

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Р 604

13-88-589

А.М.Родин, С.И.Сидорчук, В.А.Тимаков

ДЕТЕКТОР ИОНОВ  
НА ОСНОВЕ МИКРОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИН  
ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО  
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

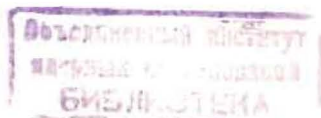
1988

Для масс-спектрометра ЛИДИА /1/ с лазерным источником ионов создана одноканальная система регистрации ионов в фокальной плоскости на основе двух последовательно включенных микроканальных пластин (МКП). Используются серийные МКП со следующими параметрами: диаметр пластин 34 мм, диаметр каналов 10 мкм, плотность каналов  $10^6 \text{ см}^{-2}$ , коэффициент усиления при напряжении на пластине 1000 В  $10^4$ , сопротивление пластин  $\approx 10^9 \text{ Ом}$ . При измерении величины ионных токов, соответствующих чувствительности анализа до  $10^{-8} \text{ ат/ат}$ , детектор работает в токовом режиме, а при регистрации меньших интенсивностей ионов (до  $10^{-12} - 10^{-14} \text{ ат/ат}$ ) - в режиме счета отдельных ионов.

#### ТОКОВЫЙ РЕЖИМ

Характеристики детектора в токовом режиме исследовались на масс-спектрометре ЛИДИА-М /2/. Детектор был закреплен на фланце в фокальной плоскости спектрометра. Вся сборка окружена экраном, а со стороны входа ионного пучка имелась вертикальная щель размером 2·25 мм. Напряжение на электроды детектора подавалось через омический делитель, полное сопротивление которого 4.4 МОм. Величина напряжения на первой МКП составляет 0,8 от напряжения на второй и 0,36 от полного напряжения, подаваемого на делитель. Развертка массового спектра осуществлялась путем ступенчатого изменения поля анализирующего магнита.

Для увеличения динамического диапазона детектора токовые импульсы регистрировались как с выхода первой пластины, так и с коллектора, расположенного после второй пластины. Использование спектрометрических усилителей с входным сопротивлением  $\approx 1 \text{ МОм}$  позволяет интегрировать токовые импульсы с длительностью до 40 мкс на собственной емкости МКП ( $\sim 200 \text{ пФ}$ ). Далее оба сигнала поступали на шестнадцатиразрядные амплитудоцифровые преобразователи



(АШП)/3/. За счет низкого порога регистрации АШП в отдельном спектрометрическом тракте удалось получить линейный динамический диапазон  $\sim 2 \cdot 10^3$ . Различие в коэффициентах усиления между первой пластиной и полной сборкой из двух пластин дает возможность дополнительно увеличить динамический диапазон регистрируемых токов.

С целью выбора оптимального режима работы детектора была измерена зависимость коэффициента усиления МКП от приложенного напряжения. Измерения производились на пучке ионов железа с энергией 40 кэВ. Длительность токового импульса составляла 5 мкс, максимальный заряд в импульсе 8 нКл. Абсолютные значения ионных токов в фокальной плоскости измерялись с помощью трехэлектродного цилиндра Фарадея с запирающим напряжением.

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента усиления сборки из двух МКП от напряжения на делителе  $U$  для трех значений ионного тока на входе МКП. Видно, что кривая выходит на плато при разных коэффициентах усиления в зависимости от величины ионного тока на входе детектора. Максимальный заряд, регистрируемый после второй МКП, равен 0,3 нКл и не зависит от значения тока на входе МКП и напряжения на делителе. Линейный режим работы сохраняется до 0,1 нКл на выходе МКП. Зависимость коэффициента усиления первой МКП от напряжения также приведена на рис. 1. Для первой пластины в области  $U \sim 900$  В коэффициент усиления  $K$  становится равным 1,0, и при более низких напряжениях первая пластина начинает работать как обычный коллектор ионов. Предельный заряд, снимаемый с выхода первой пластины, составляет 0,84 нКл и также не зависит от значения ионного тока на входе. При напряжении на делителе 1400 В, за счет различия коэффициентов усиления первой пластины и сборки в целом, удается дополнительно увеличить динамический диапазон в 10-20 раз.

