

**В.Л. Перевертайло, Н.А. Тимошенко, Т.М. Вирозуб,
И.Л. Зайцевский, Л.И. Тарасенко, А.В. Перевертайло, Э.А. Шкиренко,
В.И. Ковригин, А.С. Крюков**

ГП НИИ микроприборов НТК «ИМК» НАНУ, Киев

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ



Рассмотрены разработка, изготовление и применение кремниевых интегральных многоэлементных линейных и матричных детекторов в гамма- и рентгеновских координатно-чувствительных системах для мониторинга синхротронного излучения и позитрон-эмиссионной томографии для регистрации высокоэнергетичных заряженных частиц и рентгеновского излучения, применения электроники маломощного спектрометрического канала и перспективы применения микрочипов 128-канальной электроники на основе КМОП (CMOS)-технологии.

Ключевые слова: односторонний и двухсторонний микростриповый детектор; фотодиодная линейка и матрица; многоканальная микросхема считывающей электроники, технология интегральных схем.

Повышение пространственного разрешения гамма- и рентгеновских координатно-чувствительных систем, в том числе систем формирования изображения, дифрактометрии, дозиметрии, других приборных структур требует применения многоэлементных (до 1024-и и более элементов) интегральных детекторов. Считывание сигналов с них возможно только многоканальными аналоговыми специализированными микросхемами (ASIC) на основе зарядочувствительных преобразователей-усилителей (ЗЧПУ). В Украине разработаны детекторы на высокоомном кремнии для таких систем в физике высоких энергий (ФВЭ) [1, 2], для рентгеновских сканеров [3] и др. [4]. Ведутся разработки детекторов с повышенной пространственной разрешающей способностью (от 0,1 мм

для рентгеновских детекторов до 0,01 мм для детекторов ФВЭ). Однако в Украине не производятся интегральные микросхемы считывающей электроники, поэтому в настоящее время отечественные специалисты вынуждены применять зарубежные многоканальные микрочипы считывающей электроники. Вообще, использование интегральных детекторов и интегральной электроники является современной тенденцией в развитии приборостроения. Поэтому для создания отечественных приборных систем очень актуальными являются разработки как многоэлементных интегральных детекторов, так и микросхем многоканальной считывающей электроники.

1. КРЕМНИЕВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Первые микростриповые интегральные детекторы в Украине, изготовленные на пластинах высокоомного *n*-кремния диаметром 76 мм

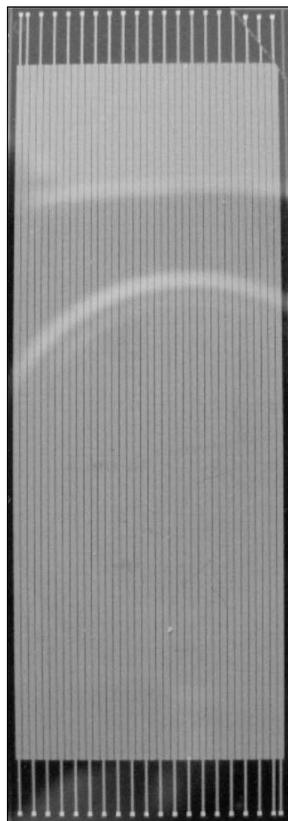


Рис. 1. Кристалл первого 40-элементного микрострипового детектора, изготовленного на технологической линейке НИИ микроприборов

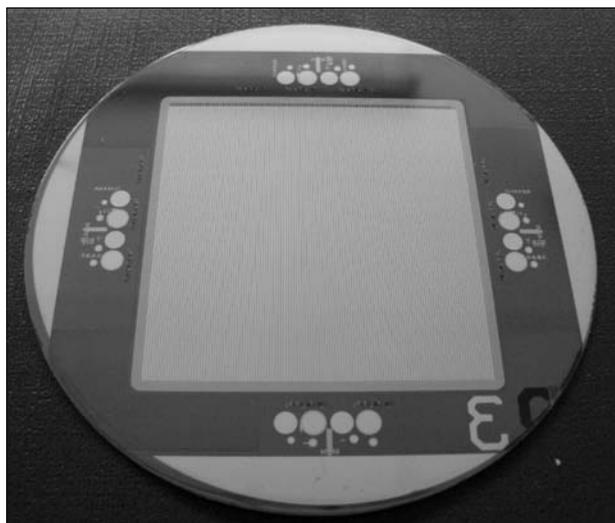


Рис. 2. Кристалл 128-элементного микрострипового детектора на пластине диаметром 76 мм

на технологической линейке НИИ микроприборов (рис. 1), использовались для измерений на 225 МэВ электронном пучке [5] (ХФТИ, г. Харьков, Украина) и содержали 40 стриповых элементов с шагом 400 мкм, с шириной p^+ -области 350 мкм, зазором между стрипами 50 мкм и длиной стрипов 40 мм. С помощью этих микростриповых детекторов был проведен ряд экспериментов, в том числе снят спектр упругого рассеяния пучка электронов на углеродной мишени ^{12}C [1, 4, 5].

