

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рощенко П.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ловшенко И.Ю. – ст. преподаватель

Рассматриваются вопросы регистрации ядерного излучения с помощью полупроводниковых детекторов. Представлены результаты моделирования воздействия тяжелой заряженной частицы с величиной линейной передачи энергии равной $1,81 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ и $55,0 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$, соответствующей ионам азота $^{15}\text{N}^{+4}$ с энергией $E = 1,87 \text{ МэВ}$ и ксенона $^{131}\text{Xe}^{+35}$ с энергией $E = 1217 \text{ МэВ}$, на электрические характеристики приборной структуры полупроводникового микрострипового детектора ядерных излучений.

При исследовании в физике высоких энергий применяется большое количество методов регистрации частиц, ни один из которых не является универсальным. Для выбора метода необходимо учитывать такие критерии, как практическая реализуемость, точность и ограничения применения. Долгое время одним из основных считался метод регистрации частиц с помощью газонаполненных координатных детекторов (ГКД). Однако их эксплуатационные характеристики чаще оказываются недостаточными для удовлетворения всех потребностей современных задач. Частично на смену ГКД пришли полупроводниковые детекторы ядерных излучений (ПДЯИ), обеспечивающие наилучшую точность определения координаты частицы в детектирующих системах, способные работать в сильных магнитных полях, и в достаточно жестких радиационных условиях [1, 2].

При определенных условиях траекторию пролетающей заряженной частицы (ЗЧ) можно сделать видимой. Этот способ реализуется в, так называемых, трековых детекторах – группе детекторов, в которых при прохождении ЗЧ возникает визуально наблюдаемый след (трек) этой частицы.

Ключевыми параметрами трековых ПДЯИ являются:

- Пространственное разрешение — точность локализации места прохождения частицы в детекторе.
- Временное разрешение — минимальный интервал времени между прохождением двух частиц, которые регистрируются как отдельные события.
- Мёртвое время — интервал времени после регистрации частицы, в течение которого детектор остается нечувствительным к регистрации следующей частицы.
- Эффективность регистрации — вероятность регистрации частицы при попадании её в рабочий объем детектора.

Для точной фиксации пространственных координат трека частицы применяются полупроводниковые микростриповые детекторы (ПМД), представляющие собой пластины кристаллического полупроводникового материала, на одну или обе поверхности которых наносятся тонкие электроды (стрипы), отстоящие друг от друга на определенное расстояние.

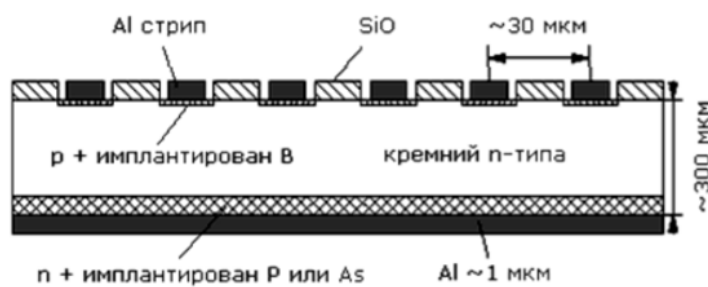


Рисунок 1 – Устройство кремниевого микрострипового детектора

На рисунке 1 представлена одна из возможных конструкций ПМД [3], для которой значение пространственного разрешения достигает 10 мкм , а временное разрешение 10^{-8} с .

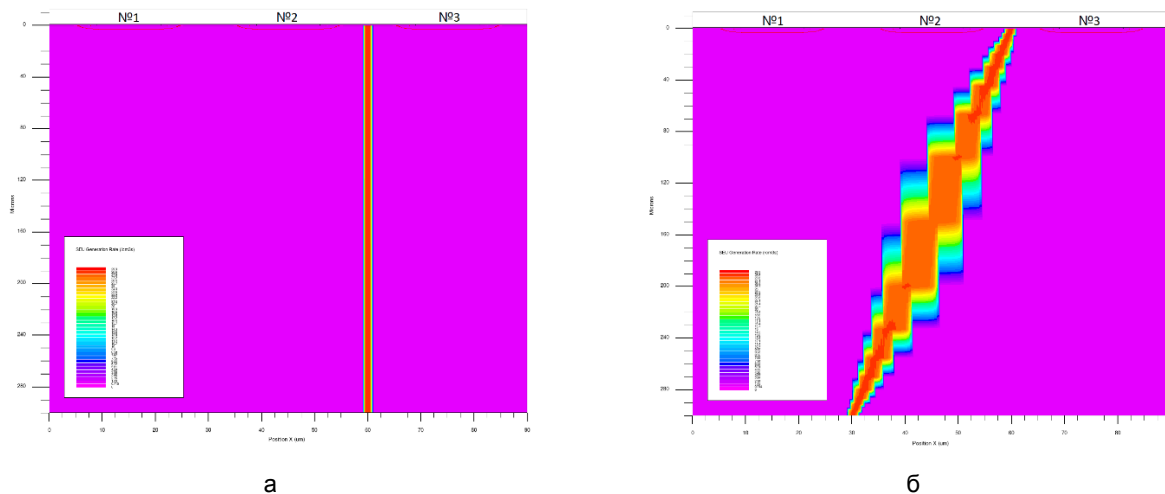
Недостатком ПМД является малый размер чувствительной области, что не позволяет применить их для измерения частиц высоких энергий.

Применение систем автоматизированного проектирования (САПР, САД) в микроэлектронике является обязательным на всех этапах

проектирования технологии/прибора/схемы/системы, т. к. позволяет значительно сократить время разработки и исследования, повысить точность расчетов и выбрать наилучшие варианты для реализации.

