

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-673(63)-83

Р.Л.КАВАЛОВ, Ю.Л.МАРГАРЯН, М.Г.ПАНЯН,
Г.А.ПАНЯН

ВРЕМЕННОЙ ДЕТЕКТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
НА ОСНОВЕ РЫХЛОГО ДИЭЛЕКТРИКА

ԵՐԵՎԱՆ 1983 ԵՐԵՎԱՆ

© Ереванский физический институт. 1983г.

1. Введение

Управляемая вторичная электронная эмиссия (УВЭЭ) из рыхлых диэлектрических пленок характеризуется тем, что ее коэффициент в зависимости от величины приложенного к слою электрического поля более, чем в 10^2 раз превышает коэффициент вторичной электронной эмиссии из тех же веществ нормальной плотности [1-2]. Это объясняется тем, что процесс эмиссии электронов происходит со всего объема рыхлого слоя с последующим их размножением в порах диэлектрика под воздействием электрического поля аналогично механизму умножения электронов в канальных умножителях и микроканальных пластиках (МКП) [3]. В пользу такого представления свидетельствует также существование множества продольных и сквозных пор (каналов) в структуре исследуемых слоев.

Высокий коэффициент вторичной электронной эмиссии, быстротечность процесса ($\sim 10^{-10}$ с [4]), малость количества вещества эмиттера ($\sim 10^{-4}$ г/см²) стимулировали работы по созданию детекторов заряженных частиц временной отметки на основе процесса УВЭЭ. В первом варианте детектора на основе УВЭЭ регистра-

ция вторичных электронов производилась с помощью сцинтилляционного счетчика, а сбор электронов на сцинтиллятор осуществлялся электростатической фокусирующей системой [5,6]. В качестве рабочего вещества использовались рыхлые слои из K_2CO_3 и MgO . Была получена эффективность регистрации для α -частиц с энергией 5,5 МэВ $\eta \approx 100\%$ и для релятивистских электронов (1-2 МэВ) $\eta \approx 60\%$. Временное разрешение системы детектор - сцинтилляционный счетчик составило $\sim 0,75$ нс. С целью улучшения временного разрешения детекторов УВЭЭ в качестве регистратора вторичных электронов в работе [7] была использована сборка из двух МКП, а транспортировка вторичных электронов от эмиттера на МКП осуществлялась изохронным поворотом на 180° в постоянном магнитном поле. Временное разрешение времяпролетной системы из двух подобных детекторов было получено $\sim 0,25$ нс [8]. Однако, применение громоздких магнитных систем в детекторах УВЭЭ и высокие требования точности, предъявляемые к однородности магнитного поля ($\leq 1\%$), могут затруднить дальнейшее увеличение рабочей площади детекторов и, тем самым, их использование в физических экспериментах. С этой точки зрения более перспективным, на наш взгляд, является использование электростатического зеркала в детекторах УВЭЭ для изохронного переноса вторичных электронов на сборку МКП [9].

2. Конструкция и принцип работы детектора

Общий вид детектора рыхлого диэлектрика с электростатическим зеркалом приведен на рис.1. Электрическая схема детектора приведена на рис.2. Основным узлом детектора является эмиттер с рыхлым диэлектрическим слоем (4), нанесенным на никелевую

мелкоструктурную сетку высокой прозрачности ($\sim 88\%$). С помощью второй сетки (3), расположенной на расстоянии 0,5 мм от подложки слоя, создается электрическое поле $E \geq 10^4$ В/см, обеспечивающее эффективное размножение вторичных электронов в пористом диэлектрике и дальнейшее их ускорение в промежутке между сеткой и поверхностью слоя. В качестве рабочего вещества использовались слои MgO толщиной ~ 100 мкг/см² (~ 50 мкм) с относительной плотностью $\rho/\rho_0 \approx 0,6\%$, где $\rho_0 = 3,65$ г/см³ - плотность монокристалла MgO . Такие слои изготавливаются сжиганием поликристаллического магния в атмосфере разреженного воздуха и осаждением его окиси на подложку. В зависимости от технологического режима можно получить рыхлые слои MgO толщиной от 30 мкг/см² до единиц мг/см² при относительных плотностях от 0,3 до нескольких процентов.

