

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛМАЗНОГО ДЕТЕКТОРА

<sup>1</sup>Лукашевич Р.В.\*, <sup>1</sup>Сеньковский К.Г., <sup>1</sup>Турчин М.А., <sup>2</sup>Казючиц Н.М., <sup>2</sup>Русецкий М.С.,  
<sup>2</sup>Казючиц В.Н.

<sup>1</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

\**lukashevich@atomtex.com*

Дозиметрия ионизирующих излучений играет важную роль в современной радиотерапии. Наряду с калибровкой радиационных полей эталонных дозиметрических установок, особое значение имеет определение доз, поглощенных биологической тканью. Для этих целей используются детекторы на основе алмаза. Алмаз характеризуется целым набором свойств, делающих его привлекательным материалом для радиотерапевтических применений. Прочные ковалентные связи атомов в его кристаллической решетке обеспечивают высокую химическую и радиационную стойкость, широкая запрещенная зона – низкие значения темнового тока и шумов. Благодаря тканеэквивалентности алмаза дозиметрия алмазными детекторами не требует коррекции результатов измерений. Кроме этого, детекторы на основе алмаза имеют малые размеры, обеспечивающие высокое пространственное разрешение при измерении радиационных полей.

Цель работы – исследование основных характеристик алмазного дозиметрического детектора ионизирующих излучений и измерение с его помощью радиационного поля эталонной рентгеновской установки УПР-АТ300 в УП «АТОМТЕХ».

Детекторы изготавливали из монокристаллов алмаза, синтезированных методом высоких давлений и высоких температур в ООО «АдамасИнвест» [1]. Кристаллы распиливали на пластинки, которые механически полировали до толщины около 300 мкм (рисунок 1а). После предварительного отбора образцов «детекторного качества» на поверхности пластинок наносили контакты. На одну поверхность напыляли алюминий, в другую перед напылением титана и золота имплантировали ионы бора с последующим активационным отжигом в вакууме при температуре 1400 °С (рисунок 1б). Чувствительный к облучению объем детекторной структуры составлял около 0,09 мм<sup>3</sup>. Подготовленную таким образом детекторную структуру помещали в герметичный корпус (рисунок 1в). Подключение детектора к измерительному дозиметру ДКС-АТ5350 осуществлялось с помощью триаксиального кабеля.

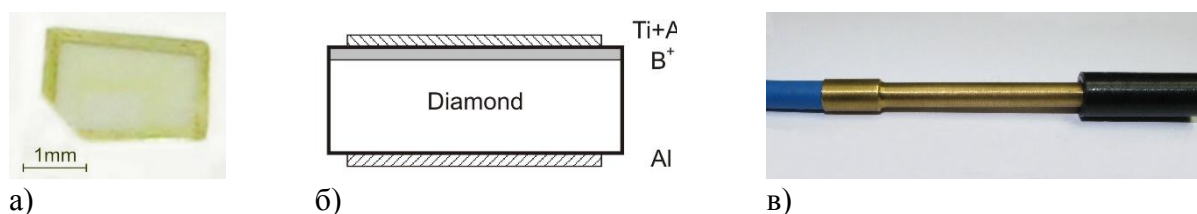


Рисунок 1. Пластика алмаза № 132-2 «детекторного качества» (а), схема (б) и сборка детектора в корпусе (в)

Для дозиметрических детекторов наряду с достаточным уровнем сигнала требуется его стабильность во времени и линейная зависимость от мощности дозы. Характеризующее алмазный детектор № 132-2 изменение ионизационного тока в течение времени при вариации мощности дозы гамма-излучения представлены на рисунке 2а. Облучение гамма-квантами  $^{137}\text{Cs}$  проводили в УП «АТОМТЕХ» на эталонной дозиметрической установке УДГ-АТ130 (рабочий эталон 1 разряда согласно ГОСТ Р 8.084-2012) в диапазоне мощности кермы в воздухе от 0,1 до 17 Гр/ч. Процедура измерений соответствовала изложенным в [2] требованиям. Напряжение смещения составляло 20 В. Предварительно перед измерениями детектор облучали гамма-квантами дозой около 5 Гр для заполнения ловушек заряда в алмазной структуре и стабилизации тока фотоионизации. Из рисунка 2а видны быстрая реакция детектора на включение-выключение облучения и стабильные во времени значения тока фотоионизации для разных мощностей доз гамма-квантов. Величина темнового тока при напряжении смещения 20 В не превышала 0,2 пА. Зависимость ионизационного тока от мощности дозы гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$  представлена на рисунке 2б. Отклонение этой зависимости от линейной в исследованном диапазоне мощностей доз не превышала 2–3%. В таблице 1 приведены основные характеристики детектора № 132-2.

