

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ
ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ

А.А.Петушнов, В.А.Манчук

Институт гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР.
Москва, СССР.

The possibility of application of pulse rate measurements for x- and gamma-ray dosimetry with silicon radiation detectors was investigated. It was shown that this mode of operation ensures the sensitivity of 10^{-6} r.min⁻¹ for the detectors used in this work, and it is possible to decrease the energy dependence of sensitivity, for use in many radiation protection investigations by increasing the discrimination threshold. The general expression which can be used for rough estimates of sensitivity for these detectors was determined.

The background count rate of surface barrier detectors with different sensitive area from 0.2 to 60 cm² in alpha particles energy interval 3-9 MeV was determined. It was suggested for health physics and radiation protection monitoring of alpha-particles and simultaneous spectrometry to use the mosaic probe with large sensitive area (~ 60 cm²) which consists of many parallel united detectors one of which could be eliminated for spectrometric measurements.

Теперь уже хорошо известно, что неоднородные кремниевые детекторы ядерных излучений во многих случаях обеспечивают преимущества при использовании их для дозиметрии и радиометрии в исследованиях по радиационной защите. Тем не менее, ряд направлений возможного их применения изучен еще недостаточно, что и явилось основанием для настоящей работы.

ДОЗИМЕТРИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ.

Служба радиационной безопасности для контроля радиационной обстановки нуждается в малогабаритном дозиметре рентгеновского и гамма излучения, обеспечивающем измерения в широком диапазоне мощностей экспозиционных доз. Однако, интегральный режим работы таких детекторов, подробно изученный рядом авторов (1,2,3 и др.), обладает низкой чувствительностью, ограничивающей использование их для оценки радиационной обстановки. С целью изучения возможности создания дозиметра с более высокой чувствительностью, выполнены исследования счетного режима работы золото-кремниевых

и кремний-литиевых детекторов. Измерялась их чувствительность (выраженная в скорости счета на единицу экспозиционной дозы) и зависимость ее от амплитудного порога регистрации импульсов, а также обсуждается способ оценки величины чувствительности расчетным путем.

Скорость счета на единицу экспозиционной дозы может быть выражена соотношением:

$$\frac{N_0}{PS} = \frac{1 - e^{-\mu_{Si} d}}{E_{\phi} \mu_{\text{км возд.}}}; \quad (1)$$

где N_0 - скорость счета при уровне дискриминации, равном нулю; P - мощность экспозиционной дозы; E_{ϕ} - энергия фотонов; μ_{Si} - линейный коэффициент ослабления в кремнии; $\mu_{\text{км возд.}}$ - массовый коэффициент передачи энергии в воздухе; d - ширина чувствительной области, S - площадь чувствительной поверхности детектора. Представляет интерес влияние величины порога регистрации (уровня амплитудной дискриминации) импульсов на чувствительность и "ход с жесткостью".

Обозначим через $N_{\text{п}}$ скорость счета при пороге регистрации $E_{\text{п}}$. В интервале энергий фотонов $E_{\phi} = (0, 1+3) \text{ МэВ}$ в кремнии преобладает комптоновский эффект взаимодействия. Тогда, в случае однократного рассеяния и при толщине чувствительного слоя, превосходящей максимальный пробег вторичных электронов, интегральный спектр импульсов в первом приближении может быть представлен прямой линией, пересекающей энергетическую ось в точке максимальной энергии комптоновских электронов E_{max} , а ось скорости счета - в точке $N_0 \cdot \frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{max}}}$. Аналитически такая линия представляется выражением: $N_{\text{п}} = N_0 \left(1 - \frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{max}}}\right)$. Тогда зависимость чувствительности от уровня дискриминации можно выразить соотношением:

$$\frac{N_{\text{п}}}{PS} = \frac{1 - e^{-\mu_{Si} d}}{E_{\phi} \mu_{\text{км возд.}}} \left(1 - \frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{max}}}\right); \quad (2)$$

Соответствующие экспериментальные исследования выполнены с золото-кремниевыми и кремний-литиевыми детекторами, отличающимися толщиной чувствительного слоя.

