

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Баженов Александр Олегович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование возможности использования диодов с р-п переходом в
качестве датчика тормозного излучения.**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18311

Научный руководитель:

Ткаченко В.О.

Оценка научного руководителя

«_____» _____ декабря 2019г.

Преподаватель практикума

Морозов И.И.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ декабря 2019г.

Куратор практикума:

Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 2019г.

Аннотация

Целью работы являлось исследование возможности получения датчика тормозного излучения на основе распространенных диодов с р-п связью. Для этой цели были проведены ряд экспериментов на диодах КД213б, HER208 и 1N4148. Диод, на который подавалось обратное напряжение, помещался в зону с тормозным излучением. Для чистоты эксперимента диод накрывался толстой пластиной из меди для защиты от вторичных и быстрых электронов. Получены осциллограммы напряжений на резисторе, подключенного последовательно с диодом, при разных импульсных токах и энергиях электронного пучка. На основании полученных данных были построены графики изменения напряжения на резисторе от параметров пучка. По полученным результатам были сделаны выводы о возможности использования диодов с р-п переходом в качестве детектора тормозного излучения.

Ключевые слова: тормозное излучение, датчик тормозного излучения, импульсный линейный ускоритель, ИЛУ-10.

Оглавление

Введение	3
1 Теоретическая часть	4
1.1 Механизм возникновения тормозного излучения	4
1.2 Полупроводниковые детекторы	5
2 Экспериментальная часть	7
2.1 Описание установки	7
2.2. Методика измерений	8
2.3 Результаты измерений	9
3 Анализ результатов и выводы	13
Список использованной литературы	14

Введение

Линейные ускорители играют важную роль в промышленности. Они предназначены для широкого применения в различных технологических процессах, направленных на длительную непрерывную и круглосуточную работу в промышленных условиях. Некоторые технологии требуют использования тормозного излучения. Для работы ускорителя в режиме тормозного излучения используются конвертор пучка. Очень важной задачей является онлайн детектирование тормозного излучения и определение местоположения электронного пучка.

Тема является актуальной в связи с тем, что в настоящее время в России спрос на радиационные технологии растет. ИЯФ СОРАН уже более 50 лет выпускает промышленные модели ускорителей. Наиболее подходящими для использования в моде тормозного излучения являются ускорители ИЛУ-6 и ИЛУ-10. Поэтому для проведения экспериментов был выбран ускоритель ИЛУ-10.

Целью работы являлось исследование возможности получения датчика тормозного излучения на основе диодов с р-п связью.

1 Теоретическая часть

1.1 Механизм возникновения тормозного излучения

Электрон с высокой энергией претерпевает торможение в кулоновском поле атома. Потеря энергии электрона при таком торможении преобразуется в квант гамма излучения, которое называется тормозным излучением. Так как энергетические потери в процессе этого торможения могут принимать любые значения, то тормозное излучение образует непрерывный спектр с энергией от нуля до энергии электронов пучка.

Взаимодействия электронов пучка с атомами вещества можно подразделить на упругие и неупругие. Вероятность этих видов взаимодействий во многом зависит от энергии налетающих электронов. То есть с ростом энергии пучка, растет вероятность упругого взаимодействия.

Упругое рассеяние происходит вследствие столкновения электронов высокой энергией с ядрами атомов вещества. При этом первичные электроны пучка меняют направление скорости движения. Кинетическая энергия почти остается неизменной. Связано это с тем, что при каждом контакте с веществом электрон передает энергию порядка 1эВ, что пренебрежительно мало по сравнению с первоначальной энергией пучка. Угол отклонения первичных электронов может принимать значения от 0° до 180° . Наиболее вероятный случай составляет единицы градусов. В результате упругих взаимодействий электрон может покинуть образец. Такие электроны обладают меньшей энергией, чем до взаимодействия, так как проходят некоторое расстояние внутри твердого тела и теряют энергию.

