

ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗНЫХ ТИПОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РАДИАЦИИ

А. А. Лупарев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, В. Г. Кручонок, А. Е. Запольский

Измерены основные характеристики детекторов радиации из кремния, арсенида галлия и кадмий-цинк-теллурида.

Ключевые слова: полупроводниковый детектор, радиация, амплитуда сигнала, длительность сигнала, подвижность, время жизни носителей заряда, светодиодный генератор, осциллограф, ROOT CERN, преобразование Хехта.

Все измерительные системы в радиационной и ядерной физике используют различные виды детекторов, позволяющих фиксировать параметры излучения. Среди них полупроводниковые детекторы (Si, GaAs, CdZnTe), широко применяемые благодаря высокой чувствительности к частицам и фотонам, что позволяет точно определять характеристики излучения для физики частиц, медицинской диагностики и мониторинга среды.

Полупроводниковые детекторы преобразуют взаимодействие излучения с материалом в электрический сигнал, параметры которого (амплитуда, длительность, форма) зависят от характеристик носителей заряда и примененного электрического поля.

Основной целью исследования являлось измерение амплитуды и длительности сигналов, возникающих в полупроводниковых детекторах при воздействии световых импульсов, для дальнейшего расчета подвижности и времени жизни носителей заряда в материале детектора. Для выполнения поставленных задач необходима экспериментальная установка, производство сбора и анализа данных с применением цифрового осциллографа и специализированного программного обеспечения ROOT CERN [1].

Все практические исследования характеристик полупроводниковых детекторов требуют построения установки, позволяющей фиксировать параметры сигналов при воздействии на детектор контролируемыми импульсами. В данной работе была собрана схема с MOSFET-ключом, ограничительным резистором и светодиодом, позволяющая генерировать световые импульсы частотой 25 Гц и длительностью 100 нс. Напряжение источника питания составляло 11,7 В, сопротивление резистора – 5 Ом. Схема установки представлена на рис. 1.

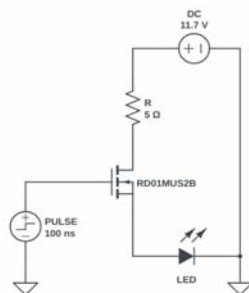


Рис. 1. Схема установки для исследования детектора

Для измерений использовался осциллограф, фиксирующий отклик детекторов GaAs, Si и CdZnTe на световые импульсы. При подаче смещающего напряжения на детектор и его освещении светодиодом измерялись амплитуда, длительность и задержка сигнала относительно импульса генератора. Измерения проводились при пошаговом увеличении напряжения до момента насыщения, когда дальнейший рост напряжения не влиял на форму сигнала, что позволяло оценить работу детектора в линейном и насыщенном режимах. На рис. 2 показана осциллограмма сигналов: зеленым – импульс генератора, желтым – сигнал с детектора при приложенном напряжении.

В процессе эксперимента данные систематически записывались для последующего анализа. Амплитуда сигнала росла с ростом приложенного напряжения, а длительность импульса сокращалась до насыщения. Это позволило оценить динамические характеристики детекторов, необходимые для расчета подвижности и времени жизни носителей заряда.

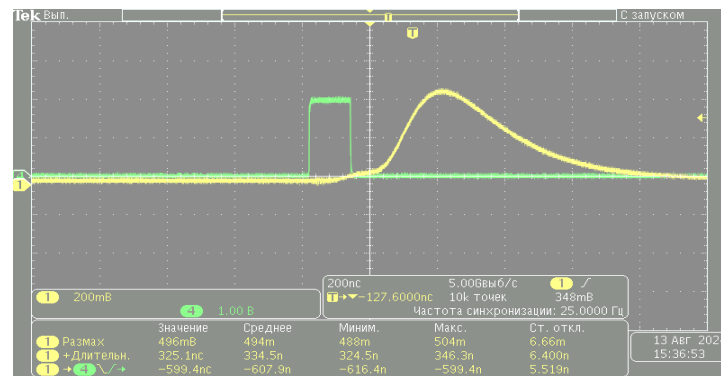


Рис. 2. Осциллограмма сигнала с детектора и генератора

После завершения экспериментов данные были обработаны в специализированном программном обеспечении (ПО) ROOT CERN, где производилась подгонка экспериментальных кривых для расчета характеристик материала детектора. Эти данные легли в основу анализа работы полупроводниковых детекторов под действием световых импульсов в условиях контролируемого эксперимента.

