

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3348/83

24/6-83
13-83-188

Р.Л.Кавалов*, С.М.Лукьянов, Ю.Л.Маргарян*,
Ю.Э.Пенионжкевич, С.Г.Гаспарян*, Г.Г.Чубарян*

ВРЕМЕННОЙ ДЕТЕКТОР
С РЫХЛЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭМИТТЕРОМ

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

* Ереванский физический институт

1983

Разработка новых методов регистрации и идентификации продуктов ядерных реакций всегда занимала одно из важнейших мест в экспериментальной ядерной физике. Взаимодействие тяжелых ионов с ядрами характеризуется большим числом выходных каналов реакции, приводящих к образованию продуктов в широком диапазоне масс, зарядов и энергий. С интенсивным развитием электроники в последние годы появились большие возможности для регистрации и идентификации продуктов ядерных реакций с использованием времяпролетного метода. Этот метод, основанный на одновременном измерении скорости и кинетической энергии /импульса/ частицы, позволяет с достаточно высокой точностью определить массу продуктов реакции независимо от их зарядового состава. Так, для фрагментов с массой $A_f \sim 100$ и энергией $E \sim 3$ МэВ/нуклон при временном разрешении спектрометра $\Delta t \sim 0,3$ нс и энергетическом разрешении $\Delta E/E \sim 1\%$ на пролетной базе длиной $L \sim 1$ м обеспечивается разрешение по массе не хуже $\Delta m/m \sim 1,5\%$. Перспективность использования времяпролетной методики стимулировала ряд работ по созданию быстрых детекторов ядерного излучения. К ним относятся газовые лавинные и искровые счетчики^{1,2}. Однако применение этих детекторов ограничено как для регистрации легких ядер ввиду низкой эффективности, так и для тяжелых осколков из-за относительно большой толщины окон детекторов.

Важным шагом в развитии быстрых детекторов явилось появление микроканальных пластин /МКП/. В работе³ описаны различные конструкции трансмиссионных детекторов с использованием МКП. Принцип их работы основан на быстро протекающем $/10^{-11} - 10^{-12}$ с/ процессе вторичной электронной эмиссии из твердого вещества. МКП применяются в качестве быстрого усилителя вторичного тока, создаваемого пролетающей частицей в цепи эмиттера вторичных электронов. Перенос вторичных электронов на МКП в этих детекторах осуществляется с помощью как электростатических, так и магнитных систем. В связи с тем, что выход вторичных электронов из вещества происходит с глубины до 100 Å, это позволяет использовать в детекторах весьма тонкие эмиттеры вторичных электронов. Это обстоятельство является особенно существенным при регистрации тяжелых ядер, поскольку позволяет уменьшить до минимума энергетические потери. В настоящее время во времяпролетных спектрометрах для регистраций ядер широко используются детекторы с тонким $/\sim 10$ мкг/см²/ углеродным или коллодиевым /тринитроцеллюлоза/ эмиттером вторичных электронов. Характерное временное разрешение таких спектрометров $\Delta t \sim 150-200$ пс на уровне эффективности регистрации $\sim 100\%$ для тяжелых осколков^{3/}. Однако применение подобных эмиттеров для регистрации легких энергичных

фрагментов ядерных реакций практически невозможно из-за крайне низкого /меньше 1/ коэффициента вторичной эмиссии электронов углеродом /коллоидом/ для легких частиц с энергиями больше 1 МэВ/нуклон.

В связи с этим при создании времяпролетных спектрометров легких продуктов ядерных реакций более перспективным, на наш взгляд, является применение во временных детекторах на МКП эмиттеров управляемой вторичной электронной эмиссии /УВЭЭ/ на основе рыхлых диэлектриков /4,5/. УВЭЭ - процесс эмиссии электронов из рыхлых диэлектрических слоев при создании в них, с помощью расположенных по обе стороны слоя электродов, сильного электрического поля. Исследования УВЭЭ показали, что коэффициент вторичной эмиссии электронов из рыхлого слоя для всех исследованных диэлектриков /KCl, CsI, LiF, MgO и т.д./ при значениях электрического поля $E \geq 3 \cdot 10^4$ В/см более чем в сто раз превышает коэффициент нормальной эмиссии твердого вещества. Это объясняется тем, что процесс эмиссии происходит со всего объема рыхлого, пористого диэлектрического слоя с последующим размножением в порах δ -электронов, образованных пролетающей частицей. В такой интерпретации механизм УВЭЭ аналогичен процессу умножения электронов в канальных умножителях и МКП. В пользу такой аналогии свидетельствует также существование множества продольных и сквозных пор /каналов/ в структуре исследуемых слоев.