Неупругие взаимодействия в основном происходят между электронами пучка и электронами образца. Взаимодействие электрона пучка с твёрдым телом может привести к высвобождению слабо связанных электронов зоны проводимости (т.н. медленных вторичных электронов). Вторичными принято называть электроны, обладающие энергией до 50 эВ. Большая часть вторичных электронов обладает энергией от 3 до 5 эВ.

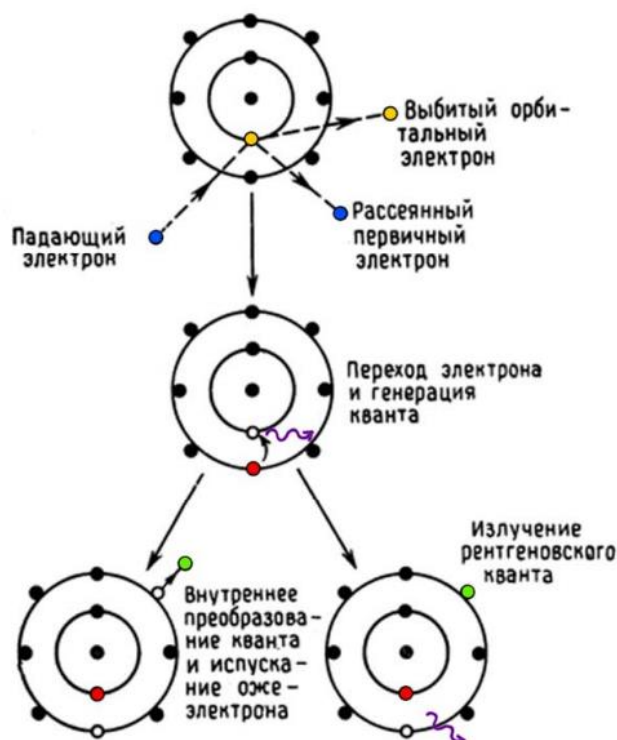


Рис. 1 Схема ионизации внутренней оболочки атома

Чтобы вылететь из твердого тела, вторичные электроны должны преодолеть поверхностный потенциальный барьер. Поэтому только вторичные электроны, находящиеся в тонком приповерхностном слое, могут покинуть образец. Следовательно, плотность и направление вторичных электронов зависит от рельефа поверхности. [3]

1.2 Полупроводниковые детекторы

В качестве детекторов ионизирующего излучения широко используются такие материалы как германий и кремний. В силу ряда причин кремний остается более предпочтительным. Рассмотрим принцип работы датчика гамма излучения на основе кремниевого диода.

Кремний принадлежит к элементам четвертой группы периодической таблицы. На внешней оболочке этих атомов находится по четыре валентных электрона, посредством которых осуществляется ковалентная связь с другими атомами. При низкой температуре все электроны находятся в валентной зоне, но с повышением температуры часть ковалентных связей начинает разрываться, что приводит к образованию пар свободных носителей: электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне. Прилагая обратное

напряжение на диод, электроны в области n - типа станут перемещаться к положительному полюсу, отдаваясь от области p - n перехода. Соответственно дырки будут смещаться к отрицательному полюсу. В результате этого в области p - n перехода создается обеднённая зона, которая препятствует прохождению тока. В результате действия на диод ионизирующим излучением, в области p - n перехода порождаются электронно-дырочные пары. Перераспределяясь, они порождают пропускание тока, которое непосредственно фиксируется. В случае если электронно-дырочная пара возникла в p - или n - слое, возникновения тока наблюдаться не будет. [4]

2 Экспериментальная часть

2.1 Описание установки

Электрическая схема эксперимента представлена на рисунке 2. Для измерения зависимости изменения напряжения от параметров пучка на диод подается постоянное обратное напряжение. Последовательно к диоду подсоединяется резистор сопротивлением 2,7 кОм. Изменение напряжения фиксируется при помощи осциллографа. Все элементы цепи соединены при помощи коаксиальных кабелей.

