

На правах рукописи

Силантьев Олег Игоревич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ
ГАЗОРАЗРЯДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ В ВИДИМОЕ В ИМПУЛЬСНОЙ
ИНТРОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

**Специальность 05.11.13. - «Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий»**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2007

Работа выполнена в Томском политехническом университете.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кулешов Валерий Константинович

Официальные оппоненты: Смирнов Геннадий Васильевич,
доктор технических наук, профессор Томского
университета систем управления и
радиоэлектроники (ТУСУР)

Вавилов Станислав Платонович
кандидат технических наук, доцент Томского
политехнического университета

Ведущая организация: ФГУП НИИ «Проект» г.Томск

Защита состоится 30 октября 2007 г. в 17.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при Томском политехническом университете по адресу: 634028, г.Томск, ул.Савиных, 7, библиотека НИИ Интроскопии.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета по адресу: г.Томск, ул.Белинского, 53

Автореферат разослан «___» сентября 2007 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



Б.Б. Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования.

При рассмотрении задачи радиационной интроскопии как в неразрушающем контроле, так и в медицинской диагностике, с точки зрения используемых физических методов контроля, можно выделить две характерные цели и задачи этих процессов:

- получение первичной измерительной информации с помощью преобразователей и приведение ее в форму удобную для дальнейшей обработки;
- обработка информации и представление результатов обработки в форме пригодной для анализа, дальнейшей интерпретации и хранения;

Актуальность разработки и совершенствования систем радиационной интроскопии сложно недооценить в связи с совершенствованием требований отраслей применения систем контроля содержимого. Для промышленной интроскопии необходимо повышение скорости контроля, подразумевающая как применение высокочувствительных детекторов излучения для уменьшения экспозиционных доз и времени экспозиции, так и переход от физических носителей информации к электронным. Медицинская рентгенодиагностика также требует повышение скорости и мобильности контроля, необходимо и снижение лучевой нагрузки на диагностируемый объект.

Таким образом, необходимость эффективного преобразования рентгеновского излучения требует разработки новых подходов и технологий для создания высокочувствительного преобразователя с высоким временным и пространственным разрешением. В качестве такого преобразователя перспективно применение газоразрядного преобразователя (ГРП). При обеспечении оптимальных технических характеристик, ГРП был бы одним из наиболее оптимальных решений для построения интроскопических систем в силу простоты и дешевизны конструкции.

Актуальность вышеперечисленных аргументов определила тематику исследований, проведенных в данной диссертационной работе.

Несмотря на то, что в исследованиях, проводимых в НИИ Интроскопии, был достигнут существенный прогресс в развитии теории и практики по ГРП, по основным интроскопическим характеристикам они уступают существующим преобразователям рентгеновского изображения и не всегда удовлетворяют требованиям практических задач контроля. В связи с этим в данной диссертационной работе исследовались особенности процессов преобразования рентгеновского излучения и формирования видимой картины в объеме ГРП. Для анализа влияния составляющих компонентов были исследованы математические модели и алгоритмы расчета этих процессов. Предложены методы по оптимизации конструкций газоразрядных преобразователей для улучшения качественных характеристик получаемого изображения. Создан и испытан экспериментальный действующий макет цифровой интроскопической системы на базе ГРП.

Работа выполнена в рамках тематических научно-исследовательских работ по исследованию газоразрядных преобразователей ионизирующих излучений в видимое, проводимых в НИИ Интроскопии при участии кафедры ФМПК Томского политехнического университета.

Объект исследования – газоразрядный преобразователь и интроскопическая система на его основе.

Цели работы:

- Изучение механизма протекания газового разряда в условиях ГРП
- Исследование яркости, нерезкости и контрастной чувствительности газоразрядного преобразователя.
- Изучение возможности принудительного формирования направленной картины излучения ГРП.
- Разработка и исследование действующего макета интроскопической системы на базе ГРП.
- Экспериментальные испытания интроскопа в одноимпульсном и частотном режимах работы при контроле тестовых и анатомических объектов.

Научная новизна работы характеризуется следующими научными результатами, полученными автором:

- Предложены методы коллимирования излучения газового разряда в ГРП для повышения разрешающей способности видимого изображения путем отсечения неинформативной изотропной составляющей светового потока.
- Разработана физико-математическая модель безлюминофорного преобразователя рентгеновского излучения в видимое и проведены расчеты яркости получаемого изображения и требуемой дозы рентгеновского излучения.
- Впервые проведены испытания по микродозовой одноимпульсной регистрации разряда ГРП посредством камеры на основе ПЗС-детектора.

Практическая ценность

- Предложены конструкции ГРП с фронтальной и боковой коллимацией светового излучения газового разряда в условиях ГРП. На конструкцию ГРП с боковой фильтрацией получено решение о выдаче патента на полезную модель.
- Создан макет установки позволяющей регистрировать изображения с безлюминофорных ГРП в одноимпульсном режиме при дозах облучения порядка 10 мкР.
- Доказана эффективность и необходимость и предложены алгоритмы математической обработки получаемых изображений.

