально-кодовые системы регистрации ионизирующих излучений. Коды и кодирующие устройства [Текст] / Г. А. Федоров, С. А. Терещенко // измерительная техника. — 1995. — № 11. — С. 49–54.
5. Методы измерения слабых потоков ИИИ и визуализация их пространственного распределения [Текст] / А. К. Шевченко. — НИПКИ «Искра». — Луганск, 2010. — 11 с.: ил. — Библиогр.: 9 назв. — Рус. — Деп. в ГНТБ Украины 20.06.10, № 57 — Ук. 2010.
6. Терещенко С. А. Вычислительная томография. Часть 2. Интегрально-кодовые системы измерений в эмиссионной вычислительной томографии. Электронная версия [Текст] / С. А. Терещенко. — М., МИЭТ, 2001. Режим доступа: <http://www.bms.miet.ru/vt/>
7. Патент Российской Федерации 2383903 С2, G01T1/29, Устройство, ограничивающее появление обнаруженных ложных изображений для гамма-камеры с кодирующей маской [Текст] / Ламеди Фабрис (FR), Бренне Кристоф (FR), Жироне Филипп (FR), Барра Стефан (FR), патентообладатель: Коммиссариат А Л'ЭНЕРЖИ АТОМИК (FR) — FR 2006/050350 20060414, заявл. 14.04.2006; опубл. 10.03.2010; публикация РСТ: WO 2006/111678 20061026.
8. Патент Российской Федерации 2390790 С2, G01S3/78, Устройство пеленгации точечного источника оптического излучения [Текст] / Гуменюк Г. А., Евдокимов В. И., Каменецкий А. Л., Лукьянов П. Б., Ребриков В. Д., Сокольский М. Н., Строганов А. А., Юзвук Ю. А., патентообладатель: Открытое акционерное общество «ЛОМО» (RU) — 2008112833/09, заявл. 02.04.2008; опубл. 27.05.2010.
9. Патент Российской Федерации 2399929 С2, G01T1/164 Усовершенствованный прибор для получения гамма-изображений [Текст] / Легоаллер Кристоф (FR), патентообладатель: Коммиссариат А Л'ЭНЕРЖИ АТОМИК (FR) — 2007126850/28, заявл.: 12.12.2005; опубл. 20.09.2010; публикация РСТ: WO 2006/090035 20060831.
10. Патент Российской Федерации 2082182, G01T1/166, G01T1/20, G21K1/00 Устройство для регистрации изображений распределения радиоактивных препаратов [Текст] / Архипов В. К., Марков С. В., Буглак А. Л. Заявитель и патентообладатель Московский инженерно-физический институт. — № 93025641/25; заявл. 28.04.1993; опубл. 20.06.1997.
11. United States Patent 5,606,165, G01T 1/202 Square anti-symmetric uniformly redundant array coded aperture imaging system [Текст] / Walter C. Chion, North Babilon; Richard C. Augeri, West Hempstead, both of N.Y., Assignee: All Systems Inc. Deer Park, N. Y. — Appl. No.: 586555; Filed: Jan. 16, 1966; Date of patent Feb. 25, 1997.
12. United States Patent 6,392,235 B1, G01T 1/161; G01T 1/29 Coded aperture system for planar imaging of volumetric sources [Текст] / Harrison N. Barrett; Eric Clarkson; Donald W. Wilson, all of Tucson, AZ (US), Assignee: The Arizona Board of Regents on behalf of The University of Arizona, Tucson, AZ (US). — Appl. No.: 09/504,417; Filed: Feb. 15, 2000; Date of patent: May 21, 2002.
13. United States Patent 6,737,652 B2, G01T1/29; G01T1/00 Coded aperture imaging [Текст] / Lanza, Richard C. (Brookline, MA) Accorsi, Roberto (St. Davids, PA) Gasparini, Francesca (Milan, IT), Assignee: Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, MA). — № US 2002/0075990 A1 Filed: Sep. 28, 2001; Publication Data: Jun. 20, 2002.
14. United States Patent 5,930,314, G01N23/204; G01N23/22; G01T1/29; G01N23/20; G01N23/22; G01T1/00 Coded aperture imaging [Текст] / Lanza, Richard C. (Brookline, MA), Assignee: Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, MA). — Appl. No.: 08/866,717; Filed: May 30, 1997; Date of patent: Jul. 27, 1999.
15. Н. Barrett, W. Swindell. Radiological Imaging. The Theory of Image Formation, Detection, and Processing, 1981. — Ch.11 [in English].
16. Плахотник В. Ю. Томографические возможности систем визуализации гамма-излучения с кодированными апертурами [Текст] / В. Ю. Плахотник, Г. А. Поляков // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. — Выпуск 4(69). — Днепропетровск, 2010. — С. 79–87.
17. Никуляк А. А. Пространственное разрешение гамма-томографов с кодированными апертурами [Текст] / А. А. Никуляк // «Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету». — Кременчук. — № 6/2010(69), часть 1. — С. 48–51.
18. Пат. 53243 Україна МПК G01 T 1/29, A61 B 6/00 Гамма-камера однофотонного томографа для ядерної медицини [Текст] / Литвин В. П., Бігвава В. А., Логунова Г. Л., Плахотник В. Ю.; заявник і власник Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Искра». — № 2009 02201 заявл. 26.04.2010; опубл. 27.09.2010р.; Бюл. № 18.
19. Иванов О. П. Получение рентгеновских и гамма изображений протяженных источников с использованием кодирующих апертур: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра физико-математических наук: 01.04.01 / О. П. Иванов. — Москва, 2010. — 45 с.
20. Арлычев М. А. Двухдетекторный однофотонный эмиссионный гамма-томограф «ЭФАТОМ» [Текст] / М. А. Арлычев, В. Л. Новиков, А. В. Сидоров, А. М. Фиалковский, Е. Д. Котина, Д. А. Овсянников, В. А. Плоских // Журн. технической физики. — 2009. — т. 79, вып. 10. — с. 138.
21. Siemens. The Symbia product family. 30% higher collimator sensitivity with our patented AUTOFORM® technology. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.medical.siemens.com/siemens/en_US/gg_nm_FBAs/files/multimedia/symbia/benefits/confidence/bicore.htm.
22. e.cam Signature Series. All About Quality, Speed and Comfort. Siemens medical [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.medical.siemens.com/siemens/it_IT/gg_nm_FBAs/images/product_images/e.cam_signatureSeries_Single/ecam_brochure.pdf.
23. Материаловедение / [Руденский Л. В., Хромой Р. С., Ленков А. Я. и др.]; под ред. Ю. К. Файнберга. — М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1961. — 476 с.
24. Материалы в приборостроении и автоматике: Справочник [Текст] / [Пятин Ю. М., Чернявская А. М.,