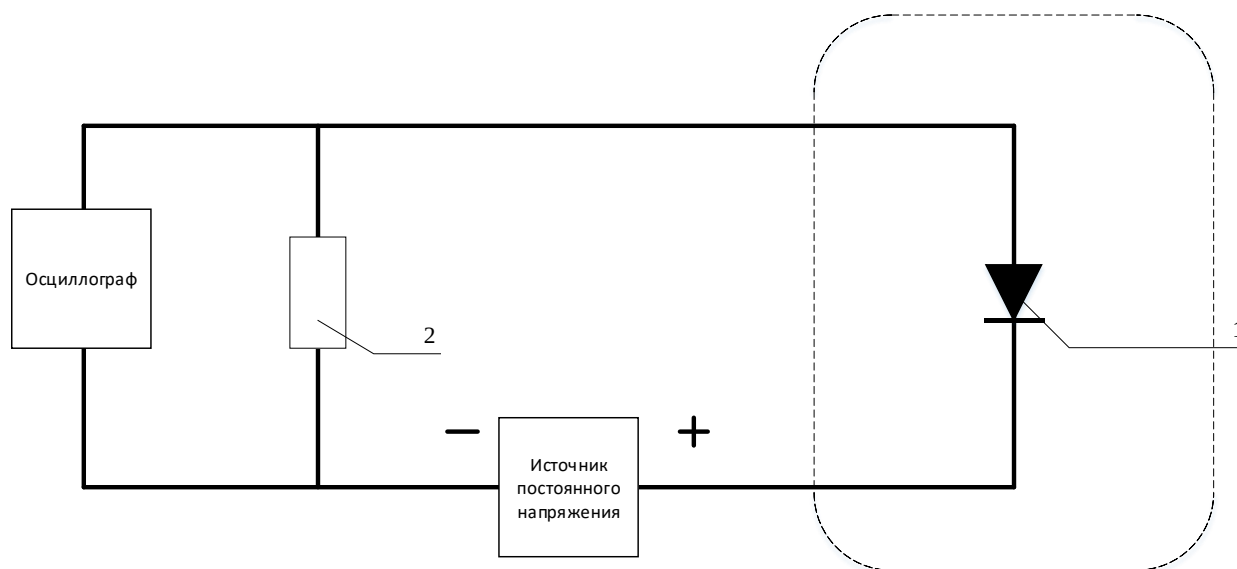


Рис. 2 Электрическая схема эксперимента: 1 – диод; 2 – резистор.

Для получения тормозного гамма-излучения в работе использовался импульсный линейный ускоритель типа ИЛУ – ИЛУ-10, схема которого представлена на рисунке 3. ВЧ генераторы 9, работающие в режиме самовозбуждения на частоте, близкой к собственной частоте резонатора 2, размещаются на вакуумном баке, сделанном из нержавеющей стали. Высокий вакуум в баке создается при помощи магнетозарядных насосов 5. Энергия от генераторов передается в резонатор по средству петли связи 7, соединенной с анодом лампы ВЧ-генератора через разделительный вакуумный конденсатор 8. В свою очередь резонатор разделен на две части, внутренние выступы которых образуют ускоряющий промежуток. В верхней части помещается триодная электронная пушка, а нижняя часть снабжена отверстием для выпуска электронного пучка. Через это отверстие пучок направляется вниз в

устройство выпуска пучка через магнитную линзу 3, которая фокусирует пучок для минимизации потерь пучка внутри ускорителя и выпускного устройства. Выпускное устройство обеспечивает развертку пучка вдоль выпускного окна, закрытого тонкой титановой фольгой. [1]

