

К. ф.-м. н. В. Л. ПЕРЕВЕРТАЙЛО, к. т. н. В. Д. ЖОРА,  
В. П. ГРУНЯНСКАЯ, д. ф.-м. н. В. М. ПУГАЧ, И. А. ТУЧИНСКИЙ,  
Э. А. ШКИРЕНКО

Украина, г. Киев, НИИ микроприборов  
E-mail: detector@carrier.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
15.07 2008 г.

Оппонент к. ф.-м. н. А. Н. ПЕТЛИЦКИЙ  
(НПО «Интеграл», г. Минск)

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКИХ НОСИТЕЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

*Показана перспективность применения гибких носителей типа «алюминий—полиимид» для сборки детекторов различного назначения. Рассмотрены преимущества данной технологии в сравнении с проволочными соединениями детекторов.*

В настоящее время наиболее известная разновидность координатно-чувствительных детекторов — кремниевые микростриповые детекторы (КМД) — стали одним из основных инструментов исследований в физике высоких энергий, ядерной и радиационной физике [1—3]. КМД позволили применить в этих областях ряд технологических приемов, присущих технологии интегральных схем. Одним из них является использование гибких носителей или микрокабелей, применяющихся в качестве межсоединений, адаптеров и выполняющих ряд других функций, что и продемонстрировано в данной работе.

Технология гибких носителей типа «алюминий—полиимид», описанная в [4, 5], является уникальной и не имеет прямых зарубежных аналогов. Представленные в ряде зарубежных работ технологии с гибкими носителями типа «медь—полиимид» [6, 7] имеют ряд существенных недостатков. Они обусловлены высоким зарядом ядра меди, необходимостью нанесения на нее различных защитных покрытий (Ni, Au и др.), низкой механической прочностью медных шин при многократных изгибах, необходимостью дополнительных проволочных соединений между контактными площадками детектора и шинами гибкого носителя. Это снижает надежность соединений, усложняет конструкцию, увеличивает трудоемкость сборки, а также приводит к потерям энергии частиц и вторичным излучениям.

При использовании гибких носителей типа «алюминий—полиимид» алюминиевые выводы привариваются ультразвуковой сваркой непосредственно к контактному площадкам детектора. Образуется монометаллическое соединение с высокой прочностью на разрыв — порядка 7—12 гс при толщине выводов 30 мкм (для сварки проволокой диаметром 30 мкм она составляет 5—6 гс). Подтверждением перспективности такой технологии является ее использование для сборки стрипов двухстороннего стрип-детек-

тора в эксперименте ALICE [8] с помощью микрокабелей «алюминий—полиимид».

### Технология сборки детекторов на гибких носителях типа «алюминий—полиимид» и ее преимущества

Соединение КМД с многоканальной считывающей аппаратурой традиционными методами с использованием проволочных соединений сопряжено с рядом трудностей, обусловленных малыми расстояниями (20—100 мкм) между контактными площадками элементов (стрипов), между контактными площадками чипа многоканального предусилителя (40—50 мкм) и большим количеством элементов ( $10^2—10^3$ ). Это, зачастую, делает невозможным применение проволочных соединений из-за инструментальных ограничений и закорачивания проводников.

Перспективным является разработанный нами конструктивно-технологический способ массовой сборки микросхем в бескорпусном исполнении с использованием гибких носителей типа «алюминий—полиимид» [4, 5], который позднее был модифицирован для повышения плотности токоведущих элементов и увеличения площади микрокабеля.

Предложенный способ сборки включает в себя изготовление гибких носителей (микрокабелей) методом двустороннего фотолитографического травления слоев алюминия и полиимида, присоединение их к стандартным кристаллам ультразвуковой сваркой, герметизацию полимерными материалами и проведение технологических отбраковочных испытаний, в том числе электротермотренировок — при необходимости. При этом толщина слоя алюминия, используемого для изготовления выводов носителей, может составлять 14, 20, 25 или 30 мкм, а полиимидного основания — 10 или 20 мкм.

