

К. т. н. В. П. СИДОРЕНКО, к. т. н. В. Д. ЖОРА, к. т. н. А. И. РАДКЕВИЧ,
В. П. ГРУНЯНСКАЯ, Ю. В. ПРОКОФЬЕВ, Ю. В. ТАЯКИН, Т. М. ВИРОЗУБ

Украина, г. Киев, НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАН Украины
E-mail: vdzhora@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Рассмотрены особенности конструкции и технологии сборки микроэлектронных координатно-чувствительных детекторов заряженных частиц для спектроскопии с использованием гибких носителей типа «алюминий – полиимид». Данная конструкция, основой которой является специализированная СБИС, обеспечивает высокую надежность изделий за счет применения многослойных керамических оснований и ультразвуковой сварки, используемых при изготовлении микроэлектронной аппаратуры специального назначения, в том числе стойкой к воздействию специальных внешних воздействующих факторов. Показаны преимущества выбранной технологии в сравнении с другими методами сборки.

Ключевые слова: микроэлектронный координатно-чувствительный детектор, специализированная СБИС, гибкий полиимидный носитель, ультразвуковая сварка.

Использование микроэлектронных координатно-чувствительных детекторов (МКЧД) позволяет создавать высокочувствительные приборы элементного анализа веществ, в том числе масс-спектрометры и другую аналитическую аппаратуру регистрации пространственного положения пучков нейтральных и заряженных частиц. Применение таких приборов является весьма перспективным во многих отраслях промышленности, в частности в металлургии, химическом, фармацевтическом и горнодобывающем производствах, атомной энергетике, материаловедении, медицине, криминалистике, космических исследованиях, экологии и пр. В [1] была показана возможность создания нового поколения многокристалльных детекторов, содержащих линейку, например, из пяти чувствительных кристаллов вместо используемого в настоящее время одного. В настоящее время возрастает интерес к таким новейшим приборам, в том числе со стороны зарубежных фирм, и при этом сохраняется устойчивый интерес и к более дешевым однокристалльным микроэлектронным координатно-чувствительным детекторам.

Принцип работы приборов, основу которых составляет одна специализированная сверхбольшая интегральная схема (СБИС), описан в [1]. Кристаллы СБИС, изготавливаемые по КМОП-технологии с карманами n -типа, конструкция которых детально описана в [2, 3], содержат зарядочувствительную матрицу, предназначенную для детектирования ионов изотопов элемен-

тов в широком спектре масс исследуемого вещества и в широком диапазоне концентраций (от 10^{-7} до 100%). Остальная часть полупроводникового кристалла должна быть закрыта экраном для предотвращения попадания зарядов на другие области СБИС. При этом важна высокая точность совмещения окна в экране с зарядочувствительной областью данного кристалла.

Кроме вышеупомянутой СБИС, размещаемой на многослойном керамическом основании, данные приборы содержат микроканальную пластину (МКП) фирмы Hamamatsu (Япония), электроды для подвода к МКП высокого напряжения (2,0 кВ), немагнитный металлический экран для защиты элементов конструкции прибора от попадания ионов (кроме зарядочувствительной области), разъем и другие конструктивные элементы. С учетом сложности конструкции новейшего прибора [4], включающего пять СБИС, и необходимости точного позиционирования деталей становится целесообразным пересмотр ранее используемых конструктивно-технологических решений для выбора оптимальной конструкции и технологии сборки приборов.

Целью настоящей работы является выбор оптимальной технологии сборки, обеспечивающей возможность реализации сборки нового поколения МКЧД на основе новой СБИС как однокристалльной, так и многокристалльной конструкции, желательно с использованием как можно большего числа универсальных деталей и узлов.

Выбор метода сборки с учетом особенностей конструкции МКЧД

Как известно [5], монтаж кристаллов интегральных схем на подложку осуществляют одним из четырех методов:

- термокомпрессионной микросваркой (wire bonding) с применением проволочных проводников;
- с использованием гибких ленточных носителей (чаще всего методом ТАВ, Tape Automated Bonding);
- методом перевернутого кристалла (flip chip), при котором присоединение кристаллов к подложке проводится с использованием шариковых выводов, предварительно выращиваемых на кристаллах;
- с использованием балочных выводов, выращиваемых на кристаллах и выступающих за их края.

Последние три метода отличаются применением так называемых организованных выводов, обеспечивающих полную автоматизацию монтажа бескорпусных кристаллов на подложки микросборок [6].