В первом варианте детектора на основе УВЭЭ /6,7/ регистрация вторичных электронов производилась с помощью сцинтилляционного счетчика, при этом сбор электронов на сцинтиллятор осуществлялся электростатической фокусирующей системой. Такой детектор применялся для регистрации электронов с энергией $E_e \sim 1 \div 2$ МэВ и α -частиц с энергией $E_\alpha \sim 5,5$ МэВ. В качестве рабочего вещества эмиттера использовались рыхлые слои из KCl и MgO. Была получена эффективность регистрации для α -частиц $\eta \approx 100\%$, а для электронов $\eta \approx 65\%$. Временное разрешение детектора практически определялось разрешением сцинтилляционного счетчика и составляло $\sim 0,8$ нс /использовался сцинтиллятор NE-110 с ФЭУ-56 АVP/. Очевидно, что замена системы сцинтиллятор - ФЭУ на МКП может улучшить временное разрешение детектора, т.к. ФЭУ по своим временным характеристикам значительно уступает МКП. Однако детекторы подобной конструкции имеют ряд недостатков, которые могут ограничивать их применение в физических экспериментах. Во-первых, эти детекторы необходимо располагать под углом относительно направления частиц, чтобы регистрируемая частица не попадала в систему электронного умножения, это обстоятельство приводит к уменьшению рабочей площади и увеличению эффективной толщины эмиттера. Во-вторых, из-за наклона фольги эмиттера пролетная база меняется в зависимости от места попадания частицы, что ухудшает временное разрешение системы.

С целью преодоления перечисленных недостатков, связанных в основном с методом транспортировки и регистрации вторичных элект-

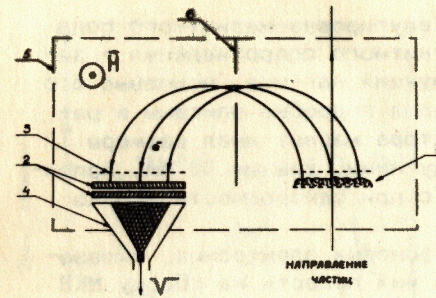


Рис.1. Схематическое изображение детектора. 1 - эмиттер управляемой вторичной электронной эмиссии с рыхлым слоем MgO, 2 - микроканальные пластины, 3 - тормозящая сетка, 4 - коаксиальный анод, 5 - постоянный магнит, 6 - коллиматор вторичных электронов.

ронов, нами была разработана новая конструкция детектора на основе УВЭЭ с использованием изохронного переноса вторичных электронов магнитным полем на сборку микроканальных пластин.

Схематический вид детектора приведен на рис.1. Регистрируемая частица, пролетая через эмиттер УВЭЭ, образует вторичные электроны, которые изохронно транспортируются на сборку МКП и после умножения в ней формируют на аноде электрический сигнал отрицательной полярности. Эмиттер УВЭЭ выполнен в виде отдельного модуля, состоящего из двух электродов диаметром 25 мм и зазором между ними 1 мм. В качестве электродов эмиттера используются никелевые мелкоструктурные сетки с прозрачностью около 90%. Одна из сеток эмиттера, служащая в качестве подложки, покрывается коллоидной пленкой толщиной ~ 1000 Å, на которую осаждается слой рыхлого диэлектрика, в данном случае MgO. С помощью второго электрода в слое создается электрическое поле $E \geq 10^4$ В/см, обеспечивающее эффективное размножение вторичных электронов в рыхлом диэлектрике и дальнейшее ускорение их в промежутке между сеткой и поверхностью слоя.