Гибкие носители (микрокабели) можно изготавливать различными методами. При больших объемах выпуска и сравнительно малом количестве выводов (до 64) преимущество имеют высокопроизводительные методы рулонной обработки, например, с использованием линии «Ладога». При малых объемах, а также при изготовлении сложных изделий, имеющих сотни выводов, более предпочтительным оказывается так называемый «планшетный» вариант технологии. При ширине выводов (шин) от 80 мкм и их шаге от 180 мкм планшетный вариант может быть легко реализован с помощью специально разработанного

многокомпонентного травителя алюминия с комнатной рабочей температурой [9].

Уменьшение ширины выводов (до нескольких десятков микрон) и шага (менее 100 мкм) потребовало существенной доработки технологии изготовления гибких носителей.

Была разработана методика нанесения фоторезиста [10], обеспечивающая получение его постоянной оптимальной толщины порядка 1,5 мкм при различных вязкостях и других параметрах светочувствительного раствора. Выбран полирующий травитель алюминия с повышенной рабочей температурой (до 100°C).

В технологическом процессе тщательно контролировались режимы, особенно освещенность при экспонировании, температура рабочих растворов, давление в вакуумной раме и т. п.

Все это обеспечило повышение плотности элементов гибких носителей до 125 элементов/см при допуске на травление  $\pm 4$  мкм, существенное снижение дефектности. Выход годных микрокабелей возрос до 50% (при шаге выводов до 80 мкм, их количестве до нескольких сотен, площади микрокабелей свыше 40×40 мм).

Отметим, что данный метод сборки, разработанный вначале для изделий спецприменения, показал свою эффективность и при изготовлении изделий широкого применения, например микрокалькуляторов.

К достоинствам предложенного метода сборки кремниевых детекторов относятся:

- возможность отдаления считывающей аппаратуры от детектора и от области взаимодействия с высокими радиационными полями;
- возможность создания на одном гибком носителе (микрокабеле) функционального блока, содержащего несколько детекторов и, при необходимости, управляющих микросхем;
- высокая надежность сварных соединений на кристаллах;
- отсутствие вторичных излучений при облучении за счет малого заряда ядра материала выводов (алюминия);
- существенное снижение массогабаритных характеристик изделий за счет повышения плотности монтажа (шаг расположения выводов носителей в наиболее узких местах может быть снижен до 80 мкм в случае использования более тонких слоев алюминия);
- возможность применения микрокабелей или гибких носителей как адаптеров при переходе с одного значения шага выводов на другой, например при переходе от детектора к чипу многоканального предусилителя или распайке выводов детектора на платы или разъемы;
- возможность применения двухсторонней металлизации на гибком носителе;
- возможность монтажа в изделия как ультразвуковой сваркой, так и бесфлюсовой пайкой, за счет дополнительной обработки алюминиевых выводов [4, 5];
- практическое исключение возможности короткого замыкания выводов за счет их закрепления на прочной и термически стойкой полиимидной пленке,

что особенно актуально в случаях, когда соединяемые точки значительно удалены друг от друга.

#### Сборка детекторов с использованием гибких носителей

Описанная технология сборки изделий с использованием гибких носителей типа «алюминий—полиимид» применена для сборки ряда детекторов. Была разработана конструкция гибкого носителя для 128-элементного стрип-детектора, имеющего шаг стрипов 330 мкм при расстоянии между ними 50 мкм. Детектор имел стрипы с прямой связью, поэтому дискретные КМД-резисторы смещения и переходные конденсаторы были расположены на печатной плате, которая из-за высокой плотности элементов была изготовлена двухсторонней с металлизированными отверстиями и с использованием КМД-элементов.