Измерялись дифференциальные спектры вторичных электронов, по которым строились кривые зависимости чувствительности от уровня дискриминации для шести различных значений толщины чувствительной области в интервале (0,04+0,2) см.

На рис. 1 приведены экспериментальные результаты для толщины 0,08 и 0,2 см в сравнении с данными, рассчитанными по формуле (2).

Значения чувствительности, полученные в эксперименте для всех использованных толщин чувствительного слоя, отличаются от расчетных на фактор 2 и меньше, а само отклонение носит систематический характер. Такое расхождение определяется, по-видимому, смещением центра тяжести реального спектра импульсов по отношению к идеализированному в область низких энергий вторичных электронов. По этой же причине расхождение проявляет тенденцию к уменьшению при снижении порога регистрации, а значения чувствительности при пороге, равном нулю, полученные экстраполяцией экспериментальных кривых, отличаются от расчетных не более, чем на 30+40%, что находится в пределах экспериментальной ошибки измерения и погрешности в определении величины толщины чувствительного слоя.

Следовательно, формулу (2) можно использовать для грубой оценки чувствительности счетного режима работы кремниевых детекторов (с толщиной чувствительного слоя 0,04 см) в качестве дозиметров.

С целью исследования порога регистрации импульсов на "ход с жесткостью", по формуле (2) строились кривые зависимости чувствительности от энергии фотонов при различных уровнях дискриминации (рис. 2). Как показано на рисунке, "ход с жесткостью" существенно

зависит от уровня дискриминации, что дает возможность понижать его в известных пределах (для интервала энергий 0,3+3 Мэв вплоть до $\pm 25\%$), правда, за счет некоторого уменьшения чувствительности, и применять кремниевые детекторы в дозиметрии полей с небольшим градиентом качества. На рис. 2. приведены экспериментальные значения дозовой чувствительности для энергий фотонов 0,661 и 1,25 Мэв. Из рисунка видно, что при переходе от энергии 0,661 Мэв к 1,25 Мэв с порогом регистрации 0,15 Мэв чувствительность уменьшается в $(2,0 \pm 0,4)$ раза по сравнению с 1,9, полученным в расчете, а при пороге 0,3 Мэв - в $(1,4 \pm 0,3)$ раза против расчетного 1,3.

Одним из критериев, определяющих область применения дозиметра, является интервал мощностей доз, доступных измерению. Максимальный уровень регистрируемых кремниевым детекторами в счетном режиме мощностей доз ограничивается разрешающим временем используемых импульсных электронных схем и составляет около $(0,1-0,01)$ р·мин⁻¹. Нижний предел чувствительности определяется наряду с геометрическими параметрами детектора (площадь и толщина чувствительной области), его фоновой скоростью счета. Минимальная мощность экспозиционной дозы, доступная измерению использованными в данной работе детекторами, составляет 10^{-6} р·мин⁻¹.

Полученные данные согласуются с теми отрывочными сведениями относительно чувствительности, которые опубликованы в работах 4,5.

Результаты настоящей работы показали, что сочетание интегрального и счетного режимов дает возможность выполнять измерения в диапазоне мощностей экспозиционных доз $(10^{-6} + 10^2)$ р·мин⁻¹ с помощью одного и того же детектора (весьма малых размеров), а выбором порога регистрации установить "ход с жесткостью", не превышающей $\pm 25\%$ от среднего значения чувствительности в интервале энергий (0,3+3) Мэв.

РАДИОМЕТРИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЗОЛОТО-КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ.

Измерения малых активностей и идентификация их изотопного состава связаны с использованием аппаратуры, обладающей хорошим энергетическим разрешением и высокой чувствительностью к конкретному виду излучения. Как известно, чувствительность радиометрической аппаратуры определяется геометрической и физической эффективностью регистрации излучения и фоновой скоростью счета, которая у полупроводниковых детекторов, очевидно, в определенной степени зависит от условий их изготовления и радиационной частоты конструкционных материалов.