Апробация работы

Основные результаты работы отражены в следующих статьях и докладывались на конференциях:

- 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. ТПУ, 2006- т. 309, - № 5. - с. 56-60

- Цицура В.Н., Силантьев О.И., Алхимов В.Ю. Разрешающая способность ГРП в режиме организации газового пространства //Качество - стратегия XXI века: Материалы XI международной научно-практической конференции - Томск, - Томск : Изд.ТПУ, 2006. - с. 157-161
- Ways of gas discharge converters image enhancements. V. Tsitsura, O. Silantiey, Yu. Alkhimov. The Eight International Scientific and Practical Conference of Students, Post graduates and Young Scientists “Modern Technique and Technologies”, Tomsk, 2005;
- Алхимов Ю.В., Цицура В.Н. , Силантьев О.И., Кулешов В.К. Применение ПЗС - структур для повышения качества изображения, получаемого с экрана газоразрядного преобразователя //Качество - стратегия XXI века Материалы VIII международной научно - практической конференции - Томск, ноябрь 2003. - Томск: НТЛ, 2003. - с. 134 - 136

Получено положительное решение выдачи патента на полезную модель по заявке № 2006136868/(04138) от 17.10.2006 г. [71]

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 101 библиографических ссылок (исключая публикации автора) и 4 ссылок на электронные ресурсы. Ее основной текст изложен на 144 страницах, 9 таблицах и иллюстрирован 50 рисунками.

Положения, выносимые на защиту

- Применение боковой и фронтальной коллимации излучения для избирательной угловой селекции излучения разряда для улучшения пространственной разрешающей способности ГРП при минимальных потерях яркости получаемого изображения.
- Применение безлюминофорных ГРП и ПЗС структур для регистрации изображения разрядов ГРП с удовлетворительным качеством в режиме однократных срабатываний при дозах облучения порядка 10 мкР.

- Исследование интроскопической системы для одноимпульсной и частотной регистрации статических и динамических объектов и человеческих тканей.

Автор выражает огромную благодарность за поддержку и содействие в выполнении работы В.К. Кулешову, Ю.В. Алхимову, В.И. Беспалову и В.Н. Цицура.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснованы актуальность, научная новизна и практическая значимость проблемы, сформулированы цель работы и задачи исследования, приведена краткая характеристика работы.

В первой главе рассмотрен механизм формирования и протекания газового разряда. Рассмотрены характеристики качества преобразователей ионизирующих излучений. Приведен анализ существующих моделей российских и зарубежных газовых детекторов и систем радиационной интроскопии.

Анализ отечественных (ГРП, МПК, МИК, РПК) и зарубежных (Micromegas, RPC, GEM) исследований по данному вопросу показывал, что существует ряд таких подобных преобразователей, отличающихся конструкцией.

Зарубежные исследования опережают отечественные, однако основной упор производится на исследование и создание преобразователей с фокусировкой и усилением электронной картины.

Анализ доступной технической документации, спецификаций и публикаций по преобразователям показывает, что характеристики каждого из них уникальны по вполне определенным показателям. Это либо высокая дозовая чувствительность, либо хорошая разрешающая способность, либо широкий динамический диапазон и т.п.

Проведенные обзорные исследования материалов и экспериментальной базы, накопленной в процессе прошлых исследовательских и опытно-конструкторских работ по изучению ГРП в НИИ Интроскопии показали, что имеется значительный научно-технический потенциал по исследованию параметров ГРП.

К классу двухэлектродных преобразователей с оптическим формированием изображения относятся газоразрядные преобразователи. Газоразрядный преобразователь (ГРП) представляет собой герметичную плоско-параллельную двухэлектродную камеру (рис.1), наполненную инертным газом. При облучении преобразователя потоком ионизирующего излучения формируется скрытое изображение объекта контроля. Плотность ионизации в различных участках разрядного промежутка отражает конфигурацию поля ионизирующего излучения. При подаче на электроды импульса высокого напряжения в газе из областей первичной ионизации развиваются разряды, сопровождающиеся свечением.

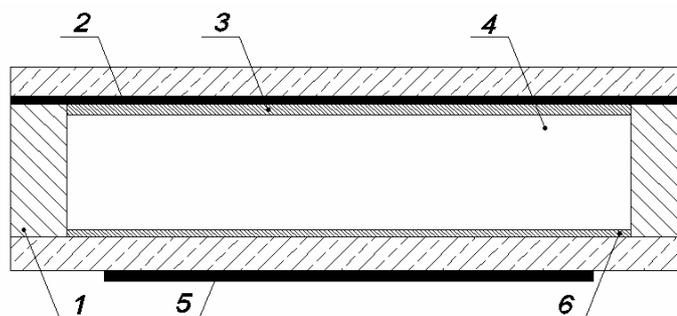


Рис.1 Конструкция ГРП

1 – опорная диэлектрическая рамка, 2 – прозрачный электрод, 3 – люминесцентный слой, 4 – газоразрядный объем, 5 – резистивный слой, 6 – непрозрачный электрод

Процесс формирования изображения в газоразрядных преобразователях можно разделить на несколько стадий: образование скрытого электронно-ионного изображения и трансформации его в видимое посредством газового разряда. 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 в видимое.