Для обеспечения стыковки стрип-детектора и платы с резисторами смещения и конденсаторами связи использовался гибкий носитель, изготовленный из диэлектрика со слоем алюминия толщиной 20 мкм, поверх которого нанесена полиимидная пленка той же толщины [4]. Соединение стриповых элементов детектора на кристалле с резисторами и конденсаторами, смонтированными на печатной плате, осуществлялось ультразвуковой сваркой внутренних окончаний выводов гибкого носителя с контактными площадками на кремниевом кристалле детектора и бесфлюсовой пайкой их внешних окончаний с медными шинами на плате. На внешних окончаниях выводов предварительно формировали припойные выступы (шарики) (рис. 1). При этом сопротивление паяных соединений гибкого носителя с контактными площадками платы составляло сотые доли Ом, а сопротивление сварных микросоединений Al–Al контактных площадок кристалла с выводами носителя — еще на 2—3 порядка меньше.

Фотография 128-элементного стрип-детектора и печатной платы показана на рис. 2. На фрагменте платы с областью металлизированных отверстий и контактных площадок детектора (рис. 2, а) видны отрезки алюминиевых шин на гибком носителе, соединяющие элементы детектора и платы. Шаг стрипов детектора отличается от шага шин на плате. В этом случае гибкий носитель является также адаптером между стрипами детектора, расположенными с шагом 300 мкм, и шинами платы, имеющими шаг 600 мкм с каждой стороны.

На рис. 2, б показан фрагмент стрип-детектора с контактными площадками на концах стрип-элементов и защитными кольцами на краю кремниевого кристалла детектора и шин на плате, соединенных Al-шинами гибкого носителя.

Очень удобной оказалась технология гибкого носителя для кольцевого стрип-детектора (рис. 3), когда выводы стрипов необходимо было вести к шинам платы на значительное расстояние, как это видно на рис. 3, а, причем выводы проведены не в зазоре между кристаллами, а над поверхностью кремниевых кристаллов (рис. 3, б, в).

Разработанный кремниевый кольцевой стрип-детектор был использован для регистрации радиоактив-

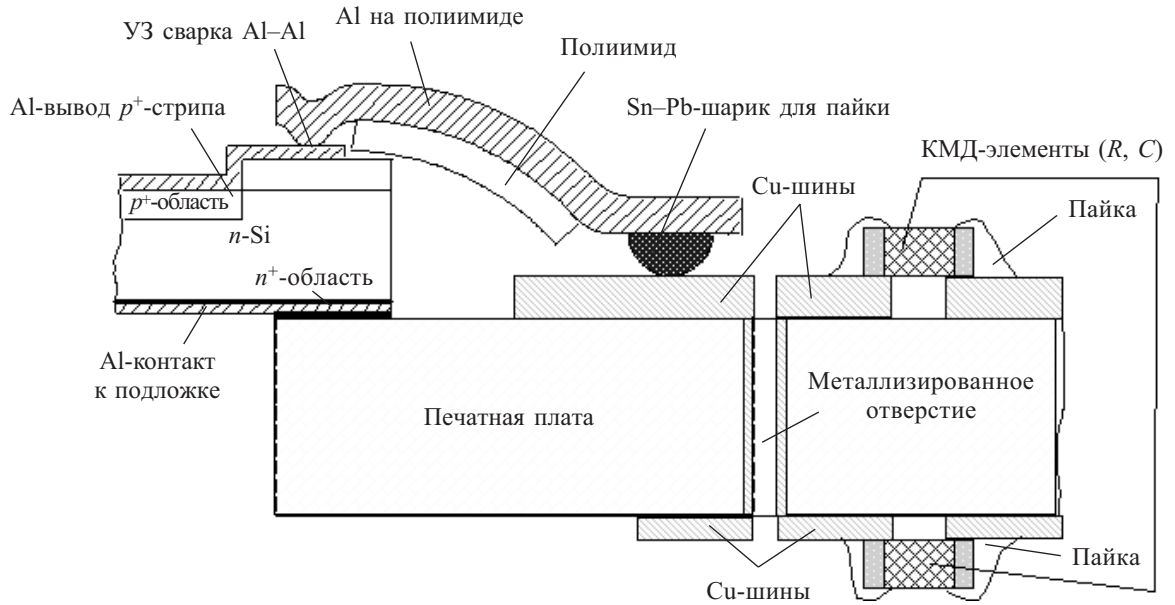


Рис. 1. Схематическое изображение соединения стрип-детектора и платы с резисторами и емкостями