Проведено исследование фоновой скорости счета отечественных поверхностно-барьерных золото-кремниевых детекторов с площадью рабочей поверхности (S) от 0,2 до 9 см² и мозаичных структур на их основе с площадью до 60 см², а также диффузионно-дрейфовых кремний-литиевых детекторов с $S=0,3+3$ см² и толщиной чувствительной области от 0,4 до 2 мм. Энергетическое разрешение отдельных детекторов при комнатной температуре (+20°C) составляло от 30 до 160 Кэв.

Обнаружено, что в области энергии 3+9 Мэв, являющейся рабочей областью для альфа-спектрометрии радиоактивных изотопов, интегральная фоновая скорость счета как отдельных золото-кремниевых детекторов с площадью рабочей поверхности от 1 до 9 см², так и группы параллельно соединенных детекторов с общей площадью до 60 см², пропорциональна величине S и составляет $(0,22 \pm 0,02)$ час⁻¹см². Примерно 1/3 этой величины обусловлена эманациями и аэрозолями,

содержащимися в воздухе лабораторного помещения.

При увеличении площади рабочей поверхности золото-кремниевых детекторов до 8-10 см² их геометрическая эффективность возрастает до 30±35% для источников с площадью активного пятна около 6 см². Разрешающая способность детекторов таких размеров не хуже 2±3% на линии 5,15 Мэв, что обеспечивает возможность идентификации и измерения практически всех естественных альфа-радиоактивных изотопов, находящихся в смеси в малых количествах (порядка 10⁻¹⁴ юри в пробе).

В оценке радиационной обстановки при измерении загрязненности рабочих поверхностей необходимы датчики с относительно большим S (~100 см²), пригодные для спектрометрического анализа изотопного состава загрязненности непосредственно на месте контроля. Для этой цели не пригодны ни отдельные золото-кремниевые детекторы с большой площадью, ни мозаичные структуры на основе детекторов серийного производства, поскольку разрешающая способность таких систем при комнатной температуре слишком мала, и не может быть повышена до удовлетворительной величины (2±3%) в силу ограничений принципиального свойства.

В данной работе предлагается использовать для измерения поверхностной загрязненности альфа-радиоактивными веществами и их идентификации мозаичный датчик с большой площадью, состоящий из нескольких параллельно соединенных полупроводниковых детекторов, один из которых отключается от остальных для выполнения спектрометрических измерений. Предложенный принцип сочетает достоинства мозаичной структуры, обеспечивающей возможность создания датчика с требуемой площадью чувствительной поверхности (до 100 см² и выше), с высокими спектрометрическими свойствами отдельного детектора, площадь которого (5±8 см²) не велика по сравнению с площадью мозаики.

Блок-схема прибора приведена на рис. 3. Мозаичный датчик, испытанный в настоящей работе, состоял из 12 поверхностно-барьерных золото-кремниевых детекторов, с площадью рабочей поверхности равной 5 см² и энергетическим разрешением близком к 70 кэв, производство которых освоено отечественной промышленностью.

Зарядочувствительный предусилитель с большой входной динамической емкостью смонтирован в блоке детектирования вместе с детекторами. Энергетическое разрешение прибора в спектрометрическом режиме работы составило 140 кэв при измерении спектра излучения источника плутония-239 в воздухе. Фоновая скорость счета всей мозаики составила 15 имп·час⁻¹.

Отбор детекторов проводился, в основном, по величине максимально допустимого напряжения смещения. Другой критерий - требование идентичности величины оптимального рабочего смещения для всех детекторов мозаики оказался менее критичным, поскольку зависимость энергетического разрешения от напряжения смещения, как правило, у таких детекторов не имеет острого минимума. Годными для использования в мозаике оказались 70% детекторов одной классификационной группы, что говорит о доступности использованного принципа и возможности его широкого применения.