Дальнейшее увеличение динамического диапазона ограничивается существованием емкостной связи между пластинами.

В качестве иллюстрации работы детектора на рис. 2 приведен спектр изотопов кальция, полученный за одну развертку магнитного поля при фиксированных напряжениях детектора и коэффициентах усиления спектрометрических трактов. Напряжение на делителе составляло 1300 В, анализировался образец мрамора. Из спектра видно, что интенсивность линии изотопа  $^{46}\text{Ca}$ , распространенность которого в природе составляет 0,003 %, в 8 раз превышает порог регистрирующей аппаратуры. В спектре присутствуют также линии калия ( $A = 39, 41$ ). Таким образом, из рисунка видно, что одновременная регистрация сигналов с двух пластин, при использовании АШП с динамическим диапазоном  $\sim 10^3$ , позволяет получить динамический диапазон детектора больше  $10^5$ .

Важной характеристикой детектора является чувствительность к ионам различных зарядностей во всем диапазоне измеряемых масс. Ряд работ посвящен изучению регистрации тяжелых ионов с помощью МКП /4, 5, 6/, но систематических данных по эффективности регистрации ионов в зависимости от зарядности и массового числа в литературе нет. На рис. 3 представлены результаты измерений коэффициентов усиления МКП, которые определялись как отношение сигнала с МКП к сигналу с цилиндра Фарадея, при регистрации ионных токов с зарядностями  $1^+$ ,  $2^+$  и  $3^+$  в области массовых чисел от 27 до 208. Напряжение на делителе составляло 1100 В. Из рисунка видно, что коэффициенты усиления для различных зарядностей постоянны в пределах погрешности для измеренного диапазона масс, а относительные чувствительности составляют 1,0; 0,8; 0,64 для ионов  $1^+$ ,  $2^+$  и  $3^+$  соответственно. Ошибки на графике отражают воспроизводимость результатов в различных сериях измерений.



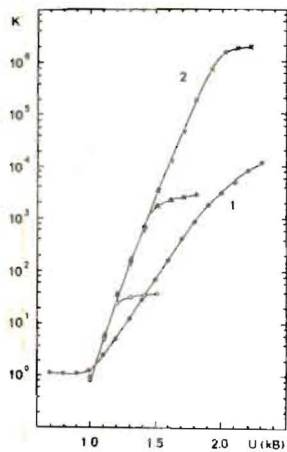


Рис.1. Зависимость коэффициента усиления от напряжения на делителе. Кривая 1 - для первой МКП.  $\bullet$  -  $q = 1.5 \cdot 10^3$  ион/см<sup>2</sup>. Кривая 2 - для сборки из двух МКП.  $\circ$  -  $q = 5 \cdot 10^7$  ион/см<sup>2</sup>,  $\Delta$  -  $q = 6 \cdot 10^5$  ион/см<sup>2</sup>,  $\times$  -  $q = 1.2 \cdot 10^3$  ион/см<sup>2</sup>.

Рис.2. Массовый спектр изотопов кальция.

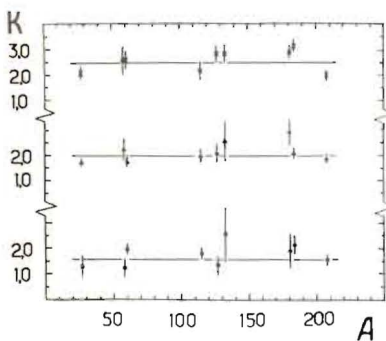
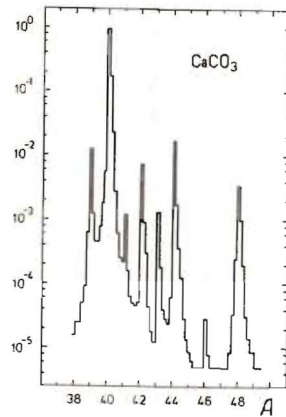


Рис.3. Зависимость коэффициента усиления МКП от массы налетающего иона для зарядностей  $1^+$ ,  $2^+$ ,  $3^+$ .

Таким образом, при фиксированном коэффициенте усиления детектор позволяет регистрировать импульсные ионные токи, отличающиеся по величине в  $10^5$  раз. Максимальная плотность заряда на входе детектора без нарушения линейности может достигать  $2 \cdot 10^{-10}$  Кл·см<sup>-2</sup>, а минимальная -  $2 \cdot 10^{-16}$  Кл·см<sup>-2</sup>. При этом зависимость от массового числа регистрируемых ионов отсутствует.

#### РЕЖИМ СЧЕТА ОТДЕЛЬНЫХ ИОНОВ

Изучение характеристик детектора в режиме счета отдельных ионов производилось с помощью  $\alpha$ -источника с энергией  $\alpha$ -частиц - 4,0 МэВ. Источник был установлен в районе предметной щели спектрометра, детектор - в фокальной плоскости. Входное окно детектора имело размеры 8·25 мм, интенсивность  $\alpha$ -частиц на эту площадь составляла  $56 \text{ с}^{-1}$ . В счетном режиме на каждую МКП подавалось одинаковое напряжение. Контрольные измерения производились с помощью Si(Au) полупроводникового детектора, также установленного в фокальной плоскости масс-спектрометра. Для измерения амплитудных и счетных характеристик использовалась следующая электронная аппаратура: МКП - усилитель - АШП - миниЭВМ SM-1300 с программой для измерения и обработки спектров.

С целью выбора оптимального режима работы детектора измерялись: зависимость коэффициента усиления от напряжения, амплитудное распределение, фон МКП. Измерения были проведены для двух расстояний между пластинами: 10 мкм и 1000 мкм.

На рис.4 приведена зависимость коэффициента усиления МКП от напряжения на отдельной пластине для расстояния 1000 мкм. Зависимость имеет линейный вид в полулогарифмическом масштабе с выходом на плато в области напряжений больше 1100 В. Обращает на себя внимание сравнительно большая величина коэффициента усиления, достигающая  $2 \cdot 10^9$ . Это связано с расплыванием

электронной лавины в промежутке между МКП и увеличением за счет этого числа "работающих" каналов на второй МКП. Для сборки с расстоянием между пластинами 10 мкм коэффициент усиления не превышал  $3 \cdot 10^8$  при напряжении на пластинах 1250 В. Сравнение проведено для одной и той же пары МКП, т.к. при замене пластин коэффициент усиления сборки при фиксированном напряжении может меняться в 2-5 раз.

На рис. 5 представлены амплитудные распределения сигналов со сборки МКП для расстояния между пластинами 1000 мкм. В таблице приведены основные результаты измерений. Из таблицы видно, что с увеличением напряжения счет  $\alpha$ -частиц выходит на плато, и уменьшается относительная ширина амплитудного распределения. При напряжении на пластинах больше 800 В эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц близка к геометрической и составляет  $\approx 70\%$ . Необходимо отметить, что при измерении счетных характеристик порог регистрации устанавливался в ложбине амплитудного распределения (см. рис. 5).

При работе со сборкой МКП с расстоянием между пластинами 10 мкм в амплитудном распределении отсутствует явный максимум. Измерения были проведены в диапазоне напряжений 1070 - 1250 В.

Измерения фонового счета проводились при закрытом вакуумном затворе, который находился на расстоянии 1 м от детектора и перекрывал пучок  $\alpha$ -частиц. Амплитудное распределение фоновых импульсов имеет вид быстро спадающей экспоненты (рис. 5), в связи с чем ошибка при измерении величины фона составляет  $\pm 50\%$  и определяется, в основном, точностью установки порога. В области напряжений 800 - 900 В скорость счета фоновых импульсов составляет  $8 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ . Такая величина фона при работе с лазерным

источником ионов в импульсном режиме обеспечивает условия для анализа с относительной чувствительностью не хуже  $10^{-14}$  ат/ат. Следует подчеркнуть, что в области напряжений 800 - 900 В МКП еще не находится в насыщении по коэффициенту усиления (см. рис. 4).

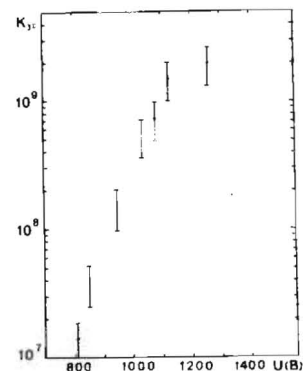


Рис. 4. Зависимость коэффициента усиления от напряжения на отдельной пластине.

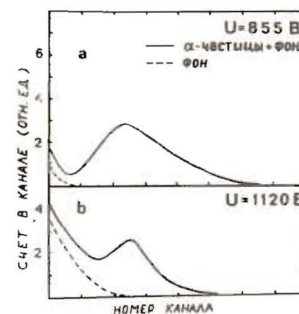


Рис. 5. Амплитудные распределения сигналов со сборки МКП для расстояния между пластинами 1000 мкм.

Таблица

напряжение на пластине U (В)	765	780	790	810	855	900	940	1250
$I_{\alpha} (\text{с}^{-1})$	19	29	38	39	40	40	41	56
$I_{\text{фона}} (\text{с}^{-1})$	0,02	0,03	0,03	0,07	0,24	0,47	1,0	10,0
относительная ширина на полувысоте (%)	360	230	160	150	110	80	80	46



Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову за интерес к работе и ценные замечания, а также Д.Д.Богданову и Г.М.Тер-Акопяну за постановку задачи и полезные дискуссии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Д.Богданов и др. ОИЯИ, 13-83-840, Дубна, 1983.
2. Д.Д.Богданов и др. Вопросы атомной науки и техники, сер.Радиационная техника, 1986, вып.1(32), с.26-29.
3. Д.Д.Богданов и др. 12 Международный симпозиум по ядерной электронике, Д13-85-703, Дубна, ОИЯИ, 1985, с.345.
4. М.В.Никоненков и др., ПТЭ, 1980, №1, с.191-193.
5. В.Д.Дмитриев и др., ПТЭ, 1982, №2, с.7-18.
6. M.Liptak et al. IEEE Trans. Nuclear Science. V.NS-31, N1, 1984, p.780-785.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 августа 1988 года.

Родин А.М., Сидорчук С.И., Тимаков В.А. 13-88-589  
Детектор ионов на основе микроканальных пластин  
для высокочувствительного масс-спектрометра

Измерены характеристики детектора для регистрации низкоэнергичных ионов, изготовленного на основе шевронной сборки из двух микроканальных пластин. Измерения проведены в токовом режиме и в режиме счета отдельных ионов. Показано, что использование детектора на основе микроканальных пластин позволяет проводить измерения импульсных потоков ионов в диапазоне от  $10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  до  $10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Rodin A.M., Sidorchuk S.I., Timakov V.A. 13-88-589  
Ion Detector on the Basis of Microchannel Plates  
for a High-Sensitive Mass-Spectrometer

The parameters of low energy ion detector designed as tandem type microchannel plates (MCP) are measured. The measurements were performed both in the current mode and in the mode of single ion count. It is shown that using of the detector designed as tandem type MCP allows one to measure the pulses ion flows in the range from  $10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  to  $10^{-2} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988