

Сравнительный анализ логической емкости и производительности при разной реализации умножителя показывает, что при разрядности больше 12 бит нецелесообразно использовать матричный умножитель, а следует отдать предпочтение табличному умножителю (рис. 8 и 9). В случае перемножения двух переменных следует использовать умножитель по алгоритму Бута.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Теоретически достижимая производительность цифрового нерекурсивного фильтра при реализации на ПЛИС равна 350 MIPS. Такое значение производительности обусловлено отсутствием каскадируемых генераторов логических функций и может быть достигнуто лишь при наличии твердо закрепленных связей между логическими блоками ПЛИС. Дальнейший рост производительности ограничен технологическими особенностями микросхем.

2. Производительность системы на ПЛИС резко уменьшается при использовании каскадно-включенных генераторов логических функций (LUT) за счет задержек на коммутирующих элементах, в качестве которых используются полевые транзисторы.

3. Анализ вариантов реализации сумматора показал, что наиболее приемлемым является использование библиотечных функций "+", т. к. при этом синтезатором включаются имеющиеся в кристалле цепи распространения последовательного переноса. Например, производительность сумматора, описанного с использованием библиотечных функций, в 3 раза больше, чем для сумматора, описанного логическими уравнениями (соответственно 212 и 72 MIPS).

4. Производительность многооперандного сумматора экспоненциально уменьшается с ростом количества операндов и порядка фильтра. Например, при восьми операндах производительность уменьшается до 100 MIPS.

5. Анализ вариантов реализации умножителей показывает, что использование матричного метода до-

пустимо лишь при небольшой разрядности операндов (4—8 разрядов), при большей разрядности производительность умножителя экспоненциально уменьшается, а логическая емкость, наоборот, возрастает.

6. Использование алгоритма Бута при реализации двоичных умножителей позволяет уменьшить логическую емкость умножителя до 20% при практически тех же значениях производительности.

7. Применение модифицированного табличного метода умножения позволяет синтезировать умножители со значением производительности до 100 MIPS (90 MIPS при двенадцатиразрядных операндах). Логическая емкость умножителя при этом значительно уменьшается (48—60 макроячеек и 119 макроячеек при матричном методе).

\*\*\*

Таким образом, использование ПЛИС для реализации цифровых фильтров позволяет синтезировать быстродействующие фильтры, производительность которых определяется как технологическими особенностями производства микросхем, так и методом описания выбранной структуры фильтра. Возможность реализации алгоритмов параллельной обработки входных данных и высокая степень формализации проектирования позволяют говорить о ПЛИС как о наиболее пригодной базе для реализации высокопроизводительных фильтров.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Солонина А. И., Улахович Д. А., Яковлев Л. А. Алгоритмы и процессы цифровой обработки сигналов.— СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
2. Meyer-baese U. Digital signal processing with field programmable gate arrays.— Heidelberg: Springer Press, 2001.
3. Пухальский Г. И. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах.— М.: Радио и связь, 1990.
4. Шапо Ф. С., Шапо В. Ф. Введение в VHDL — язык проектирования цифровых систем.— Одесса: Астропринт, 2001.
5. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы ALTERA: проектирование устройств обработки сигналов.— М.: Додэка, 2000.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

### Данилов А. А. ПРЕЦИЗИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ.— М.: Горячая линия-Телеком, 2004.— 352 с., ил.

Рассмотрены основы звукоусиления и параметры, характеризующие усилители мощности звуковой частоты (УМЗЧ). Сформулирована задача построения звуковых усилителей, свободных от всех видов искажений. Особое внимание уделено грамотному применению отрицательной обратной связи. Для выяснения природы возникновения разного рода нелинейностей проанализированы структурные схемы и отдельные узлы УМЗЧ. Описана схема УМЗЧ с параллельным высокочастотным каналом, позволяющим решить проблему прецизионного усиления. Рассмотрены схемы защиты источников питания и монтажа мощных усилителей. Проанализированы многочисленные примеры схем бытовых и профессиональных УЗМЧ на дискретных элементах и интегральных микросхемах. Даны рекомендации по разводке и изготовлению печатных плат, измерению параметров и настройке усилителей.



Для инженерно-технических работников, занимающихся схемотехническим проектированием устройств радиоэлектроники и автоматики, студентов и радиолюбителей.



Параметр	Материал для столбиков	
	Pb/Sn	In
Диаметр, мкм	35	30
Высота, мкм	30	20
Сопротивление, Ом	1—3	0,5—2,0
Механическая прочность	Удовлетворительная	Удовлетворительная

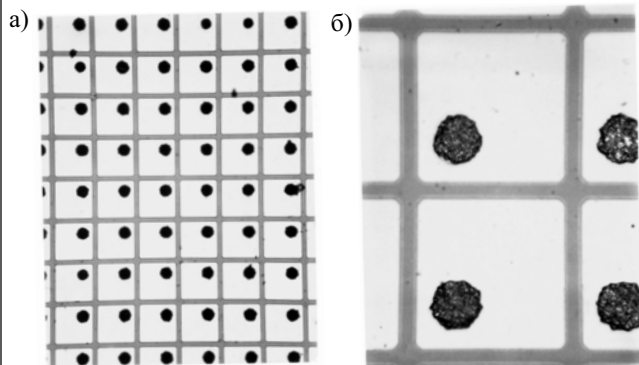


Рис. 4. Фрагменты GaAs сенсорной матрицы 64×64 со столбиковыми выводами из индия:  
а — увеличение ×33; б — увеличение ×133

Фрагменты GaAs-матрицы с окончательно сформированными столбиковыми выводами из In приведены на рис. 4.