С помощью программного комплекса компании Silvaco [4], который является стандартом в области приборно-технологического моделирования изделий микроэлектроники, проведено исследование воздействия тяжелой заряженной частицы (ТЗЧ) на электрические характеристики приборной структуры ПМД при вариации угла падения α (точка входа расположена между стриповыми контактами (СК) №2 и №3). Условия моделирования: напряжение на СК №1 - №3 равно 0 В, напряжение на подложке — 50 В; значение температуры окружающей среды 303 К. В качестве ТЗЧ выбраны частицы с линейной передачей энергии (ЛПЭ) равной $1,81 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$ и $55,0 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$, соответствующей ионам азота $^{15}\text{N}^{+4}$ с энергией $E = 1,87 \text{ МэВ}$ и ксенона $^{131}\text{Xe}^{+35}$ с энергией $E = 1217 \text{ МэВ}$.

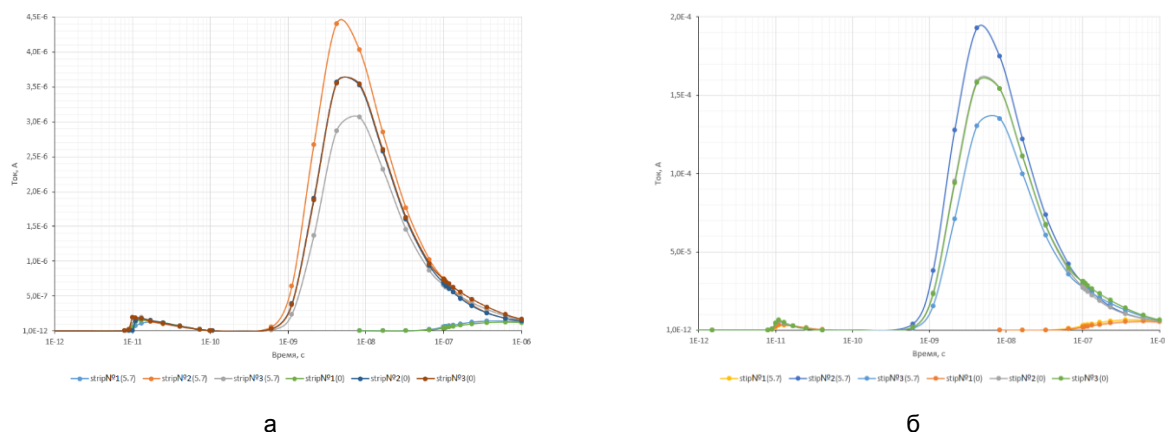
Воздействие на приборную структуру достигает пика в момент времени 10 пс и имеет гауссов временной профиль с характерным значением 1 пс. Генерация носителей происходит по всей длине трека частицы (от $y = -1$ мкм до $y = 301$ мкм) в пределах номинального радиуса 0,05 мкм оси трека при плотности 10^{18} пар электрон-дырка на см^3 . Скорость генерации носителей заряда вдоль трека частиц при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 5,7^\circ$ представлена на рисунках 2,а и 2,б соответственно.



а) $\alpha = 0^\circ$; б) $\alpha = 5,7^\circ$

Рисунок 2 – Скорость генерации носителей заряда вдоль трека частиц

На рисунках 3,а и 3,б представлены временные зависимости тока через СК №1 – №3 при воздействии на них ТЗЧ азота $^{15}\text{N}^{+4}$ и ксенона $^{131}\text{Xe}^{+35}$ соответственно.



а) $^{15}\text{N}^{+4}$; б) $^{131}\text{Xe}^{+35}$

Рисунок 3 – Временные зависимости тока через СК

Показано, что при угле $\alpha = 0^\circ$ величины тока через СК практически совпадают независимо от ТЗЧ. В момент времени $t = 4,2$ нс токи через СК №2 и №3 при воздействии $^{15}\text{N}^{+4}$ равны $I_2 = 3,57$ мкА и $I_3 = 3,55$ мкА, а при $^{131}\text{Xe}^{+35}$ — $I_2 = 158$ мкА и $I_3 = 159$ мкА, соответственно. Величина этих токов более чем на 8 порядков превышает ток покоя (10^{-14} А). За время 1 мкс система не успевает вернуться в первоначальное состояние. При изменении угла α происходит перераспределение тока между СК. Так, при $\alpha = 5,7^\circ$ в момент времени $t = 4,2$ нс токи при воздействии $^{15}\text{N}^{+4}$ равны $I_2 = 4,41$ мкА и $I_3 = 2,87$ мкА (отношение $I_2 / I_3 = 1,537$), а при $^{131}\text{Xe}^{+35}$ — $I_2 = 193$ мкА и $I_3 = 130$ мкА (отношение $I_2 / I_3 = 1,485$).

Список использованных источников:

1. Меркин, М.М. Разработка, создание и применение кремниевых детекторов в физике высоких энергий и физике космических лучей : автореферат / М.М. Меркин – М. : МГУ, 2012. – 285 с.
2. Короткова, Н.А. Оптимизация параметров кремниевых микроstriповых детекторов : автореферат / Н.А. Короткова – М. : МГУ, 2006. – 141 с.
3. Родионов, Ю.А. Микроэлектронные датчики и сенсорные устройства : учеб. пособие / Ю. А. Родионов. – Минск : БГУИР, 2019. – 300 с.
4. Silvaco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silvaco.com>