

# SiGe-УСТРОЙСТВА

## НУЖНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, В НУЖНОЕ ВРЕМЯ

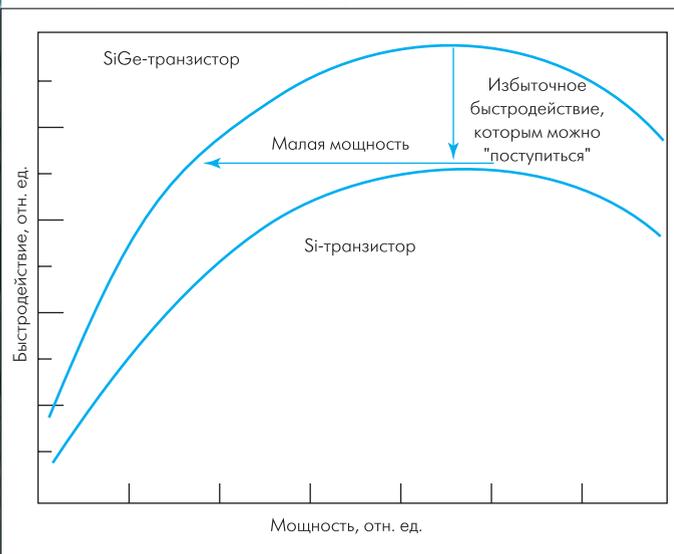
**Возможность создания SiGe-транзисторов была теоретически обоснована 40 лет назад. На разработку кремний-германиевой технологии фирме IBM потребовалось не одно десятилетие и многие сотни миллионов долларов.\* Но сегодня SiGe-технология уже стремительно продвигается на рынок, и биполярные SiGe-гетеротранзисторы (HBT), несмотря на скептицизм экспертов, успешно конкурируют с кремниевыми биполярными приборами и наступают на позиции GaAs-устройств. Совершенствование SiGe-транзисторов привело к появлению кремний-германиевых БиКМ ОП-схем. И сейчас самое перспективное направление работ в области SiGe-технологии – объединение HBT со специализированными КМОП ИС, открывающее широкие возможности создания системы-на-кристалле, в которой объединены ВЧ-, аналоговые и цифровые устройства.**

Сегодня, открывая технический журнал или участвуя в работе конференции, посвященной проблемам электроники, нельзя не встретить упоминания о SiGe-приборах. Сообщения о применении этой технологии появляются почти ежедневно. И даже в нетехнических изданиях то и дело упоминается о выпуске новых средств связи или электронной торговли на базе SiGe-устройств.

Основные достоинства SiGe HBT в сравнении с кремниевыми биполярными транзисторами – более высокая максимальная частота генерации (до 65 ГГц), низкий коэффициент шума (фирма IBM сообщила о создании HBT с шириной эмиттерной полосы 0,18 мкм и коэффициентом шума 0,4 дБ на частоте 2 ГГц), высокие коэффициент усиления по мощности и КПД в режиме усиления мощности (до 70%). Для большинства беспроводных систем связи, работающих в диапазоне 900 МГц–2,4 ГГц, привлекательность SiGe-устройств заключается в возможности улучшения других характеристик системы, в первую очередь потребляемой мощности, за счет работы на более низких частотах (рис. 1). Еще одно преимущество

В. Майская

SiGe-технологии перед обычной кремниевой – возможность интеграции на чипе пассивных элементов: высокодобротных катушек индуктивности и конденсаторов большой емкости со структурой металл-изолятор-металл (МИМ). Вот почему эта новая технология, первоначально предназначавшаяся для построения центрального процессора компьютера, находит широкое применение в беспро-