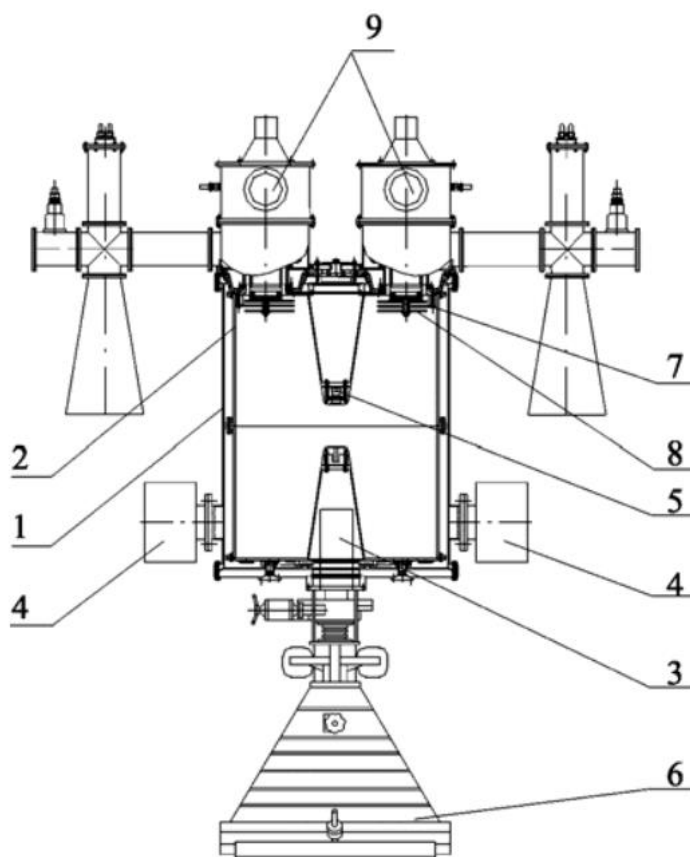


Рис. 3 Ускоритель ИЛУ-10: 1 – вакуумный бак; 2 – медный тороидальный резонатор; 3 – магнитная линза; 4 – магниторазрядные насосы; 5 – катодно-сеточный узел; 6 – устройство выпуска пучка с линейной разверткой; 7 – опора петли связи; 8 – вакуумный конденсатор; 9 – ВЧ-генераторы.

2.2 Методика измерений

Диод помещается под ускоритель. Предварительно его следует накрыть толстой пластиной из меди, чтобы при прохождении электронного пучка через нее возникало тормозное гамма-излучение. Кроме того, мы избегаем попадание быстрых и вторичных электронов на наш датчик (рисунок 4). В ходе работы на все диоды подавалось обратное напряжение равное 60 в. Длительность импульса тока пучка составила 450 мкс.



Рис. 4 Диод, помещенный под пучок с защитой от быстрых и вторичных электронов

При фиксированном значении импульсного тока в 200 мА с помощью осциллографа снималось изменение напряжения на резисторе в зависимости от энергии пучка. Далее, аналогичным образом, определялась зависимость напряжения от импульсного тока при фиксированной энергии пучка 5 МэВ. Все измерение проводились на диодах: HER208, КД2136, 1N4148

2.3 Результаты измерений

В ходе измерений на осциллографе был получен сигнал, представленный на рисунках 5 и 6. Желтой линии соответствует сигнал с ВЧ-детектора, и синей – сигнал с резистора после воздействия на диод тормозным гамма-излучением. Минимальное значение напряжения на сигнале с резистора соответствует максимальной мощности падающего на полупроводниковый элемент гамма-излучения.