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и недостатки, однако при непосредственном монтаже кристаллов СБИС на подложку наиболее часто используются гибкие носители, обеспечивающие повышенную надежность соединений за счет большей ширины проводников в сравнении с проволочными [7] и демпфирующих свойств гибких носителей в сравнении с балочными и шариковыми выводами.

В [7] были детально рассмотрены преимущества метода сборки микросхем на гибком полиимидном носителе (ГПН) типа «алюминий – полиимид» (так называемой модификации 2) и показано, что этот метод наиболее полно отвечает комплексу требований к монтажу изделий микроэлектроники, важнейшими из которых являются надежность, обеспечение высокой плотности монтажа микроэлектронной аппаратуры

[7, 8], возможность использования для сборки СБИС, работающих в условиях радиационных нагрузок [9]. Применение данного метода, на наш взгляд, лучше других обеспечивает возможность реализации сборки не только однокристалльных, но и многокристалльных конструкций МКЧД, поскольку позволяет наиболее просто создать линейку, например, из пяти кристаллов при минимально возможном зазоре между ними. Кроме того, упрощается изготовление и размещение электродов для подвода высокого напряжения к МКП, которые изготавливаются теми же методами, что и гибкие носители.

На основании перечисленных преимуществ метод сборки микросхем на гибком носителе типа «алюминий – полиимид» был выбран нами для монтажа кристаллов новых специализированных СБИС [4], предназначенных для использования в МКЧД. Его особенностью является то, что алюминиевые выводы ГПН закреплены на плоском полиимидном основании, что значительно упрощает процесс сборки приборов МКЧД и позволяет проводить послойный монтаж всех узлов прибора.

Конструктивно СБИС на гибком носителе (рис. 1) представляет собой полупроводниковый кристалл, соединенный с предварительно изготовленным ГПН [10]. Рабочую поверхность кристалла, как правило, защищают полимерным компаундом. Выбор конкретного защитного материала в общем случае определяется условиями эксплуатации СБИС, чувствительностью кристалла к поверхностным загрязнениям, а также совместимостью этого материала с другими конструкционными материалами микросхемы и микроэлектронной аппаратуры в целом [10]. На кристаллах СБИС, используемых в приборах МКЧД, компаундом защищали только места присоединения выводов ГПН к контактным площадкам этих кристаллов.

В свою очередь, гибкий носитель [10] выполняется в виде нескольких взаимосвязанных зон – периферийной, контактирования, монтаж-

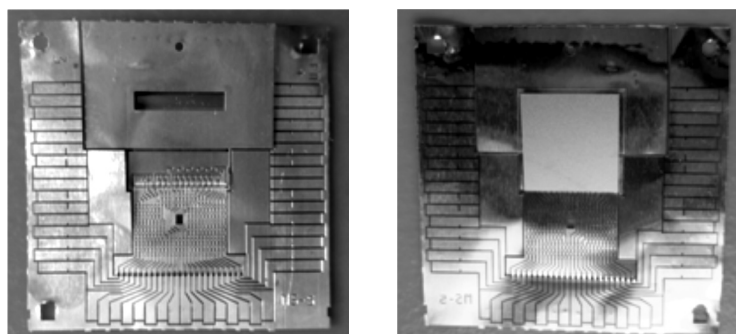


Рис. 1. Специализированная БИС на гибком носителе для использования в приборах МКЧД (слева – вид со стороны алюминия, справа – вид со стороны полиимида)

ной и внутренней, которые состоят из унифицированных элементов, изменяющих свое положение в зависимости от расположения контактных площадок кристалла.

Периферийная зона предназначена для фиксации носителя и микросхемы в целом в процессах их изготовления и монтажа. В ней выполнены базовые фиксирующие отверстия, позволяющие сохранять необходимую точность фиксации при проведении необходимых измерений параметров и испытаний, а также при монтаже в микроэлектронную аппаратуру.

В зоне контактирования с шагом 1,25 мм расположены площадки строго определенных размеров для подключения зондов контактирующих устройств в процессе измерения электрических параметров микросхемы. В СБИС, используемой в приборах МКЧД, из-за конструктивных особенностей расположение этих контактных площадок трехстороннее.

В монтажной зоне имеется контур вырубki, по которому от микросхемы отделяют периферийную зону и зону контактирования перед монтажом бескорпусной СБИС на керамическую плату.