Ток электронов в разрядном промежутке определяется выражением

$$I(t) = g_0 N(t) \mathcal{G}_-(t) / d_2 \quad (1)$$

где $N(t)$ – общее количество электронов в рабочем объеме;
 g_0 – заряд электронов;
 $\mathcal{G}_-(t)$ – скорость дрейфа электронов.

Отсюда

$$j(t) = g_0 n(t) \mathcal{G}_-(t) \quad (2)$$

где $j(t)$ – плотность тока в ГРП.

Скорость дрейфа электронов в ГРП при обычных режимах питания приблизительно равна $2,5 \cdot 10^5$ м/с. Таким образом, получаем, что плотность тока на начальной стадии развития разряда равна 10^{-1} А/м². Таким образом, для ГРП с рабочей площадью $0,1$ м² получаем ток 10^{-1} А.

Информацию о распределении начальной плотности ионизации, а, следовательно, и плотности потока рентгеновского излучения в безлюминофорных ГРП получают, регистрируя видимое излучение разрядов. Однако, на лавинной и ранней стримерной стадиях разряда, где еще сохраняется пропорциональность яркости свечения плотности начальной ионизации [71], выход видимого излучения мал. Так, средняя яркость свечения преобразователя с ксеноновым наполнением в оптимальном режиме по облучению составляет $\sim 10^{-3} - 10^{-2}$ кд/м² при рабочей частоте 50 Гц. Данная яркость является удовлетворительной для визуализации только посредством сверхвысокочувствительных цифровых камер, активными элементом которых является УФ-чувствительные ПЗС или связка ЭОП + ПЗС-матрица.

Образование видимых фотонов в условиях ГРП происходит в результате прямых переходов атомов инертного газа из основного состояния в возбужденное при столкновении со свободными электронами. При этом вероятность возбуждения атомов в состояния, распад которых сопровождается испусканием видимого излучения, значительно ниже вероятности ионизации, поэтому относительный выход видимых фотонов ($Q = N_b / N_e$) меньше единицы.

При оптимизации газового наполнения (по светоотдаче) мы часто ограничены тем, что для получения высокой эффективности регистрации, основной газового наполнения должен быть ксенон. Увеличение светоотдачи дают малые добавки к ксенону других инертных газов: неон, аргона – обладающих в разряде более высоким выходом видимого излучения.

Во второй главе исследованы процессы протекания газового разряда в ГРП: формирование электронной картины, генерации и распространения ультрафиолета, преобразование ультрафиолета в видимое излучение. Проведена оценка влияния газового наполнения на напряженность поля в газе и дозовые характеристики ГРП. Произведена оценка яркости конечного изображения ГРП, получены соотношения для экспозиционных доз моноэнергетического излучения.

Световое изображение в ГРП создается лавинами, содержащими 10^5 - 10^8 электронов в пределах газового зазора. Длина лавины зависит от вида газа и величины E/p , где E - напряженность электрического поля в газовом зазоре, p - давление газа. Снижение E/p приводит к уменьшению скорости электронов (ϑ_e), что увеличивает время развития лавины до требуемой стадии. В связи с этим нижняя граница E/p зависит от величины газового зазора, верхняя – ограничена техническими трудностями получения высоковольтных импульсов малой длительности 10^{-8} с.

При прямоугольном импульсе длительностью t_U длина лавины

$$l(N_e) = \frac{\ln N_e}{\alpha} \quad (3)$$

где $\alpha(E/p)$ – коэффициент ударной ионизации

$$t_U = \frac{\ln N_e}{\alpha \vartheta}$$

До тех пор, пока пространственным полем лавины можно пренебречь, радиальное расширение ее головки обусловлено тепловой диффузией электронов. Величина радиуса находится по формуле:

$$r_D = \sqrt{\frac{8U_T \ln N_e}{3\alpha \vartheta}} \quad (4)$$

где $q_0 U_T$ – средняя энергия электронов, эВ,

q_0 – заряд электрона.

В противном случае, радиус увеличивается в основном за счет электростатического расталкивания электронного облака и определяется из выражений:

$$r_1 = \sqrt{\frac{3q_0 N_e}{3\alpha E}} \quad (5)$$

$$r_2 = \frac{3q_0}{E} \int_0^x \left[\exp \int_0^y \alpha(Z) d(Z) \right] dy \quad (6)$$

где r_1 и r_2 получены, соответственно, без учета поля, созданного зарядом положительных ионов, и с его учетом,

x – путь, пройденный лавиной.

Результаты расчетов на рис.2. Радиус головки лавины до значений $N_e < 10^5$ диффузией определяется тепловой электронов. При $N_e > 5 \cdot 10^6$ основной вклад в увеличение размеров радиуса вносит электрическое расталкивание.

Если $10^5 < N_e < 5 \cdot 10^6$, то необходимо учитывать действие обоих процессов.

Результаты, полученные по формуле 8 подтверждают предположение о более медленном увеличении радиуса r_2 в выбранном диапазоне рабочих напряженностей поля для ксенона.

