

При разработке измерителя учитываются следующие нюансы:

1) зависимость фото-ЭДС от освещенности не линейна, что требует дополнительных исследований с целью подбора оптимальных режимов работы измерителя;

2) измерения целесообразно проводить на переменном токе (при изменяющейся яркости светодиода), что позволяет значительно упростить выделение полезного сигнала при наличии шумов и наводок;

3) зависимость яркости светодиода от напряжения не линейна, следовательно, ЦАП микроконтроллера должно иметь токовый выход;

4) светодиод должен освещать поверхность исследуемого образца под зондом, поэтому необходимо использовать соответствующую конструкцию световода и зонда;

5) большое значение имеет угол падающих лучей света из-за наличия эффекта отражения на границе воздух-исследуемый образец;

6) определения диффузионной длины носителей заряда необходимо наличие двух источников излучения, с разными длинами волн [5];

7) необходимо экранирование от внешних источников светового излучения.

Универсальный цифровой измеритель для фотостимулированной зондовой электрометрии может быть использован для исследования характеристик полупроводниковых пластин при

научных исследованиях, а также в процессе производства.

Литература

1. Zharin A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping. In Book: Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. – pp. 687–720.

2. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. Построение измерителей контактной разности потенциалов / Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 7–15.

3. Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Жарин А.Л. Малогабаритный аналоговый измеритель контактной разности потенциалов. / Приборостроение–2016: Материалы 9-й МНТК. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 97–99.

4. Микитевич В.А., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов. / Новые направления развития приборостроения: материалы 11-й МНТК молодых ученых и студентов. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 63.

5. Жарин А.Л., Гусев О.К., Воробей Р.И., Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Пилипенко В.А., Петлицкий А.Н. Реализация режима модулированной поверхностной фотоэдс в конструкции средств неразрушающего контроля полупроводниковых пластин. / Приборостроение–2017: Материалы 10-й МНТК. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 83–84.

УДК 539.1.074.3/6

ФОСВИЧ-ДЕТЕКТОР ЛЕГКИХ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ

Лобко А.С.¹, Мисевич О.В.¹, Федоров А.А.¹, Кучинский Н.А.²

¹НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Российская Федерация

Проблема спектрометрии и идентификации легких ионов (до $Z \sim 10$) на фоне гамма-квантов и электронов часто встает как в научных экспериментах на пучках заряженных частиц, так и в промышленных установках с использованием ускоренных ионов. Такие задачи решались с помощью газовых пропорциональных и полупроводниковых детекторов, однако их эффективность регистрации и быстродействие не позволяют работать на интенсивных пучках. Для преодоления этого ограничения нами был разработан двухслойный сцинтилляционный детектор-фосвич – с повышенным быстродействием и близкой к 100 % эффективностью регистрации заряженных частиц.

Фосвич-детекторы применялись и ранее для измерения поверхностной загрязненности альфа- и бета-активными радионуклидами, где внешний слой поглощает альфа-частицы, второй слой – бета-, и третий слой (при наличии) – гамма-кванты. В качестве альфа-чувствительного слоя практиче-

ски всегда применялся тонкий поликристаллический сцинтиллятор ZnS:Ag. Но его быстродействие невелико, и энергетическое разрешение, как и стойкость к климатическим и химическим воздействиям оставляют желать лучшего. После аварии на АЭС в г. Фукусима (Япония) вновь возникла потребность в подобных приборах.

Для преодоления указанных недостатков в качестве фронтального слоя фосвича нами был применен кристалл алюмината иттрия $YAlO_3:Ce$ (известный также как YAP) [1] в сочетании с пластическим сцинтиллятором во втором слое. Оба сцинтиллятора имеют малые постоянные времени высвечивания – 28 нс и 5 нс соответственно. Диаметр детектора – 60 мм, толщина YAP – 250 мкм, толщина пластика – 6 мм (может быть снижена до 2 мм для низкофоновой радиометрии). Сцинтилляторы оптически связаны с фотоприемником ФЭУ Hamamatsu R11102 посредством световода с конической образующей. Электроника детектора содержит в себе подсистему питания ФЭУ, блок

усиления и спектрометрического формирования сигнала, а также блок анализа формы импульсов для разделения сигналов от слоев фосвича по времени высвечивания. Детектор подключается к многоканальному анализатору на линии с компьютером, поддерживающему одновременное накопление двух спектров.