Внутренние зоны однокристалльных и многокристалльных конструкций МКЧД несколько различаются. В первом случае эта зона включает ряд функциональных элементов и имеет форму, показанную на **рис. 2, а**. Для пятикристалльной конструкции она несколько изменена для обеспечения возможности создания линейки кристаллов с минимально возможным зазором между ними — не более 100 мкм (рис. 2, б), что достигается при выполнении следующих условий:

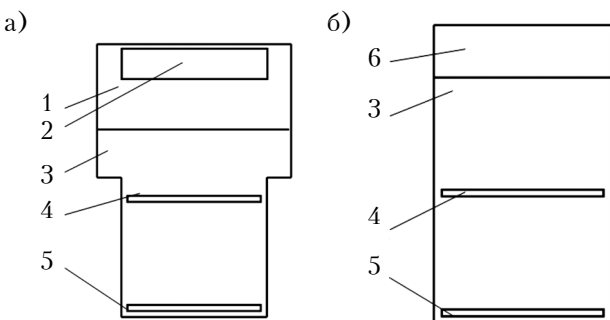


Рис. 2. Расположение и функциональное назначение элементов внутренней зоны СБИС на гибком носителе для однокристалльной (а) и пятикристалльной (б) конструкций:

1 — область сплошной металлизации для контактирования с МКП; 2 — окно над детекторами заряда; 3 — экран; 4 — места присоединения выводов носителя к кристаллу; 5 — места расположения внешних выводов для приварки к керамической плате; 6 — зарядочувствительная область кристалла

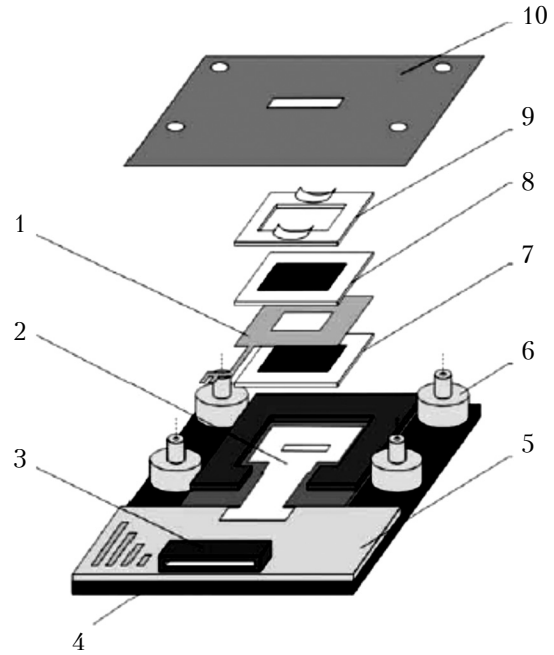


Рис. 3. Основные узлы МКЧД:

1 — промежуточные электроды к МКП (общая толщина 100 мкм); 2 — кристалл СБИС на гибком носителе; 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

- ширина внутренней зоны ГПН не должна превышать ширину кристаллов СБИС;
- ширина зоны монтажа СБИС на керамическую плату также не должна превышать ширину этих кристаллов;
- зарядочувствительные области кристаллов при их размещении в линейку должны образовывать общую чувствительную зону.

При этом в обоих случаях внутренние выводы гибкого носителя привариваются непосредственно к контактным площадкам кристаллов, а внешние — к контактным площадкам многослойной керамической платы.

Основные узлы МКЧД, используемые для сборки однокристалльной конструкции прибора, показаны на **рис. 3** [1].

Из-за хрупкости микроканальных пластин и их высокой стоимости были найдены конструктивные решения [1], направленные на защиту МКП от механических нагрузок, возникающих при монтаже и при эксплуатации приборов в широком температурном диапазоне (0—150°С). Каждая МКП устанавливается в специальную керамическую рамку (обрамление) из вакуумной керамики ВК-96 с отверстием для МКП. Две пластины МКП собираются в отдельный функ-