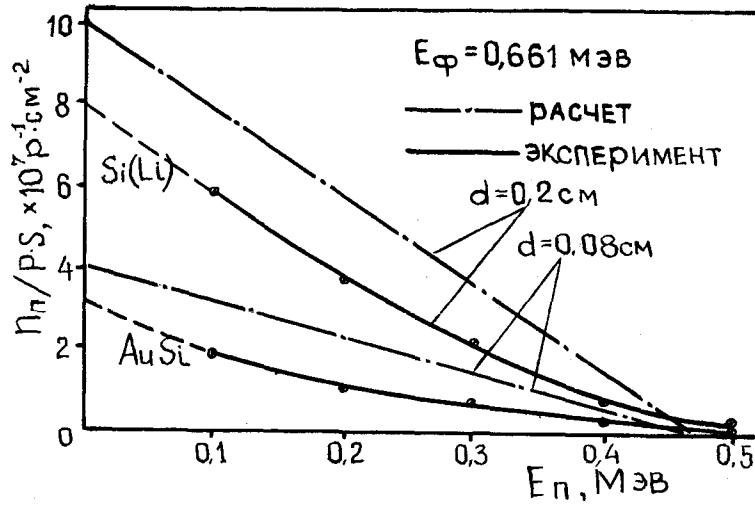


Рис. 1. Дозовая чувствительность в зависимости от порога регистрации импульсов для энергии излучения 0,661 Мэв.

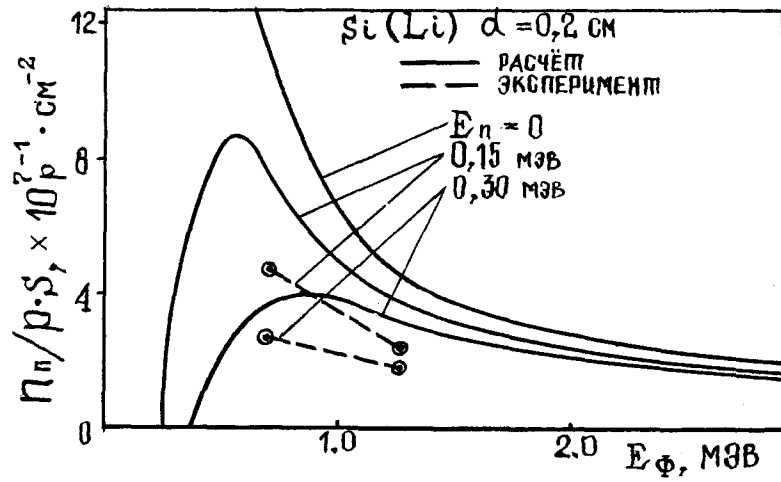


Рис. 2. Зависимость дозовой чувствительности от энергии излучения при различных порогах регистрации.

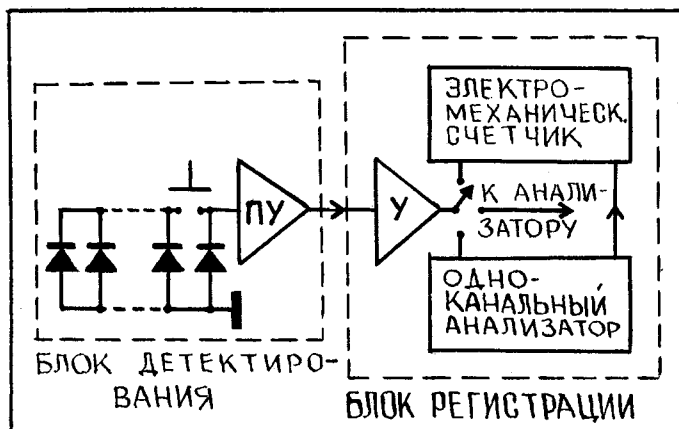


Рис. 3. Блок-схема прибора для измерения поверхностной загрязненности альфа-радиоактивными веществами и их идентификации.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Scharf, K., 1967, Health Physics, 13, 575.
2. Parker, R.P., Johnson, P.F., and Baker, I.W., 1969, Br. J. Radiol., 42, 69.
3. Мещерянов, А.В.; Петушнов, А.А., Глезин Ф.И. 1969, Медицинская радиология, № 1, 53.
4. Jones, A.R., Health Physics, v. 8, N 1, 1.
5. Yablonovith, E. "Health Physics Applications of Thin Silicon Detector", Chalk River, 1967 (AECL-2766).