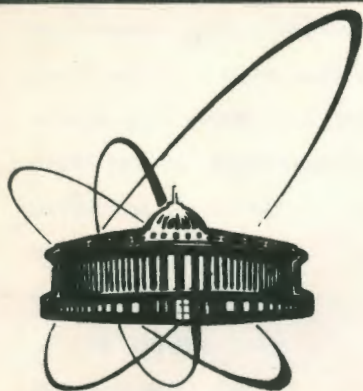


90-356



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 73У

P13-90-356

Д. Д. Богданов, А. М. Родин, С. И. Сидорчук,
В. А. Тимаков

НИЗКОФОНОВЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"

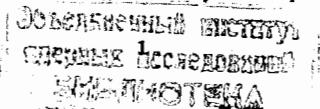
1990

В работе /1/ описан детектор на основе двух последовательно включенных микроканальных пластин (МКП), который используется для регистрации низкоэнергичных ионов в фокальной плоскости высокочувствительного масс-спектрометра ЛИДИА /2/. Полученные в этой работе характеристики относятся к токовому режиму работы детектора, однако для анализа на уровне относительной чувствительности лучше, чем 10^{-6} ат/ат, должна быть предусмотрена возможность работы в режиме счета отдельных ионов (СОИ).

В работе были использованы серийные МКП-34-10 со следующими параметрами: диаметр пластин 34 мм, диаметр каналов 10 мкм, плотность каналов 10^6 см⁻², сопротивление пластин $\approx 10^9$ Ом. Для измерения характеристик МКП в режиме СОИ детектор, помещенный в металлический корпус, был установлен в фокальной плоскости масс-спектрометра ЛИДИА. Расстояние между пластинами в сборке составляло 2 мм. Входное окно детектора имело размеры 8·25 мм. Напряжение на электроды делителя подавалось по схеме, изображенной на рис.1. Сигнал с коллектора (К) через эмиттерный повторитель и спектрометрический усилитель СУ-ЧК /3/ подавался на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) /4/ и счетчик импульсов КСО21 /5/. Управление набором информации и обработка результатов осуществлялись при помощи персонального компьютера "Правец-16". Вакуум в рабочем объеме масс-спектрометра поддерживался на уровне $2 \cdot 10^{-7}$ Торр.

С помощью термоионизационного источника с вольфрамовой нитью были получены ионы $^{39}\text{K}^{+1}$, $^{85,87}\text{Rb}^{+1}$, $^{133}\text{Cs}^{+1}$ и $^{181}\text{Ta}^{+1}$, а также молекулярные ионы в широком диапазоне интенсивности. Измерения проводились на пучках с энергией 20, 30 и 40 кэВ. Кроме того, в районе предметной щели масс-спектрометра был установлен α -источник с энергией α -частиц ≈ 4 МэВ и интенсивностью на площадь входной щели детектора ≈ 20 с⁻¹.

На рис.2(а,б) приведены амплитудные распределения импульсов



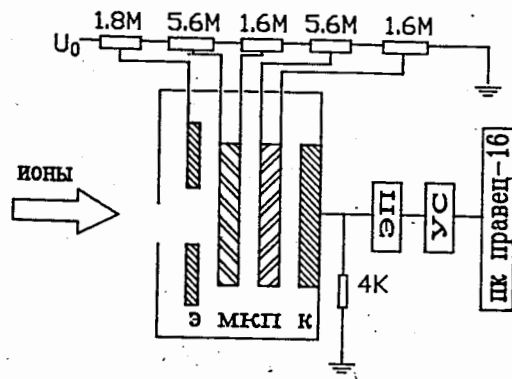


Рис.1. Схема включения детектора.

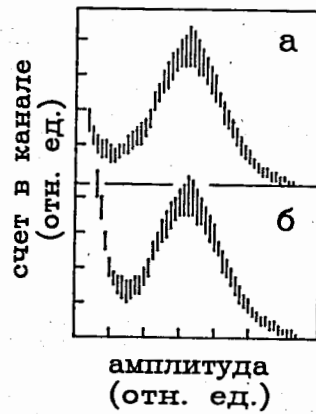


Рис.2. Амплитудные распределения сигналов с МКП:

- а) вход первой пластины и экран находятся под одинаковым потенциалом.
- б) между входом первой пластины и экраном приложена разность потенциалов.

