

10270

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУЧ. 1 м
В-191

28/II-74
13 - 10270

761/2-74

Э.В.Васильева, К.Добреску, М.М.Фэникэ

МНОГОЦЕЛЕВЫЕ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

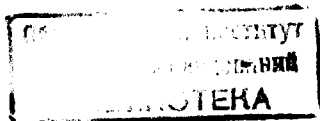
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

1976

13 - 10270

Э.В.Васильева, К.Добреску, М.М.Фэникэ

**МНОГОЦЕЛЕВЫЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**



Многоцелевые полупроводниковые детекторы и их использование

Применение классических полупроводниковых детекторов предполагает измерение в каждом эксперименте одного типа частиц или одного канала реакций. Для получения информации одновременно о нескольких типах частиц необходимы несколько детекторов или же, при использовании одного детектора, - последовательные измерения в разных режимах этого детектора. При обработке результатов таких измерений требуется коррекция, которая сводится к решению сложных математических задач. Таких сложностей не возникает при проведении эксперимента с предлагаемым многоцелевым детектором.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Основная часть полупроводникового детектора ядерных частиц - "обедненный" носителями тока /чувствительный/ слой, в котором падающие ядерные частицы теряют всю свою энергию или часть ее, создавая электронно-дырочные пары. Рождающиеся заряды собираются электрическим полем, вызывая импульс, амплитуда которого пропорциональна энергии, потерянной падающей частицей /рис. 1/. Можно вычислить различные параметры, характеризующие полупроводниковый детектор, среди которых наиболее важным является энергетическое разрешение ΔE /рис. 2/, являющееся функцией следующих величин:

- разброса средних значений числа появившихся электронно-дырочных пар,
- изменения энергии,
- шумов детектора, основной из причин которых является обратный ток детектора,
- шумов электроники.

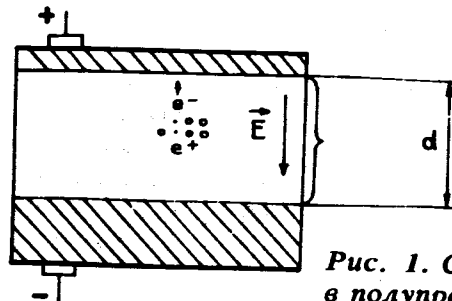


Рис. 1. Общая схема перехода в полупроводниковом детекторе.

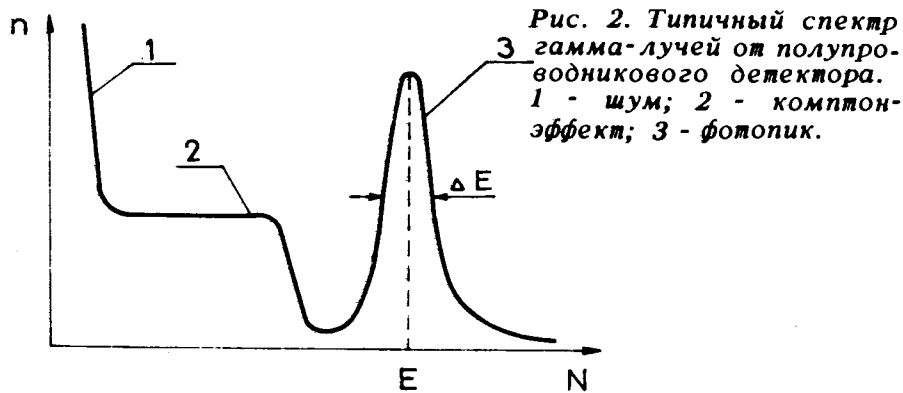


Рис. 2. Типичный спектр гамма-лучей от полупроводникового детектора. 1 - шум; 2 - комpton-эффект; 3 - фотопик.

Другой параметр, который характеризует детектор, - линейная зависимость сигнала детектора от энергии регистрируемых частиц. Эта зависимость может быть получена только при определенных ширине обедненного слоя и эффективности сбора заряда.

Эффективность сбора заряда можно определить из следующей формулы:

$$\frac{Q}{N_e} = \frac{\tau}{t_2} [1 - \exp(-\frac{t_2^2}{\tau})],$$

где N_e - число носителей, Q - величина заряда, τ - время жизни носителей, t_2 - время пролета носителей до электрода.