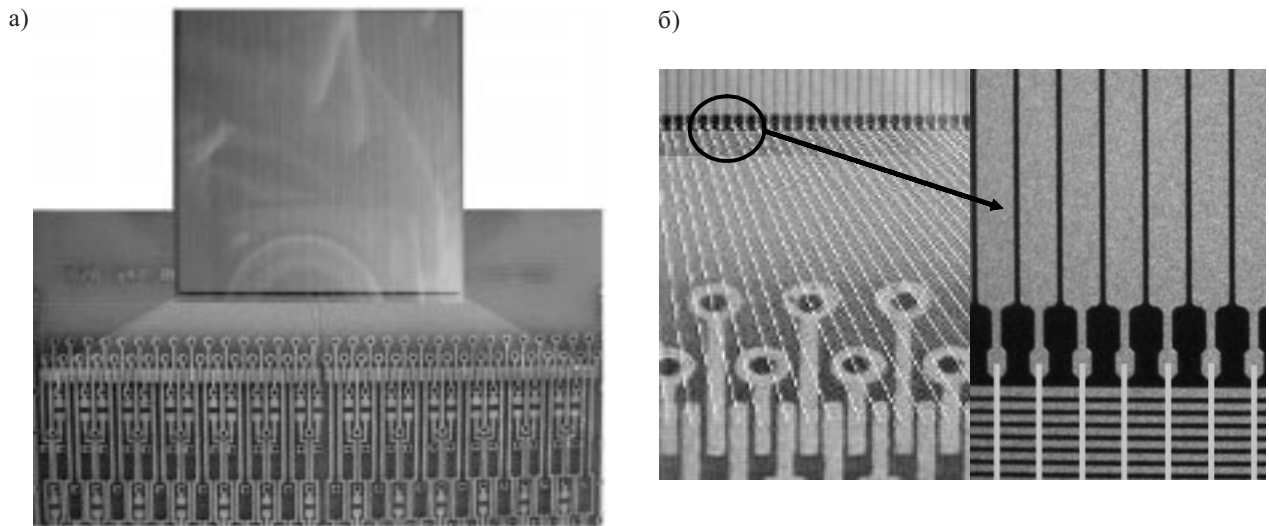


Рис. 2. 128-элементный стрип-детектор на печатной плате:  
а — фрагмент платы; б — фрагмент стрип-детектора

