

$$K(\text{CsI+rastr}) = 180 - 150 = 30 \text{ отн.ед}$$

$M = K(\text{CsI+rastr}) / K(\text{CsI}) = 30 / 9,5 = 3,16$, где M – показатель увеличения контраста изображения.

Использование растровой решетки в случае CsI(Tl) люминесцентного экрана позволило в 3,16 раз увеличить контраст изображения.

Заключение

В заключение отметим, что, как вытекает из всего рассмотренного материала, между характеристиками экранов, определяющими качество изображения, и характеристиками эффективности существует довольно сложная связь, в значительной мере зависящая от условий применения экранов. Это обстоятельство должно постоянно учитываться при решении практических задач.

Список литературы

1. В.А. Бакушев, Н.В. Ветчинкин, Л.В. Владимиров, Б.М. Кантер, В.В. Клюев, А.Н. Кронгауз, Б.И. Леонов, Ю.П. Телегин, А.З. Шварцман. Рентгенотехника: справочник. В 2-х кн / под. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1980. – Кн. 1. 1980. – 431 с.: ил.
2. Гурвич А.М. Рентгенлюминофоры и рентгеновские экраны. – М.: Атомиздат, 1976. – 151 с.
3. Н.Н. Блинов, Ф.Г. Горелик, Э.Б. Козловский, Б.И. Леонов. Перспективы развития цифровых систем регистрации рентгеновских изображений с использованием люминесцентных экранов. Всесоюзный научно-исследовательский институт Минздрава СССР. – М., 1989. – 24 с.
4. Техника систем индикации / А.Н. Шеманина, Н.И. Иванова. – М.: МИР, 1970. – 302–310 с.
5. Байза К., Хентер Л., Холбек Ш. Рентгенотехника. – Будапешт: Изд-во Академии Наук Венгрии, 1973. – 325 с.

УДК 681.31

СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВИДИМОЕ

*В.Ю. Алхимов, Ю.В. Алхимов, В.К. Кулешов
Томский политехнический университет
E-mail: alkhimov@tpu.ru*

Приведены результаты исследования применения газоразрядных преобразователей рентгеновского излучения в видимое и рентгеновских установок контроля на их основе.

В настоящее время развитию средств неразрушающего контроля во всем мире уделяется значительное внимание. Основное условие, которому должны удовлетворять такие средства, – не оказывать вредного влияния на здоровье человека и контролируемые объекты. Рентгеновский метод, дающий теневую картину объекта контроля, обладает во многих случаях значительным преимуществом, но, чтобы использовать этот метод, необходимо максимально уменьшить вредное воздействие рентгеновского излу-

чения. То есть максимально снизить дозу излучения, которая необходима для получения теневой картины объекта контроля с требуемым качеством. Одним из наиболее перспективных путей уменьшения лучевой нагрузки на объекты контроля является использование преобразователей рентгеновского излучения в видимое с высоким коэффициентом радиационно-оптического преобразования. К числу таких приборов относится газоразрядный преобразователь (ГРП), который обладает высокой дозовой чувствительностью, низкой себестоимостью и, за счет газового усиления, высоким коэффициентом радиационно-оптического преобразования.

Газоразрядные преобразователи разработаны на базе искровых камер, применяемых в ядерной физике для регистрации треков элементарных частиц. Их можно разделить на два класса. Газоразрядные преобразователи 1-го класса применяются для регистрации отдельных квантов с последующим получением изображения путем накопления отдельных событий. Преобразователи 2-го класса используются для одновременной регистрации потока излучения с получением на преобразователе сразу всего изображения.

Газоразрядные преобразователи относятся ко второму классу преобразователей. Они представляют собой питаемый импульсом высокого напряжения разрядный промежуток, образованный двумя плоскопараллельными электродами. Конструктивно это чаще всего герметическая двухэлектродная камера, наполненная инертным газом до атмосферного давления. Расстояние между плоско-параллельными электродами, один из которых прозрачен для видимой части спектра излучения, а другой металлический, обычно не превышает одного сантиметра. Для ограничения тока в отдельных разрядах и их электрической развязки один из электродов отделен от газоразрядного объема диэлектриком.