- Владимирский Р. А. и др.]; под ред. Ю. М. Пятиня. — [2-е изд.]. — М.: Машиностроение. 1982. — 528 с.
25. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / [Г. Л. Амитан, И. А. Байсулов, Ю. М. Барон и др.]; под ред. В. А. Волосатова. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. — 719 с.
26. Смирнова Л. В. Высокоскоростное анодное растворение вольфрама и твердых сплавов типа ВК в водно-органи-

ческих растворах хлорида натрия [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Л. В. Смирнова. — Иваново, 2000. — 126 с.

27. Козлова Н. Б. Электрохимическое растворение молибдена, вольфрама и сплавов на их основе в водных и водно-органических растворах электролитов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.17.03 / Н. Б. Козлова. — Иваново, 2003. — 133 с.

УДК 621.783

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА КАЧЕСТВО ПОКОВОК КРУПНЫХ СЕЧЕНИЙ

А. И. Волошин
Главный инженер**

Контактный тел.: +38(06264)7-88-01
E-mail: ztm@nkmz.donetsk.ua

В. Е. Фельдман
Кандидат технических наук

Начальник центральной заводской лаборатории*
Контактный тел.: +38(06264)7-83-56, 067-377-67-10

А. И. Шимко
Кандидат технических наук

Начальник лаборатории металловедения и термической обработки*
Контактный тел.: +38(06264)7-81-79, 050-222-25-09
E-mail: mito@nkmz.donetsk.ua

Л. П. Бундюк
Ведущий инженер лаборатории металловедения и термической обработки*

Контактный тел.: +38(06264)7-81-79, 095-257-58-53

*Отдел главного металлурга**

**Публичное акционерное общество
«Новокраматорский машиностроительный завод»

ул. Орджоникидзе, 5, Краматорск, Донецкая область, Украина, 84305

Приведені результати досліджень металу крупних поковок, нагріваючи на кування яких виконаний в печах старої конструкції і реконструйованих печах. Показано, що досягнута температурна однорідність робочого простору покращує якість великогабаритних поковок.

Ключові слова: температурна однорідність, ліквідаційні утворення, підплавлення, макроструктура.

Приведены результаты исследований металла крупных поковок, нагрев на ковку которых выполнен в печах старой конструкции и реконструированных печах. Показано, что достигнутая температурная однородность рабочего пространства улучшает качество крупногабаритных поковок.

Ключевые слова: температурная однородность, ликвационные образования, подплавление, макроструктура.

The results of researches of metal of large packing are resulted, warming on forging of which executed in the stoves of old construction and reconstructed stoves. It is rotined that the attained temperature homogeneity of working space improves quality of krupnogabaritnykh pokovok.

Keywords: temperature homogeneity, likvacionnyye educations, submelting, macrostructure.

1. Введение

В результате обследования состояния нагревательных печей существующей конструкции, проектирование и строительство которых осуществлялось в конце 60-х годов прошлого столетия, был установлен ряд технических, конструкторских и технологических проблем, обуславливающих низкие эксплуатационные показатели печного оборудования. Так, для теплового ограждения применены шамотные огнеупорные материалы с общей толщиной стенки печей 1000–1300 мм. Использование

горелочных устройств прямого смешивании газ — воздух с управлением качества горения в ручном режиме приводило к местному повышению температуры и образованию пережога металла слитков и поковок. Наличие неплотностей в футеровке и подсос холодного воздуха обуславливали значительную часть потерь энергоносителей. В связи с наличием большого количества кислорода в атмосфере печей процесс нагрева сопровождается образованием окисной пленки толщиной до 16 мм. Точность ведения температурного режима в таких печах во многом зависела от субъективных факторов — опыта нагревальщика,