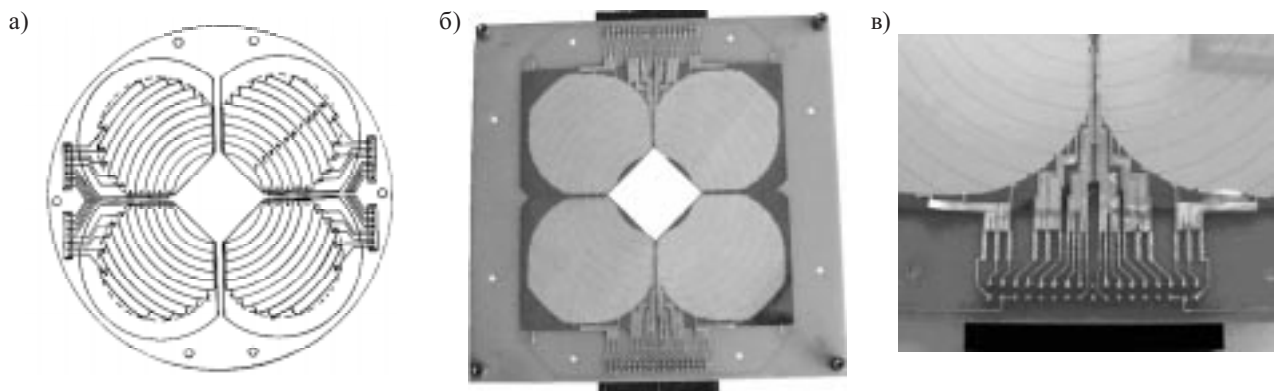


Рис. 3. Кольцевой детектор с 4 секциями по 10 кольцевых стрипов в квадрате:  
а — схематическое изображение; б — общий вид; в — фрагмент соединения гибким носителем