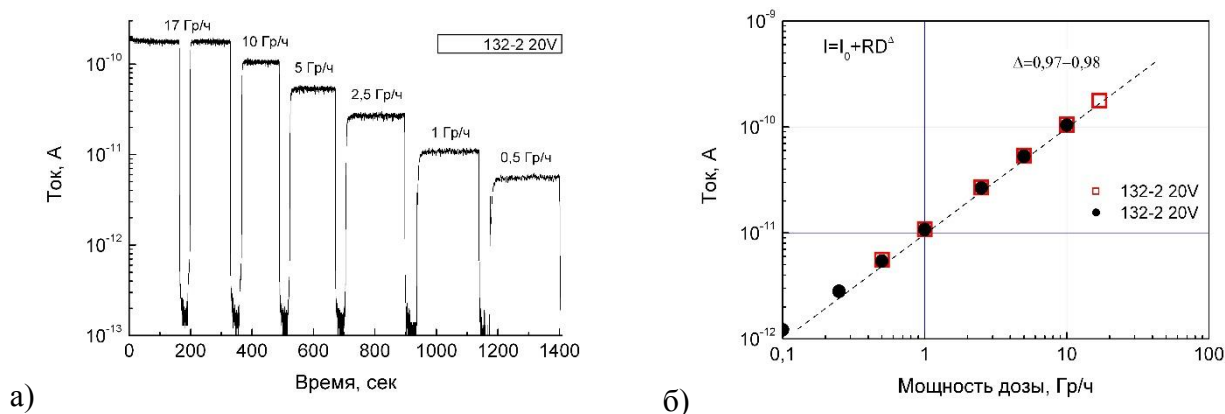


Рисунок 2. Изменение тока детектора № 132-2 в течение времени при вариации мощности дозы гамма-излучения (а) и зависимость тока от мощности дозы гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$  (б)

Таблица 1. Основные характеристики алмазного детектора № 132-2

Диапазон энергий фотонов, МэВ	0,03-20
Чувствительность при напряжении 20 В, нКл/Гр	35
Диапазон мощностей доз, Гр/ч	0,1-17
Линейность в номинальном диапазоне мощностей доз	0,97-0,98
Напряжение смещения, В	20
Темновой ток при напряжении 20 В, пА	< 0,2
Чувствительный объём, мм <sup>3</sup>	0,09

Одной из важных метрологических характеристик подлежащей проверке, является определение геометрических размеров равномерного поля излучения дозиметрической установки. Это требование продиктовано необходимостью размещения детектирующего средства измерения в равномерном поле излучения при проведении поверки или калибровки. Как правило, для определения основных метрологических характеристик дозиметрических установок применяют ионизационные камеры из состава эталона. Из-за относительно больших размеров такой камеры (одна из самых маленьких ионизационных камер, например,

имеет объем  $0,6 \text{ см}^3$ ) точное определение границ равномерного поля излучения эталонных дозиметрических установок представляет собой сложную задачу.

На рисунке 3, для примера, показаны поперечные распределения рентгеновского излучения установки УПР-АТ300, измеренные алмазным детектором с чувствительным объемом  $0,09 \text{ мм}^3$  на расстояниях 1,0 и 2,5 м в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр ограничивающий излучение диафрагмы равен 20 мм. Штриховая линия соответствует допустимому, согласно требованиям ГОСТ 8.087-2000 [2], 3% отклонению равномерности поля излучения для установок 1 разряда. Величина тока фотоионизации алмазного детектора регистрировалась эталонным дозиметром ДКС-АТ5350 производства УП «АТОМТЕХ», рекомендованным для аттестации поверочных установок согласно [2].

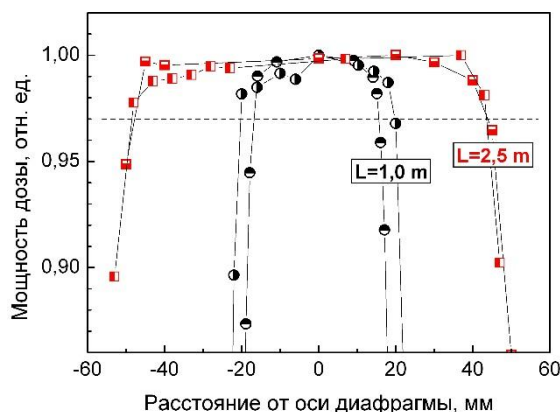


Рисунок 3. Поперечные распределения излучения установки УПР-АТ300, измеренные в двух взаимно перпендикулярных направлениях алмазным детектором на расстояниях 1,0 и 2,5 м. Диаметр диафрагмы равен 20 см, штриховая линия соответствует 3% отклонению сигнала.

Как видно из рисунка 3, размеры радиационного поля эталонной рентгеновской установки УПР-АТ300 с диаметром диафрагмы 20 см составляют около 40 и 90 см в диаметре на расстояниях 1,0 и 2,5 м, соответственно. Полученные с помощью алмазного детектора размеры радиационного поля эталонной дозиметрической установки УПР-АТ300 совпали с результатами измерений с использованием полостных ионизационных камер и люминофора. Исследования распределения излучения с использованием алмазного детектора позволили на этапе настройки рентгеновской установки УПР-АТ300 найти и устранить искажения равномерности поля излучения, формируемые диафрагмами и барабаном с фильтрами. Результаты измерений алмазным детектором соответствуют требованиям стандартов и будут использованы при калибровке, градуировке и испытаниях дозиметрической аппаратуры на эталонной рентгеновской установке УПР-АТ300 в УП «АТОМТЕХ».

[1] Н.М Казючиц, А.В. Коновалова, И.И. Азарко, Ф.Ф. Якоцук, И.Н. Богданов, Ю.К. Кабак. Неорганические материалы. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 1449–1461.

[2] Государственная система обеспечения единства измерений. Установки дозиметрические рентгеновского и гамма-излучений эталонные. Методика поверки по мощности экспозиционной дозы и мощности кермы в воздухе: ГОСТ 8.087-2000. Введ. 09.07.2001, Москва: Межгосударственный Совет по стандартизации метрологии и сертификации, 2001.