При постоянном поле E по всей ширине обедненного слоя

$$t_2 = \frac{d}{\mu E},$$

где μ - подвижность носителей, E - электрическое поле, d - ширина обедненного слоя.

Перечисленные характеристики подчеркивают преимущества использования полупроводников для детектирования ядерных частиц, обусловленные такими свойствами, как небольшая энергия ионизации, высокий коэффициент поглощения /рис. 3/, большая подвижность носителей тока. Известные сегодня типы детекторов можно классифицировать следующим образом.

1. Однородные детекторы, называемые детекторами собственной проводимости, представляющие собой однородные кристаллы /например, Ge или Si / с двумя электродами, к которым приложено постоянное напряжение. Чувствительная область детектора содержит равновесные носители, вызывающие ток при комнатной температуре. Поэтому однородные детекторы необходимо охлаждать. В настоящее время кажется перспективным изготовление и использование детекторов из CdTe, GaAs, PbTe.

2. Детекторы поверхностно-барьерные и детекторы с p-n-переходами. Ширину их обедненного /чувствительного/ слоя можно определить по формуле:

$$W = \left[\frac{2\epsilon(V+\phi)}{ne} \right],$$

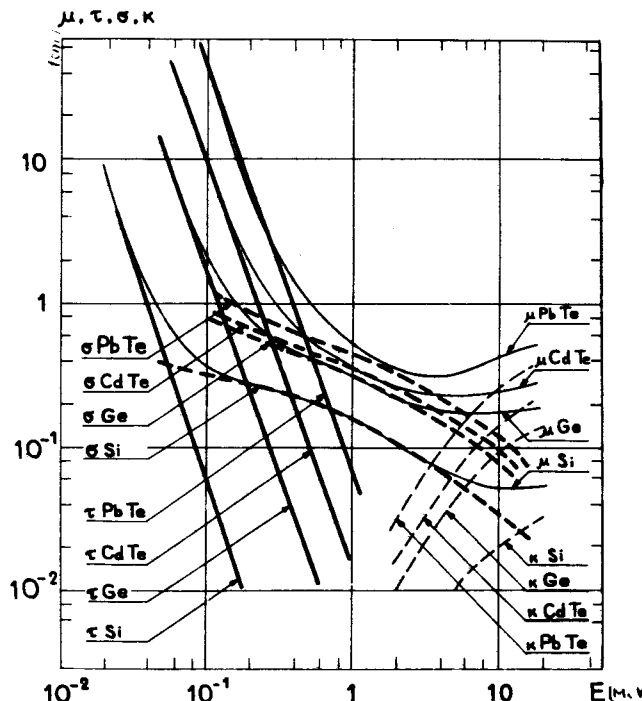


Рис. 3. Зависимость распределения подвижности ионов внутри полупроводников от энергии регистрируемых частиц.

где ϵ - диэлектрическая постоянная материала детектора, V - обратное рабочее напряжение, ϕ - высота барьера неполяризованного перехода, n - число носителей.

Параметры детектора тем лучше, чем меньше n и выше V .

3. Детекторы $p-i-n$, в которых чувствительным является i -слой, занимающий существенную часть объема детектора. Обеднение его наступает при относительно низких напряжениях смещения /порядка нескольких десятков-сотен вольт/. Толщина этого слоя определяется глубиной, на которую проведен дрейф ионов.

Современные эксперименты требуют создания и применения таких детекторов, которые могут регистрировать сразу несколько видов ядерного излучения.

Из приведенной классификации и всего сказанного выше видно, что одиночный счетчик такого многоцелевого детектора можно представить как сумму нескольких детекторов типа 2 или 3 в одном кристалле. Такой детектор

- позволяет регистрировать несколько видов ядерных частиц в широком интервале энергий;
- меняет свои параметры со временем согласно заданной закономерности и в ограниченных пределах;
- имеет большую поверхность детектирования и обеспечивает повторяемость результатов;
- дает информацию, обсчет которой на ЭВМ требует минимальных затрат машинного времени при минимальном объеме используемой памяти.