Для анализа характеристик полупроводниковых детекторов были построены графики зависимости амплитуды и длительности сигналов от приложенного напряжения, с помощью ROOT CERN, с последующим фитированием по уравнению Хехта (1) [2]:

$$CCE = \frac{\mu\tau U}{d^2} \left(1 - e^{-\frac{d^2}{\mu\tau U}} \right), \quad (1)$$

где μ – подвижность носителей заряда, $\text{см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$; τ – время жизни, с; U – напряжение, В; d – толщина детектора, см.

Для определения μ использовалась зависимость (2):

$$t = \frac{d^2}{\mu U}, \quad (2)$$

где t – время, измеренное по длительности сигнала.

Фитирование выполнялось в ROOT CERN, после чего подвижность и время жизни вычислялись по параметрам фитированных кривых [3].

Пример графика длительности и сигнала с фитами приведен на рис. 3.

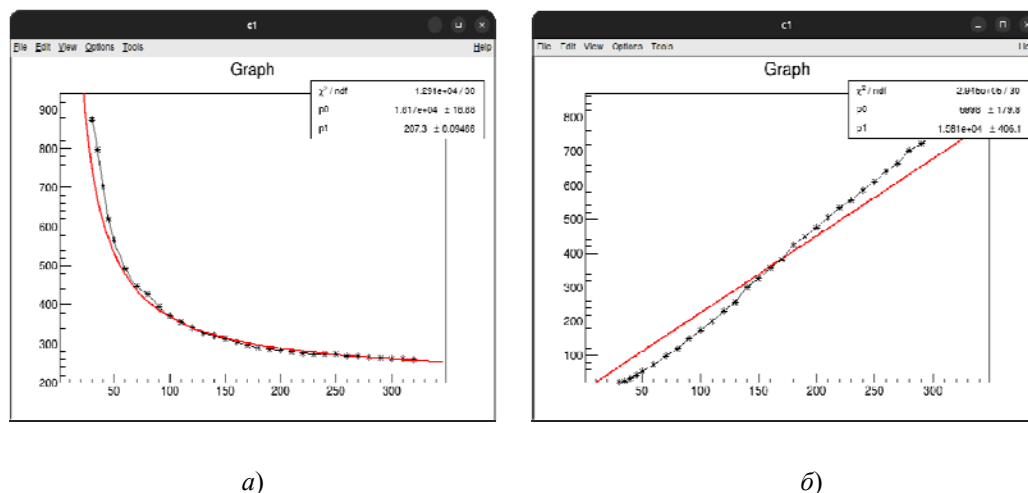


Рис. 3. Фитирование в ROOT CERN:
а – по длительности сигнала; б – по амплитуде сигнала

Для детектора CdZnTe (толщина 900 мкм) расчеты показали подвижность $\mu = 500,9 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$ и время жизни $\tau = 2,31 \text{ нс}$. Аналогичные расчеты проведены для GaAs и Si. Результаты изложены в таблице.

Результаты расчета подвижности и времени жизни носителей заряда

Детектор	Подвижность μ , $\text{см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$	Время жизни τ , нс
GaAs	9920	4,4
Si (e)	649	17
Si (h)	633	19
Si (h, Am241)	601	183
CdZnTe	501	2,3

Полученные данные показывают различия в характеристиках материалов: GaAs обладает высокой подвижностью и малым временем жизни, Si имеет более низкую подвижность при большем времени жизни, а CdZnTe демонстрирует минимальные значения по обоим параметрам. Эти результаты важны для выбора детекторов в практических приложениях, требующих высокой скорости отклика или длительного времени жизни носителей.

Литература

1. Учебное пособие по ROOT от CERN. – URL: <https://root.cern.ch/root/html/doc/guides/users-guide/ROOTUsersGuideA4.pdf/> (дата обращения: 26.06.2025).
2. Акимов, Ю. К. Полупроводниковые детекторы радиоактивного излучения : учеб.- метод. пособие / Ю. К. Акимов. – Дубна : ОИЯИ, 2009. – 277 с.
3. Фитирование в ROOT CERN. – URL: https://root.cern/doc/master/group__tutorial__fit.html/ (дата обращения: 26.06.2025).