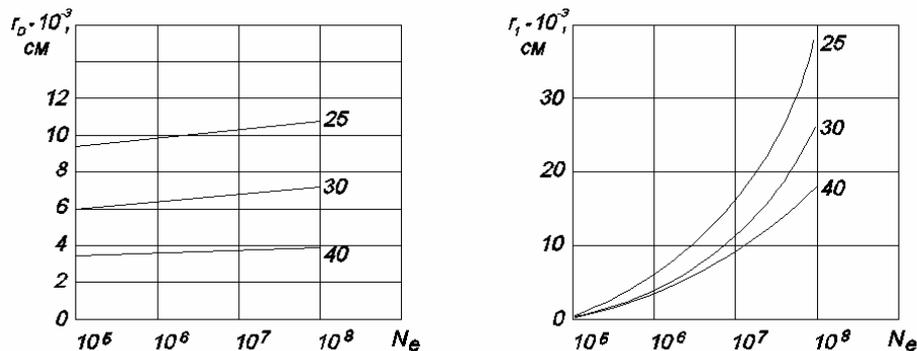


Рис.2 Радиусы головки лавины в зависимости от отношения E/p для ксенона

В связи с тем, что вычисленные значения радиусов головки лавины являются максимальными, их целесообразно использовать при определении начального количества электронов, инициирующих лавину.

Процесс распространения резонансного излучения подобен процессу диффузии. Коэффициент диффузии можно оценить по формуле для среднего

времени жизни диффузирующей частицы внутри плоского объема с зазором

d_2 как $D = \frac{d_2^2}{\tau_{жс} \cdot \pi^2}$ и при $d_2 = 1$ см и $\tau_{жс} = 3 \cdot 10^{-6}$ с, $D = 3 \cdot 10^4$ см²/с.

Вероятность образования фотонов, отклонившихся от центральной частоты линии ω_0 на частоту $> \Delta\omega$, равна:

$$W(\omega > \omega_0 + \Delta\omega) = \int_{\omega_0 + \Delta\omega}^{\infty} P(\omega) d\omega = \frac{2}{\pi} - \operatorname{arctg} \frac{\Delta\omega}{\gamma/2} \quad (7)$$

где $P(\omega) = \frac{\gamma^2/4}{\Delta\omega^2 + \gamma^2/4}$ – контур резонансной линии при наличии ударного уширения;
 γ – ширина линии.

В чистых инертных газах, при нормальных условиях, высокое сечение имеет реакция тройных соударений, в результате которой образуются устойчивые возбужденные молекулы инертных газов. Излучение молекул уже не является резонансным и может практически без поглощения покинуть газовый объем. В случае ксенонового наполнения эту реакцию можно записать следующим образом:



Процесс диффузии резонансного возбуждения вследствие множества переизлучений при величине газоразрядного промежутка $d_2 \cong 1$ см и нормальных условиях не может определять уход УФ-излучения на стенки преобразователя. Уход УФ-излучения в этих условиях происходит лучевым образом в результате преобразования резонансного излучения атомов в молекулярное по реакции (8).

Долю энергии, которая идёт на образование резонансного излучения в ГРП при питании прямоугольными импульсами, создающими в газоразрядном промежутке напряжённость E_n и имеющими длительность t_U , можно найти по формуле:

$$\eta = \frac{W_p}{W} = \frac{\alpha Q_p \cdot \bar{\varepsilon}_p}{eE \cdot \ln \frac{10^8}{N_0}} \quad (9)$$

где $\bar{\varepsilon}_p$ – средняя энергия резонансных фотонов.

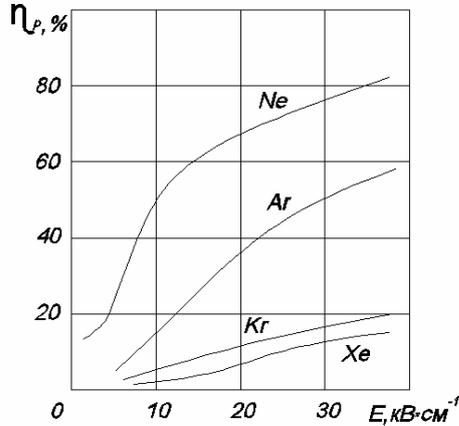


Рис. 3 КПД лавинного разряда вблизи лавинно-стримерного перехода ($N_{ca} \approx 10^8$)

На 3 изображены зависимости $\eta = f(E)$ для различных газов. Наибольшим КПД относительно выхода резонансного излучения среди инертных газов обладает неон, наименьшим – ксенон.

Для оценки яркости ГРП в [48] предположили, что импульсы излучения и высокого напряжения поступают на преобразователь с частотой, при которой период их следования меньше времени инерции глаза. В этом случае для определения средней яркости можно использовать выражение:

$$\bar{B} = \int_0^f B(t) dt, \quad (10)$$

где f – частота следования импульсов.

При постоянной плотности потока излучения по всей поверхности преобразователя

$$\bar{B} = \frac{f}{S} \cdot \int_0^1 I(t) dt, \quad (11)$$

здесь $I(t)$ – сила света ГРП;
 S – его рабочая площадь.