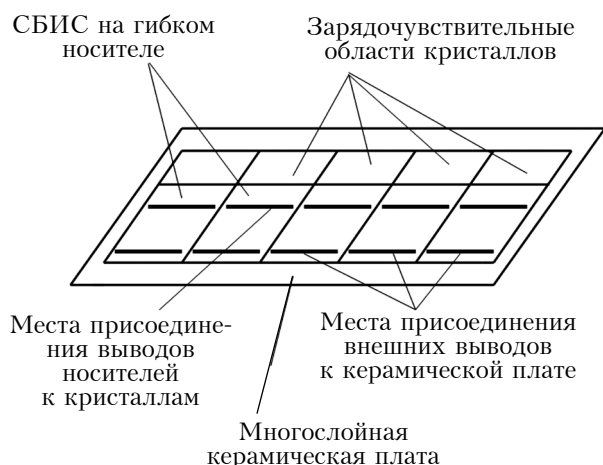


Рис. 4. Общая схема расположения кристаллов СБИС на керамической плате для пятикристальной линейки

циональный и конструктивный узел (шеvronная сборка). Входная поверхность верхней МКП, куда попадает ионный пучок, является фокальной плоскостью детектора. Рамки для МКП изготавливаются по той же технологии, что и многослойные керамические платы.

Электрический контакт к МКП для подвода высокого напряжения обеспечивается двумя промежуточными электродами, изготавливаемыми из фольгированного диэлектрика толщиной 50 мкм каждый (слой алюминия 30 мкм и полиимид 20 мкм). Нижний промежуточный электрод устанавливается 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. Внешние окончания этих электродов присоединяются к металлизированным дорожкам керамического основания методом ультразвуковой сварки.

Керамические элементы корпуса изготавливаются из керамики ВК-96 лазерной резкой с по-

следующим шлифованием для обеспечения необходимой точности размеров.

Общая схема расположения кристаллов СБИС в случае пятикристальной линейки представлена на рис. 4.

Особенности технологии сборки микросхем и приборов МКЧД

Новые универсальные кристаллы СБИС с более высокими проектными нормами 1,0 мкм [4] (на ранней конструкции кристаллов — 2,4 мкм) для реализации сборки как однокристалльных, так и многокристалльных конструкций МКЧД, предполагается изготавливать за рубежом.

Технология изготовления ГПН описана в [8]. Гибкие полиимидные носители, как и промежуточные электроды, изготавливают из фольгированного диэлектрика толщиной 50 мкм (слой алюминия 30 мкм и полиимид 20 мкм) по одной технологии.

При использовании ГПН типа «алюминий — полиимид» алюминиевые выводы привариваются ультразвуковой сваркой непосредственно к контактным площадкам полупроводникового кристалла, также выполненным из алюминия, чем обеспечивается совместимость выводов ГПН с кристаллами микросхем [7, 10]. При этом в местах соединения выводов с контактными площадками кристаллов образуется однокомпонентная система Al — Al, в которой исключается появление хрупких интерметаллических соединений в твердой фазе при эксплуатации приборов, в том числе при повышенной температуре [7], чем обеспечивается повышение надежности СБИС. Этому способствует также большее поперечное сечение выводов гибкого носителя в сравнении с проволочными соединениями, что делает их более прочными и облегчает отвод тепла от кристалла [7].

Все операции по сборке элементов прибора выполняются под микроскопом типа МБС-9

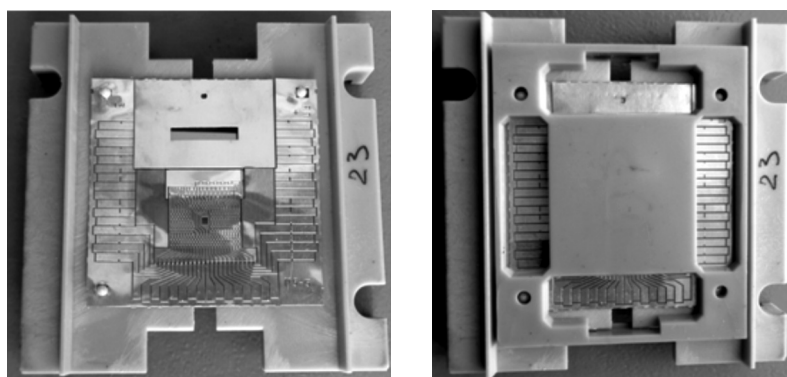


Рис. 5. Микросхемы на гибком носителе, помещенные в таруспутник (слева — без крышки, справа — закрытые крышкой)

для обеспечения точного позиционирования деталей. Процесс ультразвуковой сварки также проводится под микроскопом на специализированной установке УСИММ1. Для формирования надежного сварного соединения точно дозируют энергию ультразвуковых колебаний и, следовательно, величину деформации выводов в местах присоединения [10]. Это позволяет повысить воспроизводимость качества сварки, поскольку чрезмерная деформация вывода приводит к снижению прочности сварного соединения.