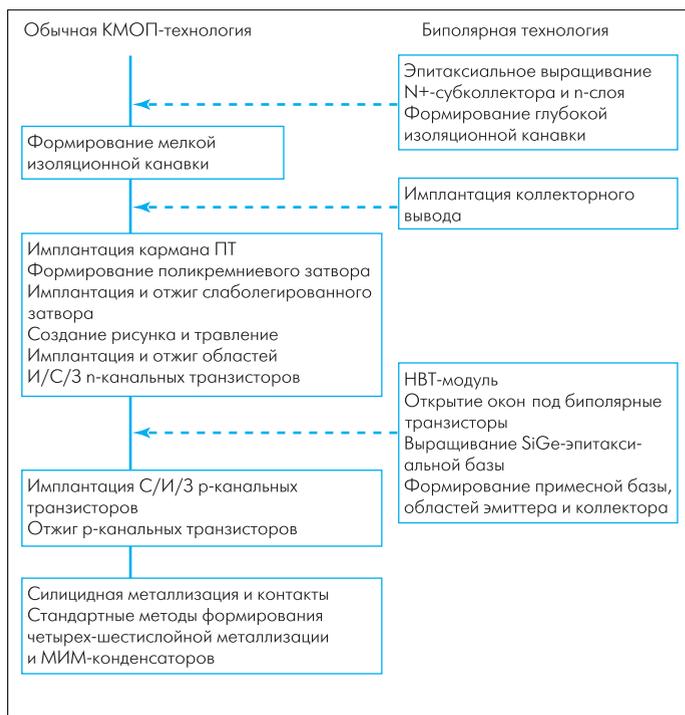
1. SiGe-

водных системах связи, работающих в стандартах PCS (цифровой, США), PDC (Япония), GSM (европейский) и CDMA, в приемопередающих модулях быстродействующих (10 Гбит/с) оптических сетях SONET и сетей Ethernet (1–2,5 Гбит/с). Технология кремний-германий обещает стать одной из основных в нарождающихся стандартах для домашних беспроводных средств связи Bluetooth\*\* и IEEE 802.11. Дискретные SiGe HBT перспективны и для применения в усилителях мощности.

Но, пожалуй, основное достоинство этой технологии – возможность объединения быстродействующих SiGe-приборов с перспективными КМОП-схемами. Здесь специалистам IBM удалось решить проблему интеграции SiGe HBT с новыми поколениями КМОП-схем без ухудшения параметров HBT, вызываемого длительными циклами термической обработки. Согласно БиКМОП-

\*ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, 1998, № 5/6, с.25–28.

\*\*ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес", 2000, N 5, с.14–20.



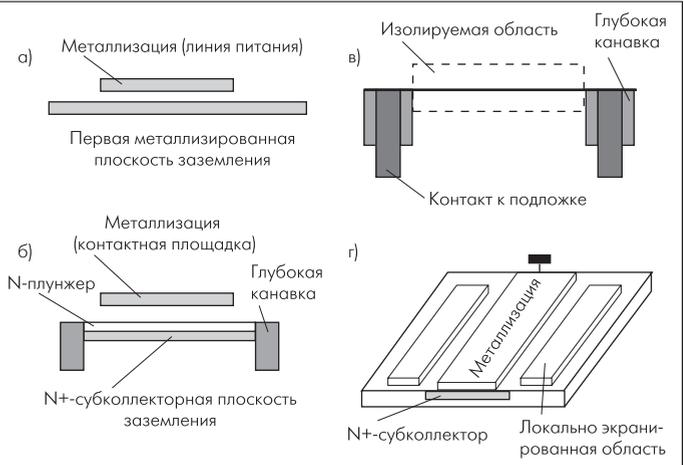
.2. 6 - 0,25- 0,18-

технологии второго поколения 6HP, получившей название *база-послед-затвора* и прошедшей квалификационные испытания в июне 1999 года, формирование базы и эмиттера HBT проводится после изготовления затворов полевых транзисторов (рис.2). 6HP-процесс предусматривает изготовление HBT двух типов: обычного ВЧ-транзистора и прибора с модифицированным коллектором для работы при высоких значениях напряжения. Ширина эмиттера в обоих типах HBT – 0,3, 0,42 и 0,78 мкм (минимальный размер эмиттера 0,3x1,0 мкм). Полевые транзисторы также могут быть двух типов: стандартный МОП с толщиной затворного окисла 50 нм, подобный транзисторам, производимым по заказу фирмы на специализированных заводах (foundries), и МОП с затворным окислом толщиной 70 нм на напряжение 3,3 В. Для ускорения продвижения новых 6HP-устройств IBM предлагает комплект проектирования на основе программных средств, разработанных фирмой Cadence Design Systems.

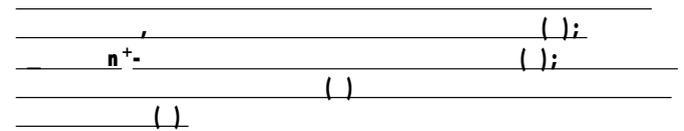
Одна из серьезных проблем, возникающих при объединении большого числа устройств на чипе, – обеспечение развязки. Это достигается разнообразными способами (рис.3), применение которых позволило создать широкополосный ограничивающий трехкас-

кадный усилитель с коэффициентом усиления 60 дБ (рис.4) и электрической развязкой более 70 дБ, что исключило ухудшение чувствительности и нестабильность параметров из-за паразитной обратной связи.