Таким образом, с помощью одной измерительной камеры /см., например, рис. 4/ можно исследовать одновременно два или более каналов реакций с регистрацией разных частиц. Применение любого из известных классических детекторов предполагает, что в каждом эксперименте измеряется только один канал реакции или один тип частиц.

Сравнение же экспериментов по разным каналам реакций связано с большими ошибками абсолютизации независимых измерений. Таких сложностей не возникает при проведении эксперимента с предлагаемым многоцелевым полупроводниковым детектором, который позволяет при постоянной геометрии и одновременно получать

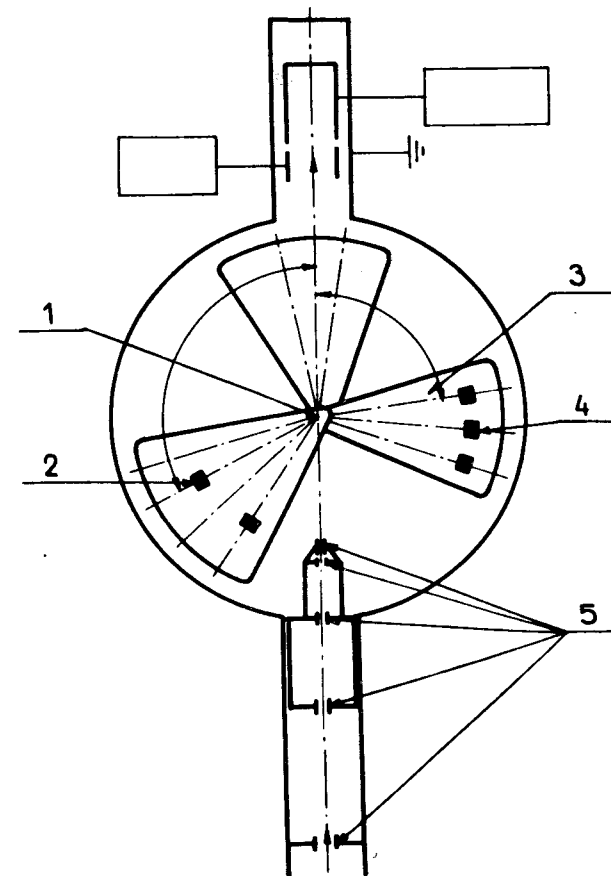


Рис. 4. Камера с многоцелевым детектором, установленная на пучке заряженных частиц. 1 - конвертор, 2,4 - детекторы, 3 - державка для детекторов, 5 - коллиматор.

информацию о разных каналах изучаемых процессов, причем в некоторых случаях такую, которую нельзя извлечь с помощью обычных детекторов.

Однако каждый счетчик во многоцелевом полупроводниковом детекторе должен соответствовать исследуемому процессу по диапазону энергии, по типу и по плотностям потоков регистрируемых частиц, а также по ха-

рактору съема с него информации. Соответственно, должен осуществляться выбор типа полупроводника для детектора, нужного числа счетчиков во многоцелевом детекторе и используемых в счетчике переходов, так же как и выбор используемой электроники, объема памяти и быстрействия ЭВМ.

На рис. 5а и 5б представлена блок-схема, с помощью которой изучался полупроводниковый многоцелевой детектор, использовавшийся для одновременной регистрации α -частиц, протонов, γ -лучей и нейтронов. На рис. 6 приведена схема одного из парциальных счетчиков многоцелевого полупроводникового детектора. В этом одиночном счетчике обычный диффузионный р-п-переход ^{10}B