Сварку микросхем проводят с использованием специальных столиков, обеспечивающих фиксацию и необходимую точность совмещения выводов ГПН с контактными площадками кристаллов по двум взаимно перпендикулярным осям и по углу.

После защиты мест сварки полимерным компаундом микросхемы загружаются в тару-спутник (рис. 5). Тип тары-спутника выбирается в зависимости от количества выводов и размеров носителя. При трехстороннем размещении контактных площадок можно применять стандартную тару-спутник, используемую для микросхем с количеством выводов до 64, доработав ее под размеры конкретного кристалла СБИС. После размещения СБИС тара-спутник закрывается крышкой с отверстиями для зондов контактирующих устройств. Затем загруженные микросхемы помещают в контактирующее устройство, соединенное с измерительным устройством, и проводят измерение их параметров.

Перед установкой на керамическую плату годные микросхемы извлекают из тары-спутника. С помощью специального инструмента с острой режущей кромкой под микроскопом на них отделяют технологические зоны (периферийную и контактирования). Затем микросхемы приклеивают к керамической плате с помощью кремнийорганического компаунда, после чего внешние выводы приваривают к металлизированным контактным площадкам этой же платы. Впоследствии таким же методом к керамической плате привариваются промежуточные электроды для подачи высокого напряжения к МКП.

Более детально процесс монтажа МКЧД однокристалльной конструкции описан в [1]. На рис. 6 приведена фотография такого МКЧД в сборе.

Разработанные кристаллы СБИС [4] рассчитаны на возможность создания нового поколения детекторов, в том числе многокристалльных, с использованием соответствующих ми-

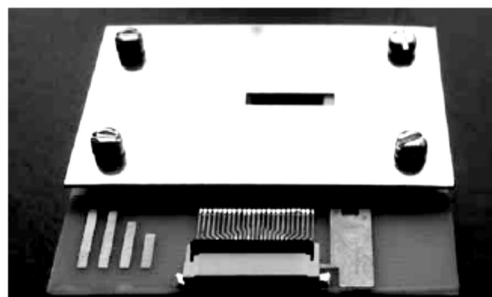


Рис. 6. Однокристалльный микроэлектронный координатно-чувствительный детектор в сборе [1]

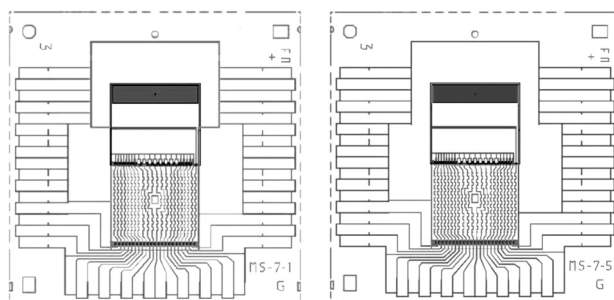


Рис. 7. Конструкция гибких носителей для спектрометра (слева — с одним измерительным кристаллом, справа — с пятью)

кроканальных пластин. При использовании двух МКП Hamamatsu F4772-01 и пяти таких СБИС предполагается реализовать координатно-чувствительный детектор с длиной фокальной плоскости магнитного анализатора 5 см, увеличив до 1920 число каналов, одновременно участвующих в анализе. Для создания таких приборов разработаны новые кристаллы СБИС [4] и конструкции гибкого носителя (рис. 7), в том числе конструктивный вариант, позволяющий размещать линейку из пяти кристаллов на керамическом основании с минимально возможным зазором между ними — не более 100 мкм.

Монтаж МКЧД с пятью измерительными кристаллами предполагается проводить по вышеописанной технологии путем последовательной ультразвуковой сварки кристаллов СБИС на керамическую плату, затем будут монтироваться промежуточные электроды, МКП, общая прижимная рамка и экран.

Выводы

В результате проведенного анализа для сборки микроэлектронного координатно-чувствительного детектора выбрана технология сборки на гибком носителе типа «алюминий — полиимид», которая обеспечивает высокую надежность

изделий и применяется при изготовлении микроэлектронной аппаратуры специального назначения, в том числе стойкой к специальным внешним воздействующим факторам. Многолетний опыт эксплуатации МКЧД в Институте прикладной физики НАНУ, г. Сумы, подтверждает их высокие эксплуатационные характеристики.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Сидоренко В. П., Прокофьев Ю. В., Мурченко Д. С. и др. Координатно-чувствительный детектор заряженных частиц для спектроскопии // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2016. — № 4. — С. 53–60. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2016.4-5.53>

2. 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.

