

- ◆ *Два подхода к реализации цифровых беспроводных систем связи*
- ◆ *Компонентная база: объемы продаж растут, цены падают*
- ◆ *Специализированные однофункциональные приборы или сложные многофункциональные ИС?*
- ◆ *Определились ниши применения кремниевых и арсенид галлиевых ИС*
- ◆ *Перспективы применения SiGe ИС*
- ◆ *Новые разработки зарубежных фирм*

способствуют появлению новых рынков сбыта продукции мировых поставщиков ВЧ- и СВЧ-изделий, в том числе монолитных кремниевых и арсенид галлиевых схем.

Для современной радиоэлектронной промышленности характерно усиливающееся внимание к внедрению цифровой технологии и созданию переносных или портативных систем. Эти тенденции особенно ярко проявляются при разработке средств связи между подвижными объектами.

Появившиеся в конце 70-х годов аналоговые сотовые системы связи были рассчитаны на относительно небольшую группу пользователей радиотелефонами установленными в автомобилях.

ровые сотовые системы связи, работающие на основе технологии многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA). Наиболее широкое распространение (свыше 60 служб по предоставлению услуг связи и около 4 млн. абонентов) получила система связи между подвижными объектами (GSM), впервые развернутая в Европе в 1992 году. Следует отметить, что несмотря на большую популярность GSM-стандарта, системы которого, помимо Европы, развернуты во многих странах мира, в том числе и в Японии, маловероятно, что он будет использован в США, поскольку его частотный диапазон в США выделен военным средствам связи.

В Северной Америке применяются сотовые системы связи стандарта внутреннего системного обмена IS-54, предложенного Ассоциацией промышленности средств связи (IIA). Терминалы (радиотелефоны) систем этого стандарта рабо-

Изготовители полупроводниковых СВЧ-устройств осваивают рынок оборудования беспроводных систем связи

Мировой рынок ЭТ

Совершенствование современной информационной технологии и формирование огромных банков данных стимулируют развитие средств связи, обеспечивающих эффективную передачу информации. Сегодня известны два альтернативных направления развития систем связи: беспроводные и волоконно-оптические сети. Ни одному из них пока не отдано явного предпочтения. Тем не менее рынок беспроводных систем связи стремительно растет. При этом все больше внимания уделяется замене аналогового оборудования цифровым. Растущий спрос на беспроводные системы связи, расширение применения цифровых методов передачи данных, принятие новых стандартов для таких систем спо-

Однако создание дешевых, с малыми габаритами и массой ручных терминалов систем связи между подвижными объектами, работа-

ющих от батарей с длительным сроком службы, способствовало росту популярности сотовых систем и расширению их применения. В результате ежегодные темпы прироста числа абонентов этих систем составили 25 процентов (согласно оценкам, в 1995 году такие системы будут развернуты в 130 странах мира). Существующие аналоговые системы, как оказалось, не в состоянии справиться с растущим спросом на их услуги. Это и обусловило переход к цифровым системам связи между подвижными объектами.

Развитию этой тенденции способствовало также сокращение военных программ в области ВЧ- и СВЧ-техники, что побудило поставщиков изделий данного класса искать новые рынки сбыта. Существуют три основные стандартные циф-

туют в двойном (аналоговом и цифровом) режиме. Правда, пока в США лишь 1 процент из 23,2 млн. абонентов систем связи между подвижными объектами пользуется цифровыми средствами. В Японии в 1993 году развернута персональная сотовая система связи (PDC), обслуживающая сейчас около 2 млн. абонентов. Основные характеристики этих систем приведены в табл.1.

Одновременно вводятся стандарты и на цифровые беспроводные системы связи между подвижными объектами, которые широко используются в учреждениях, жилых и общественных помещениях и зона охвата которых (100 м) меньше, чем у сотовых систем. В 1992 году Европейский институт стандартов на средства связи (ETSI) для беспроводных систем связи принял СТ-2 стандарт, а в 1995 году общественные цифровые сети связи в Европе планировалось перевести на разработанный ETSI цифровой европейский стандарт беспроводных средств связи

ЭЛЕКТРОНИКА:

НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ, БИЗНЕС

(DECT). В Японии в конце 1993 года Управление техники средств связи (ТТС) предложило стандарт общественной ручной радиотелефонной системы (PHS) (табл.2).

