

Для исследованных образцов до проведения ТО коэффициент омичности составлял 1,0097, после ТО — 1,0041. Таким образом, термообработка улучшает омические свойства контактов.

Выводы

Из приведенных выше экспериментальных данных видно, что термообработка на воздухе после химического осаждения золотых контактов приводит к значительному изменению электрофизических характеристик детекторов γ -излучения на основе CdZnTe *p*-типа. Показано, что эти изменения обусловлены в большей степени модификацией границы раздела "металл—полупроводник", чем изменением свойств боковой поверхности детектора.

Изменение электрофизических свойств детекторов зависит от режимов термообработки. Оптимальным режимом ТО для получения наилучших электрофизических характеристик детекторов является температура 140°C, время обработки 1 ч; дальнейшее увеличение времени термообработки (до 5 ч) уже не влияет на изменение электрофизических характеристик детектора. Оптимальный режим ТО позволяет повысить рабочее напряжение детектора, в результате чего

происходит улучшение спектрометрических характеристик детекторов.

Полученные результаты демонстрируют высокую температурную стойкость CdZnTe-детекторов: нагрев до 160°C не приводит к необратимому изменению электрофизических характеристик, что позволяет детектору нормально функционировать после восстановления рабочей температуры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Rouse A. A., Csaba Szeles, Ndap J. O. Interfacial chemistry and performance of bromine-etched CdZnTe radiation detector devices // IEEE Transaction on Nuclear Science.— 2002.— Vol. 49, N 4.— P. 2005—2009.
2. George M. A., Collins W. E., Chen K. T. et al. Study of electroless Au film deposition on ZnCdTe crystal surfaces // J. Appl. Phys.— 1995.— Vol. 77(7).— P. 3134—3137.
3. Mergui S., Hage-Ali M., Koebel J. M., Siffert P. Thermal annealing of gold deposited contacts on high resistivity p-type CdTe nuclear detectors // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.— 1992.— Vol. A 322.— P. 375—380.
4. Белецкий Н. И., Полянский Н. Е., Кутный В. Е. и др. Температурная зависимость сопротивления детекторов из CdTe и CdZnTe // Вісник Харківського національного університету. Сер. Радіофізика та електроніка.— 2002.— № 544.— С. 155—158.

*Д. т. н. В. А. МОКРИЦКИЙ, О. В. МАСЛОВ,
к. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, д. т. н. М. В. МАКСИМОВ*

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: olegmaslov@farlep.net

Дата поступления в редакцию
27.09 2004 г.—12.04 2005 г.

Оппонент к. ф.-м. н. А. В. РЫБКА
(ННЦ "ХФТИ", г. Харьков)

БЛОК ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ CdZnTe ДЛЯ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Пропорциональный импульсный режим работы CdZnTe-детектора позволяет существенно повысить качество измерений, компенсировать энергетическую зависимость чувствительности.

Блоки детектирования, предназначенные для измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе, входят в состав аппаратуры контроля радиационной безопасности (АКРБ) атомных электростанций. Находящиеся в настоящее время в эксплуатации блоки детектирования системы АКРБ-03 выработали свой ресурс, а сама система, разработанная более 20 лет назад, морально устарела. Очевидно, что новые блоки детектирования должны обладать более высокими метрологическими и эксплуатационными показателями, чем подлежащие замене. Существенный прорыв в улучшении метрологических и эксплуатационных характеристик детекторов может быть получен только на основе применения новых материалов, в частности, широкозонных полупроводников, таких как CdZnTe [1].

В большинстве случаев использование CdZnTe-детекторов является более предпочтительным по сравнению с традиционными газоразрядными детектора-

ми и новыми полупроводниковыми кремниевыми детекторами. Например, применение CdZnTe позволяет (без применения какого-либо дополнительного охлаждения) регистрировать γ -излучение энергии около 10 кэВ — в отличие от детекторов на основе Si, обеспечивающих измерение мощности дозы для энергий выше 50—60 кэВ. Другим преимуществом CdZnTe-детекторов по сравнению с указанными является существенно более высокая эффективность регистрации гамма-излучения, обусловленная высоким атомным номером.

Применение CdZnTe для измерения мощности дозы ограничивается тем, что чувствительность детектора в диапазоне энергий γ -излучения 10 кэВ—3 МэВ изменяется более чем в 10 раз. Для снижения погрешности, обусловленной зависимостью чувствительности CdZnTe-детектора от энергии γ -излучения, предлагается использовать цифровую коррекцию выходного сигнала [2, 3].

В статье рассматривается один из вариантов практического решения задачи создания современного блока детектирования с использованием новых детекторных материалов за счет применения цифровой коррекции выходного сигнала.