#### Выводы

Разработана технология изготовления столбиковых выводов из Pb/Sn и In. В отличие от известных литературных данных, для создания подстолбико-

вой металлизации впервые использована композиция TiW/Ag, которая наносится методом магнетронного распыления. Таким образом, столбик выращивается на слое серебра, что позволяет исключить из технологии такие металлы как Cu и Au.

На основе разработанного метода были сформированы столбиковые выводы на GaAs пиксельной матрице 64×64, предназначенной для детекторов рентгеновского излучения. Характеристики столбиковых выводов свидетельствуют о том, что эта технология может быть использована для флип-чип-процессов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Schwarz C., Campbell M., Goeppert R. et al. X-ray imaging using a hybrid photon counting GaAs pixel detector // Nuclear Physics B (Proc. Suppl.).— 1999.— Vol. 78.— P. 491—496.
- Schwarz C., Campbell M., Goeppert R. et al. Measurements with Si and GaAs pixel detectors bonded to photon counting readout chips // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.— 2001.— Vol. A 466.— P. 87—94.
- Lozano M., Cabruja E., Collado A. et al. Bump bonding of pixel systems // Ibid.— 2001.— Vol. A 473.— P. 95—101.
- Fanti V., Marzeddu R., Randaccio P. Medipix2 parallel readout system // Ibid.— 2003.— Vol. A 509.— P. 171—175.
- Cihangir S., Kwan S. Characterization of indium and solder bump bonding for pixel detectors // Ibid.— 2002.— Vol. A 476.— P. 670—675.
- Breibach J., Lubelsmeyer K., Masing Th., Rente C. Development of a bump bonding interconnect technology for GaAs pixel detectors // Ibid.— 2001.— Vol. A 470.— P. 576—582.
- А. с. 1160761 СССР. Устройство ионно-плазменного распыления в вакууме / З. В. Беришвили, Г. А. Схиладзе, Ш. И. Шиошвили.— 1983.
- А. с. 1244960 СССР. Устройство ионно-плазменного распыления материалов в вакууме / З. В. Беришвили, И. Г. Гадахададзе, Ш. И. Шиошвили, Г. А. Схиладзе.— 1984.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

#### Варадан В., Виной К., Джозе А. ВЧ МЭМС и их применения.— М.: Техносфера, 2004.— 448 с.

Книга В. К. Варадана, К. Д. Виноя и К. А. Джозе «ВЧ МЭМС и их применения» посвящена обзору состояния дел в области разработки и изготовления электромеханических систем и их компонентов. В ней подробно рассмотрены вопросы проектирования и технологические аспекты производства разнообразных микроустройств: переключателей, регулируемых индукторов и конденсаторов, фильтров, фазовращателей, линий передач и антенн, приведены преимущества и недостатки каждой отдельной конструкции и указаны способы их оптимизации. Целая глава книги посвящена такой важной теме как монтаж микросистем, где обсуждаются методы построения корпусов микросистем и способы их сборки. Детальное описание методов изготовления микроустройств, как традиционных, применяемых в микроэлектронной промышленности, так и современных, разработанных специально для микросистем, является достоинством данной книги.

Актуальность книги обусловлена быстрым прогрессом в области беспроводных систем связи, повлекшим за собой расширение областей применения ВЧ и СВЧ микротехники. Для России, где наблюдается существенное отставание в технологии изготовления микроэлектронных устройств, а развитие электромеханических микросистем и вовсе только начинается, актуальность книги во много раз возрастает.

Достоинством книги является также то, что в ней использованы материалы, написанные ведущими разработчиками микросистем всего мира.

Данная книга предназначена, в первую очередь, для инженеров-разработчиков ВЧ и СВЧ электромеханических микросистем и их компонентов. Она будет полезна специалистам, занимающимся разработкой мобильных систем связи.



Таблица 2

Систематические погрешности					Случайные погрешности		
$\delta p_c$ , %	$\Delta l_c$ , мкм	$\Delta b_c$ , мкм	$R_{эп}$ , Ом	$R_{эг}$ , Ом	$\delta p$ , %	$\Delta l$ , мкм	$\Delta b$ , мкм
6,5	6,2	2,5	1,97	0,31	4,0	10,8	2,5

ночной структурой РС-3710-V-A1, изготовленных третьим способом фотолитографии, приведены в табл. 2. При этом вероятность оценки погрешностей составляла  $P=0,9$ , а  $t=2,01$ .