В США ведутся работы по развешиванию средств персональной связи (PCS), которые должны поддерживать различные услуги беспроводной связи, включая сотовые, микросотовые, радиотелефонные, передачи данных и спутниковой связи. Узкополосные средства PCS-стандарта работают со скоро-

стью передачи в несколько десятков килобит в 1 с, широкополосные со скоростью в несколько мегабит в 1 с, что позволит последним передавать по одному каналу одновременно речевые сигналы и сигналы ТВ-изображения. По мере расширения спроса на беспроводные средства связи увеличивается и объем продаж компонентной базы этих систем. По оценке германской консультативной фирмы BIS Strategic Decisions, в 1993 - 1998 годах объем продаж полупроводни-

ковых приборов для терминалов только сотовых систем связи в странах Северной Америки и Западной Европы увеличится со 120 до 272 млн.долл. В результате, указывают эксперты фирмы BIS Strategic Decisions, уже в 1995 году беспроводные системы связи между подвижными объектами станут крупнейшим потребителем монолитных ВЧ и СВЧ ИС, вытеснив на этом рынке военных заказчиков.

Таблица 1

Характеристики цифровых сотовых систем связи, работающих на базе TDMA-технологии

Параметр	Един.изм.	GSM	IS-54	PDC
Диапазон частот	МГц	824-894	890-960	810-956
Метод доступа		Многостанционный с временным разделением/передача данных с частотным разделением (TDMA/FDD)		
Разнесение каналов	КГц	200	30	25
Скорость передачи	Кбайт/с	270,8	48,6	42,8
Скорость кодирования канала	Кбайт/с	13,0	1,2	11,3
Длительность цикла передачи	мс	4,6	20,0	20,0
Отношение канал/несущая		8 (полная скорость) 19 (половинная скорость)	3 (полная скорость) 6 (половинная скорость)	3 (полная скорость) 6 (половинная скорость)
Уровни мощности	Вт	0,8; 2; 5; 8	0,8; 1; 2; 3	0,3; 0,8; 2

Таблица 2

Характеристики современных беспроводных систем связи

Параметр	Един.изм.	CT2	DECT	PHS
Метод доступа		Многостанционный с частотным разделением/передача данных с временным разделением (FDMA/TDD)		TDMA/TDD
Распределение частот	МГц	864-868	1880-1900	1895-1918
Разнесение несущих	КГц	100	1728	300
Число несущих		40	10	77
Отношение канал/несущая		1	12	4
Скорость передачи	Кбит/с	72	1152	384
Длительность цикла передачи	мс	2	10	5

Ожидается, что к 1998 году на долю беспроводных систем связи и бытовой аппаратуры будет приходиться более 60 процентов рынка монолитных СВЧ ИС. При этом благодаря снижению цен общая стоимость полупроводниковых приборов, используемых в терминале, уменьшится со 100 до 35 долларов.

Существуют два подхода к реализации цифровых беспроводных систем связи на базе современных процессоров цифровой обработки сигнала (ЦОС), которые и определяют направления работ изготовителей компонентной базы. Согласно первому, основное внимание уделяется разработке не аппаратных, а программных средств с целью создания чисто цифровых или программируемых систем. Второй заключается в объединении всех цифровых и аналоговых блоков терминала беспроводной системы связи между подвижными объектами на одном полупроводниковом кристалле. В основе его лежат достижения в области микроэлектроники.

Оба подхода позволяют снизить затраты на связь в пересчете на один радиоканал, но первый, кроме того, дает возможность увеличить число каналов, обслуживаемых системой, и выполнять функции, которые нельзя реализовать только аппаратными средствами (например, анализировать принимаемый сигнал с целью определения направления уверенного приема и исключения сигналов помех).

Однако стоимость требуемых для выполнения программируемых средств связи ИС ЦОС-процессоров, а также аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП) пока достаточно велика, что сдерживает внедрение этой технологии.

Второй подход, который также еще далек от полной реализации, более традиционен и предусматривает, помимо введения инноваций в области антенной и ЦОС-технологий, изготовление всех устройств

радиотелефона по стандартной полупроводниковой технологии. Основное достоинство этого подхода - возможность изготовления разработанных схем практически на любом полупроводниковом заводе.

Как отмечают эксперты фирмы Anadigics, вплоть до 1990 года в радиотелефонах сотовых систем связи, как правило, применялись гибридные усилители мощности или усилители на дискретных биполярных кремниевых либо полевых арсенид галлиевых транзисторах. Сборка дешевых дискретных транзисторов, диодов, чип-конденсаторов и резисторов на дешевые печатные платы до сих пор экономически более выгодна, чем изготовление этих компонентов в монолитной или гибридной схеме.

Кроме того, даже при использовании гибридных и монолитных ИС некоторые пассивные компоненты с большими габаритами (индуктивные дроссели, развязывающие конденсаторы) не могут быть экономически эффективно изготовлены на кристалле со схемой или подложке печатной платы. Стоимость гибридного усилителя мощности обычно в три-четыре раза выше, чем усилителя на дискретных компонентах, собираемого непосредственно на печатной плате всей системы сотового радиотелефона. При этом гибридные схемы в основном монтируются в металлических корпусах с достаточно большими габаритами и массой, что делает их непригодными для применения в компактных и легких сотовых радиотелефонах малой толщины.