На рис. 1 приведено схематическое изображение отпаянного образца ГРЛП с резистивными слоями. Основу ГРЛП составляют две стеклянные подложки 2 и 7, разделенные рамкой 3. Рамка обычно выполняется также из стекла для повышения технологичности процесса изготовления. Подложка и рамка склеиваются, образуя герметичный объем 4. Через специальную трубку этот объем откачивается до глубокого вакуума, а затем заполняется инертным газом до атмосферного давления. После этого трубка запаивается, и газ внутри объема не меняется все время службы прибора. На передней поверхности стеклянной подложки 2 нанесен прозрачный слой окиси олова (SnO_2). Этот слой образует прозрачный электрод. По периметру электрода нанесена контактная площадка из напыленного алюминия. Таким образом, газовый объем отделен от электродов слоем стекла. Это обеспечивает гальваническую развязку разрядов в газовом объеме и уменьшает влияние разрядов друг на друга. На другую стеклянную подложку (7), на сторону, обращенную внутрь газового объема, напылен тонкий слой люминофора. Основная доля оптического излучения в газовом разряде приходится на ультрафиолетовую часть спектра. Таким образом, задача люминофора трансформировать ультрафиолетовое излучение в видимое. То есть, люминофор должен возбуждаться жестким ультрафиолетовым излучением и высвечивать в видимой области спектра. В ГРП чаще всего применяется люминофор, аналогичный тому, который используется в телевизионных приемниках, с полосой возбуждения 150–200 нм и высвечивающем в зеленой области спектра. На противоположную сторону стеклянной подложки нанесен слой непрозрачного проводящего материала 8 (пленка из алюминия), к которому приварен контактный электрод 10. Поверх проводящего слоя нанесен полимерный непроводящий защитный слой 9. Постепенно снижение напряженности поля в рабочем поле происходит за счет изменения потенциала по поверхности резистивного слоя 11. Резистивный слой находится в гальваническом контакте с непрозрачным электродом 8 и электродом 12, который служит для выравнивания потенциала по поверхности рамки 5. Ширину резистивного слоя выбирают такой, чтобы он не перекрывался разрядом.

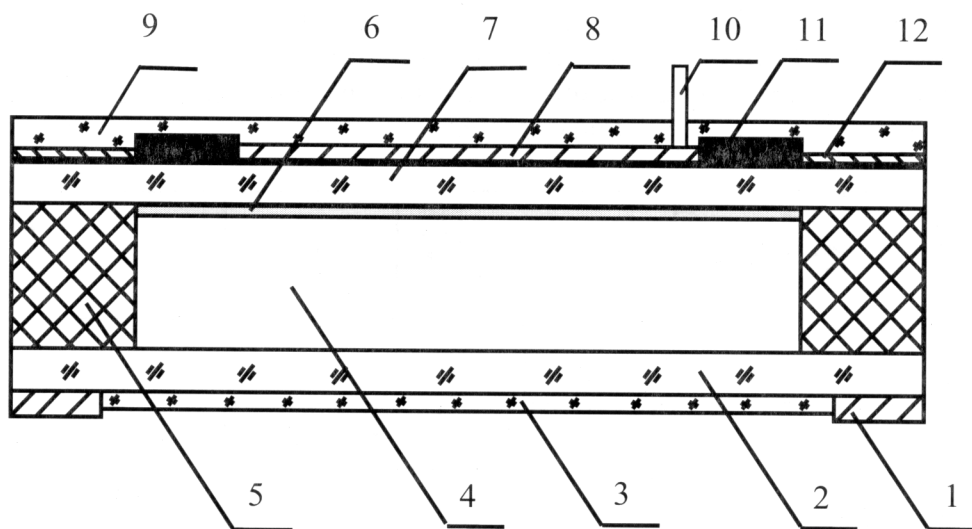


Рис. 1. Газоразрядный преобразователь рентгеновского излучения в видимое (1 – контактные дорожки из напыленного Al; 2, 7 – стеклянные подложки; 3 – прозрачный электрод, пленка SnO₂; 4 – газоразрядный объем; 5 – диэлектрическая рамка; 6 – люминофорный слой; 8 – непроводящий электрод; 9 – защитная пленка из органического полимера; 10 – вывод непроводящего электрода; 11 – резистивный слой; 12 – выравнивающий электрод)

Принципиальным отличием ГРП от искровых камер является то, что в ГРП для визуализации поля рентгеновского излучения используется коллективный разряд. То есть в искровой камере для визуализации трека частицы используется одна искра, которая развивается вдоль следа частицы, а в ГРП используется огромное количество искр, развивающихся одновременно, которые формируют плоское видимое изображение объекта контроля. Таким образом, ГРП сочетает в себе свойства детектора рентгеновского излучения и усилителя яркости видимого изображения. Коэффициент газового усиления в ГРП достигает 10^6 – 10^7 .