Следующий микростриповый 128-элементный детектор (рис. 2) использовался в Институте твердого тела им. Макса Планка (г. Гейдельберг, Германия) для экспериментов с протонными пучками [1].

По разработанной нами технологии [1–5] были изготовлены описанные выше детекторы и ряд других, в том числе кольцевой 4x10-элементный стриповый детектор [6] (рис. 3) для экспериментов на ионных пучках в Университете Лоувейна, Бельгия. На кольцевом детекторе были проведены измерения угловых распределений пучка рассеянных радиоактивных ионов ^6He с энергией 14 МэВ на мишени ^{208}Pb [7].

В последние годы совместно с Центром радиационной медицины (ЦРМ) при Университете Воллонгонга (Австралия), основателем и руководителем которого является профессор *Анатолий Розенфельд*, авторами статьи были проведены работы по созданию матричного гамма-детектора для позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ), в рамках которых была разработана и изготовлена на высокоомном кремнии 64-элементная фотодиодная матрица (рис. 4) [8, 9] для формирования гамма- и рентгеновских изображений в медицине. Контактные площадки интегральных фотодиодов (64 площадки) выведены на одну сторону для соединения с микрочипом 64-канального зарядочувствительного усилителя.

Совместно с ЦРМ нами разработаны твердотельные матричные 512-элементные детекторы для мониторинга синхротронного излу-

чения, один из которых показан на рис. 5, где выводы диодов сгруппированы по 128 с каждой стороны для соединения с четырьмя микрочипами, каждый из которых имеет 128 каналов электроники считывания. Прибор обеспечивает возможности измерения мощности и дозы рентгеновского излучения в режиме *on-line* с высоким быстродействием (10^{-5} с) и радиационной стойкостью (10 МРад).

Нами, совместно с учеными ИЯИ НАНУ (Украина), Университета Цюриха (Швейцария) и другими участниками эксперимента LHCb (Large Hadron Collider), разработаны и изготовлены прототипы кремниевых координатно-чувствительных (микростриповых) детекторов для Большого Адронного Коллайдера (БАК), ЦЕРН, Швейцария, на которых проводились эксперименты с целью оптимизации параметров детекторов для эксперимента LHCb (ЦЕРН, Швейцария) [10]. Большой вклад в организацию сотрудничества и координацию работ внес *Пугач В.М.* (начальник отдела ИЯИ НАНУ, участник коллаборации LHCb).

Разработанные на основе технологии кремниевых ИС прототипы детекторов для эксперимента LHCb позволили оптимизировать геометрические и электрофизические параметры детекторов с точки зрения получения максимального соотношения *сигнал/шум*, пространственного разрешения, радиационной стойкости и других параметров детекторов [10]. Они способны выполнять те же функции, что и следующие за ними модификации детекторов, которые в настоящее время используются по основному назначению — для реконструкции событий и процессов при протон-протонных столкновениях протонов высокой энергии в кольце БАК после его включения 23 ноября 2009 г. На рис. 6 приведен общий вид прототипа микрострипового детектора с конденсаторами и резисторами на чипе детектора.

Наиболее совершенным инструментом физики высоких энергий (ФВЭ), созданным на основе кремниевой интегральной технологии, являются двухсторонние микростриповые крем-

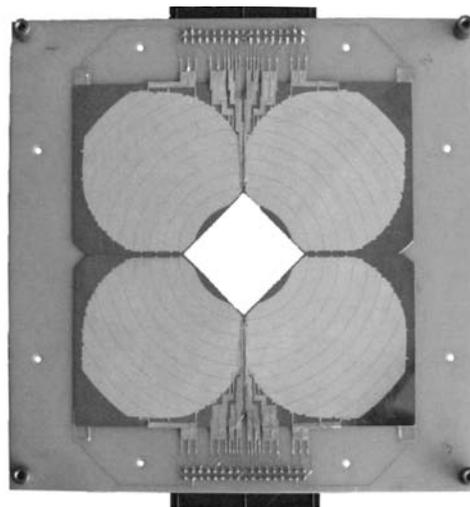


Рис. 3. Кольцевой микростриповый 4-секционный 4×10 -элементный детектор, изготовленный на технологической линейке НИИ микроприборов (\varnothing пластин — 76 мм)