Из предположения пропорциональности силы света разряда мощности, потребляемой им в детекторе, и при учете ее ослабления в электроде, пропускающем видимую часть спектра излучения газового разряда, следует:

$$\bar{B} = \frac{f \cdot \xi \cdot a \cdot \eta}{S} \cdot \int_0^1 i(t) U(t) dt, \quad (12)$$

- где ξ – коэффициент пропорциональности между силой света и энергетической мощностью светового потока;
 a – коэффициент прозрачности электрода;
 η – средняя доля энергии, преобразованная в видимую;
 $i(t)$ – ток, протекающий в преобразователе в момент времени t .
 $U(t)$ – напряжение на газовом промежутке в момент времени t .

В связи с тем, что все разрядные процессы в преобразователе протекают в пределах длительности импульса высокого напряжения ($\sim 10^{-7}$ с), ток в нем определяется электронной составляющей:

$$i(t) = \frac{b \cdot Q(t) \cdot \mathcal{G}(t)}{d}, \quad (13)$$

- где $Q(t) = Q_0 N \exp[\int_0^t \alpha(\tau) \mathcal{G}(\tau) d\tau]$ – суммарный заряд электронов в разрядном промежутке;
 Q_0 – первоначальный заряд, созданный импульсом ионизирующего излучения в объеме $\Delta V = S_1 \cdot d$;
 S_1 – поперечное сечение объема ΔV ;
 D – величина разрядного промежутка;
 B – отношение числа зарегистрированных лавин к числу образованных;
 $v(t)$ – скорость электрона в момент времени t ;
 $\alpha(\tau)$ и $v(\tau)$ – коэффициент ударной ионизации и скорость электрона в момент времени τ соответственно, а величина средней яркости

$$\bar{B} = \frac{f \cdot \xi \cdot a \cdot b \cdot Q_0 \cdot \eta}{s \cdot d} \int_0^{t_1} [\exp(\int_0^t \alpha(\tau) \mathcal{G}(\tau) d\tau)] \mathcal{G}(\tau) U(t) dt, \quad (14)$$

- где t_1 – длительность импульса высокого напряжения.

Поскольку величина fQ_0N/Sd пропорциональна средней мощности дозы излучения (P), то при работе преобразователя в одноимпульсном режиме доза импульса

$$P_{\text{имп}} = -\frac{\mu_{\text{вз}}(E)E}{St_{\text{имп}} \cdot P_1(E)} \cdot \ln(1 - P_2) \quad (15)$$

Результаты расчетов зависимости дозы в импульсе от энергии излучения в диапазоне 40-100 кэВ при $f = 25$ Гц, $t_{\text{ин}} = 0,15$ с, $P_2 = P_{1,n} = 0,9$ для преобразователей, наполненных ксеноном, приведены на рис.4. Из них следует, что доза в импульсе увеличивается с возрастанием энергии..

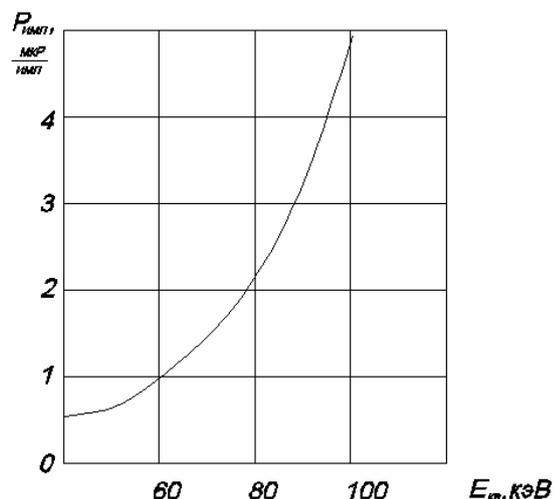


Рис. 4 Зависимости дозы в импульсе от энергии излучения для ГРП наполненных ксеноном

Теоретически пространственное разрешение ГРП можно определить путем численного разрешения задачи переноса первичных электронов в фазе и материале электродов с учетом их рождения. Функция распределения плотности ионизации с удовлетворительной точностью представляется в виде:

$$n(x) = 0,5 \cdot n(0) \cdot \left[1 - \Phi \left(3 \frac{x}{u} \right) \right] \quad (16)$$

где x – расстояние от границы;
 $n(0)$ – плотность ионизации на достаточном удалении от границы;
 u – собственная нерезкость преобразователя.

Наибольший интерес для практических целей представляет функция распределения ионизации в рабочем газе ГРП от потока квантов точечного мононаправленного источника. Зная эту функцию, можно легко определить функцию размытия границ конкретного объекта. Так, в случае резкой полубесконечной границы для немоноэнергетического излучения:

$$n(x) = \int_0^{E_{max}} F(E) \int n(E, \rho) \cdot 2\rho \arccos \frac{x}{\rho} d\rho dE \quad (17)$$

Из этих выражений видно, что распределение плотности ионизации для случая резкой полубесконечной границы симметрично относительно границы, а плотность ионизации на границе равна половине плотности ионизации созданной таким же потоком при полной засветке.

Предположим, что на одну половину преобразователя падает поток излучения интенсивностью I_1 , а на другую $I_2 < I_1$. Тогда контраст рентгеновского изображения равен [17]:

$$K_\gamma = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \quad (18)$$

При подаче импульса питания на электроды детектора скрытое изображение преобразуется в световое изображение, контраст которого [60]:

$$K_C = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = \frac{\Delta B}{B_1} \quad (19)$$

где B_1 и B_2 – соответственно яркость одной и другой половины преобразователя.