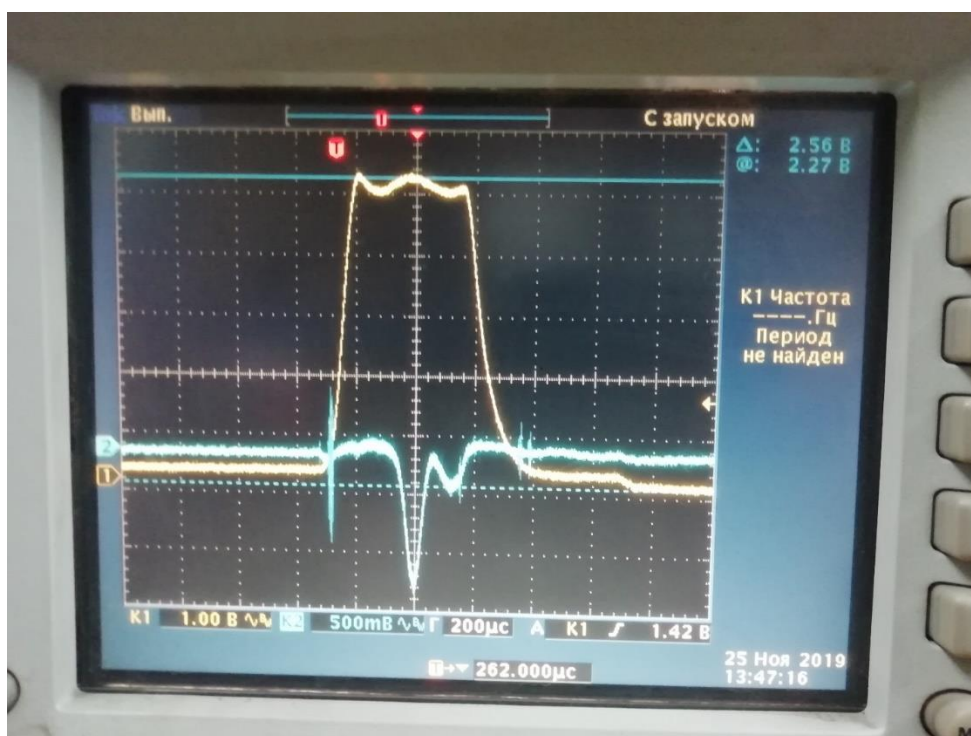


Рис. 5 Сигнал, полученный при облучении диода 1N4148, где желтая линия – сигнал с ВЧ-детектора; синий – сигнал с резистора после облучения диода тормозным излучением

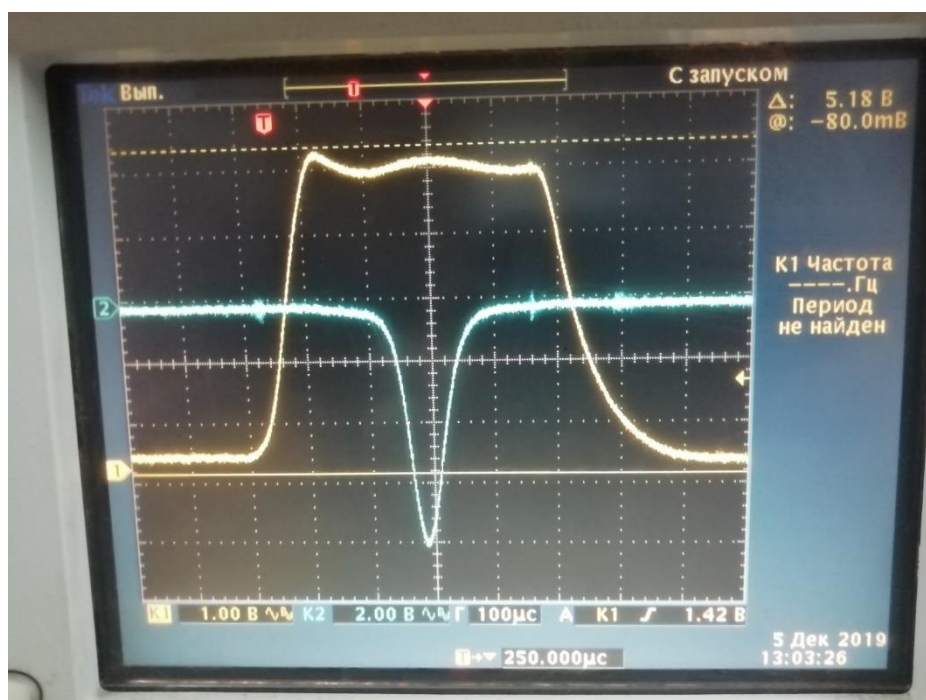


Рис. 6 Сигнал, полученный при облучении диода КД213б, где желтая линия – сигнал с ВЧ-детектора; синий – сигнал с резистора после облучения диода тормозным излучением

Результаты полученных измерений представлены в таблицах 1 и 2. На основании их были построены графики зависимости (рисунки 7 и 8).