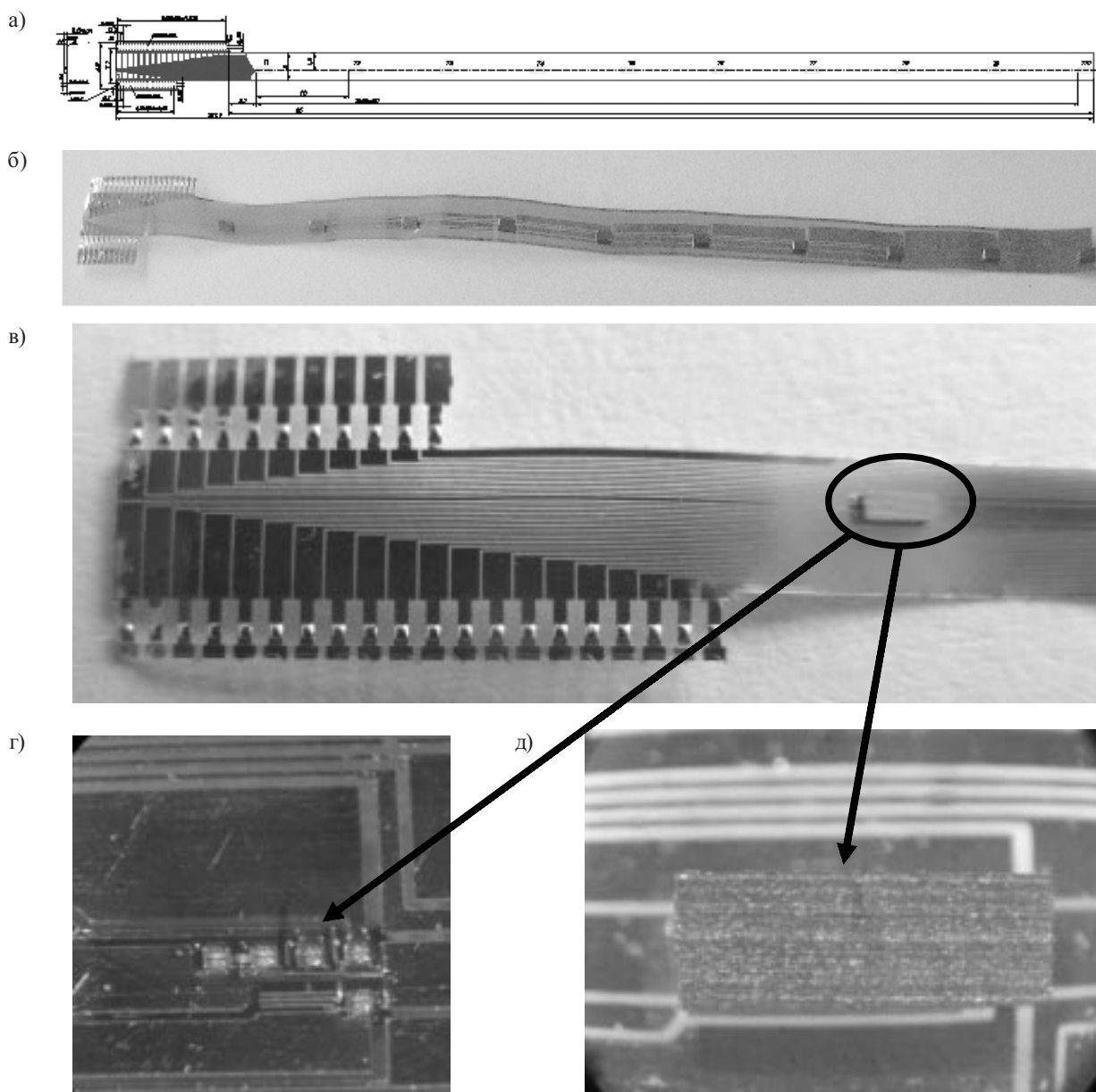


Рис. 4. Микрокабель с десятью чипами МОП-транзисторов с толстым окислом:  
*a* — схематическое изображение; *b* — общий вид; *в* — увеличенный фрагмент с выходом гибкого носителя на печатную плату в зоне разъема; *г* — с лицевой стороны чипа; *д* — с обратной стороны чипа

ных ионов в экспериментах на ионных пучках в университете Лоувейна, Бельгия. Использование в этом случае других методов сборки представляется невозможным из-за значительного удаления соединяемых зон и сложной конфигурации выводов. Кольцевым детектором были проведены измерения угловых распределений пучка рассеянных радиоактивных ионов  ${}^6\text{He}$  с энергией 14 МэВ на мишени  ${}^{208}\text{Pb}$  [11, 12].

Гибкие носители успешно применяются в конструкциях для регистрации полей пространственного распределения поглощенной дозы рентгеновских,  $\gamma$ - и других излучений [13].

Детекторы могут применяться также в медицине для определения дозы при лучевой терапии, в космосе, в физике высоких энергий и других приложениях для измерения дозы облучения электронных компо-

нентов и материалов конструкций, для мониторинга радиационных пучков и полей.

На рис. 4 показана линейка из 10 дозиметров на базе МОП-транзисторов с толстым окислом, собранная на одном гибком носителе «алюминий—полиимид», размещенном на печатной плате. Линейки предназначены для контроля локальных доз облучения при лечении онкобольных. Для таких конструкций сопротивление 1 см длины алюминиевой шины шириной 60—80 мкм составляло 0,1—0,15 Ом, а сопротивление изоляции между выводами — не менее  $10^{11}$  Ом. Емкость двух соседних шин длиной 1 см при толщине слоя алюминия 30 мкм и полиимиде 20 мкм и расстоянии между шинами 100—120 мкм составляла не более  $5 \cdot 10^{-2}$  пФ.

Приведенные данные о сопротивлении и емкости длинных металлических шин на полиимиде могут быть использованы для оценки взаимного влияния сигналов в шинах. Это связано с тем, что в последнее время возникла потребность в длинных микрокабелях (10—50 см) для кремниевых стрип-детекторов, где необходимо отдалить электронную аппаратуру на значительное расстояние от области взаимодействия с высокими радиационными полями, а также в случае детекторов, состоящих из фрагментов и блоков, когда необходимо вывести сигналы от стрипов фрагмента или блока в средней части составного детектора на край или за пределы детектора вместе с теплоотводящими (массивными) элементами.

#### Выводы

Применение предложенных гибких носителей (алюминиевых микрокабелей, адаптеров, шлейфов с Al-выводами) повышает надежность детекторов ионизирующих излучений и механическую прочность межсоединений, устраняет влияние вторичного рентгеновского излучения на регистрирующую аппаратуру. Немаловажным при этом является и уменьшение массогабаритных характеристик проектируемых изделий. Разработанная технология изготовления микрокабелей позволяет увеличить плотность монтажа, производить эффективное соединение элементов конструкции с различающимися шагами между контактными площадками. Одним из важных применений разработанных гибких носителей является возможность создания функционального блока непосредственно на шлейфе, что позволяет расширить область применения детекторов излучения.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Акимов Ю. К., Игнатъев О. В., Калинин А. И., Кушнирук В. Ф. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике.— М.: Энергоатомиздат, 1989.