для двух вариантов включения детектора, при одном и том же напряжении на пластинах (755 В). Оба амплитудных распределения состоят из экспоненциального и квазигауссового компонентов. Распределение, показанное на рис.2б, было получено при включении детектора по схеме, изображенной на рис.1. Рис.2а соответствует схеме, в которой экран (Э) и вход первой пластины находились под одинаковым потенциалом. Видно, что эти распределения отличаются только интенсивностью экспоненциальной части спектра, в то время как интенсивности квазигауссовой части амплитудного распределения в обоих случаях полностью совпадают. Необходимо отметить, что в случае, если запирающее напряжение возвращает вторичные электроны на поверхность МКП (рис.2б), интенсивность обеих компонентов амплитудного распределения линейно зависит от потока ионов на входе МКП. Кроме того, доля интенсивности квазигауссовой части от полной интенсивности амплитудного распределения в этом случае составляет 70%, что соответствует величине прозрачности МКП. Это позволяет сделать предположение, что квазигауссова часть амплитудного распределения формируется за счет ионов, попавших непосредственно в канал МКП, в то время как остальные 30% импульсов амплитудного распределения образуются при взаимодействии налетающего иона с поверхностью, образуемой перемычками между каналами, и дают вклад в экспоненциальную часть амплитудного распределения. Экспоненциальная форма распределения этих импульсов может быть связана с тем, что только часть вторичных электронов, возвращенных запирающим напряжением на МКП, попадает непосредственно в канал, вызывая в нем электронную лавину. В отсутствие запирающего напряжения (рис.2а) форма и интенсивность экспоненциальной части амплитудного распределения полностью совпадают с формой и интенсивностью собственного шума МКП.

Для выбора оптимального режима работы МКП в зависимости от напряжения на одной пластине были измерены: средняя амплитуда (А) сигнала, снимаемого с детектора, для ионов с энергией 40 кэВ и α -частиц, ширина на половине высоты амплитудного распределения ($\Delta A/A$), фон МКП при порогах регистрации, соответствующих эффективности регистрации ионов 35% и 60% (с учетом геометрической эффективности регистрации МКП, составляющей $\approx 70\%$), а также предельные загрузки МКП ($f_{\text{пред}}$), при которых средняя амплитуда сигнала уменьшается в 2 раза. Измерения собственного шума МКП проводились при закрытом вакуумном затворе, перекрывавшем ионный пучок. Результаты измерений приведены в таблице.

Амплитудные распределения импульсов детектора при напряжениях на МКП, для которых проводились измерения, в том числе и для напряжений, соответствующих линейному режиму работы детектора, для ионов с энергией больше 20 кэВ, имеют квазигауссову форму. Значения средних амплитуд сигнала, приведенные в таблице, соответствуют диапазону коэффициентов усиления детектора от 10^7 до $3 \cdot 10^9$ для ионов $^{133}\text{Cs}^{+1}$. Столь большие величины коэффициента усиления могут быть объяснены высоким коэффициентом вторичной электронной эмиссии при взаимодействии ионов с энергией 40 кэВ с материалом МКП. Для оценки величины коэффициента вторичной электронной эмиссии были измерены средние амплитуды сигнала для электронов с энергией 300 эВ и ионов остаточного газа с энергией ≈ 2.2 кэВ. В качестве источника использовалась ионизационная вакуумная лампа, расположенная на расстоянии 1 м от детектора. При регистрации электронов на делитель подавалось положительное напряжение и электроны ускорялись в промежутке между экраном (Э) и первой МКП. Измерения проводились при напряжении на МКП 680 В. Амплитудные распределения импульсов как для электронов с энергией 300 эВ, так и для ионов с энергией 2.2 кэВ имеют экспоненциальный вид. В качестве средней амплитуды сигнала в этом случае

принималось среднее значение для соответствующей экспоненты. Отношение средних амплитуд сигнала для ионов с энергией 40 кэВ и электронов равно ≈ 4 , для ионов с энергией 40 кэВ и ионов с энергией 2.2 кэВ это отношение составляет ≈ 20 . Если предположить, что коэффициент вторичной электронной эмиссии для ионов с энергией 2.2 кэВ $\nu = 1$, то для электронов с энергией 300 эВ $\nu = 4$, что согласуется со значением, приведенным в работе /6/. Таким образом, коэффициент вторичной электронной эмиссии для ионов с энергией 40 кэВ, взаимодействующих с поверхностью МКП, равен $\nu \approx 20$. Большим коэффициентом вторичной электронной эмиссии можно объяснить как квазигауссову форму амплитудного распределения импульсов в линейном режиме работы МКП, так и значительные коэффициенты усиления, приведенные в таблице. Коэффициенты усиления, нормированные на коэффициент вторичной электронной эмиссии $\nu = 20$, согласуются со значениями, типичными для серийных МКП.