3. 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.

4. Сидоренко В. П., Радкевич А. И., Прокофьев Ю. В. и др. СБИС для микроэлектронного координатно-чувствительного детектора нового поколения с расширенным полем анализа для масс-спектрометрии // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2018. —

№1. — С. 13–20. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2016.1.13>

5. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств. — Москва: Техносфера, 2007.

6. Воженин И. Н., Блинов Г. А., Коледов Л. А. и др. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных интегральных микросхемах. — Москва: Радио и связь, 1985.

7. Вербицкий В. Г., Плис Н. И., Жора В. Д., Грунянская В. П. Сравнительный анализ методов сборки микросхем на гибких полиимидных носителях // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2013. — № 5. — С. 37–41.

8. Перевертайло В. Л., Жора В. Д., Грунянская В. П. и др. Применение гибких носителей при сборке кремниевых детекторов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 1. — С. 40–44.

9. Боршев В. Н., Антонова В. А., Листратенко А. М. и др. Комплексный подход к выбору конструктивно-технологических решений гибко-жестких однодетекторных модулей для комптоновской медицинской томографии // Сцинтилляционные материалы. Инженерия, устройства, применение: сб. статей. — Харьков: ИСМА, 2009. — С. 111–127. [Borshchev V. N., Antonova V. A., Listratenko A. M. et al.]

10. Плис Н. И., Вербицкий В. Г., Жора В. Д. и др. Технология сборки микросхем на гибком полиимидном носителе // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2010. — № 5–6. — С. 43–45.

Дата поступления рукописи
в редакцию 27.12 2017 г.

В. П. СИДОРЕНКО, В. Д. ЖОРА, О. І. РАДКЕВИЧ, В. П. ГРУНЯНСЬКА,
Ю. В. ПРОКОФ'ЄВ, Ю. В. ТАЯКІН, Т. М. ВІРОЗУБ

Україна, м. Київ, НДІ мікроприладів НТК «ІМК» НАН України
E-mail: vdzhora@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ КООРДИНАТНО-ЧУТЛИВИХ ДЕТЕКТОРІВ

Розглянуто особливості конструкції та технології складання мікроелектронних координатно-чутливих детекторів заряджених частинок для спектроскопії. Основою приладу є кристал спеціалізованої надвеликої інтегральної схеми (НВІС), що виготовляється по КМОН-технології і містить зарядочутливу матрицю, призначену для детектування іонів ізотопів елементів у широкому спектрі мас досліджуваної речовини. Діапазон концентрацій, вимірюваних приладом, також є широким і складає від 10^{-7} до 100%. Кристал НВІС розміщується на багатощаровій керамічній основі. Прилад містить також мікроканальну пластину (МКП) фірми Hamamatsu (Японія), електроди для підводу до МКП високої напруги (2,0 кВ), немагнітний металевий екран для захисту елементів конструкції приладу, роз'єм та інші конструктивні елементи.

Монтаж кристалів НВІС проводиться з використанням методу складання (ультразвукового зварювання) микросхем на гнучких носіях типу «алюміній — поліїмід», який має ряд переваг у порівнянні з іншими методами монтажу. Кристали НВІС з проектними нормами 1 мкм розраховані на створення нового покоління детекторів, що можуть містити як один кристал, так і декілька. Розроблено конструктивний варіант гнучкого носія, що дозволяє розміщувати лінійку з п'яти кристалів на керамічній основі з мінімальним зазором не більше 100 мкм між ними. Дана конструкція забезпечує високу надійність виробів завдяки застосуванню багатощарових керамічних плат і прогресивних методів складання, що використовуються при виготовленні мікроелектронної апаратури спеціального призначення, в тому числі стійкої до впливу спеціальних зовнішніх факторів.

Ключові слова: мікроелектронний координатно-чутливий детектор, спеціалізована НВІС, гнучкий поліїмідний носій, ультразвук зварка.