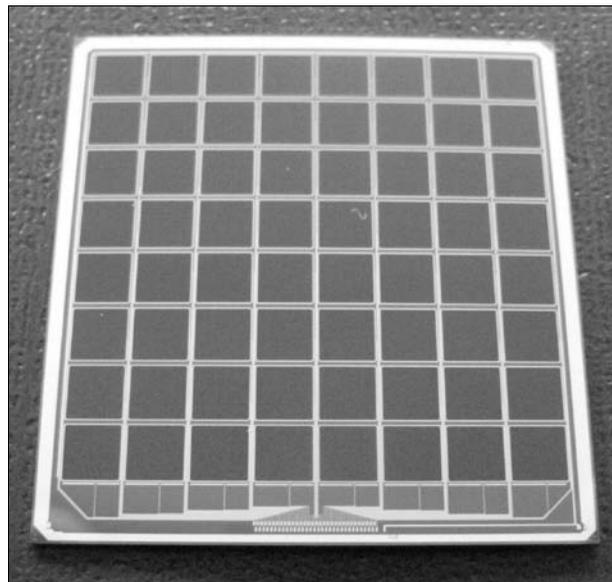


Рис. 4. 64-элементная фотодиодная матрица для матричного детектора *сцинтиллятор-фотодиод*, применяемого в позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ). Размер кристалла — 25×28 мм, диоды — 3×3 мм, диаметр пластины — 100 мм

ниевые детекторы (ДМКД). Первые работы по ДМКД появились в конце 80-х — начале 90-х гг. прошлого столетия. После усовершенствования

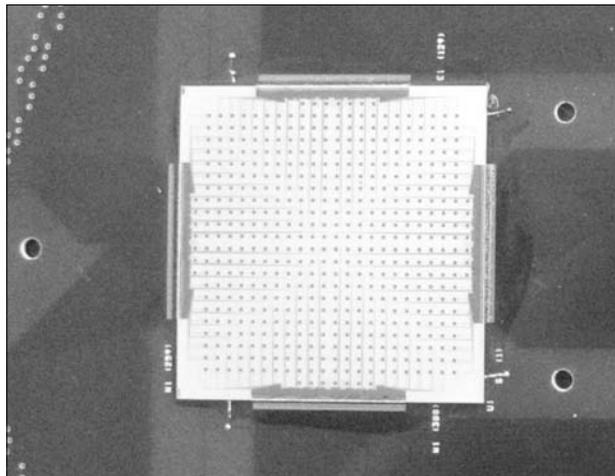


Рис. 5. Твердотельный матричный 512-элементный детектор для дозового мониторинга пучков в медицине. Поле — $50 \times 50 \text{ мм}^2$, размер диодов — $0,6 \times 0,6 \text{ мм}^2$

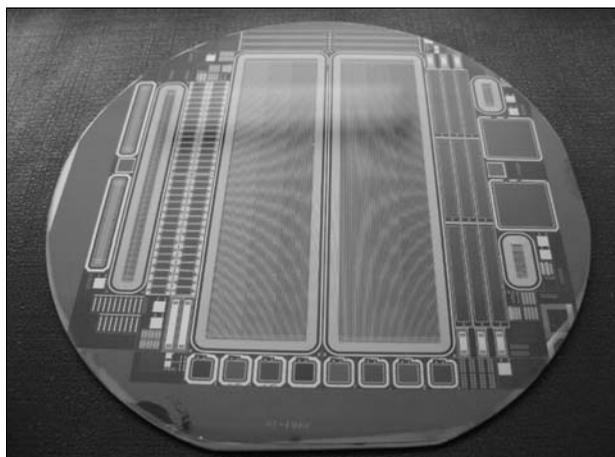


Рис. 6. Общий вид прототипа микрострипового детектора для эксперимента LHCb

вания технологии и конструкции они были успешно применены в ряде экспериментов ФВЭ.

Преимуществами двухсторонних микростриповых детекторов по сравнению с односторонними являются:

- ✦ удвоение информации, снимаемой с одного кристалла (сигнал дырок с элементов на лицевой стороне кристалла и сигнал электронов с элементов на обратной стороне кристалла) для одного и того же детектора и того же количества рассеивающего вещества, т.к.

используется одна общая кремниевая подложка;

- ✦ возможность построения 2-координатного детектора на одной подложке;
- ✦ построение 3-мерных детекторных систем и др.