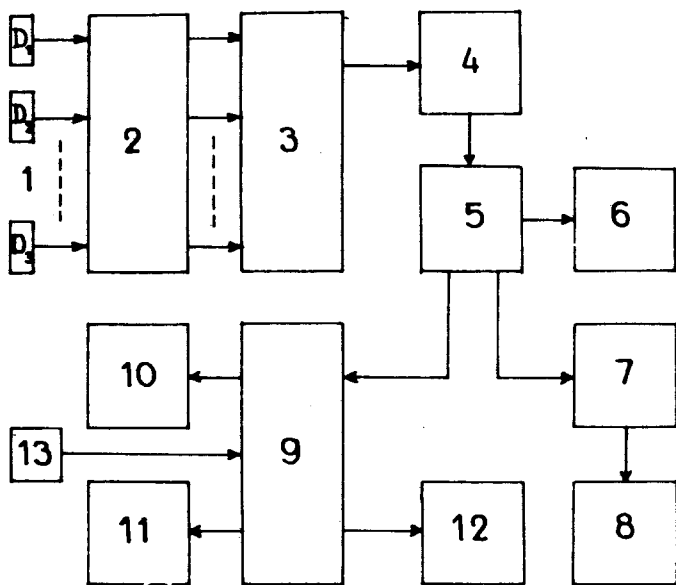


Рис. 5а. Блок-схема многоцелевого детектора. 1 - детекторы, 2 - распределитель напряжения, 3 - коммутатор, 4 - предусилитель, 5 - усилитель, 6 - анализатор, 7 - повторитель, 8 - пересчетное устройство, 9 - вычислительная машина, 10 - дисплей, 11 - X-Y самописец, 12 - цифрпечать, 13 - память ЭВМ.

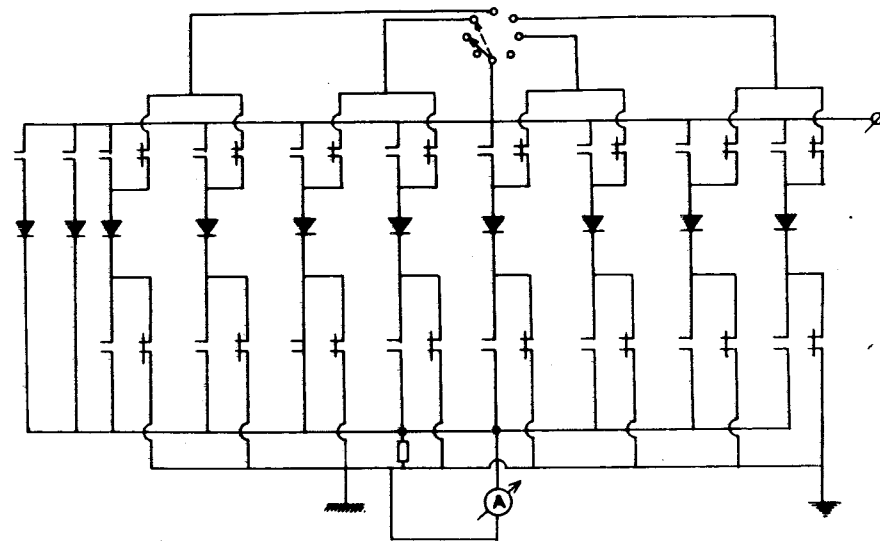


Рис. 5б. Коммутатор распределения напряжения для многоцелевого детектора.

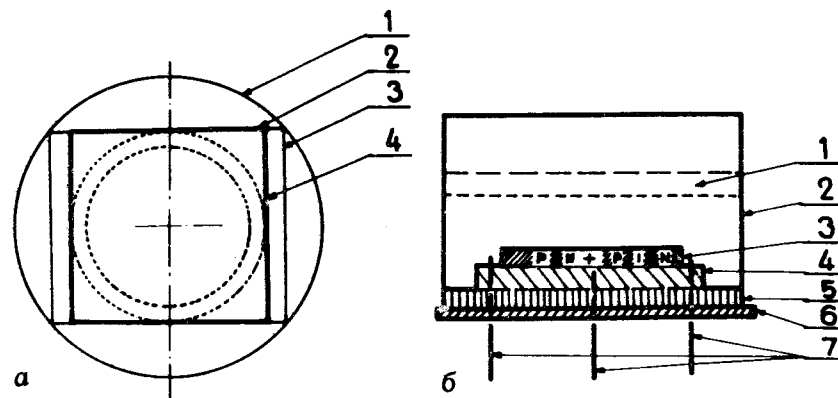


Рис. 6. Одиночный компаунд-детектор /счетчик/. а. 1 - державка; 2 - комплекс детекторов; 3 - изолятор; 4 - золотое кольцо. б. 1 - конвертор; 2 - крышка; 3 - детекторы; 4 - изолятор; 5 - державка-изолятор; 6 - корпус детектора; 7 - контакты для подачи напряжения.