Можно инициировать несколько режимов работы ГРП, из которых нами исследованы: лавинный, лавинно-стримерный и стримерный.

Процесс формирования изображения в газоразрядных преобразователях можно разделить на несколько стадий:

- образование скрытого электронно-ионного изображения под действием импульса ионизирующего излучения;
- усиление скрытого изображения посредством газового разряда;
- формирование видимого изображения за счет трансформации жесткого ультрафиолетового излучения разряда на слое люминофора.

Скрытое изображение формируется в газовом объеме первичными электронами, образованными при прохождении фотонного излучения через электроды и газовое наполнение детектора. Формирование оптического изображения в ГРП связано с протеканием процессов возбуждения атомов и молекул в разрядах. В газоразрядных преобразователях с люминесцентным слоем, располагаемым на внутренней поверхности одного из электродов, происходит дополнительная трансформация ультрафиолетового излучения разрядов и видимое.

На основе ГРП можно строить установки для контроля, которые можно использовать для различных целей. Наиболее перспективно применение таких установок в системах безопасности для обнаружения незаявленных вложений в багаже или на теле человека и в медицине.

На рис. 2 приведена структурная схема установки рентгеновского контроля объектов на основе ГРП и ГРЛП. Это традиционный рентгеновский интроскоп, включающий импульсный источник рентгеновского излучения, преобразователь рентгеновского излучения и дополнительные электронные схемы.

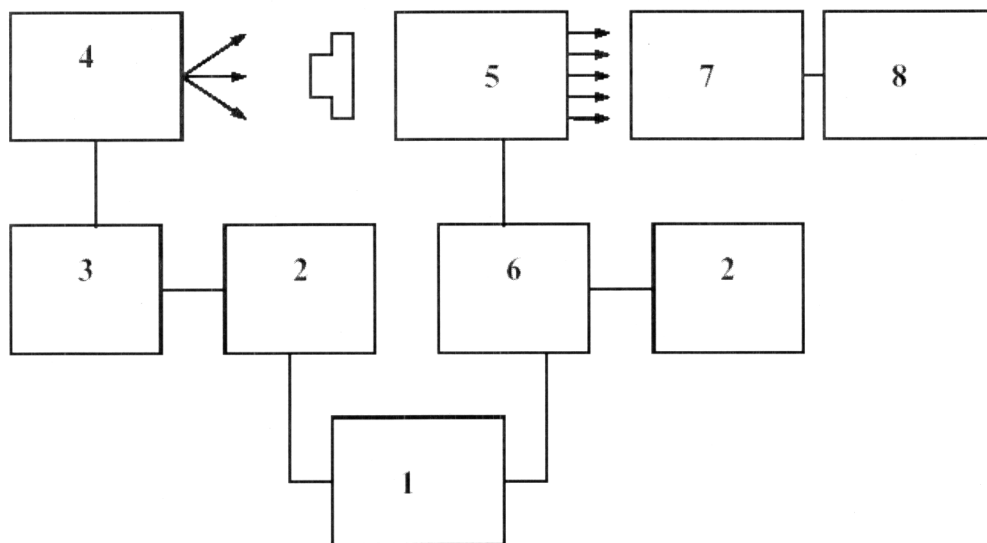


Рис. 2. Структурная схема рентгено-телевизионной системы контроля на основе ГРП

Установка состоит из двухканального задающего генератора, канала высоковольтного импульсного питания ГРП и канала питания импульсного рентгеновского излучателя.

Как было описано выше, скрытое изображение формируется в результате воздействия короткого импульса рентгеновского излучения, а затем под воздействием импульса высокого напряжения происходит развитие лавин и преобразование скрытого изображения в видимое. Поэтому необходимо обеспечить строгую временную последовательность импульсов рентгеновского излучения и высоковольтных импульсов питания. Двухканальный задающий генератор 1 обеспечивает запуск генераторов импульсного высокого напряжения для питания ГРП 6 и рентгеновского излучателя 4 импульсами с регулируемым по времени смещением. Конструкция генератора позволяет выбирать несколько режимов работы установки. При этом возможен однократный запуск генератора, запуск от автогенератора частотой 50 Гц, синхронизованного с сетью и запуск от автогенератора с перестраиваемой в диапазоне от 5 до 100 Гц частотой.