Анализ результатов погрешностей, приведенных в табл. 2, показал следующее. Высокое значение градиентной погрешности удельного поверхностного сопротивления вызвано конструкцией подложкодержателя, который не обеспечивает равномерность нагрева подложки, т. к. имеет двусторонние вырезы для установки подложки в направлении координаты  $Y$ . Такое значение градиентной погрешности не позволяет использовать всю площадь подложки, что увеличивает себестоимость изготовления МСБ.

Полученные значения систематических и случайных погрешностей длины и ширины ТПР, а также случайной погрешности удельного поверхностного сопротивления, позволяют проектировать ТПР с номинальными размерами 50 мкм.

Согласно [6], теоретические значения сопротивления электродов для исследуемых ТПР составляют:  $R_{эп}=1,4$  Ом;  $R_{эг}=0,3$  Ом. Экспериментальное значение сопротивления электродов гребенчатого резистора мало отличается от теоретического значения, в то время как сопротивление электродов прямоугольного ТПР отличается значительно. Это вызвано тем, что модель расчета сопротивления электродов [6] не учитывает контактное сопротивление между проводящим и резистивным слоем.

В эксперименте было измерено сопротивление  $R_{п}$  проводящего слоя электрода (рис. 1, КП 5—6), среднее значение которого составило  $R_{п}=0,64$  Ом. Отсюда можно рассчитать среднее значение контактного сопротивления:  $R_{к}=R_{эп}-2R_{п}=0,69$  Ом. Конструкция гребенчатого резистора ослабляет влияние контактного сопротивления в  $n$  раз.

**Выводы**

Разработана тестовая схема и алгоритмы расчета систематических и случайных производственных по-

грешностей конструктивных параметров тонкопленочных резисторов: удельного поверхностного сопротивления, длины, ширины, а также погрешности, вносимой сопротивлением электродов. На основе тонкопленочной структуры РС-3710-V-A1 изготовлено шесть тест-плат, на которых измерены сопротивления резисторов, и по разработанным алгоритмам проведен расчет погрешностей параметров ТПР (табл. 2).

Как следует из табл. 2, значения систематических погрешностей длины и ширины ТПР достаточно велики, поэтому они должны быть скомпенсированы при проектировании топологии платы микросборки.

Сопротивление электродов гребенчатого резистора меньше, чем у прямоугольного, несмотря на то, что коэффициент формы гребенчатого резистора в 5 раз меньше. Кроме того, конструкция гребенчатого резистора практически исключает влияние контактного сопротивления — даже при напылении резистивного и проводящего слоев в разных технологических циклах.

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Спиринов В. Г. Математические модели сопротивления тонкопленочного резистора с размерами 50 мкм // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2004.— № 2.— С. 14—16.
2. Коробов А. И., Иванов А. В., Пассов М. И. Применение тестовых схем для оперативного контроля технологического процесса изготовления резистивных структур ГИС // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника.— 1985.— Вып. 4.— С. 86—91.
3. Спиринов В. Г. Методы определения коэффициента формы тонкопленочных резисторов при проектировании и изготовлении гибридных интегральных схем // Технология авиационного приборостроения.— 1990.— Вып. 2.— С. 66—68.
4. Власов В. Е., Захаров В. П., Коробов А. И. Системы технологического обеспечения качества компонентов микроэлектронной аппаратуры.— М.: Радио и связь, 1987.
5. Спиринов В. Г. Способы изготовления тонкопленочных резисторов // Вестник МВВО. Сер. Высокие технологии в радиоэлектронике, информатике и связи. (Н.-Новгород).— 2003.— Вып. 1.— С. 7—10.
6. Спиринов В. Г. Оценка влияния сопротивления электродов на погрешность тонкопленочного резистора // Там же.— С. 11—14.
7. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений.— М.: Наука, 1970.

**НОВЫЕ КНИГИ**

НОВЫЕ КНИГИ

**Фриман Р. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ.— М.: Техносфера, 2003.— 500 с.**

Волоконно-оптические системы связи уже давно стали реальностью и создаются на основе самых современных технологий глобальных сетей SONET/SDH и WDM не только за рубежом, но и в нашей стране. Однако книг по этой тематике на русском языке явно не хватает. Больше всего это относится не столько к описанию указанных технологий, сколько к комплексному описанию таких систем связи в целом, вопросам инженерного проектирования таких систем.

Книга известного американского автора адресована широкому кругу читателей — от студентов до инженеров — специалистов в области связи. Она покрывает широкий круг вопросов от источников и приемников оптического сигнала, оптоволоконной среды распространения с присущими ей нелинейными эффектами, технологий SONET/SDH и WDM и используемого ими оборудования (оптических усилителей и мультиплексоров) до инженерных аспектов оптических систем передачи в целом, включая планирование, прокладку и тестирование сети, мониторинг показателей ее работоспособности и вопросы функционирования сети и ее управления. Русское издание книги дополнено двумя важными разделами, посвященными синхронизации цифровых сетей SDH и оценке показателей ошибок в таких сетях.