Коррекция осуществляется путем изменения частоты импульсов на выходе блока детектирования в зависимости от энергии зарегистрированного излучения E_γ :

$$n_{out} = n_{inp} K(x), \quad (1)$$

где n_{out} — частота импульсов на выходе блока детектирования;
 n_{inp} — частота импульсов на выходе предусилителя детектора;
 $K(x)$ — коэффициент изменения частоты импульсов на выходе блока детектирования;
 x — номер канала, соответствующего энергии E_γ .

Численное значение коэффициента изменения частоты импульсов на выходе блока детектирования определяется на основании аналитической зависимости отношения чувствительности детектора к регистрируемому γ -излучению $S(E_\gamma, x)$ и чувствительности к γ -излучению с энергией, на которой проводилась градуировка детектора, $S(E_{\gamma k}, x)$:

$$\epsilon(E_\gamma) = \frac{\int_{x_{min}}^{x_{max}} S(E_\gamma, x) \cdot K(x) dx}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} S(E_{\gamma k}, x) dx}, \quad (2)$$

где $\epsilon(E_\gamma)$ — заданная относительная зависимость чувствительности детектора от энергии;
 x_{min} — номер канала, соответствующего уровню шума.

Для практической реализации коррекции выходного сигнала блока детектирования предлагается использовать кусочно-линейную интерполяцию аналитической зависимости заданной относительной зависимости чувствительности детектора от энергии (2) в виде [2]

$$\epsilon(E_\gamma) = \frac{\begin{bmatrix} S(E_{\gamma_1}, x_1)K(x_1) \\ S(E_{\gamma_1}, x_1)K(x_1) + S(E_{\gamma_2}, x_2)K(x_2) \\ \dots \\ S(E_{\gamma_1}, x_1)K(x_1) + S(E_{\gamma_2}, x_2)K(x_2) + \dots + S(E_{\gamma_j}, x_j)K(x_j) \end{bmatrix}}{\int_{N_{min}}^{N_{max}} S(E_{\gamma k}, x) dx} \times \quad (3)$$

Здесь N_{max} (N_{min}) применяются для того, чтобы подчеркнуть разбиение энергетического диапазона на новое, существенно меньшее, число интервалов.

Таким образом, задача коррекции энергетической зависимости чувствительности заключается в определении значения $K(x)$ для определенного энергетического диапазона зарегистрированных фотонов E_γ .

На первом этапе, при создании алгоритма цифровой коррекции энергетической зависимости чувствительности, использовались данные о коэффициенте $K(x)$, приведенные в [2]:

Δx , кэВ	40...80	80...170	170...350	350...450	450...1100	1100...1500
$K(x)$	0,015625	0,039	0,625	3,875	4,5	22

При этом относительная зависимость чувствительности детектора от энергии равна:

E_γ , кэВ	59	122	166	279	392	662	835	1250
$\epsilon(E_\gamma)$	1,03	1,00	1,05	0,99	1,04	1,02	0,93	1,00

Таким образом, погрешность, вызванная зависимостью чувствительности CdZnTe-детектора от энергии γ -излучения (“ход с жесткостью”), составляет 7%.

Экспериментально определенная максимальная мощность дозы, при которой имеется практическая возможность реализовать указанный алгоритм коррекции с дополнительной погрешностью 10%, составила 1 Гр/ч [4].

На рис. 1 приведена структурная схема дозиметрического блока детектирования с цифровой коррекцией “хода с жесткостью”. (Разработанный детектор по габаритам и выходным сигналам совместим с блоком детектирования БДМГ-41.)

При взаимодействии ионизирующих излучений с материалом детектора на его выходе появляются импульсы отрицательной полярности с амплитудой сигнала, пропорциональной поглощенной в кристалле энергии. Сигнал, снимаемый с кристалла детектора, поступает на предварительный зарядочувствительный усилитель. Далее сигнал усиливается в основном усилителе до напряжений, достаточных для работы АЦП и нормализатора импульсов. Однокристальная микроЭВМ (ОЭВМ) и АЦП образуют анализатор спектра (в ядерной спектрометрии чаще применяется термин “многоканальный анализатор импульсов”). Последующая обработка спектра с целью определения коэффициента изменения частоты импульсов на выходе блока детектирования проходит в соответствии с алгоритмом, описанным выше. Также на ОЭВМ поступа-



Рис. 1. Структурная схема блока детектирования на основе CdZnTe

ют импульсы с нормализатора для определения скорости счета. ОЭВМ, в свою очередь, управляя счетчиком с переменным коэффициентом деления, корректирует энергетическую зависимость чувствительности CdZnTe-детектора.

С выхода счетчика скорректированные импульсы стандартной амплитуды, соответствующей уровням логического "0" и "1" используемой элементной базы, поступают на узел интерфейса. Узел интерфейса преобразует указанные импульсы по длительности и амплитуде, необходимой для работы канала АКРБ. Такое дополнительное формирование сигнала необходимо из-за того, что канал передачи данных АКРБ не соответствует современным стандартам передачи информации.