Однако возникает ряд конструктивно-технологических проблем при изготовлении этих сложных приборов для реальных экспериментов, а сама технология двухсторонних детекторов намного сложнее технологии 1-сторонних детекторов из-за формирования 2-сторонней микростриповой структуры на высокоомной кремниевой пластине, особенно в случае их изготовления на оборудовании стандартной технологической линейки по производству ИС. Существующее технологическое оборудование предназначено для формирования 1-сторонних структур и при попытке формирования активной структуры на противоположной стороне происходит повреждение структуры, сформированной на лицевой стороне пластины. Для предотвращения таких повреждений необходимо нанесение защитных пленок, используемых в технологии ИС и разработка специальной оснастки и приспособлений для их нанесения на пластину на стандартном оборудовании.

Нами были разработаны технология и конструкция 2-стороннего детектора и решены перечисленные выше проблемы их изготовления, используя распространенные в технологии ИС пленки, материалы и процессы. Эта технология реализована при изготовлении прототипа 2-стороннего микрострипового детектора для эксперимента ALICE (A Large Ion Collider Experiment, CERN). Примером 2-х стороннего детектора является разработанный совместно с ХФТИ НАНУ и изготовленный нами прототип 2×768 -элементный стрип-детектор с активной площадью $2 \times 30 \text{ см}^2$ для эксперимента ALICE. Координировал работы по проекту с украинской стороны к.ф.-м.н. *Маслов Н.И.*, начальник отдела ХФТИ НАНУ.

Кроме стриповых элементов на обеих сторонах кремниевой пластины расположены также переходные конденсаторы для реализации ем-

костной связи между $p-n$ -переходами стриповых элементов детектора и входными цепями предусилителей и нагрузочные высокоомные резисторы для подачи смещения на стрипы. Микростриповые элементы имеют шаг 95 мкм, длину 40 мм, их количество на каждой стороне — 768. Результаты тестирования 2-сторонних кремниевых координатно-чувствительных микростриповых детекторов, разработанных и изготовленных в Украине [11–13] в рамках эксперимента ALICE, показали, что они имеют параметры, типичные для большинства зарубежных детекторов, включая радиационную стойкость.

Отметим, что реализация двухсторонних детекторов в условиях производства серийных кремниевых ИС [14] с оборудованием для односторонней фотолитографии делает более доступным их изготовление и позволяет осуществлять в случае необходимости массовый выпуск двухсторонних приборов.

В рамках совместных работ с ИСМА НАНУ нами были разработаны многоэлементные фотодиодные линейки на высокоомном кремнии для рентгеновских детекторов (рис. 7–9), которые являются основой для сцинтилляционных детекторов в рентгеновских сканерах, используемых в дефектоскопии, интроскопии, томографии, цифровой радиографии, в оборудовании таможенного контроля, приборах обнаружения наркотиков, взрывчатки и др. [15–17]. Наблюдающаяся для этих детекторов тенденция уменьшения размера и шага элементов также требует замены электронных каналов усиления и обработки сигналов на дискретных элементах интегральной электроникой в твердотельном исполнении.

Сотрудничество с Харьковским Национальным университетом им. В.Н. Каразина по созданию детектора космического телескопа высокоэнергетичных заряженных частиц (рис. 10), (руководитель проекта — Дудник А.В.), закончилось важным событием — запуском на околоземную орбиту телескопа на борту российского спутника «КОРОНАС-ФОТОН» в январе

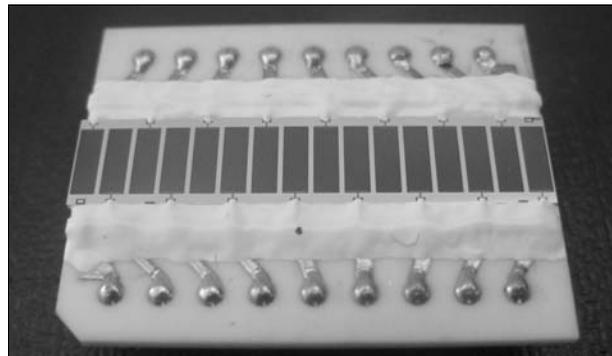


Рис. 7. 16-элементная фотодиодная линейка для рентгеновских детекторов на керамической плате (шаг 1,6 мм)

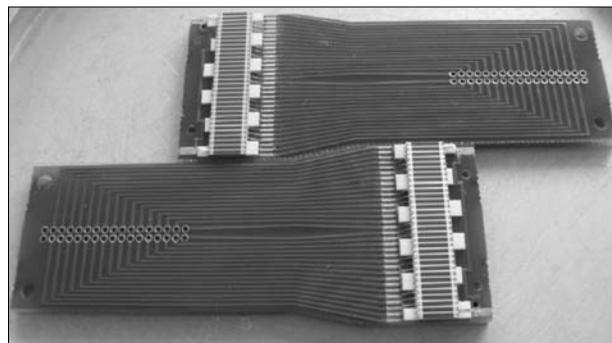


Рис. 8. 32-элементная фотодиодная линейка для рентгеновских детекторов на печатной плате (шаг 0,8 мм)