Импульс с задающего генератора поступает на генератор импульсов высокого напряжения для питания импульсного рентгеновского излучателя 4. Генератор состоит из источника высокого постоянного напряжения 2 и собственно генератора коротких импульсов 3. Генератор вырабатывает импульсы 8–10 кВ для питания рентгеновского излучателя. В качестве излучателя используются рентгеновские аппараты типов МИРА или ДИНА на основе рентгеновских трубок с взрывной эмиссией. По другому каналу импульс с регулируемой временной задержкой в пределах 0–200 нс поступает на схему запуска генератора импульсного питания ГРП (6, 2). Импульс высокого напряжения с генератора амплитудой 15–30 кВ используется для питания ГРП.

Изображение с экрана ГРП можно наблюдать визуально или с помощью телевизионной системы 7 вводить в компьютер 8 для дальнейшей обработки и хранения.

Основными недостатком ГРП является ограниченная разрешающая способность, вследствие ухода основного пучка электронов от оси распространения рентгеновского излучения. Изотропное распространение УФ-излучения приводит к увеличению собст-

венной нерезкости преобразователя. Перспективными в данном направлении являются газоразрядные преобразователи с принудительной коллимацией пространственного распределения излучения в газовом объеме.

Первый способ – физически разделить разряды путем ввода в газовый объем диэлектрической решетки. Мы приходим к усовершенствованной конструкции ГРП – матричному газоразрядному преобразователю (МГРП). В газовом объеме МГРП между электродами сформирована матричная решетка, которая локализует разрядный промежуток, разделяя его на индикаторные ячейки. На внутренней поверхности входного электрода в ячейках нанесен слой люминофора, который преобразует ультрафиолетовое свечение газового разряда в видимое излучение. Кроме того, матричная решетка определяет высокую точность межэлектродного расстояния, обеспечивая равномерность распределения напряженности электрического поля в МГРП.

Уменьшить собственную нерезкость ГРП можно введением в его конструкцию элементов осуществляющих фронтальную коллимацию ультрафиолетового излучения.

Фронтальную коллимацию ультрафиолетового излучения разрядов можно осуществить и с помощью тонких металлических или окисных пленок нанесенных непосредственно на поверхность люминесцентного слоя или пластину, отделяющую их от слоя и прозрачную для возбуждающего УФ-излучения. Известно, что также пленки при определенной длине волны падающего излучения $\lambda \leq \lambda_c$ (где λ_c – плазменная длина волны) становятся прозрачными. При этом наблюдается зависимость коэффициента пропускания от угла падения. С увеличением угла падения (при отсчете угла от нормали к пленке) коэффициент пропускания уменьшается и возрастает коэффициент отражения. В то же время такие пленки являются непрозрачными для длинноволнового ($\lambda < \lambda_c$) излучения люминесценции слоя и обладают, как правило, для этого излучения высокой отражательной способностью. Благодаря уникальному набору структурных и физико-химических свойств, в качестве фильтрующего материала можно использовать пористый анодный оксид алюминия (ПАОА).

Список литературы

1. V.Yu. Alkhimov, Yu.V. Alkhimov. The mosaic detector of X-ray radiation for inspection of oversize objects // Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference «Modern Technique and Technology», March 26–30, 2007, Tomsk, Russia. – P. 140.
2. V.Yu. Alkhimov, V.K. Kuleshov, Yu.V. Alkhimov. Experimental investigation of X-ray gas discharge converters // Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference «Modern Technique and Technology», March 26–30, 2007, Tomsk, Russia. – P. 143–146.
3. Алхимов Ю.В., Алхимов В.Ю., Кулешов В.К., Силантьев О.И., Цицура В.Н. Газоразрядный преобразователь с матричной структурой // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – Т. 309. – № 5. – С. 56–60.
4. Yury V. Alkhimov, Valery K. Kuleshov, and Yong Deak Kim, High-Sensitive X-Ray Detectors Using Gas Discharge with Extreme Dense Structure for Amplification and Visualization of X-Ray Images, Proceedings of IEEE International Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, November 23–29, 2005, Puerto Rico, USA.
5. Yury V. Alkhimov, Valery K. Kuleshov, Yong Deak Kim, «Television System for Recording Impulse Images in a Visual and Ultraviolet Part of a Spectrum for the Purposes of Medical Diagnostics», in Proceedings of Third IEEE International Conference on Systems, Signals and Devices, March 21–24, 2005, Sousse, Tunisia.
6. Пат. 2006136868/28 РФ. МПК H01J 47/26. Газоразрядный преобразователь радиационного изображения в видимое / В.Н. Цицура, О.И. Силантьев, Ю.В. Алхимов, В.К. Кулешов. Заявлено 17.10.2006.