Таким образом, появилась возможность объединения SiGe-технологии с процессами формирования любых КМОП-схем следующих поколений, работающих при напряжении 1,8–1,3 В, без заметного воздействия на их характеристики и проектные нормы. В результате при создании SiGe БикМОП ИС можно пользоваться существующими библиотеками элементов и методологиями конструирования специализированных ИС – ASIC. Гибкость конструкции объясняет разнообразие SiGe БикМОП-чипов фирмы IBM. Это и ВЧ-устройства – маломощные усилители, генераторы, управляемые напряжением (ГУН) (рис.5), смесители и трансиверы, – АЦП, ЦАП, синтезаторы частоты (рис.6), фильтры ПЧ. Один из самых сложных на сегодня SiGe БикМОП-чипов – синфазный/со сдвигом фазы на 90° (I/Q) модулятор/демодулятор и синтезатор (рис.7) – входит в комплект схем для беспроводной локальной сети на частоту 2,4 ГГц. Применение этой микросхемы позволило уменьшить в системе число ИС, в том числе и GaAs, с восьми до четырех, снизить ее потребляемую мощность на 50% и в четыре раза увеличить зону охвата.



.3. Si Ge

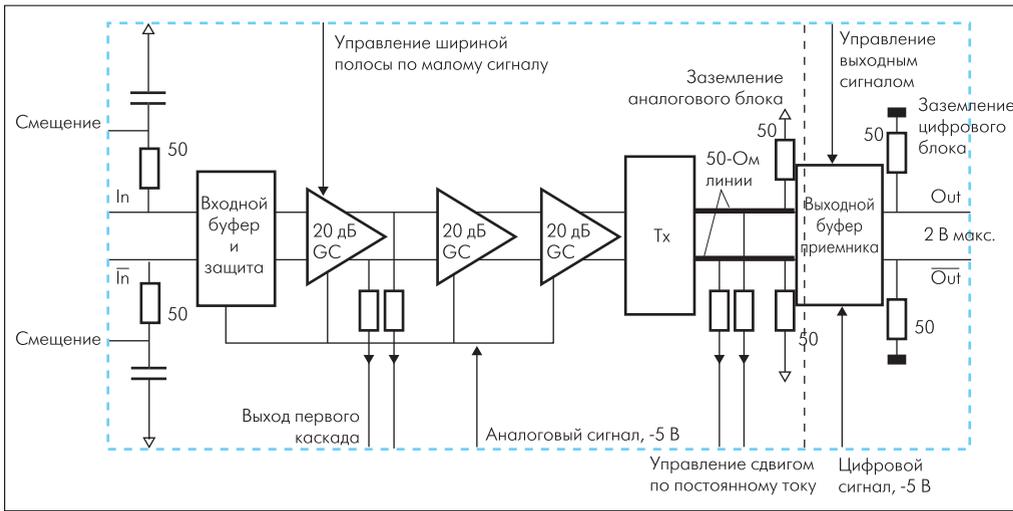


Пресективная область применения новой технологии – СВЧ-устройства. Примеры – ИС шестиразрядного фазовращателя X-диапазона (рис.8) и пятипортового передаточного ключа (рис.9), изготовленные по 0,5-мкм SiGe-технологии на подложках со стандартными 0,25-мкм КМОП-элементами. Вносимые потери фазовращателя (64 фазовых состояния) в диапазоне 7–11 ГГц составляют 10–12 дБ. Обратные потери передаточного ключа на входе и выходе не превышают 10 дБ.

Благодаря созданию самых разнообразных SiGe-микросхем IBM сумела завоевать и сохранить позиции ведущего поставщика SiGe БикМОП-приборов. Менее чем за два года фирма отгрузила более 8 млн. чипов второго поколения (0,5-мкм проектные нормы). Освоено производство третьего поколения SiGe БикМОП-схем с минимальными размерами элементов 0,4- и 0,25-мкм и в соответствии с программой развития SiGe-технологии ученые и инженеры фирмы заканчивают составление спецификаций на устройства четвер-

### Поддержка SiGe-программы Великобритании

Правительство Великобритании намерено ассигновать Университетскому консорциуму 4,3 млн. фт. ст. на продолжение работ в области SiGe БикМОП-технологии. Проектирование микросхем, выращивание материала и разработка технологических процессов будут проводиться в университетах Кэмбриджа, Глазго, Лондона, Ньюкасла, Шеффилда, Саутгемптона. Решение принято благодаря весьма обнадеживающим результатам, полученным в ходе предыдущей трехлетней программы. Разработчики надеются, что новые ассигнования позволят реализовать на базе новой технологии самые разнообразные устройства для беспроводных и широкополосных систем связи. Проект поддерживают фирмы Daimler-Chrysler, Infineon Technologies, Mitel Semiconductor и Avanti.



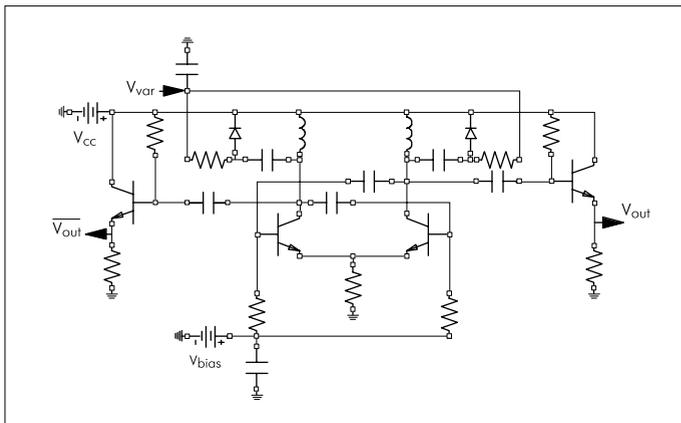
.4.

60

того поколения с медной металлизацией, минимальными размерами элементов 0,18 мкм и частотой отсечки 90 ГГц (см. таблицу).

SiGe	IBM			
	Проектные нормы			
Параметр	0,5 мкм	0,35 мкм	0,25 мкм	0,18 мкм
$f_T$ , п-р-п-транзистора, ГГц	45	45	45	90
Ширина эмиттера, мкм	0,42	0,42	0,3	0,18
Напряжение питания КМОП-блока, В	2,5 (р-канальный FET)	3,3	2,5/3,3	1,8/3,3
Рассеиваемая мощность КМОП- вентиля, мкВт/МГц	0,1	0,3	0,1	0,03
Время задержки КМОП- вентиля, пс	50	90	50	33
Металлизация	Al	Al	Al	Cu

Успехи IBM в совершенствовании SiGe-технологии привлекли внимание многих поставщиков полупроводниковых приборов и разработчиков электронной аппаратуры. Для упрочения своего положения на рынке оптических сетевых систем со скоростью передачи 10 и 40 Гбит/с IBM подписала соглашения с Multilink Technology (ведущий разработчик, изготовитель и поставщик ИС, модулей и под-



.5.

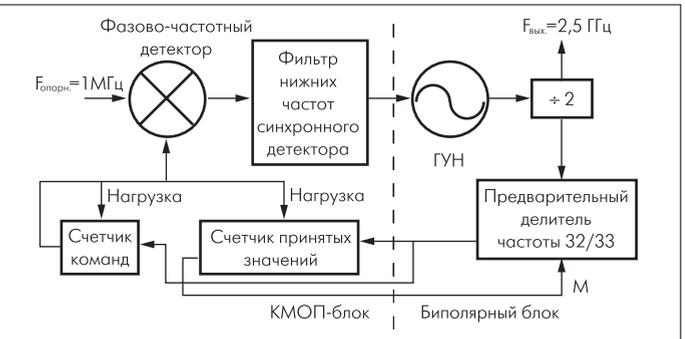
5

17	1,4-	8,
	- 0,3-	12.
	5-	14,9%
		5,6
	-	94 /
		100 . 17-
		- 3,6% (-
		17,1
	- 84	
	3	66

систем для телекоммуникационных систем и систем передачи данных) и Vitesse Semiconductor (один из лидеров в области разработки и производства высокочастотных полупроводниковых приборов, в основном GaAs, для оборудования сетевых средств связи следующих поколений). Совместно с Multilink будут разрабатываться быстродействующие компоненты для оборудования сетей SONET, SDH и Ethernet. Vitesse получает доступ к SiGe-технологии IBM, которую она рассматривает как перспективное дополнение к хорошо отработанной арсенидгаллиевой

технологии. Фирма намерена изготавливать на кремний-германий следующее поколение маломощных связанных ИС с широкой полосой пропускания и высоким быстродействием. Специалисты Vitesse считают, что высокое усиление SiGe-устройств в пересчете на каскад позволяет минимизировать число каскадов, что очень важно для ВЧ-схем.

Фирме Applied Micro Circuits Corp. (AMCC), пользующейся производственными мощностями IBM, удалось создать не имеющий пока аналогов SiGe-чип 34х34 дифференциального координатного



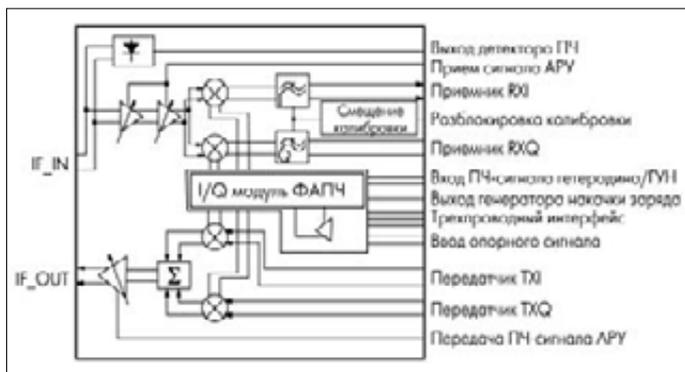
.6.

2,5-

		2375-2550	
- 1		200	2500
3,8 2,0		130	20
			- 1,7 1,8
			- 1,4 1,4

переключателя с быстродействием более 100 Гбит/с. Фирма также сообщила о разработке счетверенного управляемого током усилителя напряжения типа S7025, содержащего ограничивающий усилитель и схему обнаружения потери сигнала. В сочетании с приемопередатчиком типа S3457 комплект поддерживает работу ОС-192 двунаправленной 10-Гбит/с линии связи малой протяженности (до 300 м).

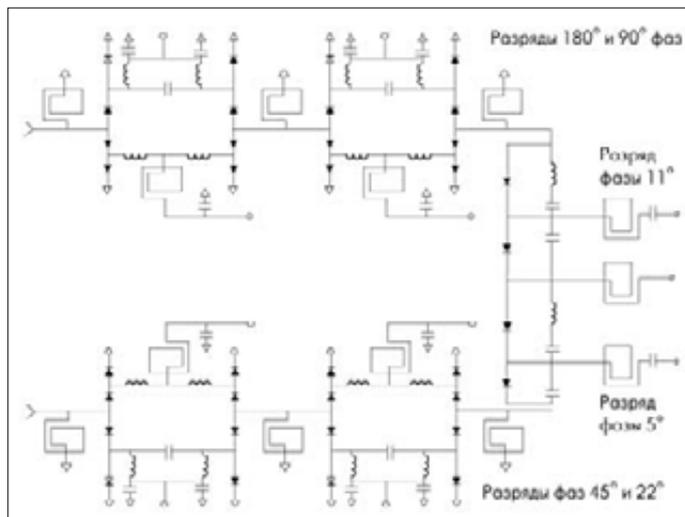
Не дремлют и другие крупные электронные фирмы. Большое внимание SiGe-технологии уделяет фирма Atmel, открывшая дополнительно к своим 24 центрам проектирования еще два в Швеции и Германии. В первом совместно со шведским институтом микроэлектроники Асгео будут разрабатываться SiGe БикМОП-устройства для следующих поколений сотовых телефонов. Второй центр открыт германским отделением Atmel Wireless & Microcontrollers, выпустившим в 1998 году первый в мире SiGe-чипсет для беспровод-



.7. - I/Q /

ных DECT-телефонов. Здесь же будут разрабатываться ВЧ-приборы для мобильных Bluetooth и WCDMA средств связи.

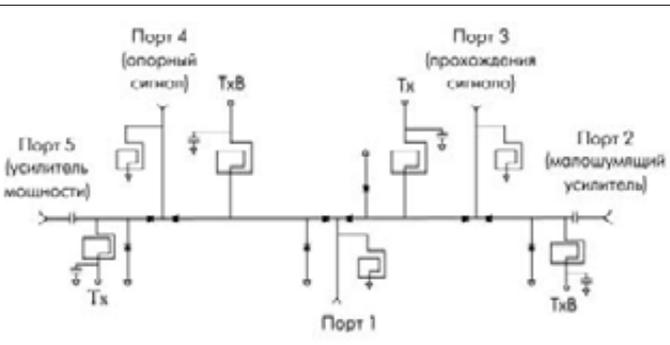
Подразделение компании Atmel – Temic Semiconductor – второй крупнейший производитель SiGe-схем в мире. Одна из самых интересных разработок Temic – ВЧ-блок приемника T7024 для TDMA-систем стандартов Bluetooth и DECT. При разработке входного ВЧ-блока T7024 ставилась задача сопряжения его с ранее выпущенной схемой ВЧ-приемопередатчика T2901, работающего в стандарте Bluetooth в диапазоне 2,4 ГГц. Ее реализация позволила упростить конструкцию схем, минимизировать число используемых внешних компонентов и, тем самым, снизить издержки производства. Совместно с однокристалльным ВЧ-приемопередатчиком T2901, контроллером AT76C55X и стандартной флэш-памятью новый чип входит в комплект ИС, пригодный для реализации 20-дБм системы стандарта Bluetooth. SiGe БикМОП-чип с 0,35-мкм проектными нормами содержит маломощный усилитель, усилитель мощности и схему управления переключателем приема/передачи. Выходная мощность усилителя мощности равна +23 дБм при коэффициенте усиления 25 дБ. Напряжение питания – 3 В. Коэффициент шума маломощного усилителя равен 2,3 дБ. При работе с T2901 чувствительность входного блока достигает -90 дБм, что выше требований стандарта Bluetooth на 20 дБм. КПД сложения мощностей входного блока составляет примерно 40% на 2,4 ГГц, потребляемый ток в рабочем режиме – 170 мА, в режиме ожидания – 10 мА. Благодаря наличию схемы управления передачей/приемом для работы T7024, в отличие от современных устройств, не нужен транзисторный переключатель или антенный ключ (т.е. GaAs ИС).



.8. - (5,2-10,9 )

В середине 2000 года Temic начала поставки малых партий входного блока T7024 в малогабаритном корпусе типа PSS020 по цене 2,1 долл. (партия 10 тыс. шт.).

Не прекращает Temic и разработку отдельных SiGe-маломощных усилителей и усилителей мощности. Во втором квартале 2000 года отделение выпустило два новых маломощных усилителя семейства TST0950 для обычных супергетеродинных приемников или приемников прямого преобразования мобильных GSM-телефонов (925–960 МГц) и микротелефонных трубок на диапазон 1,8–2,0 ГГц. Благодаря реализации между двумя усилительными секциями каскада с переключаемым усилением разработчикам



.9. -

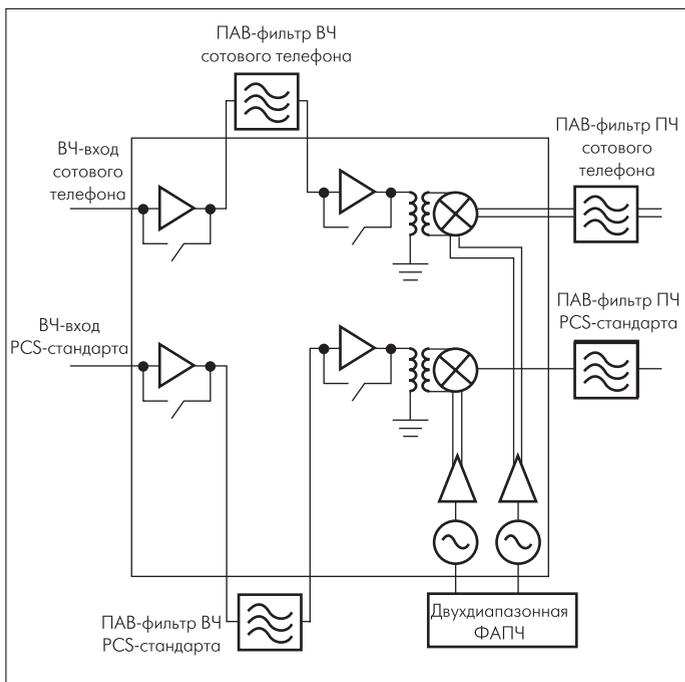
удалось получить низкий коэффициент шума (2,2 дБ) при высоком усилении (19±1,0 дБ) и малых интермодуляционных искажениях. Развязка между смесителем и антенной в -40 дБ гарантирует большой динамический диапазон усилителя и, тем самым, прием как очень слабых, так и очень сильных сигналов. Новые схемы TST0950 и TST0951 просты в применении и не требуют большого числа внешних компонентов. Цена усилителей – 1,5 долл. (партия 10 тыс.шт.).

Одна из самых экономически эффективных технологий построения SiGe-беспроводных систем предложена фирмой Motorola. Ее инженерам удалось объединить разработанный совместно с институтом высокопроизводительных микросхем (High Performance Microelectronics) во Франкфурте-на-Одере (Германия)\* процесс формирования транзисторов на основе кремний-германия с добавлением углерода (SiGe:C) и БикМОП-технологии. При этом в стандартный 0,35-мкм БикМОП-процесс введена лишь одна дополнительная технологическая операция. Более того, предусмотрена возможность плавного перехода к 0,18-мкм проектным нормам следующего поколения SiGe:C БикМОП ИС. Предельная частота HBT на основе SiGe:C равна 50 ГГц, максимальная – 70 ГГц при напряжении VCE = 2 В и вдвое меньше, чем у обычных SiGe-приборов, токе.

Квалификационные испытания SiGe:C-технологии планировалось завершить в конце 2000 года, а к промышленному производству схем приступить в начале 2001-го. Одно из первых изделий, выполненных по новой технологии, – двухдиапазонный CDMA входной блок сотового приемника, содержащий маломощный усилитель, смеситель, ГУН и трансформаторные элементы, выполненные на основе медной металлизации (рис. 10).

Число фирм, стремящихся выйти на рынок SiGe-устройств, непрерывно растет. В начале 2000 года фирма Conexant объявила о выпуске SiGe БикМОП однокристалльных трансиверов семейства CX72300, содержащих ГУН, синтезатор частоты, усилитель мощности, маломощный усилитель, индикатор интенсивности принима-

\*Ранее Институт физики полупроводников.



. 10. - SiGe: C

емого сигнала. Напряжение питания схемы – 3,3–1,8 В, потребляемый в режиме приема и передачи ток – 14 мА. Трансивер предназначен для беспроводных систем на частоту 2,4 ГГц Bluetooth-стандарта с дальностью действия до 10 м. Разработку SiGe-прибо-

ров для беспроводных систем связи и быстродействующего сетевого оборудования ведут фирмы Infineon Technologies, Maxim Integrated Products, Philips Semiconductor, STMicroelectronics.

В стремлении улучшить характеристики SiGe-приборов без увеличения их стоимости ученые Bell Labs предложили структуру транзистора с самосовмещенной базой. Для формирования субколлекторной области транзистора вместо эпитаксиального выращивания проводится ионная имплантация. Предельная частота НВТ равна 52 ГГц, максимальная – 70 ГГц. SiGe НВТ с самосовмещенной селективно выращиваемой эпитаксиальной структурой и максимальной частотой 107 ГГц создан на фирме Hitachi. Время задержки сигнала ЭСЛ-вентилля на базе этого транзистора составляет 6,7 пс при токе переключения 1,3 мА.

Но применение новой технологи, очевидно, не ограничится только беспроводными системами связи и сетевым оборудованием (хотя рынок этих устройств огромен). Компания Tektronix сообщила о применении SiGe-компонентов фирмы IBM в цифровом осциллографе серии TDS7000. Это первое контрольно-измерительное устройство на базе новой технологии.

Очевидно, в дальнейшем можно ожидать объединения SiGe с такими новейшими технологиями, как кремний-на-изоляторе, встроенными ДОЗУ и флэш-памятью. Достигнув совершеннолетия в конце ушедшего тысячелетия, SiGe-технология оказалась одной из самых перспективных технологий будущего тысячелетия.

Electronic Design, July 10, 2000.  
www/chips.ibm.com www.atmel.com  
www.mot.com

## Продажи СОЗУ компенсируют спад спроса на ДОЗУ

Samsung готова биться об заклад, что продажи СОЗУ возместят любое снижение доходов из-за падения спроса на ДОЗУ. Статическая память в отличие от динамической не столь зависима от рынка ПК, темпы прироста которого сейчас снижаются. На этот рынок поступает более 70% ДОЗУ, выпускаемых фирмой, и лишь 5% СОЗУ. Это объясняется тем, что в последние годы кэш-память все чаще интегрируется в микропроцессорный чип ПК. Поэтому сегодня 50% СОЗУ фирмы предназначены для средств связи, в основном сотовых телефонов. Почти половина ИС СОЗУ еще и сейчас изготавливается по 0,35-мкм

технологии, вторая половина – с 0,22-мкм проектными нормами. В 2001 году фирма планирует уже выпускать СОЗУ по 0,22- и 0,15-мкм технологиям (в отношении 50:50).

В 2000 году Samsung оценивает свои продажи СОЗУ примерно в 1,8 млрд. долл., или в 25% мирового рынка этих устройств, который по прогнозам должен составить 6 млрд. долл. В этом году фирма надеется увеличить долю СОЗУ в мировых продажах до 30%. Пока спрос на СОЗУ опережает предложение. И эта ситуация сохранится до марта-апреля 2002 года.

www.eetimes.com/story/OEG20010103S0008

## Elpida Memory – новый влиятельный центр разработки ДОЗУ

Японские гиганты электроники – NEC и Hitachi – намерены восстановить лидерство на мировом рынке ДОЗУ. Для этого в апреле 2000 года они объединили свои усилия по разработке ДОЗУ и организовали совместную компанию, получившую в сентябре название Elpida Memory (от греческого elpis – “надежда, упование”). В 80-е годы эти фирмы господствовали на рынке схем памяти, но затем потеряли лидерство и их рейтинг заметно упал. Сегодня они надеются, что их совместное предприятие начнет первым осваивать новые технологии ДОЗУ. По оценкам аналитической фирмы Semico Research, Elpida Memory может войти в пятерку ведущих производителей ДОЗУ. В 1999 году этот список возглавляли фирмы Samsung Electronics (23% продаж), Hyundai Electronics Industry (19,3%) и Micron Technology (16,1%).

Успеху новой компании будут способствовать крепкие деловые контакты фирм NEC и Hitachi с поставщиками серверов и настольных компьютеров, соответственно. На рынке Elpida появи-

лась в благоприятный момент: средние цены на ДОЗУ поднялись, возросла потребность в схемах памяти для средств связи и бытовой техники, а жизненный цикл средств связи, в отличие от настольных компьютеров, достаточно большой – примерно 10 лет. Elpida Memory должна будет выпускать все типы ДОЗУ, включая SDRAM, DDR, RDRAM и VCM (ЗУ с виртуальным каналом). При создании новой компании сообщалось, что в январе 2001 года она начнет опытные, а во втором квартале промышленные поставки 256-Мбит ДОЗУ, выполненного по 0,13-мкм технологии. Микросхема будет выпускаться с SDRAM и DDR-организацией.

В сентябре на фирме Elpida работали 200 человек, к весне 2001 года их число должно возрасти до 750.

Президент фирмы Elpida Memory – Кенджи Токуама, ранее работавший на NEC. Исполнительный вице-президент – Токума-са Ясуи представляет Hitachi.

Electronic Business, 2000, Nov.

Ramtron – фирма, первая начавшая разработку сегнетоэлектрической памяти, готовится к стремительному росту рынка энергонезависимой памяти. Не сумев пока разработать структуру ячейки памяти, которая позволила бы создать сегнетоэлектрические ДОЗУ (СэДОЗУ) емкостью в несколько мегабит (СэДОЗУ емкостью 1 Мбит стоит 20 долл. и не может конкурировать на рынке с другими типами памяти), фирма пошла по пути создания встроенных устройств, в которых ячейки памяти объединены с логикой.

В новой схеме, названной энергонезависимой логикой, ячейки сегнетоэлектрической памяти используются для хранения логических состояний. Первая схема этого типа – простое логическое устройство, заменяющее стандартную восьмеричную защелку с D-триггером. Защелка сможет использоваться для дублирования драйвера ЖК-индикатора при его повторной загрузке. Другое назначение схемы – сохранение последних выводимых данных системной шины перед отключением питания с тем, чтобы возобновить работу системы с точки, в которой она завершилась при предыдущем обращении.

Ramtron не прекратила разработку “чистых” ДОЗУ и намерена в 2001 году начать промышленный выпуск схем памяти емкостью 1 Мбит. Совместно с Fujitsu ведется работа по созданию СэДОЗУ следующих поколений с минимальными размерами элементов 0,35 мкм. Исследуется возможность перехода к 0,25-мкм технологии. Усовершенствован процесс изготовления сегнетоэлектрических устройств, одна из основных проблем которого – снижение выхода годных из-за загрязнения технологического оборудования при обработке такого сегнетоэлектри-

ка, как цирконат-титанат свинца (PZT). Платиновые электроды, использовавшиеся в технологическом оборудовании, заменены иридиевыми. Такие электроды оказались хорошо совместимыми с PZT, и их применение позволило удешевить процесс обработки.

Интерес к сегнетоэлектрической памяти проявили также фирмы Infineon Technologies и Toshiba, приступившие с января 2001 года к совместной разработке 32-Мбит СэДОЗУ, которое должно появиться в конце 2002 года. Память будет изготавливаться по 0,25-мкм технологии. Она заменит в мобильных телефонах многокристальный модуль, содержащий СОЗУ с резервным батарейным питанием и флэш NOR-типа. С марта 2001 года планируется совместное продвижение на рынок 8-Мбит СэДОЗУ фирмы Toshiba с так называемой “цепочной” структурой, в которой транзисторы и конденсаторы включены параллельно. В зависимости от потребностей рынка обе фирмы смогут в дальнейшем начать работы по созданию 64М- и 128-Мбит памяти.

Infineon проводит собственную сегнетоэлектрическую программу исследований. Кроме того, она недавно приобрела у Ramtron акции на сумму 10 млн. долл. и инвестировала 20 млн. долл. в отделение Enhanced Memory Systems этой компании. Toshiba имеет лицензии на технологию изготовления СэДОЗУ на базе PZT фирмы Ramtron. Следовательно, фирмы будут разрабатывать по совместной программе PZT СэДОЗУ.

[www.electronicstimes.com](http://www.electronicstimes.com)  
[www.eet.com](http://www.eet.com)