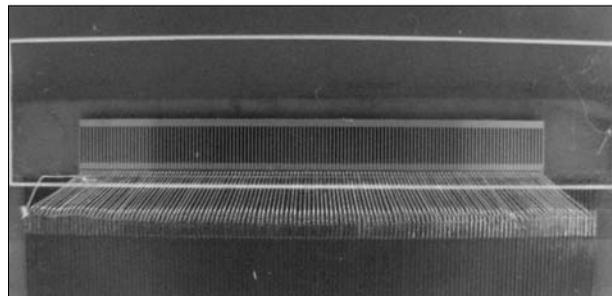


Рис. 9. 128-элементная фотодиодная линейка для рентгеновских детекторов на печатной плате (шаг 0,2 мм, разварка выводов кристалла на гибкий шлейф)

2009 г. В результате получения большого потока данных появилась карта радиационных полей в околоземном пространстве, что дало возможность проводить мониторинг космической погоды и солнечной активности. Прибор СТЕП-Ф предназначен для непрерывного

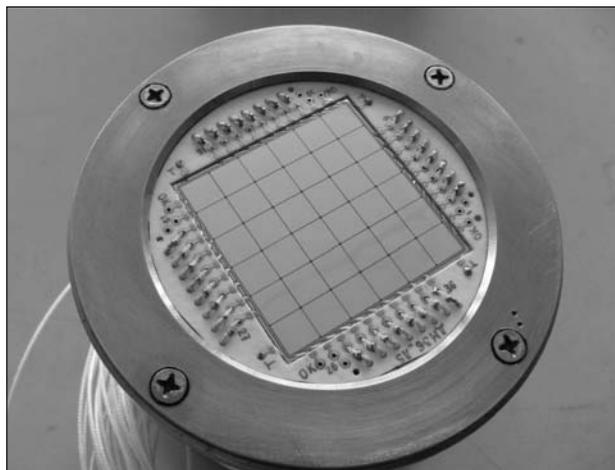


Рис. 10. 36-элементный матричный детектор для регистрации высокоэнергетичных заряженных частиц в российско-украинском космическом проекте 2009 г. «КОРОНАС-ФОТОН»

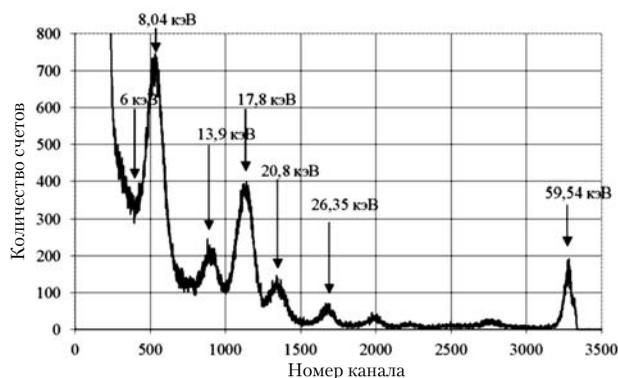


Рис. 11. Спектр низкоэнергетичного гамма- и рентгеновского излучения источника ^{241}Am , зарегистрированный кремниевым $p-i-n$ -диодом, изготовленным на высокоомном кремнии, с размером активной области $0,9 \times 2,5 \times 0,4 \text{ мм}^3$ при облучении через фильтр Cu ($0,03 \text{ мм}$); смещение детектора — 58 В , экспозиция — 5000 с , $T = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Около пиков указаны значения их энергии, пик вблизи 8 кэВ соответствует рентгеновской флуоресценции Cu

измерения потоков электронов (в диапазоне энергий $E_e = 0,2\text{--}15,0 \text{ МэВ}$), протонов ($E_p = 3,7\text{--}61,0 \text{ МэВ}$) и альфа-частиц ($E_a = 15,9\text{--}246,0 \text{ МэВ}$), захваченных во внутренний и внешний радиационные пояса Земли, которые перемещаются из радиационных поясов в атмосферу во время солнечных вспышек, геомагнитных бурь, вне-

запных ионосферных возмущений, а также для получения информации о потоках и спектрах энергичных частиц с целью изучения энергичных солнечных космических лучей, их прохождения в межпланетном пространстве, динамики радиационных поясов Земли во время 24-го 11-летнего цикла солнечной активности.

В детекторах для космических исследований за рубежом уже давно наблюдается переход к использованию электронных каналов усиления и обработки сигналов на основе интегральной электроники в твердотельном исполнении.

2. РЕГИСТРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЕВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Кремниевые интегральные (планарные) детекторы позволяют регистрировать рентгеновское излучение относительно невысоких энергий (десятки кэВ). Из-за малой толщины планарных детекторов, обычно не превышающей 500 мкм , эффективность регистрации резко падает при энергиях выше $20\text{--}30 \text{ кэВ}$. При этом для приборных применений необходим канал электроники с высоким разрешением по энергии. Нами разработан малощумящий спектрометрический канал [18], состоящий из зарядочувствительного предусилителя (ЗЧПУ) ПУ128а и усилителя-формирователя (УФ) СУ-04. Его характеристики можно оценить из спектра низкоэнергетичного гамма- и рентгеновского излучения источника ^{241}Am , измеренного при прямой регистрации кремниевым $p-i-n$ -диодом, изготовленным на высокоомном кремнии, с малым размером активной области (около $0,9 \times 2,5 \times 0,4 \text{ мм}^3$), показанного на рис. 11. Малый размер детектора позволяет минимизировать шумы детектора и наблюдать характеристики (разрешение) самого спектрометрического тракта. Из приведенного спектра видно, что разработанная электроника позволяет получить высокое разрешение по энергии ΔE на уровне ведущих зарубежных фирм; для данного $\text{Si } p-i-n$ -диода при комнатной температуре получено разрешение $\Delta E \sim 2 \text{ кэВ}$ (в диапазоне $20\text{--}60 \text{ кэВ}$).

Для регистрации рентгеновских излучений с более высокой энергией применяются оптопары «сцинтиллятор — *p-i-n*-фотодиод» [18, 19]. В этом случае амплитуда сигнала от рентгеновского кванта становится в 6–8 раз меньше, чем при прямой регистрации кремниевым *p-i-n*-диодом, однако чувствительность электронного канала (ПУ128а + СУ-04) еще достаточна для спектрометрических измерений.

3. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ СИСТЕМЫ НА КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРАХ И ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Повышение пространственного разрешения гамма- и рентгеновских координатно-чувствительных приборных систем формирования изображения, дифрактометрии, дозиметрии и других, как было показано выше, требует не только многоэлементных интегральных детекторов, но и интегральных микросхем считывающей электроники, так называемых *ASIC-микросхем* (application specific integrated circuits). Описанные выше многоэлементные кремниевые интегральные детекторы, разработанные в Украине, способны регистрировать рентгеновские излучения при наличии соответствующей многоканальной электроники. Пример многоканальной системы считывания сигналов с многоэлементного детектора с использованием зарубежных микрочипов VA_SCM3 фирмы Gamma Medica показан на рис. 12, где соединение детекторных элементов с входами каналов предусилителей-преобразователей осуществляется гибким носителем *алюминий–полиимид*, который одновременно является и адаптером для согласования шага элементов в детекторе и шага предусилителей на микрочипе.

Основной проблемой при разработке *ASIC*-детекторной многоканальной электроники является достижение высокой точности и быстродействия преобразования зарядовых сигналов в потенциальные, которое реализуется методами микросхемотехники ЗЧПУ.

Нами разработаны два варианта микрочипов 128-канальной электроники на основе КМОП-(CMOS)-технологии для интегральных детекто-

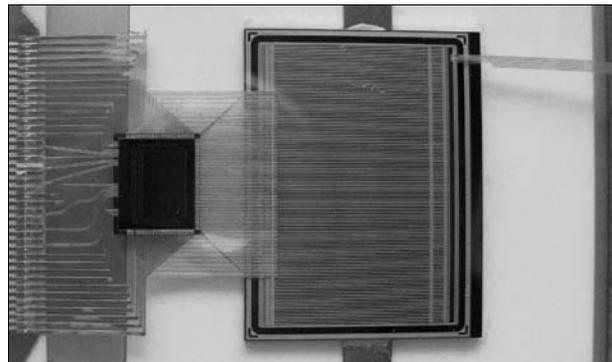


Рис. 12. Многоканальная система считывания сигналов с микрострипового детектора на зарубежном микрочипе 128-канального предусилителя-преобразователя VA_SCM3 фирмы Gamma Medica

ров: усилитель-интегратор тока для *p-i-n*-фотолинеек и импульсный зарядочувствительный усилитель-преобразователь для регистрации сигналов от одиночных гамма- и рентгеновских квантов или высокоэнергетических частиц [20].