Электростатическое зеркало (ЭЗ) (5) выполнено в виде плоского конденсатора с проволочными электродами прозрачностью $> 90\%$. Зеркало располагается под углом 45° относительно направления вылета вторичных электронов. Зазор между электродами зеркала составлял 6 мм.

Сборка МКП (1) вместе с коаксиальным анодом (6) выполнена в виде отдельного модуля с зазорами между пластинами МКП и МКП-анод 0,1 мм. Используемые МКП имели диаметр 34 мм, толщину - 0,5 мм, диаметр микроканалов - 10 мкм, наклон каналов относительно нормали $\sim 7^\circ$. Коэффициент усиления каждого МКП при номинальном напряжении питания ~ 1 кВ составляет $\sim 10^4$. Диаметр рабочей площади детектора составляет 30 мм, а требуемый для нормальной работы вакуум не хуже 10^{-5} торр.

Электрическое питание детектора осуществляется двумя ис-

точниками постоянного стабилизированного напряжения. Первым источником создается управляющее поле на эмиттере УВЭЭ и тормозящее поле на электростатическом зеркале, при этом делитель напряжения рассчитывался так, чтобы не нарушалось условие изохронного поворота вторичных электронов при любых значениях напряжения на эмиттере (U_3). Вторым источником питается сборка МКП. Очевидно, что U_3 всегда должно быть больше $U_{лкп}$.

Принцип работы детектора заключается в следующем: вторичные электроны, образованные в рыхлом диэлектрике, после прохождения регистрируемой частицы ускоряясь до энергии $\sim 1+1,5$ кэВ, изохронно поворачиваются зеркалом на 90° , и прежде чем попасть на МКП, тормозятся до энергии $0,2+0,3$ кэВ, так как максимум эффективности регистрации электронов микроканальной пластиной находится в этой области энергии [10]. Кроме этого, тормозящее поле, созданное сеткой 2 (рис.2), служит для отсеечения медленных фоновых электронов. После умножения тока вторичных электронов сборкой МКП электрический сигнал отрицательной полярности снимается с помощью коаксиального анода с волновым сопротивлением 50 Ом.

3. Рабочие характеристики детектора

В работе исследовались эффективность регистрации α -частиц и временное разрешение детекторов рыхлого диэлектрика. Для проведения этих измерений была создана времяпролетная система из двух идентичных детекторов с ЭЭ. Пучок α -частиц коллимировался так, что частицы попадали в "stop"-детектор только после прохождения через "start"-детектор. Эффек-

тивность регистрации α -частиц "start"-детектором определялась отношением числа зарегистрированных частиц одновременно обоими детекторами к числу частиц, зарегистрированных "stop"-детектором.

На рис.3 приведена зависимость эффективности регистрации α -частиц с энергией 5,48 МэВ (^{241}Am) от напряжения питания системы эмиттер - ЭЭ при различных значениях питания сборки МКП. Порог дискриминации сигналов от детектора составлял 50 мВ. Рост эффективности в зависимости от U_3 объясняется не улучшением условия сбора вторичных электронов, как уже отмечали выше, а увеличением числа вторичных электронов, эмиттированных из рыхлого слоя под воздействием электрического поля. При значении $U_3 = 2,6+3,8$ кВ напряженность поля в рыхлом слое меняется в пределах $10^4 + 1,5 \cdot 10^4$ В/см, а согласно [3] коэффициент УВЭЭ из MgO для α -частиц в этом случае увеличивается от 70 до 120, что более, чем в 10 раз превышает коэффициент вторичной электронной эмиссии углеродных и коллодиевых (тринитроцеллюлоза) пленок при тех же энергиях α -частиц. Поэтому в этом случае эффективность достигает 100% уровня - при гораздо более низких напряжениях $U_{лкп}$, чем в случае использования углеродных и коллодиевых эмиттеров вторичных электронов. Например, в работе [7] при коллодиевом эмиттере эффективность регистрации α -частиц с энергией 5,5 МэВ составляла $\sim 20\%$ при $U_{лкп} = 2,7$ кВ, а в [11] для детектора с углеродным эмиттером при таких же энергиях α -частиц после предварительного усиления сигнала была достигнута эффективность $\sim 60\%$. Для измерения временного разрешения сигналы от детекторов поступали на формирователи со следящим порогом типа

Polon - I503A и далее на входы " start " и " stop " времяамплитудного преобразователя (ВАП). Сигнал от ВАП подавался на амплитудный анализ. На рис.4 приведена кривая задержанных совпадений при регистрации времяпролетной системой α - частиц с энергией 5,48 МэВ от источника ^{241}Am . Для определения цены одного канала амплитудного анализатора в единицах времени кривая задержанных совпадений была измерена дважды с задержкой между пиками 1 нс. Незначительная асимметричность спектров, по-видимому, обусловлена рассеянием α - частиц в подложке радиоактивного источника и в эмиттере стартового детектора. Как видно из рис.4, временное разрешение времяпролетной системы составляет $2\tau \approx 0,23$ нс, при этом разрешение электронного тракта было $\sim 0,15$ нс. Отсюда определяется, с учетом разрешения электроники, собственное временное разрешение одного детектора, т.е. среднеквадратичная дисперсия отметки момента времени прохождения частицы через детектор, что составляет $\tau \approx \pm 60 \pm 70$ пкс.

На рис.5 приведен спектр α - частиц от источника ^{226}Ra , измеренный данным времяпролетным спектрометром с пролетной базой 38 см. Как видно, все α - линии, указанные в паспорте источника, четко разделяются благодаря хорошему временному разрешению $2\tau \approx 0,25$ нс, что соответствует энергетическому разрешению $\Delta E/E \approx \pm 1,2\%$. Крайний левый пик соответствует разрешению электронного тракта, которое измерялось методом разветвления сигнала от стартового детектора на каналы " start " и " stop " электронной аппаратуры. Далее с помощью стандартной линии задержки, введенной в канал " stop ", проводилась калибровка измерительной аппаратуры

и определялось соответствие между номером канала анализатора и абсолютным временем задержки (рис.6). С помощью описанного метода калибровки определялись времена пролета α - частиц различных энергий от ^{226}Ra . Как видно из рис.5, измеренные времена с точностью $\pm 1,5\%$ совпадают с расчетными значениями (числа в скобках) времен пролета α - частиц соответствующих энергий. Надо отметить, что данный метод калибровки применим только для случая идентичных детекторов, т.е. когда разница между собственными задержками детекторов незначительна.

Таким образом, можно заключить, что описанный детектор рыхлого диэлектрика по своим рабочим характеристикам и по простоте конструкции успешно может применяться в времяпролетных системах для регистрации и идентификации легких фрагментов ядерных реакций. И если учесть, что эмиттер УВЭЭ обеспечивает высокую эффективность ($\sim 70\%$) регистрации релятивистских частиц [6], то подобными детекторами можно регистрировать заряженные частицы в широком диапазоне масс и энергий.

Авторы выражают благодарность А.Ц.Аматуни и Г.А.Вартапетяну за постоянный интерес и поддержку, а также Ю.Ц.Оганесяну и Ю.Э.Пенионжквичу за любезное содействие в процессе выполнения работы.

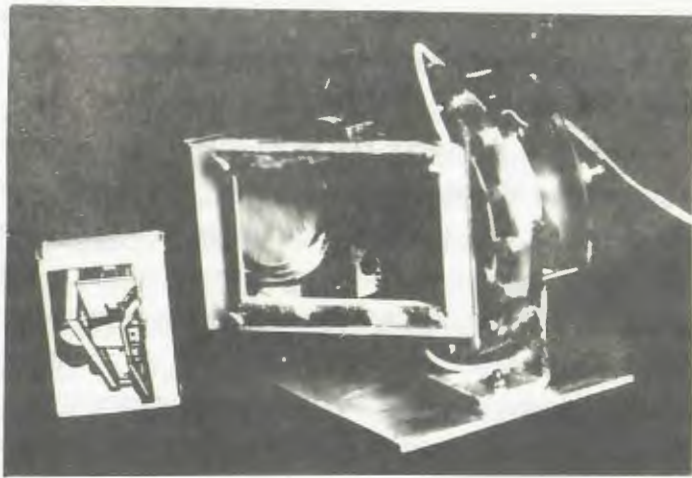


Рис. 1

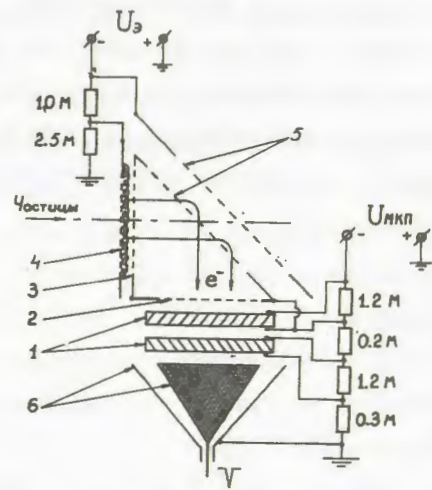


Рис. 2

10

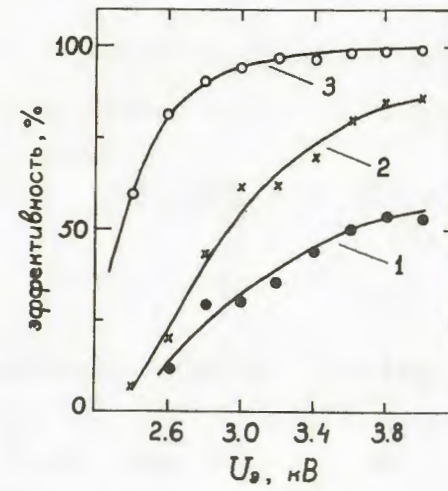


Рис. 3

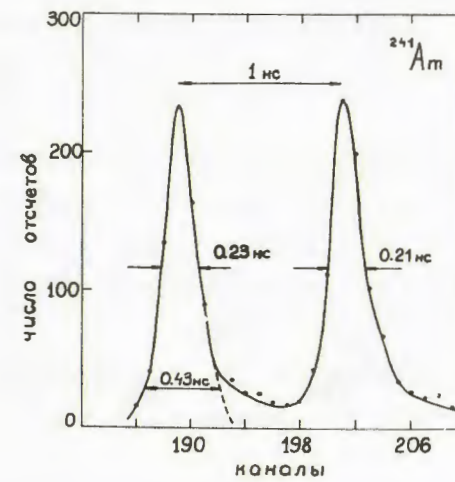


Рис. 4

II

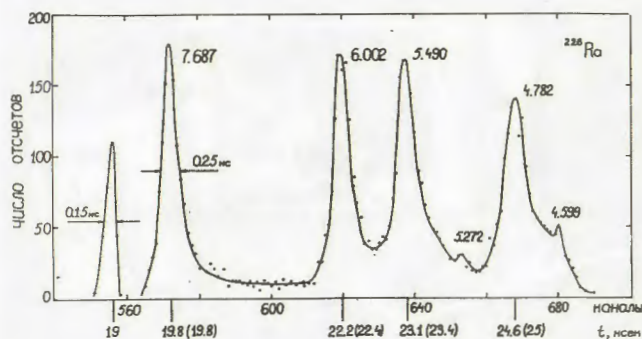


Рис.5

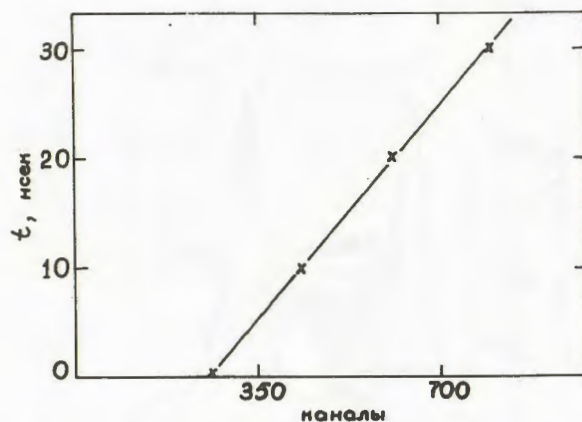


Рис.6

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Внешний вид детектора рыхлого диэлектрика с электростатическим зеркалом

Рис.2 Схематическое изображение детектора и схема подключения питания:

- 1 - микроканальные пластины (МКП),
- 2 - тормозящая сетка,
- 3 - ускоряющая сетка эмиттера вторичных электронов,
- 4 - рыхлый слой MgO , нанесенный на мелкоструктурную сетку
- 5 - электростатическое зеркало (ЭЗ),
- 6 - коаксиальный анод с волновым сопротивлением 50 Ом,

$U_{МКП}$ - напряжение питания сборки МКП,

$U_Э$ - напряжение питания системы эмиттер - ЭЗ,

Рис.3 Зависимость эффективности регистрации α - частиц

(5,48 МэВ) от напряжения питания системы эмиттер - ЭЗ;

1 - $U_{МКП} = 1,5$ кВ, 2 - $U_{МКП} = 1,6$ кВ, 3 - $U_{МКП} = 1,7$ кВ.

Рис.4 Кривые задержанных совпадений с задержкой 1 нс при регистрации времяпролетной системы α - частиц с энергией 5,48 МэВ; цена канала - 0,08 нс.

Рис.5 Спектр времени пролета α - частиц от радиоактивного источника ^{226}Ra ; числа на спектре обозначают энергию α - линий в единицах МэВ; крайний левый пик - разрешение электроники; пролетная база $l = 38$ см, цена канала - 0,05 нс.

Рис.6 Калибровочная кривая измерительной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lorikian M.P., Kovalov R.L., Trofimtchok N.N., The Investigation of Controllable Secondary Electron Emission from Single Particles, Nucl.Instr.and Meth., 1974, vol.122, N.3, p.377.
2. Трофимчук Н.Н., Лорикян М.П., Кавалов Р.Л. и др. О механизме управляемой вторичной электронной эмиссии на прострел. ЖЭТФ, 1975, т.69, № 8, с.639.
3. Арванов А.Н., Ахперджян А.Г., Гавалян В.Г. и др. О статистике управляемой вторичной электронной эмиссии при прохождении α - частиц. Радиотехника и электроника, 1982, т.27, № 1, с.163.
4. Лорикян М.П., Кавалов Р.Л., Трофимчук Н.Н. и др. Механизм усиления управляемой вторичной электронной эмиссии от одиночных быстрых электронов. Препринт ЕФИ-131-(75), Ереван, 1975.
5. Lorikian M.P., Trofimtchok N.N., Detection of Particles by Means of Controllable Secondary Electron Emission, - Nucl.Instr.and Meth., 1977, vol.140, N.3, p.505.
6. Арванов А.Н., Ахперджян А.Г., Гавалян В.Г. и др. Детектор управляемой вторичной электронной эмиссии с рабочим веществом MgO . Приборы и техника эксперимента, 1981, № 4, с.58

7. Кавалов Р.Л., Лукьянов С.М., Маргарян Ю.Л. и др. Временной деле тор с рыхлым диэлектрическим эмиттером. Препринт ОИЯИ, 13-83-188, Дубна, 1983.
8. Кавалов Р.Л., Маргарян Ю.Л. Детекторы на основе эмиссии электронов из рыхлых диэлектриков. Совещание по экспериментальным установкам У-400. Дрезден, 30.09 - 04.10.82, ОИЯИ Д7-82-891, Дубна, 1982.
9. Busch F., Pfeffer W., Kohlmeier B et al, A Position Sensitive Transmission Time Detector. - Nucl.Instr.and Meth. 1980, vol.171, p.71
10. Достижение в технике передачи и воспроизведения изображений /Под редакцией Б.Кейзена, М.: Мир, 1978, т.1
11. Zebelman A.M., Meyer W., Hulback K. et al., A Time-zero Detector Utilizing Isochronous Transport of Secondary Electrons. - Nucl.Instr. and Meth., 1977, vol.141, p.439.

Рукопись поступила 8 июля 1983 года

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 293

ВФ- 04497

Тираж 270

Препринт ЕФИ

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 20/IX-63

1,0 уч.-изд.л. Ц.15 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркарян 2