Выбор MgO в качестве рабочего вещества в данной конструкции детектора обусловлен тем, что в отличие от других применяемых диэлектриков, например щелочногалогенидных солей /CsJ, KCl, LiF и др./, он совершенно не гигроскопичен и более технологичен в изготовлении. Своими эмиссионными свойствами MgO ничем не уступает вышеперечисленным веществам. Слои MgO получают сжиганием магния в атмосфере разреженного воздуха и осаждением окиси магния на подложку. В зависимости от режима осаждения можно получить слои рыхлого MgO толщиной от нескольких единиц до сотен мкм при относительных плотностях ρ/ρ_0 от 0,3 до единиц процента /нормальная плотность монокристалла $\rho_0 = 3,65$ г/см³/. Используемые в описываемом детекторе слои имели относительную плотность $\rho/\rho_0 = 0,6\%$ и толщины 200-300 мкг/см². Известно, что такие эмиттеры при значениях поля $2 \cdot 10^4$ В/см для α -частицы с энергией 5,5 МэВ обеспечивают среднее число вторичных электронов 100-150^{9/}.

Изохронный поворот электронов на 180° от эмиттера на шевронную сборку МКП осуществляется с помощью постоянного магнита с

регулируемой напряженностью поля. Регулировка магнитного поля производится путем шунтирования магнитного сопротивления - зазора между полюсами магнита. Конструкция магнита, основные его параметры и способы регулирования поля подробно описаны в работе /8/. В данной конструкции детектора магнит имел размеры полюсов $80 \times 120 \text{ мм}^2$ с зазором между ними, равным 40 мм . Напряженность поля была установлена 70 Гс при однородности его во всем объеме детектора не хуже 1% .

Коллиматор служит для отсеечения фоновых электронов, образовавшихся в объеме детектора. Прежде чем попасть на сборку МКП электроны тормозятся с помощью специальной сетки до энергии 500 эВ , так как максимум эффективности регистрации электронов микроканальной пластиной $\sim 80\%$ находится в этой области энергий.

Для усиления вторичного тока использовалась шевронная сборка из двух МКП с диаметром 34 мм и толщиной $0,5 \text{ мм}$. На каждую МКП подавалось напряжение $\sim 1 \text{ кВ}$, а между ними - 200 В . В таком режиме коэффициент усиления сборки МКП составлял 10^7 . Сигнал с МКП снимался с помощью коаксиального анода с волновым сопротивлением 50 Ом .

Как уже отмечалось, детекторы подобной конструкции с применением коллодиевых эмиттеров вторичных электронов успешно использовались для регистрации тяжелых осколков деления /3/. Для выявления преимуществ эмиттера УВЭЭ в случае регистрации легких ядер проводилось измерение амплитудного спектра при одинаковых условиях как с коллодиевым эмиттером, так и с эмиттером из рыхлого MgO . Как видно из рис.2, при регистрации α -частиц с энергией $5,8 \text{ МэВ}$ средняя амплитуда выходного сигнала детектора с MgO на порядок превышает амплитуду сигнала в случае детектора с коллодиевым эмиттером. В принципе отношение амплитуд сигналов можно увеличить по крайней мере до 50 увеличением поля в слое. Результаты, представленные на рис.2, были получены для напряженности поля на эмиттере $2 \cdot 10^4 \text{ В/см}$. Для MgO величину поля можно поднять до значения $5 \cdot 10^4 \text{ В/см}$, при котором, согласно работе /9/, выход вторичных электронов для α -частицы с энергией $5,5 \text{ МэВ}$ увеличивается от $100\text{--}120$ при $2 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ до 1000 при $5 \cdot 10^4 \text{ В/см}$. Однако в данном случае не было необходимости подавать на эмиттер более высокое напряжение, т.к. получаемая амплитуда сигнала $0,8\text{--}1 \text{ В}$ была вполне достаточной для обеспечения высокой эффективности регистрации α -частиц без предварительного усиления сигнала.

На рис.3 приведена зависимость эффективности регистрации α -частиц с энергией $5,8 \text{ МэВ}$ от ускоряющего напряжения электронов для эмиттеров из MgO и коллодия. Максимальная эффективность регистрации α -частиц коллодиевым детектором составляет 20% , в то время как для MgO она выходит на плато 100% при более низком напряжении питания сборки МКП. Наблюдаемый на рис.3 спад эффективности регистрации при $U_{\text{сб}} \geq 2,5 \text{ кВ}$ обусловлен тем, что