Микросхема IMD-1 предназначена для считывания сигналов с 128-элементных *p-i-n*-фотодиодных линеек со сцинтилляторными элементами рентгеновского детектора. Каждый канал имеет зарядовый усилитель, который усиливает сигналы с фотолинейки, элемент аналоговой памяти и схему выборки-хранения на конденсаторах и аналоговых КМОП-ключах. IMD-1 дает распределение интенсивности излучения с постоянной времени $\tau \sim 10^{-4}$ с (опорная частота $\cong 1$ МГц). Микросхема может применяться:

- ✦ в системах регистрации рентгеновского излучения в медицинской аппаратуре, в частности в флюорографах, разрабатываемых ЗРО «КВАНТ», Украина (цифровой безкабинный флюорограф «Индиаскан-01», цифровая передвижная флюорографическая кабина «Индиарс-П» на базе автобуса «Богдан») и в других изделиях, в т.ч. для медицины и неразрушающего контроля;
- ✦ в оборудовании рентгеноструктурного анализа в установках исследования фазовых и структурных преобразований в материалах при термообработках, деформациях, спека-

нии и других технологических процессах. Регистрация дифракционного спектра образца может осуществляться неподвижным координатным твердотельным детектором, благодаря чему обеспечивается высокая пропускная способность (экспрессность анализа), упрощается конструкция и эксплуатация прибора (может использоваться для промышленного контроля в реальном времени).

Микросхема IMD-2 в каждом из 128-и каналов имеет зарядовый преобразователь-усилитель, усилитель-формирователь импульсов и схему выборки-хранения. IMD-2 предназначена для считывания сигналов с интегральных детекторов (стрип-детекторов, пиксель-детекторов, других линейных и матричных сенсоров) для определения пространственного распределения интенсивности излучения или регистрации частиц.

Обе микросхемы разработаны в рамках КМОП (CMOS) технологии 0,8 мкм.

Как следует из вышесказанного, в настоящее время усилиями разработчиков НИИ микроприборов и научно-производственного предприятия «БИТ» в Украине на основе кремниевой интегральной технологии создана элементная база для ядерно-физического и радиационного приборостроения [21] и других отраслей промышленности.

Следующим этапом должно стать применение этих детекторов и детекторной электроники в отечественных и зарубежных приборных разработках.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Перевертайло В.Л.* Разработка и характеристики кремниевых координатно-чувствительных детекторов для физики высоких энергий и ядерной физики // Ядерна фізика та енергетика. — 2008. — №1 (23). — С. 88–95.
2. *Перевертайло В.Л.* Интегральные двухсторонние кремниевые микростриповые детекторы // ТКЭА. — 2011. — № 5. — С. 17–24.
3. *Перевертайло В.Л. и др.* Исследование параметров многоэлементных p-i-n фотодиодных структур на основе кремния // Тези доповідей на конф. «СЕМСТ-3». — Одеса, 2–6 червня 2008 р. — С. 153.
4. *Перевертайло В.Л.* Разработка фотоприемных интегральных систем, детекторов высокоэнергетических γ -, β -, α -, рентгеновских излучений и интегральной считывающей электроники // «Стратегия выбора: 50 лет Киевскому НИИ микроприборов (1962–2012)». — К.: Корнійчук, 2012. — 528 с. — С. 480–508.
5. *Evshev I.G., Rosenfeld A.B., Perevertaylo V.L. et al.* Testing of the silicon strip detectors by 225 MeV electron beam // Proceedings of the third Kiev's International School on Nuclear Physics «New Trends in Nuclear Physics». — Kiev, June 22 – July 1 1992. — P. 472–478.
6. *Перевертайло В.Л., Жора В.Д., Грунянская В.П. и др.* Сборка кремниевых детекторов на гибких носителях типа Al-полиимид // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2009. — № 1 (79). — С. 40–44.
7. *Nemez O.F., Pavlenko Yu.N., Pugatch V.M. et al.* Silicon annular strip detector // Proceeding of International symposium of atomic nuclear physic, Moscow, 16–19 June 1998. — P. 346.
8. *Rosenfeld A., Perevertaylo V.L., Lerch M. et al.* Spectral characterisation of a blue-enhanced silicon photodetector // IEEE Trans. of Nuclear Science. — V. 48 (2001). — N 4. — P. 1220–1224.
9. *Rosenfeld A.B., Lerch M.L.F., Perevertailo V.L. et al.* Readout of LYSO Using a New Silicon Photodetector for Positron Emission Tomography // IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, 2003. — V. 2. — P. 1408–1412.
10. *Lehner F., Pugatch V.* Description and Characterization of Inner Tracker Silicon Prototype Sensors // LHCb Note — 2001 — 036, CERN, Geneva, — 2001. — 11 p.
11. *Maslov N., Kulibaba V., Perevertaylo V. et al.* Radiation tolerance of single-sided microstrip detector with Si_3N_4 insulator // Nuclear Physic B (Proceeding Supplements). — V. 78 (1999). — P. 689–694.
12. *de Haas A.P., Kuijer P., Maslov N.I. et al.* Characteristics and radiation tolerance of a double-sided microstrip detector with polysilicon biasing resistors // Problems of Atomic Science and Technology. Issue: Nuclear Physics Research (36). — 2000. — V. 2. — P. 26–33.
13. *Kulibaba V., Maslov N., Potin S., Starodubtsev A.* Interstrip Resistance of a Semiconductor microstrip detector // Problems of Atomic Science and Technology. Issue: Nuclear Physics Research. — 2001(39), № 5. — P. 180–182.
14. *Перевертайло В.Л.* Интегральные двухсторонние кремниевые микростриповые детекторы // ТКЭА. — 2011. — № 5. — С. 17–24.
15. *Перевертайло В.Л., Попов В.М., Поканевич А.П. и др.* Исследование параметров многоэлементных p-i-n-фотодиодных структур на основе кремния // Тези доповідей на конф. «СЕМСТ-3». — Одеса, 2–6 червня 2008 р. — С. 153.
16. *Ryzhikov V.D., Opolonin O.D., Grynyov B. et al.* The looking for new possibilities of improvement of receiving-