Работа детектора при спектрометрии ионов. При сравнительно низких энергиях ионов (единицы МэВ) они полностью поглощаются во фронтальном слое сцинтиллятора. Спектр альфа-частиц от источника ^{226}Ra приведен на рис. 1.

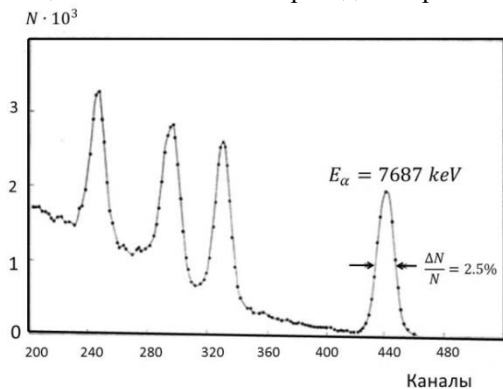


Рисунок 1 – Спектр α -частиц от источника ^{226}Ra

Энергетическое разрешение детектора при измерении альфа-излучения составляет 2,5 % по пику с энергией $E_\alpha = 7687$ МэВ, непропорциональность – менее 1 %, что существенно лучше, чем для ZnS:Ag .

Сигнал на выходе ФЭУ при возбуждении альфа-частицами полностью определяется кинетикой высвечивания YAP:Ce (рис. 2).

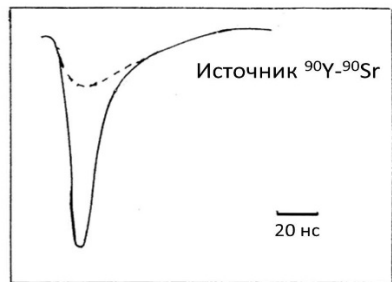


Рисунок 2 – Выходной сигнал ФЭУ от α -частиц

При высоких энергиях ионов (десятки МэВ) во фронтальном слое детектора будет выделяться лишь часть энергии, и появится выделение энергии в слое пластика. По соотношению энерговыделения в слоях фосвича с помощью блока анализа формы импульсов возможно проводить идентификацию ионов с использованием известных зависимостей плотности ионизации вещества от параметров заряженных частиц.

Работа детектора при регистрации электронов. При достаточно высокой энергии ($> \sim 0.5$ МэВ) электроны теряют часть своей энергии во фронтальном слое фосвича и попадают во второй слой. При этом форма выходного сигнала

ФЭУ определяется кинетикой сцинтилляций как YAP:Ce , так и пластического сцинтиллятора (рис. 3).

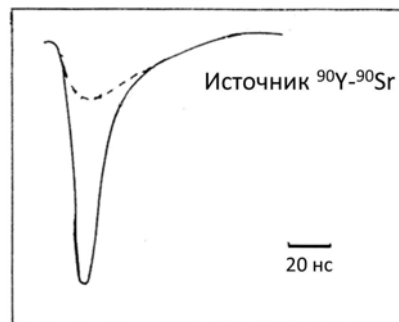


Рисунок 3 – Выходной сигнал ФЭУ от β -частиц

Спектр энерговыделения β -частиц во фронтальном слое YAP:Ce приведен на рис. 4 вместе с пиком α -частиц от источника ^{238}Pu .

На рис. 4 видно частичное перекрытие спектров, поэтому использование логики отбора событий путем анализа формы суммарного сигнала от двух слоев фосвича является необходимым для идентификации частиц.

Применение детектора в альфа-бета радиометре поверхностей. Было проведено испытание детектора для измерения поверхностной загрязненности альфа- и бета-активными радионуклидами. Импульсная чувствительность к потоку альфа-излучения от поверхности составила не менее $0,2$ (имп/с)/(част./мин·см²). Фоновая скорость счета при уровне внешнего гамма-фона $0,12$ мкЗв/ч составила $0,03$ имп/с. Это позволяет измерять поверхностную загрязненность альфа-активными нуклидами при статистической погрешности 20 % и доверительном интервале $0,95$ от 1 част./мин·см² за время 2 мин.