Таблица 1 Значения напряжения на резисторе после облучения тормозным гамма-излучением от энергии электронного пучка при фиксированном значении импульсного тока 200 мА

	1N4148	HER208	Кд2136
W, МэВ	U, в	U, в	U, в
5	0,8	2,34	5,56
4,5	0,57	1,76	3,92
4,3	0,49	1,7	3,28
4	0,41	1,42	2,4
3,8	0,37	1,24	2,08
3,5	0,33	1,12	1,32

Таблица 2 Значения напряжения на резисторе после облучения тормозным гамма-излучением от импульсного тока при фиксированном значении энергии электронного пучка 5 МэВ

1N4148	
I, mA	U, в
198	0,8
225	0,86
253	0,96
282	1,02
299	1,11

HER208	
I, mA	U, в
164	1,84
200	2,18
230	2,58
267	2,82
295	2,96

Кд2136	
I, mA	U, в
139	4,2
204	5,72
238	6,24
270	7,28
300	8,12

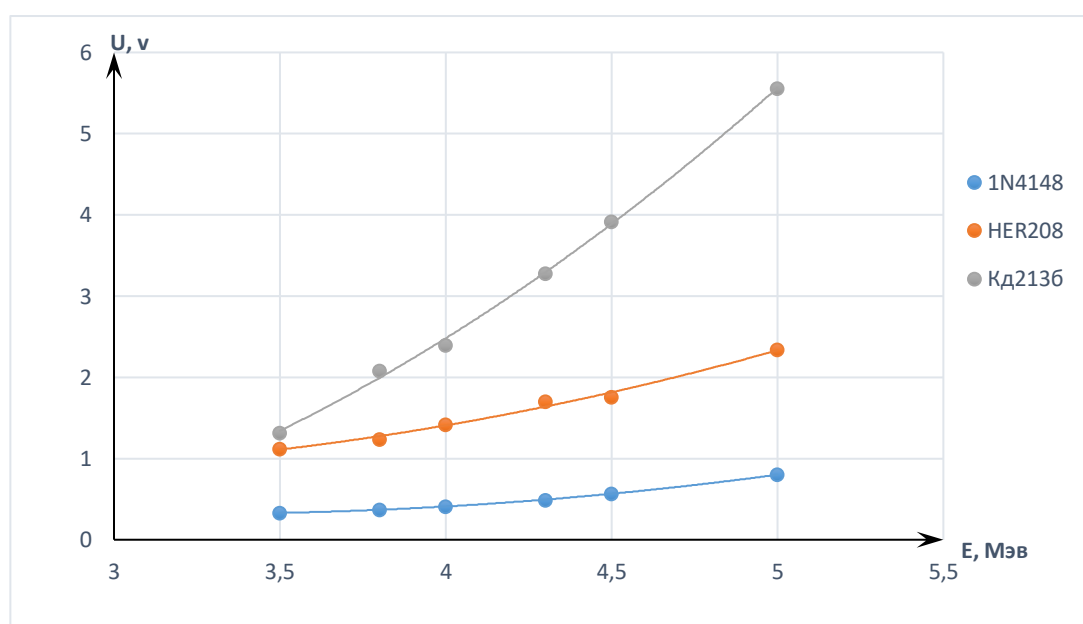


Рис. 7 Зависимость напряжения на резисторе после облучения тормозным гамма-излучением от энергии электронного пучка при фиксированном значении импульсного тока 200 мА