- detecting circuits for digital radiographic systems with advanced spatial resolution // *Functional Materials*. — V. 18 (2011). — № 3. — P. 398–401.
17. Рижиков В.Д., Ополонін О.К., Лисецька О.К. и др. Дослідження характеристик детекторів на основі сцинтилятор-фотоприймальний пристрій для цифрової радіографії // *Нові технології*. — 2004. — № 1–2 (4–5). — С. 8–12.
 18. <http://www.detector.org.ua> — сайт підприємства «БИТ» (Україна).
 19. Перевертайло В.Л. Характеристики и технология изготовления кремниевых планарных *p-i-n*-фотодиодов для сцинтиляционных детекторов // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники»*. — 2007. — Ч. 1. — С. 15–23.
 20. Перевертайло В.Л., Тимошенко М.А., Вірозуб Т.М. та ін. Розробка багатоканальних координатно-чутливих гамма-, рентгенівських детекторних систем на основі кремнієвої інтегральної технології // Тези доповідей на конф. «СЕМСТ-5». — Одеса, 4–8 червня 2012 р. — С. 46.
 21. Перевертайло В.Л. Создание элементной базы для ядерно-физического и радиационного приборостроения на основе кремниевой интегральной технологии // Труды Пятой международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». — Одесса, 17–21 мая 2004 г. — С. 200.

В.Л. Перевертайло, М.А. Тимошенко, Т.М. Вірозуб, І.Л. Зайцевський, Л.І. Тарасенко, О.В. Перевертайло, Е.А. Шкіренко, В.І. Ковригін, О.С. Крюков

БАГАТОКАНАЛЬНІ КООРДИНАТНО-ЧУТЛИВІ РЕНТГЕНІВСЬКІ ДЕТЕКТОРНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КРЕМНІЄВОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Розглянуті розробка, виготовлення і застосування кремнієвих інтегральних багатоеlementних лінійних і мат-

ричних детекторів в гамма- і рентгенівських координатно-чутливих системах для моніторинга синхротронного випромінювання і позитрон-емісійної томографії, для реєстрації високоенергійних заряджених часток і рентгенівського випромінювання, застосування електроніки малошумлячого спектрометричного каналу і перспективи застосування мікročипів 128-канальної електроніки на основі КМОН (CMOS)-технології.

Ключові слова: односторонній і двосторонній мікροстріповий детектор; фотодіодна лінійка і матриця; мікросхема багатоканальної зчитуючої електроніки; технологія інтегральних схем.

V.L. Perevertaylo, N.A. Timoshenko, T.M. Virozub, I.L. Zaitsevsky, L.I. Tarasenko, A.V. Perevertaylo, E.A. Shkirenko, V.I. Kovrygin, A.S. Kryukov

MULTICHANNEL COORDINATE-SENSITIVE X-RAY DETECTOR SYSTEM BASED ON A SILICON INTEGRATED TECHNOLOGY

The development, manufacturing and application of silicon integrated multi-element linear and matrix detectors in the gamma- and X-ray coordinate-sensitive systems, designed for the synchrotron radiation monitoring and positron emission tomography, for the high-energy charged particles and X-rays registration are examined, the low-noise electronics spectrometer channel applications and prospects of the microchip 128-channel electronics based on CMOS technology are studied.

Key words: one-sided and double-sided microstrip detector; photodiode linear and matrix array; multi-channel readout electronics chip; integrated circuit technology.

Стаття надійшла до редакції 24.12.12