Анализ пространственного распределения средней плотности ионизации показал, что они с удовлетворительной точностью аппроксимируются функцией

$$B(x) = B_2 + 0,5\Delta B \left\{ 1 + \Phi \left[3 \frac{x - x_0}{u} \right] \right\} \quad (20)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятности,
 U – собственная нерезкость преобразователя.

В третьей главе исследовано влияние конструктивных параметров газоразрядных преобразователей на характеристики получаемого изображения. Получены зависимости распределения поглощенной энергии в газовом объеме ГРП. Проведена оценка влияния газового наполнения на радиальное распределение поглощенной энергии. Выполнена оценка влияния ложных краевых пробоев при подаче импульса питания; показана необходимость применения резистивных слоев для снижения паразитных напряженностей поля. Исследовано влияние люминофорных слоев для преобразования ультрафиолетового излучения разряда. Проведен анализ патентов и авторских свидетельств на газоразрядные преобразователи. Предложены конструкции ГРП с избирательной боковой и фронтальной

фильтрацией ультрафиолетового излучения для выделения эффективной части разряда.

В стандартной конфигурации разрядного промежутка ГРП рабочий газовый объем представляет собой единое целое (рис.1), т.е. каждый отдельно рассматриваемый процесс элементарного взаимодействия влияет на результат соседнего, что выражается в вуалировании общей картины, потере контраста и увеличении внутренней нерезкости. Относительно высокая нерезкость связана с тем, что в процессе развития разряда, электроны первичной ионизации с достаточной вероятностью рассеиваются на атомах газа во всем объеме преобразователя. Образованные электроны, рассеиваются на атомах газа, отклоняясь от направления первичного кванта. По мере развития разряда количество электронов в лавине увеличивается, и на ее развитие начинает влиять электрическое поле создаваемое головкой лавины.

На конечном этапе визуализации ультрафиолетового излучения в слое люминофора также очевидно наличие дополнительного размытия картины излучения, связанное с изотропностью распространения ультрафиолетового излучения, другими словами, ультрафиолетовое излучение, как результат каждой отдельно рассматриваемой цепочки взаимодействий со значительной долей вероятности влияет на результат соседнего, что выражается в вуалировании общей теневой картины и увеличении внутренней нерезкости.

Поставленная цель – повышение разрешающей способности, достигается использованием решетчатых панелей, применяемых в процессе изготовления газоразрядных индикаторных панелей тем, что в рабочем объеме на внутренних поверхностях стеклопластин сформирована диэлектрическая матричная решетка, которая задает одинаковый во всех ячейках зазор между электродами, на внутренней поверхности входной стеклопластины расположены люминофорные элементы, преобразующие ультрафиолетовое свечение газового разряда в видимое (Рис.5). Кроме того, матричная решетка предотвращает изменение межэлектродного расстояния под действием физических и атмосферных нагрузок. Стенки матричной решетки

непрозрачны в ультрафиолетовой области спектра и препятствуют проникновению излучения газового разряда из одной ячейки в другую, что обеспечивает незначительное размытие теневой картины.

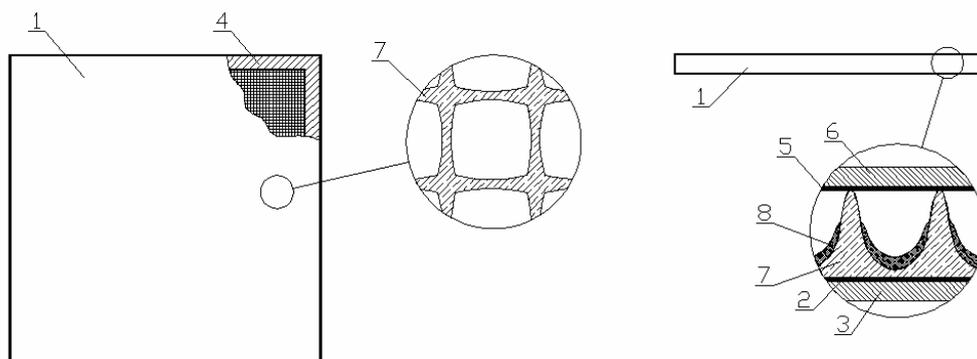


Рис. 5. Конструкция матричного газоразрядного преобразователя: 3, 7 - стеклянные пластины, 1 - диэлектрический контур, 5 - газовый объем, 4, 8 - электроды, 2 - резистивный контур, 6 - люминофор, 9 - матричная решетка.

Существующие технологии производства газоразрядных индикаторных панелей позволяют, путем пескоструйной обработки, обеспечить размеры ячейки достаточные для получения разрешающей способности до 2-3 пар лин/мм [6]. Это означает что теоретически можно увеличить разрешающую способность ГРП более чем в два раза, применив матричную технологию организации разрядного промежутка.

Уменьшить собственную нерезкость ГРЛП можно введением в его конструкцию элементов осуществляющих фронтальную фильтрацию ультрафиолетового излучения.