сочетается с поверхностно-барьерным переходом, а во время облучения за счет реакции $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ создается и Si(Li) - детектор, чувствительный также к γ -лучам.

Сейчас в физическом эксперименте уже применяются аналогичные одиночные микродетекторы, представленные на рис. 7, которые могут использоваться и для медицинских целей /2,3/.

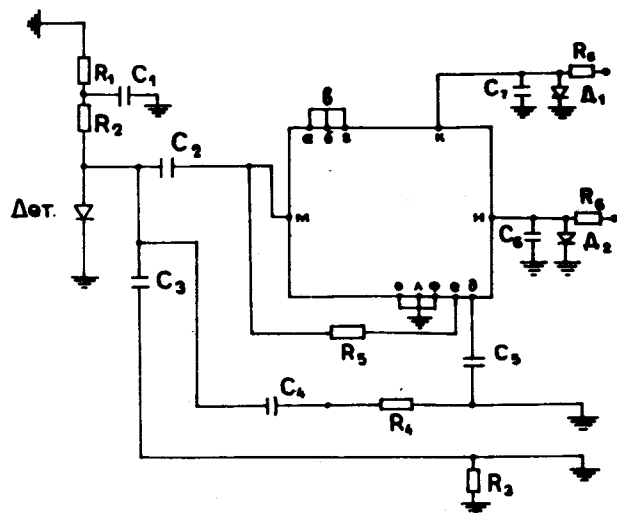
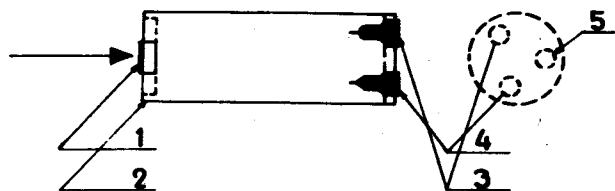


Рис. 7. Одиночный компаунд-детектор с предусилителем.
а. 1 - детектор; 2 - корпус; 3 - высокое напряжение; 4 - ввод сигнала от генератора; 5 - вывод сигнала.
б. Схема питания одиночного компаунд-детектора с предусилителем.

В настоящее время наши многоцелевые полупроводниковые микродетекторы могут работать в нейтронных потоках $10^7 - 10^{14}$ н/см²с с разрешением 15-45 кэВ.

Нам представляется перспективным использование как многоцелевых полупроводниковых, так и одиночных микродетекторов в следующих областях:

- а/ в биологических исследованиях ядерными методами,
- б/ в нейтронотерапии,
- в/ в нейтрондозиметрии,
- г/ при обеспечении безопасности работы вблизи ядерно-физических установок и при оптимизации рабочих условий на ядерных реакторах.

В заключение авторы выражают благодарность К.Постолаке, М.Негряну /ИИЭК, Бухарест/ и А.М.Говорову /ОИЯИ/ за помощь и полезные обсуждения.

Литература

1. Ж.Тангуй. *Detection des particules α par semi-conducteurs. Application au controle de l'extraction du Pu.* CEA-R-3442, 1969.
2. И.Пурика, М.Фэникэ, К.Добреску, М.Негряну. р-п-переходы и их использование в нейтронном пучке. В трудах симпозиума "Опыт эксплуатации и использования исследовательских реакторов". Предеал, 1974. ИАФ, Бухарест, 1975.
3. J.Trousil, H.Frank, J.Seda. *Silicon diodes for fast neutron dosimetry.* Biomedical dosimetry. AIEA-1975, Vienna.
4. М.Фэникэ, А.Мештер, П.Штюка. р-п-переходы и потоки ядерных частиц. *Studii si cercetari*, 3 (28), 1976.
5. Rene Lancon. *Preparation et etudes des proprietes des diodes au tellurure de plomb et au tellurure de cadmium en vue d'une utilisation eu spectroscopie.* CEA-R-3829, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 декабря 1976 года.