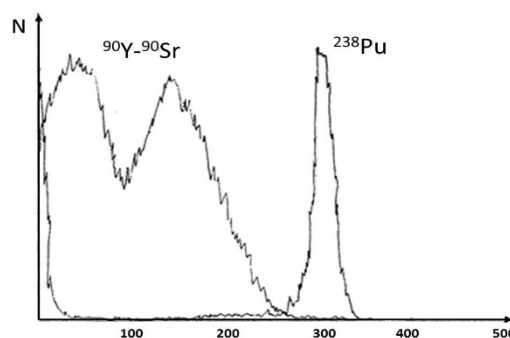


Рисунок 4 – Спектр энерговыделения β -частиц источника $^{90}\text{Y}+^{90}\text{Sr}$ в YAP:Ce

Импульсная чувствительность к потоку бета-излучения от поверхности составила не менее $0,25$ (имп/с)/(част./мин·см²). Фоновая скорость счета при уровне внешнего гамма-фона $0,12$ мкЗв/ч составила 3 имп/с. Это позволяет измерять поверхностную загрязненность бета-активными нуклидами при статистической по-

грешности 20 % и доверительном интервале 0,95 от 10 част./мин·см² за время менее 1,5 мин.

Верхний предел измерения определяется электроникой и наиболее медленным из сцинтилляторов и составляет $3 \cdot 10^5$ част./мин·см².

Тестовые измерения на пучках ионов высоких энергий планируется провести на ускорительном комплексе ОИЯИ (г. Дубна, РФ).

Заключение. Продемонстрирована работа быстродействующего двухслойного фосвич-детектора на базе сцинтилляционного кристалла YAP:Ce и пластического сцинтиллятора, пер-

спективного для спектрометрии и идентификации легких ионов. Также показана его применимость для измерения поверхностной загрязненности альфа- и бета-активными радионуклидами.

Литература

A. Fedorov, A. Lobko, O. Missevitch / Novel fast-acting scintillation detectors for wide energy range applications // Advanced Radiation Sources and Applications / Ed. by H. Wiedemann. NATO Science series II, Mathematics, Physics and Chemistry. vol. 199, Springer, 2006.

УДК 614.842

РАСЧЕТ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАДЕРЖЕК ОПОВЕЩЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ

Мисюкевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Вступающий в силу с 01.01.2020 технический регламент ТР ЕАЭС 043/2017 [1] определил, что система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) – совокупность технических средств, предназначенных для информирования людей о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации. Таким образом, можно утверждать, что не может существовать систем оповещения без решения задач управления эвакуацией людей при пожаре. Введенный в действие 01.09.2018 технический кодекс установившейся практики ТКП 45-02-317-2018 [2], к сожалению, использует старый термин и определение системы: «Система оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией – совокупность технических средств, предназначенных для сообщения людям информации о возникновении пожара или другой чрезвычайной ситуации и порядке действий при эвакуации». Примененное в ТКП 45-02-317-2018 [2] сокращенное обозначение системы «СО» уже негативно отразилось на практике создания систем: делается только часть системы (оповещение), а управление эвакуацией не рассматривается в создаваемой документации. Таким образом осуществляется реализация оборудования неспособного управлять эвакуацией в виду отсутствия алгоритмов осуществления данной целевой задачи.

Методика расчета параметров эвакуации, приведенная в приложении 2 межгосударственного стандарта ГОСТ 12.1.004 [3], предусматривает необходимость учета времени задержки движения людей из-за образования скопления и, так же как и другие технические нормативные правовые акты (ТНПА), не дает никаких указаний и формул для его расчета.

Автором обоснована формула для расчета времени задержки эвакуации людей. Задержка эвакуации происходит при превышении предельной плотности потока. При этом интенсивность движения резко сокращается, уменьшается примерно в два раза в сравнении с движением при нормируемых параметрах. Это схоже с процессом образования «пробки» при движении автомобильного транспорта.

Для расчета времени задержки движения при эвакуации $t_{здр}$, мин, необходимо использовать следующую формулу (1)

$$t_{здр} = \frac{Nf}{0,9q_i \delta_i}, \quad (1)$$

где N – число людей в скоплении, чел; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²; $0,9$ – коэффициент пропорциональности, численно равный максимально допустимой плотности потока; q_i – значение интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му участкам пути, чел*м/мин; δ_i – ширина рассматриваемого i -го участка пути, м.

Значения входящих в формулу параметров следует принимать по таблице 2 приложения 2 ГОСТ 12.1.004 [3] при максимально допустимой плотности потока в зависимости от вида пути эвакуации.

Следует отметить, что существующие ТНПА никак не определяют допустимость задержки эвакуации. Анализ и натурные наблюдения показывают, что задержка эвакуации допустима лишь в помещениях, откуда люди начинают движение при эвакуации. Задержка эвакуации на последующих общих путях эвакуации недопустима и может приводить к трагическим последствиям: падению людей (эффект «домино»), затаптыванию, раздавливанию. Печальный при-