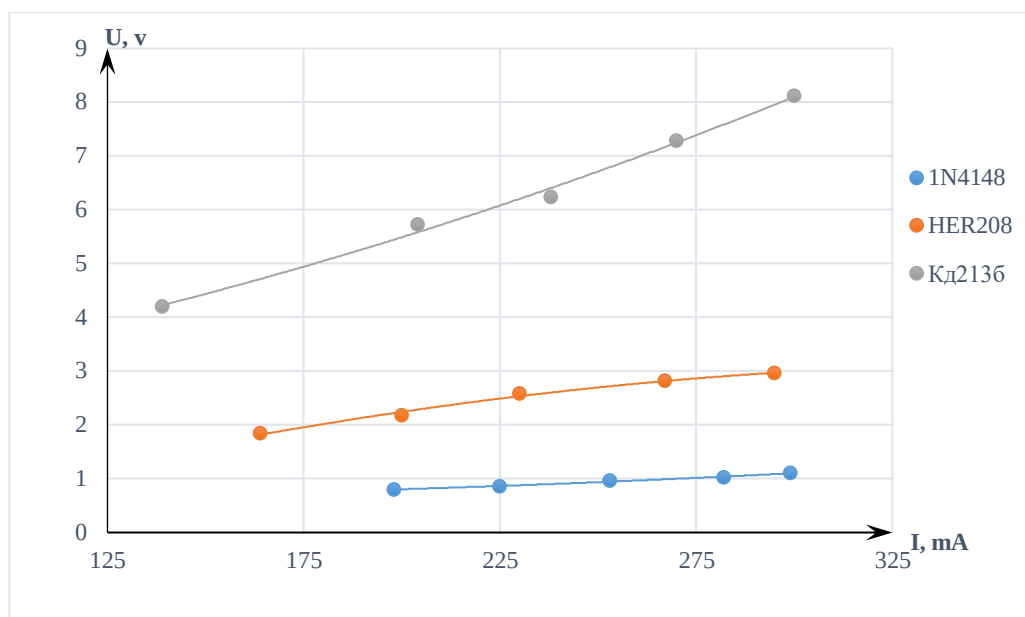


Рис. 8 Зависимость напряжения на резисторе после облучения тормозным гамма-излучением от импульсного тока при фиксированном значении энергии электронного пучка 5 Мэв

По форме сигнала на рисунках 6 и 7 видно, что мощность тормозного излучения нарастала постепенно, по мере того как пучок электронов приближался к месту, под которым был расположен диод. Кроме того, относительное положение точки минимального напряжения полностью соответствует положению датчика на конвейере. Отсюда следует то, что при помощи датчика тормозного излучения можно также определять положение электронного пучка.

3 Анализ результатов и выводы

По полученным графикам (рисунки 5 и 6) видно, что обратное напряжение на диоде линейно зависит от импульсного тока пучка. Было выявлено, что не всякий диод подходит для использования в качестве детектора тормозного излучения. Так на диоде 1N4148 мы имеем малое обратное напряжение, что в большей степени увеличивает погрешность измерений и составит проблему при определении дозы тормозного излучения с меньшим энергетическим спектром. Обратное напряжение на диоде HER208 в несколько раз больше чем у 1N4148, но возникли проблемы при больших энергиях: диод возбуждался, что не давало возможности определить пик.

Диод Кд213б показал лучший результат среди этих диодов. На основании этого можно выдвинуть предположение, что чувствительность датчика зависит от площади р-п связи.

Таким образом, действительно возможно при помощи распространенных серийных диодов получить датчик тормозного излучения, работающий в режиме реального времени. Кроме того, с его помощью возможно определить положения электронного пучка. Полученный датчик тормозного излучения также можно использовать для измерения полученной дозы излучения. Для этого необходимо его откалибровать по мощности излучения при помощи дозиметра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ауслендер В.Л. Импульсные линейные ускорители электронов серии илу производства института ядерной физики им. Будкера [Электронный ресурс] / В.Л. Ауслендер, А.А. Брызгин, В.О. Ткаченко и др. // Вестник НГУ. – 2006. – 2 (1). – С. 89-97. – Режим доступа <https://www.phys.nsu.ru/vestnik/catalogue/2006/02/06T1V2.html>.
2. Райлли Д. PANDA. Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов: справочник / Д. Райлли, Н. Энслин, Х. Смит, С. Крайнер [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.vniia.ru/rgamo/literat/>.
3. Взаимодействие электронного пучка с образцом / ЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» при ФТИ им. А.Ф. Иоффе. – Санкт-Петербург, 2010. – 15 с.
4. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985, 155 с.
5. Акимов Ю.К. и др. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. - М.: Атомиздат, 1967.