Рис. 2 иллюстрирует обработку сигнала в блоке детектирования при измерении одинаковой мощности дозы для гамма-излучения различной энергии (цифровые обозначения согласно рис. 1). Ввиду высокого эффективного атомного номера CdZnTe на выходе основного усилителя (соответственно CdZnTe-детектора и предварительного усилителя) число зарегистрированных гамма-квантов больше для меньших значений энергии (см. 1 рис. 2).

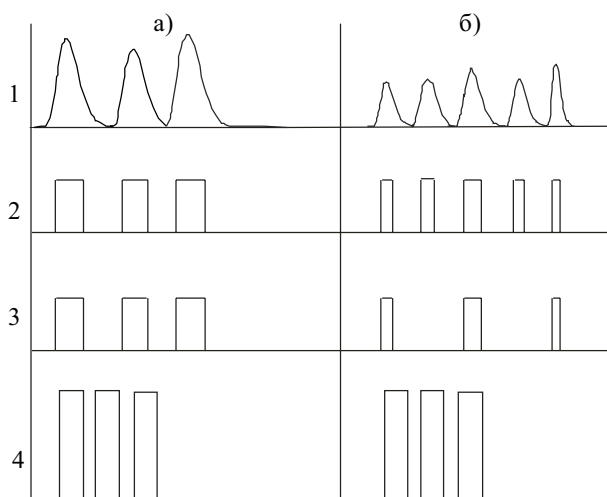


Рис. 2. Временная диаграмма работы блока детектирования на основе CdZnTe при измерении одинаковой мощности дозы для гамма-излучения различной энергии (для б энергия гамма-излучения меньше, чем для а)

Недостатком приведенного технического решения является небольшой динамический диапазон измеряемых значений мощности дозы. Поэтому в развитие его предложен вариант блока детектирования, в котором алгоритм коррекции сигнала на выходе блока реализуется при помощи сигнального процессора.

При этом на вход сигнального процессора подается цифровой код, пропорциональный амплитуде импульса при регистрации гамма-кванта, полученный в результате преобразования высокоскоростным АЦП, установленным непосредственно после выхода зарядочувствительного предварительного усилителя. Этот подход был детально разработан при создании спектрометров гамма-излучения [5].

Анализ показал, что требуемое значение погрешности за счет энергетической зависимости чувствительности может быть достигнуто при использовании 10-разрядных АЦП AD9411 Analog Devices с частотой дискретизации 170 МГц. При этом количество уровней квантования определяется требованием измерять мощность дозы гамма-излучения с энергией не менее 10 кэВ; такой минимальной энергии и соответствует применение 10-разрядных АЦП.

Таким образом, применение современных методов и технических средств цифровой обработки сигналов позволило разработать блок детектирования для измерения мощности дозы гамма-излучения на основе CdZnTe. Применение цифровой коррекции выходного сигнала позволяет преодолеть главное ограничение применения CdZnTe-детекторов в составе систем радиационного контроля.

Успешные испытания опытных образцов блоков детектирования на действующих АЭС подтвердили правильность предложенных решений.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Мокрицкий В. А., Ленков С. В., Маслов О. В., Савельев С. А. Обработка монокристаллов CdZnTe для применения в датчиках γ -излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2001.— № 3.— С. 9—10.
2. Горев В. С., Кожемякин В. А., Матвеев О. А. и др. Применение детекторов на основе теллурида кадмия в дозиметрии гамма-излучения // Приборы и техника эксперимента.— 1981.— № 1.— С. 60—64.
3. Kopp M. K., Valentine K. H., Williams J. A., Bamberger R. H. New method of gamma dose-rate measurement using energy-sensitive counters // IEEE Trans. Nucl. Sci.— Vol/Issue: NS-34:1; Nuclear science and nuclear power systems symposium; 29 Oct 1986; Washington, DC, USA.— P. 616—618.
4. Олейник С. Г., Маслов О. В., Максимов М. В. Анализ возможностей применения однотипных технических средств и методического обеспечения для контроля состояния ядерного топлива и ядерных материалов в реальном времени // Ядерная энергетика.— 2004.— № 1.— С. 87—97.
5. Галченков О. Н., Маслов О. В., Олейник С. Г. Сравнение двух способов построения спектров в цифровом гамма-спектрометре // Ядерная и радиационная безопасность.— 2000.— Т. 3, вып. 3.— С. 61—63.

НОВЫЕ КНИГИ

Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств.— М.: Додэка-XXI, 2005.— 528 с.

Освещены свойства и особенности применения аналоговых и аналого-цифровых интегральных микросхем: операционных усилителей, компараторов, таймеров, фильтров, линейных и импульсных стабилизаторов напряжения, коммутаторов, микросхем АЦП и ЦАП, различных датчиков.

Книга полезна специалистам в области электроники, автоматики, вычислительной техники, а также аспирантам и студентам соответствующего профиля.