2. Lutz G. Semiconductor radiation detectors.— Paris; Singapore; Tokyo: Springer, 1999. (<http://www.springer.de>)

3. Перевертайло В. Л. Создание элементной базы для ядерно-физического и радиационного приборостроения на основе кремниевой интегральной технологии // Труды Пятой МНПК «СИЭТ-2004», Одесса, 2004.— С. 200.

4. Шеревеня А. Г., Цуканов Л. Н., Тучинский И. А., Жора В. Д. Конструкция и технология сборки БИС в бескорпусном исполнении на гибком носителе // В сб.: Научно-техн. достижения.— М.: ВИМИ.— 1984.— № 4.— С. 3—5.

5. А. с. 1781733 СССР. Способ сборки интегральных схем / А. Г. Шеревеня, И. А. Тучинский, В. Д. Жора.— 1992.— Бюл. № 46.

6. Ambrosi G., Babucci E., Battiston R. et al. The development of the capton signal router for the silicon microstrip detector // Nuclear Instruments and Methods.— 1995.— A 361.— P. 97—100.

7. Ely R. P., Weber M., Zimmermann S., Rong-Shyang Lu, Lujan R. J. Shielding and electrical performance of silicon detector super-modules // IEEE Trans. on Nuclear Science.— 2005.— Vol. 52, N 5.— P. 1892—1898.

8. Oinonen M., Aaltonen J., Kassamakov I. et al. ALICE silicon strip detector module assembly with single-point TAB interconnections // Proceedings of the Conference LECC-Ihc-work shop-2005. <http://web.cern.ch>.

9. А. с. 566866 СССР. Раствор для травления алюминия / В. Н. Кидалюк, В. Д. Жора, Б. А. Камбурьян, В. К. Масенко.— 1977.— Бюл. № 28.

10. Жора В. Д., Шеревеня А. Г., Донцова В. В. и др. Нанесение фоторезистивного слоя в процессе рулонного изготовления гибких носителей для сборки ИС // Электронная техника. Сер. 7, ТОПО.— 1988.— Вып. 3.— С. 5—8.

11. Nemez O. F., Pavlenko Yu. N., Pugatch V. M. et al. Silicon annular strip detector // Proceed. of International symposium of atomic nuclear physic.— Moscow.— 1998.— P. 346.

12. Перевертайло В. Л. Разработка и характеристики кремниевых координатно-чувствительных детекторов для физики высоких энергий и ядерной физики // Ядерная физика и энергетика.— 2008.— № 1 (23).— С. 88—95.

13. Перевертайло В. Л. Пространственно-распределенные датчики интегральной поглощенной дозы ионизирующих излучений на основе МОП-транзисторов // Труды Восьмой МНПК «СИЭТ-2007», Одесса.— 2007.— С. 349.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



**Магда Ю. С. Микроконтроллеры PIC24: Архитектура и программирование.— М.: Додека, 2009.— 240 с.**

В книге рассматривается широкий круг вопросов, связанных с практическим применением популярных 16-битных микроконтроллеров PIC24 в системах обработки данных и управления оборудованием. Приводятся многочисленные примеры программирования несложных аппаратно-программных систем обработки аналоговой и цифровой информации с применением периферийных модулей микроконтроллеров PIC24F.

Все приведенные в книге аппаратно-программные проекты разработаны и проверены на отладочном модуле Explorer16Development Board фирмы Microchip и могут служить основой для создания собственных проектов.

В контексте разработанных примеров приводятся необходимые сведения из теории, что способствует лучшему пониманию материала книги.