DOI: 10.15222/TKEA2018.1.21
UDC 539.1.074

V. P. SIDORENKO, V. D. ZHORA,
O. I. RADKEVICH, V. P. GRUNYANSKA,
Yu. V. PROKOFIEV, Yu. V. TAYAKIN, T. M. VIROZUB

Ukraine, Kyiv, State enterprise “RI of Microdevices”
STS “Institute of Single Crystals” NAS of Ukraine

E-mail: vdzhora@gmail.com

ASSEMBLY TECHNOLOGY AND DESIGN FEATURES OF MICROELECTRONIC COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS

The design features and assembly technology of microelectronic coordinate-sensitive detectors of charged particles for spectroscopy are considered. The device is based on the specialized very-large-scale integration (VLSI) crystal manufactured using CMOS technology and containing a charge-sensitive matrix designed to detect isotope ions in a wide mass spectrum of the test substance. The range of concentrations measured by devices is also wide and ranges from 10^{-7} to 100%. The VLSI crystal is placed on a multilayer ceramic basis. The devices also contain a Hamamatsu micro-channel plate (MCP), electrodes that supply high voltage to integrated circuits (2.0 kV), a non-magnetic metal shield for protecting the device components, a connector and other structural elements.

VLSI crystals are installed using the method of laying the microcircuits on a flexible aluminum – polyimide media. Such mounting method has a number of advantages over others. The VLSI crystals with project standards of 1 μm are designed for the possibility to create new generation of detectors, which can include either one or several crystals. The prototype version has been developed and it allows placing a bar of five ceramic-based crystals with a minimum gap of 100 μm between them. This design provides high reliability of products due to the usage of multilayer ceramic boards and due to progressive assembly methods used in the manufacturing of special-purpose microelectronic equipment, including the equipment resistant to special external factors.

Key words: microelectronic coordinate-sensitive detector, specialized VLSI, flexible polyimide carrier, ultrasonic welding.

REFERENCES

1. Sidorenko V.P., Prokofiev Yu.V., Murchenko D.S., Yeremenko V.M., Shelehov A.V. Coordinate-sensitive charged particle detector for spectroscopy. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2016, no. 4, pp. 53-60. (Rus). <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2016.4-5.53>
2. Sidorenko V. P., Verbitskiy V. G., Prokofiev Yu. V., Kyziak A. Yu., Nikolayenko Yu. E. VLSI for a microelectronic coordinate-sensitive detector of material analysis instruments. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2009, no. 2, pp. 25-29. (Rus)
3. Sidorenko V. P., Verbitskiy V. G., Prokofiev Yu.V. VLSI circuitry for a microelectronic coordinate-sensitive detector for elemental analysis of materials. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2012, no. 4, pp. 39-46. (Rus)
4. Sidorenko V.P., Radkevich O.I., Prokofiev Yu.V et al. VLSI for a new generation of microelectronic coordinate-sensitive detectors with an extended field of analysis for use in mass spectrometry. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2018, no. 1, pp. 13-20. (Rus). <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2018.1.13>
5. Medvedev A.M. *Sborka i montazh elektronnykh ustroystv* [Assembly and installation of electronic devices]. Moscow, Tekhnosfera, 2007, 256 p. (Rus).
6. Vozhenin I. N., Blinov G. A., Koledov L. A. et al. *Mikroelektronnaya apparatura na beskorpusnykh integral'nykh mikroskhemakh* [Microelectronic equipment on open-frame integrated microcircuits]. Moscow, Radio y svyaz', 1985, 264 p. (Rus)
7. Verbitskiy V. G., Plis N. I., Zhora V. D., Grunyanakaya V. P. Comparative analysis of methods for the microcircuit assembly on flexible polyimide carriers. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2013, no. 5, pp. 37-41. (Rus)
8. Perevertaylo V. L., Zhora V. D., Grunyanakaya V. P., Pugatch V. M., Tuchynsky I. A., Shkirenko E. A. Usage of flexible carrier at assembling of silicon detectors. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2009, no. 1, pp. 40-44. (Rus)
9. Borshchev V. N., Antonova V. A., Listratenko A. M. et al. [A comprehensive approach to the selection of design and technological solutions for flexible-rigid single-detector modules for Compton medical tomography]. *Stintillyatsionnye materialy. Inzheneriya, ustroystva, primeneniye*, Kharkiv, ISMA, 2009, pp. 111-127. (Rus)
10. Plis N. I., Verbitskiy V. G., Zhora V. D. et al. The technology of assembly of microcircuits on a flexible polyimide carrier. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2010, no. 5-6, pp. 43-45. (Rus)