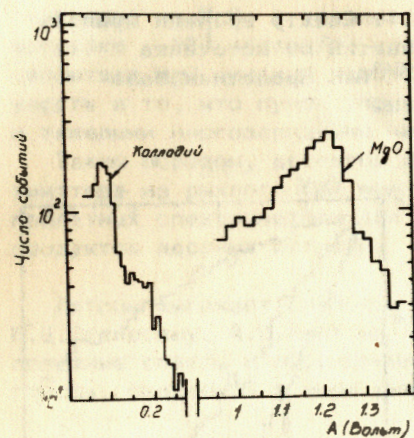
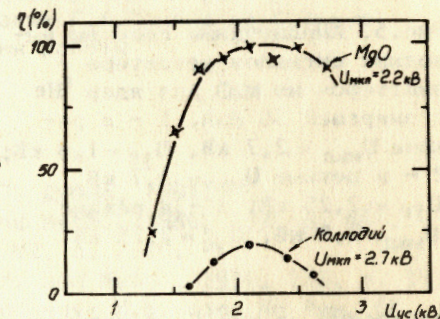


Рис.2. Амплитудные спектры выходных сигналов детектора в случае эмиттеров из коллодия и MgO при облучении α -частицами с энергией $E = 5,812 \text{ МэВ}$ от источника ^{249}Cf .

Рис.3. Зависимость эффективности регистрации α -частиц $5,812 \text{ МэВ}$ ^{249}Cf / от ускоряющего напряжения на эмиттере в случае эмиттеров из коллодия и MgO . $U_{\text{МКП}}$ - суммарное напряжение на сборке из двух МКП.



увеличивается радиус кривизны вторичных электронов в постоянном магнитном поле и они не проходят через отверстие коллиматора.

Временное разрешение детектора измерялось с помощью времяпролетной системы, состоящей из двух идентичных детекторов. После формирования в дискриминаторах со следящим порогом сигналы с детекторов поступали на время-амплитудный конвертор и далее на амплитудный анализ. Разрешение всего электронного тракта составляло $\tau_{\text{э}} \sim 0,17 \text{ нс}$.

На рис.4 представлен спектр времени пролета α -частиц от радиоактивного источника $^{241,243}\text{Am}$ при эффективности всей системы $\sim 100\%$. Как видно, временное разрешение системы $\Delta t = 0,52 \text{ нс}$. С учетом разрешения электроники собственное временное разрешение детектора $\tau_0 = 0,27 \text{ нс}$.

С целью испытания детекторов для регистрации легких ядер было проведено измерение амплитудного спектра сигналов детектора на пучке ионов гелия с энергией 36 МэВ на ускорителе У-200 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Упруго рассеянные на золотой мишени ионы ^4He попадали в временной детектор, расположенный под углом 20° относительно первичного пучка. Запись импульса от временного детектора амплитудным анализатором осуществлялась при наличии импульса с полупроводникового детектора, помещенного за временным и регистрирующего упруго рассеянные ионы под данным углом. Амплитудные спектры для различных режимов работы детектора

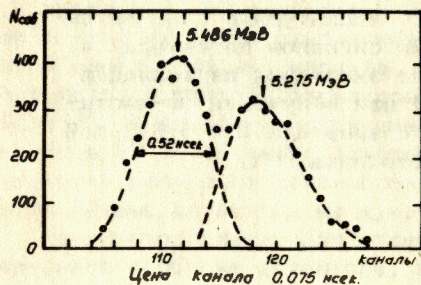
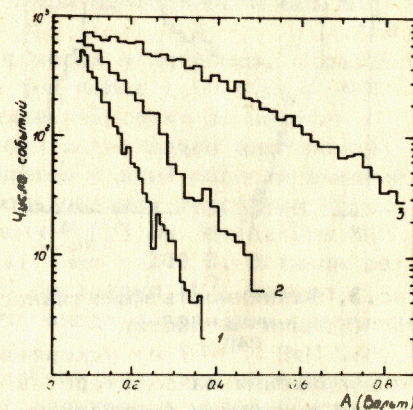


Рис.5. Амплитудные спектры выходных сигналов детектора с эмиттером из MgO для ядер ${}^4\text{He}$ с энергией 30 МэВ. 1 - в режиме $U_{\text{мкп}} = 2,7$ кВ, $U_{\text{ус}} = 1,8$ кВ; 2 - в режиме $U_{\text{мкп}} = 2,7$ кВ, $U_{\text{ус}} = 2,25$ кВ; 3 - в режиме $U_{\text{мкп}} = 2,9$ кВ, $U_{\text{ус}} = 2,25$ кВ.