Фронтальную фильтрацию 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. Благодаря уникальному набору структурных и физико-химических свойств, в качестве фильтрующего материала можно использовать пористый анодный оксид алюминия (ПАОА). Обнаружена высокая анизотропия показателя преломления оксида в зависимости от угла падения света. На основании этих экспериментальных данных сделан вывод

о том, что такие пленки могут использоваться для избирательной селекции ультрафиолетового излучения ГРП.

Газоразрядный преобразователь с фронтальной фильтрацией ультрафиолетового излучения представляет собой герметичную плоскопараллельную двухэлектродную камеру (рис.6).

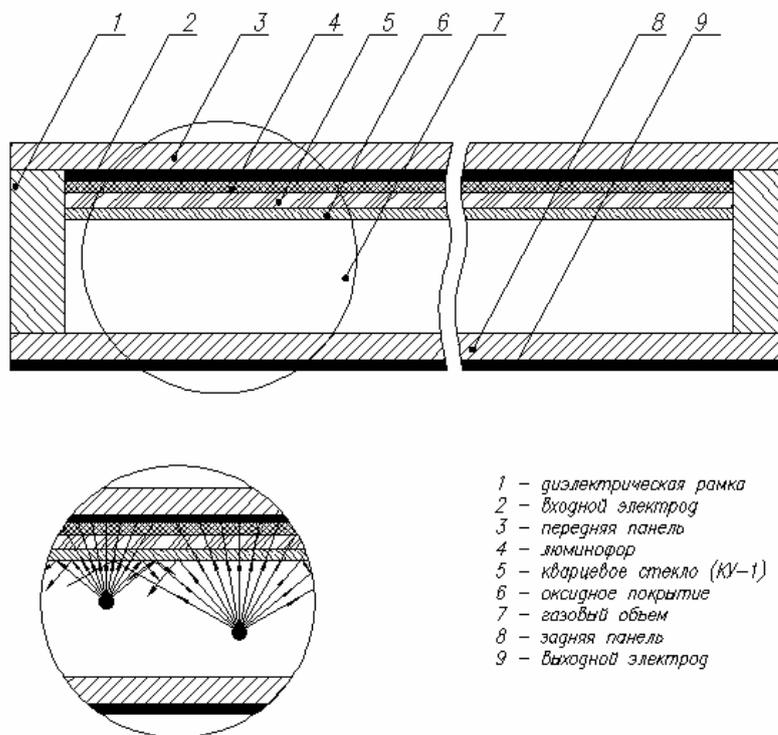


Рис.6. ГРП с фронтальной фильтрацией излучения

Ультрафиолетовое излучение разряда, распространяющееся в направлении, противоположном просвечиванию, селективно фильтруется в оксидном покрытии 6, нанесенном на панель из кварцевого стекла 5. Ультрафиолетовое излучение трансформируется в видимое в слое люминофора, образуя видимую картину, которая наблюдается через выходной экран 8.

В четвертой главе описаны практические исследования ГРП с коллективным разрядом в составе интроскопической системы. Приведены функциональная схема и технические характеристики испытуемой системы. Подробно описаны условия проведения испытаний. Экспериментально исследована возможность применения безлюминофорных ГРП. Отражены результаты испытаний ГРП для регистрации статических и динамических объектов в одноимпульсном и частотном режиме работы преобразователей с

люминофорными слоями и с непосредственной регистрацией видимой составляющей спектра излучения разряда. Определена разрешающая способность системы при использовании специальных свинцовых миш в качестве статических объектов. Показана возможность использования системы для просвечивания биологических объектов. Приведены результаты фильтрации конечных изображений.

В ходе диссертационных исследований на основе ГРП создана испытанная система (рис. 7), позволяющая получать изображение объекта контроля, полученное в одноимпульсном или частотном режимах.

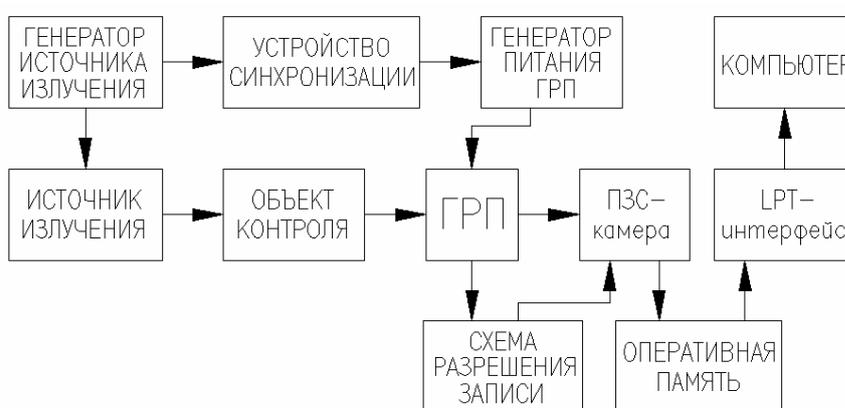


Рис. 7 Функциональная схема интроскопической системы.

Проведенные испытания системы с опытным образцом безлюминофорного ГРП с ксеноновым наполнением показали возможность одноимпульсной регистрации видимой части разряда ГРП и получения изображений с разрешающей способностью до 0.25 пар лин./мм. В результате испытаний заключили что применение безлюминофорных ГРП в системах радиационной интроскопии представляется возможным при условии использования газовых смесей, обладающих значительной яркостью высвечивания, относительно достаточным выходом видимого излучения (не менее 5%), определяющим минимально достаточный контраст получаемого изображения.

Для люминофорного ГРП получено изображение миры в одноимпульсном режиме для оценки разрешающей способности системы. Исходя из полученного изображения миры, можно судить о достижимом значении

разрешающей способности ГРП с люминофорными слоями в 1 пару линий/мм.

Установлена возможность успешной регистрации движения объектов со скоростями порядка 0.4 м/с посредством люминофорных ГРП.

Установили что для получения полноценного изображения человеческой кисти в рассматриваемой интроскопической системе достаточно единичного рентгеновского импульса с дозой облучения объекта 50 мкР.

Проведены исследования чувствительности ГРП к фоновому излучению рентгеновской трубки посредством останки конусного свинцового коллиматора на выходное окно. Получены изображения срабатываний ГРП с частичным облучением рабочей области фоновым рентгеновским излучением наряду с прямым облучением. Показано что чувствительность ГРП достаточна для распознавания контурных признаков тест-объектов при их облучении фоновым излучением с мощностью дозы порядка 10 мкР.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Образование видимых фотонов в условиях ГРП происходит в результате прямых переходов атомов инертного газа из основного состояния в возбужденное при столкновении со свободными электронами.
- Нерезкость ГРП связана с тем, что в процессе развития разряда, электроны первичной ионизации с достаточной вероятностью рассеиваются на атомах газа во всем объеме преобразователя. Образованные электроны, рассеиваются на атомах газа, отклоняясь от направления первичного кванта.
- Выделение эффективной части разряда, иными словами селективное распространение электронных лавин и преобразование ультрафиолета позволит в значительной степени повысить пространственную разрешающую способность ГРП
- Высокое быстродействие определяется длительностью разряда в газовом промежутке для безлюминофорных ГРП, порядка 10^{-7} с, и для

ГРП с люминофорным покрытием временем высвечивания люминофора, порядка 10^{-2} с

- Конструкция ГРП с использованием диэлектрической матричной решетки, позволяет осуществлять боковую фильтрацию в ультрафиолетовой области спектра, что обеспечивает снижение размытия картины излучения.
- Использование оксидных пленок, отражающих ультрафиолетовое излучение, падающее под большими углами, позволяет осуществлять фронтальную фильтрацию излучения газового разряда, тем самым снижая внутреннюю нерезкость преобразователя.
- Созданная интроскопическая система, позволяющая преобразовывать теневое изображение объекта контроля как в одноимпульсном, так и в частотном режиме. Система имеет небольшую массу, порядка 10 кг и обладает относительной простотой конструкции.
- Успешно испытан опытный образец безлюминофорного ГРП с ксеноновым наполнением. Получены стабильные изображения тест-объектов с разрешающей способностью до 0.25 пар лин/мм.
- Пространственная разрешающая способность ГРП с люминофорным слоем в одноимпульсном режиме – 1 пара лин/мм. Частотный режим работы системы позволяет успешно регистрировать движение объекта со скоростями до 0.4 м/с.
- Показано что чувствительность ГРП достаточна для распознавания контурных признаков тест-объектов при их облучении фоновым излучением с мощностью дозы порядка 10 мкР.
- Просвечивание человеческой кисти в статическом одноимпульсном и частотном режимах, позволяет достигнуть оптического контраста изображений ГРП, достаточного для различения твердых и мягких биологических тканей.

Содержание диссертации раскрыто в следующих публикациях:

1. Цицура В. Н. Силантьев О. И. Кулешов В. К. Алхимов Ю. В. Газоразрядный преобразователь радиационного изображения в видимое с дискретной организации газового пространства. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2006136868/(04138) от 17.10.2006 г.
2. 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. ТПУ, 2006- т. 309, - № 5. - с. 56-60
3. Цицура В.Н., Силантьев О.И., Алхимов В.Ю. Разрешающая способность ГРП в режиме организации газового пространства //Качество - стратегия XXI века: Материалы XI международной научно-практической конференции - Томск, - Томск : Изд.ТПУ, 2006. - с. 157-161
4. Alkhimov Y.V., Tsitsura V.N., Silantiev O.N. Ways of gas discharge converters image enhancement //Modern technique and technologies MTT2005: Proceedings of the 11th International Conference- Tomsk: TPU, 2005. – 212p
5. Алхимов Ю.В., Цицура В.Н. , Силантьев О.И., Кулешов В.К. Применение ПЗС - структур для повышения качества изображения, получаемого с экрана газоразрядного преобразователя //Качество - стратегия XXI века Материалы VIII международной научно - практической конференции - Томск, ноябрь 2003. - Томск: НТЛ, 2003. - с. 134 - 136

Отпечатано в ООО «НИП»
г.Томск, ул. Советская, 47, тел.53-14-70
Заказ №26.09.07, тираж 100 экз.