В диапазоне энергий 20–40 кэВ была также измерена зависимость средней амплитуды сигнала с МКП в режиме СОИ от энергии налетающего иона. В указанном диапазоне эта зависимость является практически линейной и коэффициенты усиления для энергий 20, 30 и 40 кэВ относятся соответственно как 1:1.3:1.6 при напряжении на отдельной МКП 680 В.

Зависимость средней амплитуды сигнала с МКП от массы налетающего иона в пределах погрешности $\pm 5\%$ отсутствовала, что согласуется с результатами, полученными в работе /1/ для токового режима работы детектора. Измерения были проведены на пучках $^{39}\text{K}^{+1}$, $^{85,87}\text{Rb}^{+1}$, $^{133}\text{Cs}^{+1}$ и $^{181}\text{Ta}^{+1}$ с энергией 40 кэВ. Вместе с тем интересно отметить, что средняя амплитуда сигнала с МКП для нитратов и поликарбидов W, Rb и Cs с энергией 40 кэВ в 1.4 раза выше, чем для атомарных ионов с той же энергией и не зависит от массы и числа атомов в молекуле. Эти измерения также были

проведены в линейном режиме работы МКП (напряжение на отдельной МКП составляло 680 В) в диапазоне молекулярных масс от 97 до 350 а.е.м.

Таблица

U(В)	680	755	830	905	980
A	1.6	16	64	160	480
(пК) α-част.	3.2	32	112	320	640
Фон МКП 35%	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
(см ⁻² ·с ⁻¹) 60%	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	0.1	0.2
ΔA/A(%)	93	63	66	64	69
f _{пред} (с ⁻¹)	$2 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	10^3	

Таким образом, в работе изучены характеристики детектора на основе МКП, работающего в режиме СОИ. Для ионов с энергией 40 кэВ коэффициент усиления составляет 10^7 при напряжении на пластине 680 В (линейный режим работы детектора) и достигает $3 \cdot 10^9$ при напряжении на пластине 980 В вследствие большой величины ($\nu=20$) коэффициента вторичной электронной эмиссии. Фон МКП в линейном режиме работы (680 В) составляет от 1 импульса за 100 с при 35% эффективности регистрации (порог регистрации устанавливается в максимуме квазигауссова компонента амплитудного распределения) до 1 импульса за 30 с при эффективности регистрации 60%. Предельная нагрузка МКП в режиме СОИ определяется напряжением, подаваемым на делитель, и составляет 10^4 с⁻¹·см⁻² при напряжении на пластине 680 В.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову и д-ру Г.М.Тер-Акопяну за интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М.Родин и др. ОИЯИ, 13-88-589, Дубна, 1988.
2. Д.Д.Богданов и др. ОИЯИ, 13-83-840, Дубна, 1983.
3. А.Н.Кузнецов и др. ОИЯИ, 13-12953, Дубна, 1979.
4. А.Н.Кузнецов и др. ОИЯИ, 13-83-67, Дубна, 1983.
5. Вьонг Дао Ви и др. ОИЯИ, 10-81-755, Дубна, 1981.
6. М.А.Грунтман. ПТЭ, 1985, №1, с.144.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 мая 1990 года.

Богданов Д.Д. и др.

P13-90-356

Низкофоновый детектор для масс-спектрометра

Измерены характеристики детектора для регистрации низкоэнергетических ионов, изготовленного на основе шевронной сборки из двух микроканальных пластин. Измерения проведены в режиме счета отдельных ионов. Показано, что высокий коэффициент усиления МКП для ионов с энергией десятки кэВ связан с большим значением коэффициента вторичной электронной эмиссии.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1990

Перевод авторов

Bogdanov D.D. et al.

P13-90-356

Low Background Detector for a Mass-Spectrometer

The parameters of low energy ion detector designed as tandem type microchannel plates (MCP) are measured. The measurements were performed in the mode of the single ions count. It is shown that a high amplification coefficient of MCP for the ions with energy tens keV is connected with a high magnitude of the secondary electron emission coefficient.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1990