приведены на рис.5. В отличие от детектора с коллодиевым эмиттером, который практически не чувствовал быстрых частиц, в случае с MgO эмиттером удалось с эффективностью более чем 60% регистрировать α -частицы с энергией 30 МэВ /кривая 3, рис.5/. В этом режиме амплитуда сигнала доходила до 1 В. Различие в режимах 1 и 2 /рис.5/ заключается в величине ускоряющего напряжения $U_{\text{ус}}$ на эмиттере. Как уже было указано, этим же потенциалом создается и поле в рыхлом слое. Как видно из рисунка, увеличение напряженности поля в диэлектрике всего на 25% приводит к значительному росту амплитуды сигнала. Это объясняется тем, что увеличение поля в диэлектрике приводит к возрастанию числа эмиттированных электронов. Таким образом, увеличивая поле в диэлектрике, можно добиться еще более высокой эффективности регистрации. Однако дальнейший рост $U_{\text{ус}} \geq 2,5$ кВ приводит к нарушению условия изохронного переноса электронов в постоянном магнитном поле. Другим способом увеличения поля в диэлектрике является уменьшение зазора эмиттера между ускоряющей сетки и подложкой. В данном случае использовались эмиттеры с зазором 1 мм, и уменьшением этого зазора до 0,5 мм можно было поднять их эффективность до 100% /при необходимости можно изготавливать эмиттеры с зазором 0,2-0,3 мм/.

Описанные выше измерения были проведены с целью выявления оптимальной конструкции и режимов работы детекторов при регистрации легких энергичных фрагментов ядерных реакций, а также с целью проверки радиационной стойкости рыхлых диэлектрических

Рис.4. Спектр времени пролета α -частиц от источника ${}^{241}\text{Am}$. Пролетная база - 50 см.



эмиттеров из MgO. В течение 5-6-часового облучения детектора при загрузке $\sim 10^4$ частиц/с как в структуре, так и в эмиссионных свойствах MgO никаких изменений не наблюдалось; при этом надо учесть и то, что пучок упруго рассеянных частиц сопровождался и тяжелыми многозарядными частицами, влетающими из мишени.

Таким образом, детектор данной конструкции с использованием эмиттера из рыхлого MgO может успешно применяться во время-пролетных спектрометрах для изучения легких высокоэнергетических продуктов ядерных реакций.

Авторы выражают глубокую признательность Г.Н.Флерову, Ю.Ц.Оганяну, А.Ц.Аматуни за поддержку данной работы и многие полезные советы и обсуждения, а также Г.А.Папяну за большую помощь, оказанную в ходе выполнения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайдель В. и др. ОИЯИ, Р7-88-807, Дубна, 1981.
2. Kuster K. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 177, p. 485.
3. Дмитриев В.Д. и др. ПТЭ, 1982, №2, с. 7-18.
4. Lorikian M.P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1974, 122, p. 337.
5. Лорикян М.Р., Кавалов В.Л., Трофимчук Н.Н. Изв. АН Арм.ССР. Физика, 1973, т. 8, с. 44.
6. Lorikian M.P., Trofimtchuk N.N. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 140, p. 505.
7. Арванов А.П. и др. ПТЭ, 1981, №4, с. 58-61.
8. Бабаян А.З. и др. Препринт ЕИ-565/52/-82, Ереван, 1982.
9. Арванов А.И. и др. Радиотехника и электроника, 1982, т. XXVII, №1, с. 163-169.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 марта 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Кавалов Р.Л. и др. 13-83-188
Временной детектор с рыхлым диэлектрическим эмиттером

Описан детектор на основе эмиттера из рыхлого диэлектрика MgO с использованием изохронной транспортировки вторичных электронов на шевронную сборку микроканальных пластин. Исследованы его характеристики /амплитудные спектры, временное разрешение, эффективность/ при регистрации α -частиц с энергией 5,5 и 30 МэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Kavalov R.L. et al. 13-83-188
A Timing Detector with Friable Dielectric Emitter

A detector using a friable dielectric MgO emitter and isochronous transport of secondary electrons onto a chevron device is described. Test results (amplitude spectrums, time resolution, efficiency) for detection of α particles with energy 5,5 and 30 MeV are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов.