

К. т. н. В. П. СИДОРЕНКО¹, Ю. В. ПРОКОФЬЕВ¹, Д. С. МУРЧЕНКО¹, В. М. ЕРЕМЕНКО²,
А. В. ШЕЛЕХОВ²

Украина, г. Киев, ¹НИИ микроприборов НАНУ; г. Сумы, ²Институт прикладной физики НАНУ
E-mail: sidorenko@imd.org.ua

КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ

Разработан, изготовлен и исследован координатно-чувствительный детектор заряженных частиц для спектроскопии, который может использоваться в аналитической аппаратуре, обеспечивая одновременный анализ всего элементного состава материалов с высокой чувствительностью и точностью. Детектор построен на основе разработанной специализированной большой интегральной схемы и микроканальных пластин.

Ключевые слова: координатно-чувствительный детектор, спектроскопия, элементный анализ, большая интегральная схема, микроканальная пластина.

Создание координатно-чувствительных детекторов (**КЧД**) заряженных частиц для спектроскопии является актуальной задачей для создания современной аналитической аппаратуры, предназначенной для количественного анализа многоэлементных веществ [1–6]. Применяемые в настоящее время метод фоторегистрации и метод последовательного измерения по каждому каналу с применением цилиндров Фарадея являются медленными и затратными и не дают возможности проводить анализ в масштабе реального времени. Приборы, с помощью которых можно одновременно получать информацию про весь элементный состав путем анализа спектра в масштабе реального времени и с высокой точностью без специальной подготовки проб, позволяют оперативно управлять процессом анализа, проводя юстировку масс-спектрометра по конкретным изотомам примесных элементов. Вследствие этого увеличивается точность и чувствительность анализа, значительно сокращается время анализа и затраты исследуемого материала, что особенно важно при создании наноматериалов, получении сверхчистых материалов.

На основе разработанной нами специализированной большой интегральной схемы [7, 8] и микроканальных пластин создан координатно-чувствительный детектор заряженных частиц, описанию которого посвящена данная статья.

Основные узлы и технические характеристики КЧД

Основными функциональными узлами разработанного детектора являются следующие:

- входная апертурная щель, выбирающая анализируемый участок фокальной плоскости;
- ион-электронный преобразователь – умножитель вторичных электронов («ион – лавина электронов»), который состоит из двух микроканальных пластин (**МКП**) в шевронной сборке;

- специализированная большая интегральная схема (**БИС**), содержащая 384 счетных канала, УБ5709ИК01-2.11 ШЖГК.431214.111 ТУ;
- многослойное керамическое основание, на котором размещены узлы прибора и интерфейсные разъемы;

- разъемы для подключения контроллера прибора, напряжения питания БИС и высокого напряжения питания МКП;
- металлический немагнитный экран для защиты от попадания ионов на элементы конструкции прибора, кроме фокальной плоскости;
- тестовые выводы для проверки работоспособности в отсутствие ионных пучков.

Основные технические характеристики КЧД:

- обеспечивает одновременное детектирование ионов изотопов элементов в широком спектре масс исследуемого вещества и в широком диапазоне концентраций (от 10^{-7} до 100%);
- участок спектра одновременно детектируемых ионов составляет 9,6 мм;
- содержит 384 независимых счетных канала;
- скорость счета детектируемых частиц 3 МГц;
- минимальный заряд, регистрируемый детектором, $1,6 \cdot 10^{-13}$ Кл;
- напряжение питания БИС 5 В;
- потребляемый ток не более 30 мА;
- напряжение питания МКП 2000 В;
- габариты 45×48 мм, толщина 5 мм (без учета высоты стоек).

Принцип работы детектора

Термин «координатно-чувствительный детектор заряженных частиц» обозначает выполненное на полупроводниковом кристалле устройство, предназначенное для одновременного детектирования разделенного в пространстве спектра заряженных частиц и расположенное в фо-

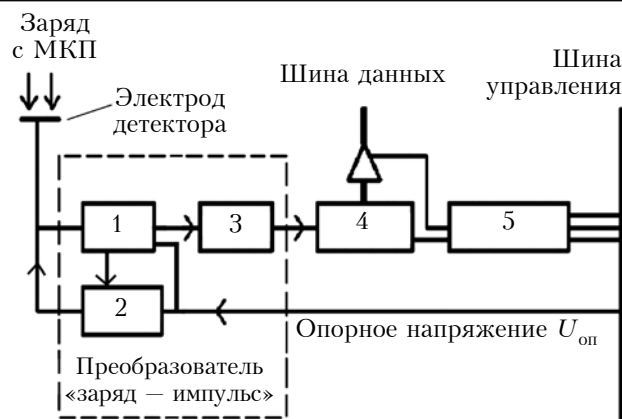


Рис. 1. Упрощенная схема координатно-чувствительного детектора заряженных частиц (один канал): 1 — компаратор; 2 — разряд; 3 — импульс; 4 — счетчик; 5 — управление

кальной плоскости спектрометра, размеры которого определяются числом детекторов и шагом периодической структуры КЧД.

На рис. 1 приведена упрощенная схема координатно-чувствительного детектора заряженных частиц, построенного на специально разработанной БИС, которая подробно описана в [7, 8].

Каждый из 384 электродов детектора представляет собой полоску алюминия на поверхности кристалла БИС, соединенную с компаратором. Число таких полосок определяет число детекторов на кристалле. Компаратор представляет собой устройство, чувствительное к заряду потока электронов, попадающих на поверхность алюминиевой полоски. Следовательно, для того чтобы находящийся в фокальной плоскости масс-спектрометра ион был зарегистрирован как единичное событие (один ион — один импульс счетчика), необходимо установить перед детектором преобразователь «ион — лавина электронов». Лавина электронов должна изменить потенциал электрода, против которого находится ион, до значения ниже порога срабатывания компаратора — только в этом случае компаратор переключится, сформирует единичный импульс счета для конкретного счетчика и за счет обратной связи установит вход компаратора в исходное состояние. При этом во избежание просчетов детектора весь процесс должен проходить достаточно быстро, до прихода следующего иона на детектор.

Ион-электронный преобразователь на микроканальных пластинах

Типовая МКП [9] представляет собой стеклянную пластину с сотовой структурой из большого числа (500—1000) регулярно расположенных и спеченных вместе шестиугольных микроканальных сот. Каждая сота состоит из множества (5000—10000) регулярно расположенных и спеченных вместе миниатюрных трубчатых каналов диаметром 5—25 мкм, плотность их размещения

(0,5—5)·10⁶ см⁻². Конструктивно в составе МКП можно выделить активный элемент — микроканальную вставку и монокристаллическое обрамление.

Основным материалом МКП являются свинцово-силикатные стекла. К гладкости и чистоте поверхностей торцов и каналов предъявляются жесткие требования. Для параллельного электрического соединения каналов на обе стороны МКП термически напыляют в вакууме контактное металлическое покрытие (обычно нихром, хром или сплав «Inconel») толщиной 0,2—0,4 мкм, которое заглубляют на входе и выходе каналов. Каналы МКП обычно наклонены на 4—13° относительно нормали к торцам. Вся конструкция должна быть механически прочной, с максимально совершенной геометрической структурой каналов и минимумом структурных дефектов.

Суммарное сопротивление между электродами составляет 10⁸—10⁹ Ом и определяется химическим составом стекла, а также сопротивлением резистивно-эмиссионного слоя на поверхности стенок каналов. Формирование резистивно-эмиссионного слоя происходит путем термоводородного восстановления на этапе производства МКП.

Современные микроканальные пластины, используемые отдельно или в сборке, позволяют одновременно достичь коэффициента электронного умножения порядка 10⁴—10⁷ и очень высоких значений временного разрешения (<100 пс) и пространственного разрешения, которое ограничено только размерами канала и шагом сотовой структуры.

Базовым элементом МКП является трубчатый канал диаметром d , длиной l , калибром $a = l/d$. Особенностью микроканальной структуры МКП является то, что коэффициент умножения не является функцией длины канала или его диаметра, а зависит от их отношения, т. е. калибра.

При изготовлении МКП на поверхности канала формируется резистивно-эмиссионный слой (РЭС) толщиной 0,2—0,3 мкм, состоящий в первом приближении из двух слоев: верхнего, очень тонкого (порядка 10 нм) эмиссионного (обеспечивающего вторичную электронную эмиссию), почти диэлектрического слоя на основе кремнезема SiO₂ и нижнего, более толстого, резистивного, в котором сосредоточен восстановленный свинец и который обладает электропроводностью.

На канал подается напряжение питания U , и по РЭС течет ток проводимости $I_{II} = U/R$. Ток создает падение напряжения, и в канале возникает однородное электрическое поле с линейно нарастающим потенциалом $(U/l)_x$, напряженность которого $E = U/l$ направлена по оси канала x . Влетающий в канал электрон, сталкивается вблизи входа с поверхностью — осуществляется первое соударение. При этом в среднем выбивается больше одного вторичного электрона: коэффициент вторичной электронной эмиссии при

первом соударении $\sigma_1 > 1$. Попав в электрическое поле, вторичный электрон набирает энергию, увеличивает под действием осевой силы $F = eE$ осевую составляющую скорости v_x , перемещается вдоль канала к выходу, набирая энергию, а под влиянием поперечной составляющей начальной скорости v_{0y} , на которую поле в канале не действует, он смещается еще и в поперечном направлении. В общем случае траекторией вторичного электрона является парабола, вид которой определяется начальными условиями (энергией и углом вылета электрона) и напряженностью поля в канале. В результате вторичные электроны вновь сталкиваются со стенкой и вновь генерируют электроны. Указанный процесс происходит лавинообразно, и лавина электронов за время порядка 10^{-9} с оказывается на выходе канала [10].

Коэффициент умножения канала МКП калибром a в предположении, что электроны вылетают перпендикулярно стенкам канала, вычисляется как [8]

$$G = \left(\frac{AV}{2\alpha\sqrt{V_0}} \right),$$

где $A = \delta/\sqrt{V_c}$;

V_c — энергия электрона до столкновения со стенкой канала;

δ — коэффициент вторичной эмиссии;

V — напряжение на МКП;

V_0 — начальная энергия вторичного электрона (1–2 эВ).

Анализ показывает, что коэффициент усиления зависит от напряжения питания (напряженности поля в канале), калибра канала, вторично-эмиссионных свойств резистивно-эмиссионного слоя и некоторых других факторов.

Устранить ионную обратную связь [11] и получить достаточное усиление для работы в режиме прямого счета ионов позволяет использование двух МКП в шевронной сборке (рис. 2).

В КЧД используются микроканальные пластины F2370-01 фирмы Hamamatsu (Япония). Эта МКП, строение которой показано на рис. 3, имеет размеры, оптимальные для размещения над зарядочувствительным участком кристалла, а достаточно малый диаметр канала (меньше ширины одного зарядочувствительного электрода БИС) позволяет обеспечивать высокое разрешение прибора.

Параметры МКП F2370-01:

- внешние размеры $A - A'$ 15,9×9,4 мм;
- рабочая область $C - C'$ 13×6,5 мм;
- толщина 0,48 мм;
- диаметр канала 12 мм;
- шаг ячеек 15 мкм;
- угол наклона каналов 8°;
- коэффициент рабочей поверхности 60%;
- материал электродов “Inconel”;

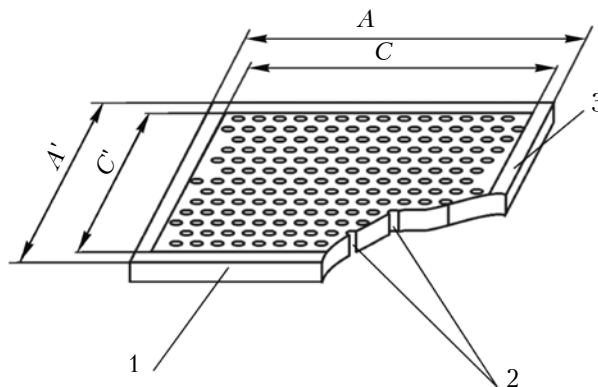


Рис. 3. Строение МКП F2370-01:

1 — стекловидная структура; 2 — каналы; 3 — область электродов

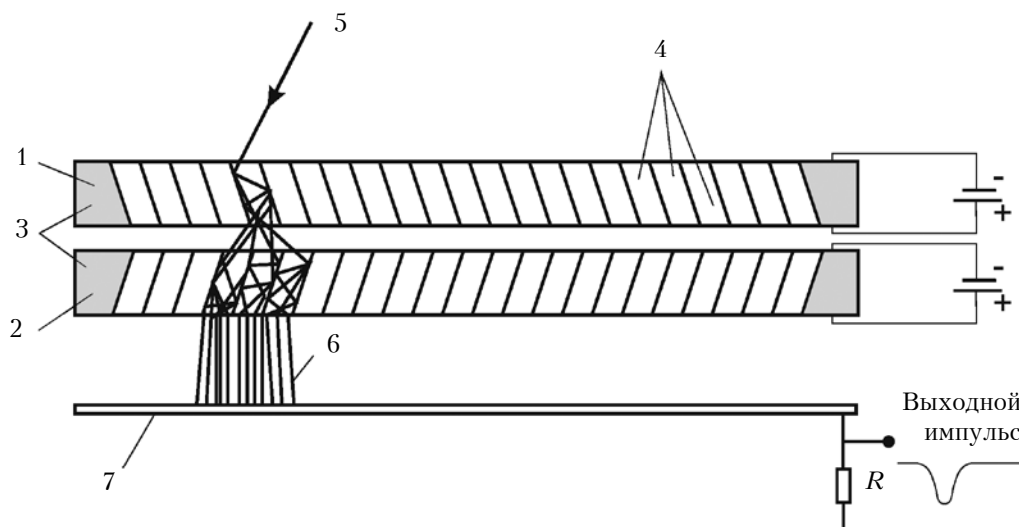


Рис. 2. Образование электронной лавины в шевронной сборке (на каждой МКП $V \approx 1$ кВ):

1, 2 — МКП; 3 — шевронная сборка; 4 — каналы; 5 — первичное излучение; 6 — электронная лавина; 7 — анод (электрод КЧД)

- минимальное усиление 10^4 ;
- сопротивление 20 – 120 МОм;
- темновой ток 0,5 пА/см²;
- напряжение питания 1,0 кВ;
- температура окружающей среды: $-50...+70^{\circ}\text{C}$.

Ион-электронный преобразователь состоит из двух таких пластин, собранных в отдельный функциональный и конструктивный узел (шевронная сборка), промежуток между МКП составляет 100+5 мкм (рис. 4).

По причине хрупкости микроканальных пластин и их высокой стоимости были предприняты необходимые конструктивные меры, направленные на защиту МКП от механических нагрузок, возникающих при их установке в конструкцию и при эксплуатации в составе прибора в широком температурном диапазоне ($0 - 150^{\circ}\text{C}$). Каждая МКП была установлена в специальную керамическую рамку из вакуумной керамики ВК-96 с отверстием под размеры МКП плюс 100 мкм, толщиной 0,48 мм с допуском минус 10 мкм. Рамки для МКП изготавливались аналогично элементам корпуса.

Электрический контакт в МКП обеспечивается двумя слоями металлизированного полиимида толщиной 50 мкм каждый, из которого изготовлены гибкие электроды для подвода к МКП высокого напряжения. Нижний промежуточный электрод установлен металлической стороной вниз и обеспечивает подачу потенциала на верхнюю поверхность нижней МКП, верхний промежуточный электрод – металлизацией вверх и обеспечивает подачу потенциала на нижнюю поверхность верхней МКП [12, 13]. Концы электродов методом ультразвуковой сварки присоединены к металлизированным дорожкам на керамической основе корпуса. За счет полиимида такая конструкция обеспечивает «мягкость» посадки МКП при прижимании.

Керамические элементы корпуса изготовлены из керамики ВК-96 лазерной резкой с последующим шлифованием для обеспечения необходимой точности размеров.

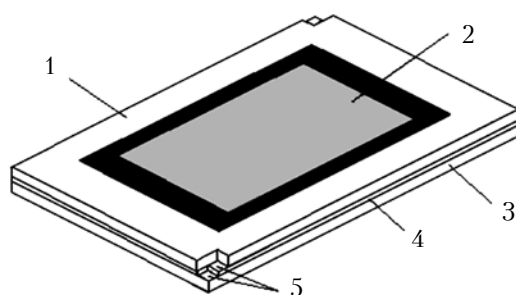


Рис. 4. Шевронный узел:

- 1 – держатель верхней МКП; 2 – верхняя МКП;
3 – держатель нижней МКП; 4 – промежуточный электрод; 5 – контакты

Все операции по сборке элементов прибора проводятся под микроскопом типа МБС-9 для оптического позиционирования деталей. Элементы корпуса соединяются склеиванием компаундом СИЭЛ 159-322А, обладающим высокой текучестью, с последующим высушиванием при температуре 150°C в течение трех часов. Толщина компаунда при таких операциях обычно составляет 10 мкм. После сушки корпус готов к установке кристалла БИС, приваренного к гибкому носителю.

Перед установкой в корпус микросхема извлекается из тары-спутника. С помощью скальпеля от гибкого носителя отделяются технологические области по краям. Металлизированное дно колодца смачивается кремнийорганическим компаундом, после чего в него устанавливается кристалл, при этом носитель укрывает большую часть площади внутри держателя шевронного узла. Для позиционирования кристалла на гибком носителе предусмотрены специальные выступы, которые совмещаются с гранями колодца под микроскопом, после чего кристалл прижимается. Так же, как и при сборке корпуса, сушка проводится в течение трех часов при температуре 150°C .

Рамки с МКП и промежуточные электроды последовательно укладываются в держатель шевронного узла – специальную выемку на корпусе. Входная поверхность верхней МКП, куда попадает ионный пучок, является фокальной плоскостью детектора.

Для закрепления экрана в корпусе устанавливаются четыре стойки из диэлектрика (фторопласта) с целью обеспечения электрической изоляции между экраном и металлической передвижной кареткой масс-спектрометра. Стойки из фторопласта устанавливаются через отверстия в основании корпуса и закрепляются с помощью фторопластовых гаек, высота которых обеспечивает расстояние в 1,5 мм между экраном и фокальной плоскостью и 3,2 мм от нижней (базовой) плоскости.

Основные узлы КЧД показаны на рис. 5, а на рис. 6 – его фотография в сборе.

Исследование экспериментальных образцов координатно-чувствительных детекторов заряженных частиц в составе масс-спектрометра

Изготовленные в Институте микроприборов НАНУ экспериментальные образцы координатно-чувствительного детектора прошли исследования в Институте прикладной физики НАН (г. Сумы) в качестве регистраторов ионов для определения компонентного состава вещества в составе лазерного масс-спектрометра с удлиненной фокальной плоскостью анализатора МС3103 [1, 14].

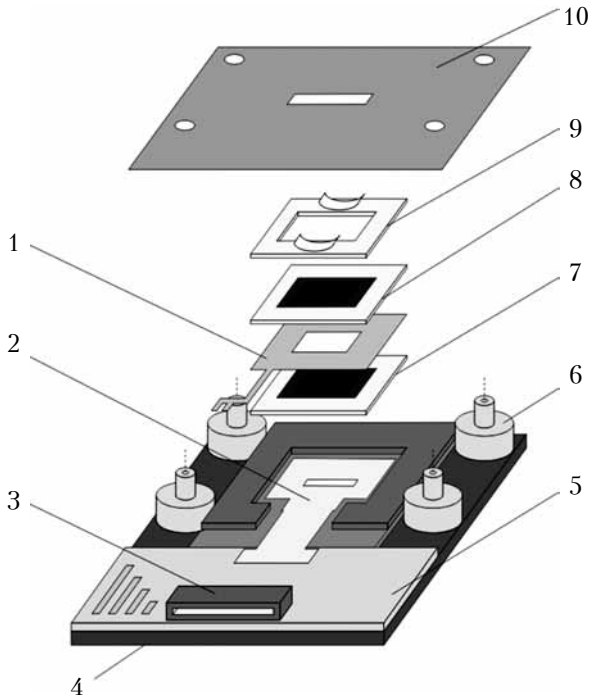


Рис. 5. Основные узлы КЧД:

1 — промежуточный электрод к МКП ($h = 100 \text{ мкм}$);
 2 — гибкий носитель с кристаллом БИС; 3 — ZIF-разъем XF-2M 2415; 4 — керамическое основание; 5 — печатная плата (стеклотекстолит); 6 — стойка крепления экрана; 7, 8 — МКП с керамическим обрамлением; 9 — прижимная рамка; 10 — экран

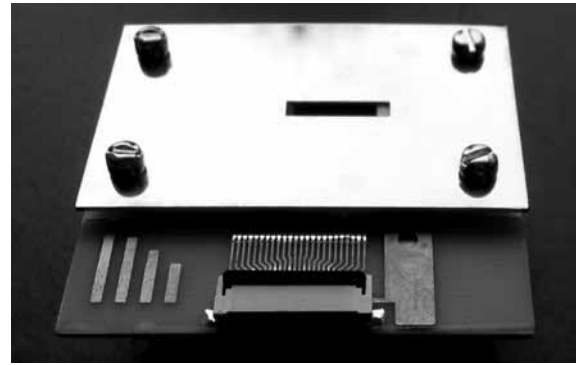


Рис. 6. Фотография КЧД в сборе

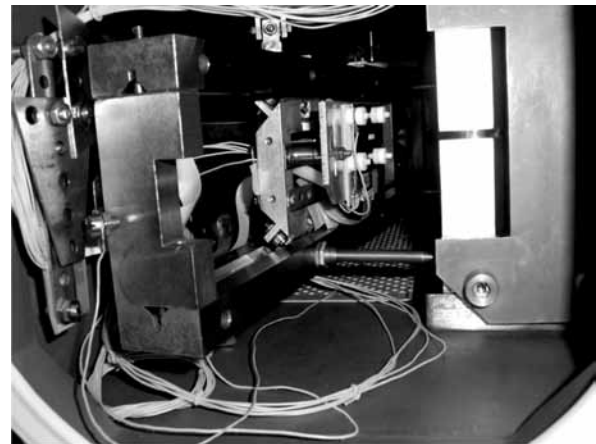


Рис. 7. Фотография КЧД в камере масс-спектрометра

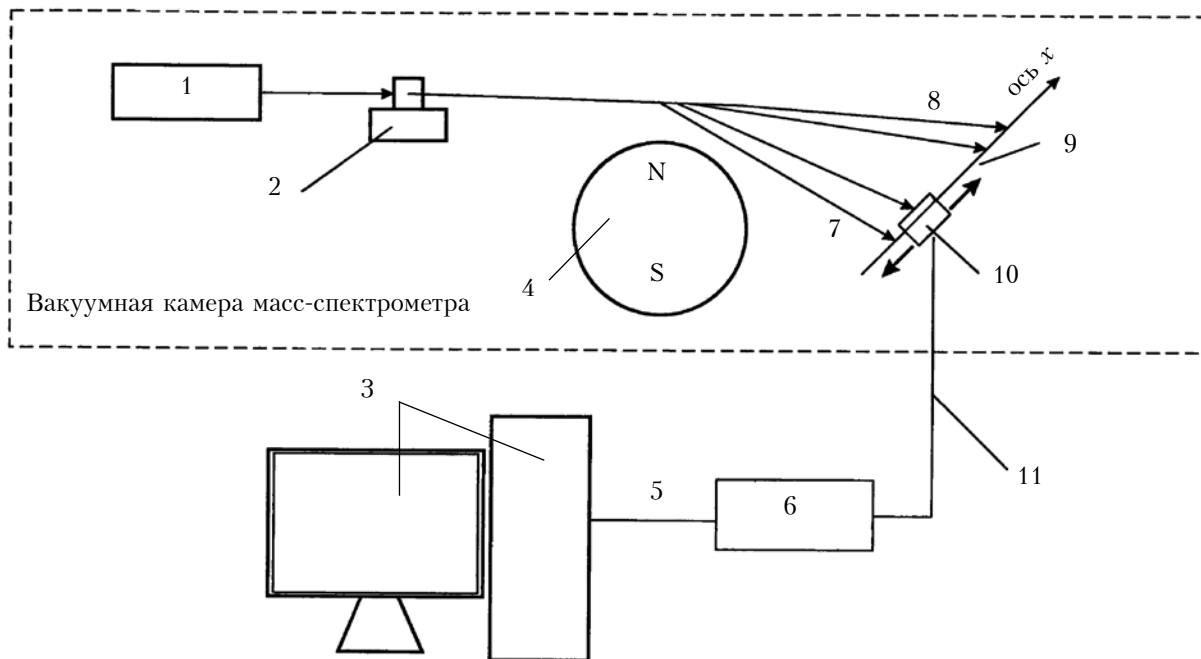


Рис. 8. Блок-схема лазерного масс-спектрометра с КЧД заряженных частиц:

1 — лазер; 2 — источник ионов (исследуемый материал); 3 — компьютер; 4 — отклоняющая система (электромагнит); 5 — интерфейс RS-232; 6 — контроллер (32 bit AVR-based); 7 — легкие ионы; 8 — тяжелые ионы; 9 — решетка; 10 — КЧД; 11 — интерфейсный кабель

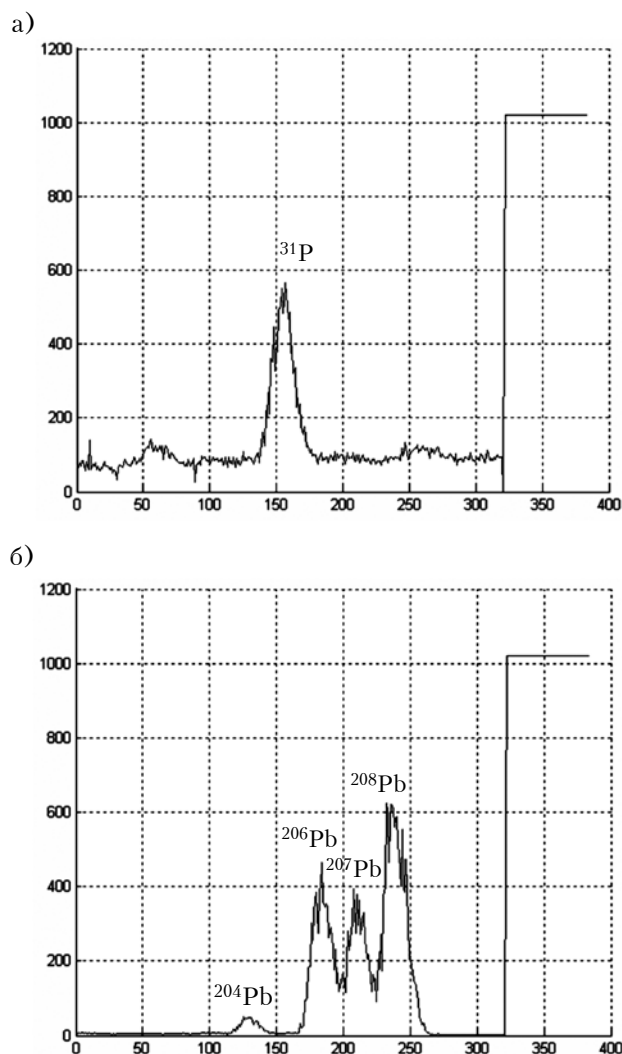


Рис. 9. Спектры изотопов фосфора (а) и свинца (б), полученные при исследовании образца бронзы с помощью КЧД в составе масс-спектрометра

Фотография детектора, установленного в камере масс-спектрометра в фокальной плоскости магнитного анализатора, приведена на рис. 7, а на рис. 8 — блок-схема спектрометра с разработанным КЧД.

Исследуемое вещество распыляется под действием лазерного излучения, отклоняющая система масс-спектрометра изменяет траекторию частиц таким образом, что в зависимости от их координат на оси x можно однозначно сделать вывод о составе материала и наличии примесей в нем. Координатно-чувствительный детектор, перемещаясь по каретке, фиксирует наличие и интенсивность ионных пучков вдоль всей фокальной плоскости (оси x), регистрируя таким образом весь спектр ионов.

Проведенные исследования прибора КЧД подтвердили его высокую чувствительность — зафиксированы изотопы сурьмы ^{121}Sb и ^{123}Sb ,

атомная доля которых составляла, соответственно, всего 0,0008 и 0,0006%.

На рис. 9 приведены спектры, полученные при исследовании образца бронзы М662. Спектры исследуемых изотопов считывались каждые 2 с и накапливались 45 с. Атомная доля зарегистрированных изотопов была следующей: 0,043% ^{31}P ; 0,023% ^{204}Pb ; 0,36% ^{206}Pb ; 0,37% ^{207}Pb ; 0,83% ^{208}Pb .

Заключение

Проведенные исследования показали, что использование разработанного координатно-чувствительного детектора заряженных частиц в составе лазерного масс-спектрометра с удлиненной фокальной плоскостью анализатора позволяет одновременно получать информацию про весь элементный состав анализируемого вещества в масштабе реального времени. Это позволяет значительно сократить массу, габариты и потребление энергии детектором, уменьшить время анализа и затраты исследуемого материала по сравнению с используемыми в настоящее время методом фоторегистрации и методом последовательного измерения по каждому каналу с применением цилиндров Фарадея. При этом предложенный КЧД может быть использован не только для комплектации новых масс-спектрометров, но и для переоснащения тех, что уже находятся в эксплуатации.

Следует также отметить, что архитектура функциональной схемы и конструкция используемой специализированной БИС УБ5709ИК01-2.11 рассчитаны на возможность создания многокристаллических детекторов с использованием соответствующих микроканальных пластин. Так, при использовании двух МКП Hamamatsu F4772-01 и пяти таких БИС можно реализовать координатно-чувствительный детектор с длиной фокальной плоскости магнитного анализатора 5 см, увеличив до 1920 число каналов, одновременно участвующих в анализе.

Создание специализированной БИС для координатно-чувствительных детекторов с проектными нормами 1 мкм и менее даст возможность увеличить емкость счетчиков в 16 и более раз, повысить быстродействие и чувствительность, уменьшить количество БИС в детекторе с 5-см длиной фокальной плоскости.

Разработанный координатно-чувствительный детектор может быть использован и в других приборах, предназначенных для регистрации профилей и пространственного положения пучков нейтральных и заряженных частиц и направленных потоков фотонов, применяющих в качестве вторичных преобразователей цифровые микроэлектронные позиционно-чувствительные регистраторы пространственного положения и интенсивности электронных пучков. Есть сообще-

ния об использовании аналогичных приборов в фотоэлектронной спектроскопии [15].

Использование такого детектора позволит создать современные приборы элементного анализа веществ, в том числе масс-спектрометры и другие приборы регистрации профиля и пространственного положения пучков нейтральных и заряженных частиц, которые найдут широкое применение во многих отраслях промышленности, в том числе горнодобывающей, металлургической, химической, фармацевтической, атомной энергетике, материаловедении, медицине, криминалистике, охране окружающей среды, космических исследованиях, научных исследованиях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Сидоренко В.П. С опытом прошлых лет в новый век // В сб. «Стратегия выбора. 50 лет Киевскому НИИ микроприборов (1962–2012)». – Киев: Корнійчук, 2012. – С. 475 – 480.
2. Патент України 94103. Мікроелектронний координатно-чутливий детектор мас-спектрометра / Борискін О.І., Вербицький В.Г., Єременко В.М. та ін. – 11.04.2011.
3. Патент США 5296816. Integrated circuit sensor and detector and spectrometers incorporating the sensor / K. Birkinshaw. – 22.03 1994.
4. Birkinshaw K. Detector Arrays in Spectroscopy // International Reviews in Physical Chemistry. – 1996. – Vol. 15, iss. 1. – P. 13–40. <http://dx.doi.org/10.1080/01442359609353172>
5. Langstaff, D.P., Bushell A., Chase T., Evans D.A. A fully integrated multi-channel detector for electron spectroscopy // Nuclear Instruments and Methods B. – 2005. – Iss. 1–4 – P. 219–223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2005.06.187>
6. Langstaff D.P., Evans D.A., Roberts O.R., Zhu Xi. Progress on the Aberystwyth Electron Counting Array // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2009. – Vol. 604, no. 1-2. – P. 133–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2009.01.040>

7. Сидоренко В.П., Вербицкий В.Г., Прокофьев Ю.В. и др. СБИС для микроэлектронного координатно-чувствительного детектора приборов элементного анализа материалов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 2. – С. 25 – 29.

8. Сидоренко В.П., Вербицкий В.Г., Прокофьев Ю.В. Схемотехника СБИС для микроэлектронного координатно-чувствительного детектора для элементного анализа материалов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2012. – №4. – С. 39–46.

9. Кулов С.К. Физика и применение МКП // <http://www.baspik.com> По этой ссылке не получается найти нужный материал, и никаким другим путем тоже. Можно ли заменить источник на другой, более доступный?

10. Schagen P. In “Advances in Image Pickup and Display” / Ed. by V. Kazan. – Vol. 1. – P. 16. – New York: Academic Press, 1974.

11. Wiza J.L. Microchannel plate detectors // Nuclear Instruments and Methods. – 1979. – Vol. 162, iss. 1–3. – P. 587-601. [http://dx.doi.org/10.1016/0029-554X\(79\)90734-1](http://dx.doi.org/10.1016/0029-554X(79)90734-1)

12. Шеревеня А.Г., Цуканов Л.Н., Тучинский И.А., Жора В.Д. Технология изготовления систем выводов на носителе для беспроводной сборки ИС // В сб.: Научно-технические достижения. – Москва: ВИМИ, 1984. – № 4. – С. 34–41.

13. Грунянская В.П., Жора В.Д., Солдатенко Л.М., Тучинский И.А. Специализированные БИС на основе базовых матричных кристаллов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2000. – № 1. – С. 3–5.

14. Борискин А.И., Ерёмченко В.М., Мордик С.Н. и др. Исследование ионно-оптических характеристик лазерного масс-спектрометра с координатно-чувствительным микроэлектронным детектором // Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78, № 7. – С. 111–117.

15. Langstaff D.P., Chase T., Roberts O.R. et al. A 768-channel detector for photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation // Proc. of the 5th Int. Conf. on Synchrotron Radiation in Materials Science. – SRMS5- 297. – Chicago, 2006.

*Дата поступления рукописи
в редакцию 15.09 2016 г.*

*В. П. СИДОРЕНКО¹, Ю. В. ПРОКОФ'ЄВ¹, Д. С. МУРЧЕНКО¹,
В. М. ЄРЕМЕНКО², А. В. ШЕЛЕХОВ²*

*Україна, м. Київ, ¹НДІ мікроприладів НАНУ; м. Суми, ²Інститут прикладної фізики НАНУ
E-mail: sidorenko@imd.org.ua*

КООРДИНАТНО-ЧУТЛИВИЙ ДЕТЕКТОР ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК ДЛЯ СПЕКТРОСКОПІЇ

Розроблено, виготовлено та досліджено координатно-чутливий детектор заряджених частинок для спектроскопії, який може використовуватися в аналітичній апаратурі, забезпечуючи одночасний аналіз всього елементного складу матеріалів з високою чутливістю і точністю. Детектор побудовано на основі розробленої спеціалізованої великої інтегральної схеми і мікроканальних пластин.

Ключові слова: координатно-чутливий детектор, спектроскопія, елементний аналіз, склад матеріалу, велика інтегральна схема, мікроканальна пластинка.

COORDINATE-SENSITIVE CHARGED PARTICLE DETECTOR
FOR SPECTROSCOPY

The authors have designed, manufactured and tested a coordinate-sensitive detector for charged particle spectroscopy. The detector can be used in the devices for the elemental analysis of materials, providing simultaneous analysis of all the elemental composition with high sensitivity and precision. The designed device is based on an integrated circuit (IC) and a microchannel plate (MCP) electron multiplier. The IC is mounted on a ceramic substrate. Ions fall on the MCP mounted above the IC. Giving rise to a pulse which typically exceeds 10^6 electrons, each ion falls on the detector electrodes and these pulses are counted. In this research, a two stage stack of MCPs (Hamamatsu) was used. The MCPs have a channel diameter of 12 μm on a 15 μm pitch. The results of tests carried out in a mass spectrometer are presented. The designed detector is small, light, and low-power.

Keywords: coordinate-sensitive detector, spectroscopy, elemental analysis, material composition, large scale integrated circuit, microchannel plate.

REFERENCES

1. Sidorenko V.P. In book «Strategiya vybora. 50 let Kievskomu NII mikropriborov (1962-2012)». Kiev, Korniiichuk, 2012, pp. 475-480. (Ukr, Rus)
2. Boryskin O.I. et al. [Microelectronic position sensitive detector of a mass-spectrometer]. Patent UA, no. 94103, 2011.
3. Birkinshaw K. Integrated circuit sensor and detector and spectrometers incorporating the sensor. Patent USA, no. 5296816, 1994.
4. Birkinshaw K. Detector Arrays in Spectroscopy. *International Reviews in Physical Chemistry*, 1996, vol. 15, iss. 1, pp.13-40. <http://dx.doi.org/10.1080/01442359609353172>
5. Langstaff, D.P., Bushell, A., Chase T., Evans, D.A. A fully integrated multi-channel detector for electron spectroscopy. *Nuclear Instruments and Methods B*, 2005, iss. 1-4, pp. 219-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2005.06.187>
6. Langstaff D.P., Evans D.A., Roberts O.R., Zhu Xi. Progress on the Aberystwyth Electron Counting Array. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2009, vol. 604, no. 1-2, pp. 133-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2009.01.040>
7. Sidorenko V. P., Verbitskiy V. G., Prokofiev Yu. V., Kyziak A. Yu., Nikolayenko Yu. E. [VLSI for microelectronic coordinate-sensitive detector of the devices for element analysis of substance]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2009, no. 2, pp. 25-29. (Rus)
8. Sidorenko V. P., Verbitskiy V. G., Prokofiev Yu. V. [Circuit design of VLSI for microelectronic coordinate-sensitive detector for material element analysis]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2012, no. 4, pp. 39-46. (Rus)
9. Kulov S.K. Fizika i primeneniye MKP
10. Schagen P. In "Advances in Image Pickup and Display", ed. by B. Kazan, vol. 1, p. 16, Academic Press, New York, 1974.
11. Wiza J.L. Microchannel plate detectors. *Nuclear Instruments and Methods*, 1979, vol. 162, iss. 1-3, pp. 587-601. [http://dx.doi.org/10.1016/0029-554X\(79\)90734-1](http://dx.doi.org/10.1016/0029-554X(79)90734-1)
12. Sherevenya A.G., Tsukanov L.N., Tuchinskii I.A., Zhora V.D. In: *Nauchno-tekhmicheskie dostizheniya*. Moscow, VIMI, 1984, no. 4, pp. 34-41. (Rus)
13. Grunynskaya V.P., Zhora V.D., Soldatenko L.M., Tuchinskii I.A. [Specialized LSI based gate array]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2000, no. 1, pp. 3-5. (Rus)
14. Boriskin A. I., Eremenko V. M., Mordyk S. N., Savin O. R., Skripchenko A. N., Storizhko V. E., Khomenko S. N. Ion-optical characteristics of a laser mass spectrometer with a coordinate-sensitive microelectronic detector. *Technical Physics*, 2008, vol. 53, iss. 7, pp. 927-933.
15. Langstaff D.P., Chase T., Roberts O.R., McGlynn A., Veary-Roberts A.R., Evans D.A., Greaves G.N. A 768-channel detector for photoelectron spectroscopy using synchrotron radiation. *Proc. of the 5th Int. Conf. on Synchrotron Radiation in Materials Science*, Chicago, 2006, SRMS5- 297.