В результате на рынке компонентов для радиотелефонов более широко представлены дискретные компоненты, а не одно- и многофункциональные СВЧ ИС. Еще в 1994 году на рынок США планировалось выпустить 25 млн. портативных радиотелефонов, причем почти все они должны были выполняться на базе дискретных компонентов. Однако из-за разброса параметров дискретных компонентов характеристики устройств на их ос-

нове могут изменяться в широком диапазоне. При отказе такого усилителя необходимо заменять неисправную секцию или всю печатную плату, что приводит к удорожанию конечного изделия. Поэтому, по прогнозам фирмы El Savior Advanced Technology (США), доля дискретных приборов в мировом объеме продаж компонентов для радиотелефонов уменьшится с 66 процентов в 1993 году до 29 процентов в 1998-м.

Вместе с тем, согласно исследованию фирмы Venture Development, объем продаж ИС для беспроводных систем связи между подвижными объектами (приемопередатчиков данных и речевых сигналов сотовых радиотелефонов, портативных радиостанций, учреждений коммутаторов, пейджеров - устройств поискового вызова, персональных коммуникаторов и цифровых помощников, приемопередатчиков данных специальных радиостанций связи между подвижными объектами, портативных терминалов сбора данных и беспроводных локальных сетей данных) увеличится с 26 млн. долл. в 1992 году до 492 млн. долл. в 1997 и к 2000 году достигнет 989 млн. долларов.

Усилия изготовителей монолитных СВЧ-схем для беспроводных систем связи по-прежнему направлены на повышение степени интеграции и быстродействия. Правда, по мнению специалистов фирмы Fujitsu, пока нецелесообразно использовать в беспроводных системах связи между подвижными объектами ИС с высокой степенью интеграции и полные комплекты схем. Это обусловлено тем, что заказчики отдают предпочтение приборам с высокими рабочими характеристиками, но ни один изготовитель не может освоить выпуск всего диапазона необходимых компонентов с требуемыми высокими параметрами и достаточно низкой стоимостью. Несомненно, заказчик хотел бы использовать как можно меньше компонентов в оборудовании связи, но для этого необходимо разработать сложные много-

функциональные ИС, располагаемые на кристаллах больших размеров. Стоимость таких схем пока выше, чем у современных специализированных одно-функциональных приборов. Кроме того, продолжительность этапа "разработка-освоение производства" этих сложных схем велика, что может привести к значительному снижению доходов фирмы.

В подтверждение этого специалисты фирмы Fujitsu ссылаются на свой опыт разработки в 1992 году полного комплекта ИС для радиотелефонов европейского стандарта GSM, проводившейся в конструкторском центре фирмы в Великобритании. В 1993 году Fujitsu была вынуждена прекратить эти работы, поскольку европейский заказчик оказался неподготовленным к тому, чтобы заменить специализированные одно-функциональные ИС для микротелефонных трубок нескольких поставщиков полным комплектом более сложных схем одной фирмы.

По мнению специалистов фирмы Fujitsu, специализация становится очень важным фактором в борьбе за рынки сбыта: целесообразнее захватить 50-60 процентов рынка специализированных ИС (как делает, например, фирма Intel, выпускающая схемы микропроцессоров), чем 10 процентов рынка полных комплектов ИС. Аналогично пока обстоит дело и с проблемой применения в беспроводных системах связи сложных многофункциональных ИС.

Однако по мнению руководителя работ в области беспроводных систем связи фирмы Texas Instruments, уже сейчас ведущие поставщики компонентов должны приступить к разработке комплектов из двух-четырех ИС для систем связи DECT и GSM стандартов. Иначе они рискуют уступить свои позиции на рынке.

К числу таких работ относится программа Калифорнийского Лос-Анджелесского университета, в рамках которой предложена технология изготовления спиральной катушки индуктивности на кремниевой пластине с КМОП схемой прие-

мопередатчика. Согласно этой технологии, после изготовления ИС с помощью комплекта фотомасок в пассивирующем слое вокруг изготовленной на пластине катушки индуктивности открываются окна, расположенные так, чтобы обеспечить травление областей кремния под этим элементом. В результате последний оказывается как бы подвешенным на пластине.

Отмечается, что для вытравливания кремния достаточно опустить пассивированный кристалл со схемой в травитель. Крупнейшие поставщики кремниевых монокристаллов СВЧ ИС (в основном они изготавливаются по БиКМОП технологии), для улучшения ВЧ характеристик своих изделий стремятся уменьшить размеры эмиттера биполярных транзисторов схем маломощных усилителей, усилителей мощности и смесителей, работающих на частотах 2,4 ГГц. Так, для создания кремниевых ИС следующего поколения на фирме Harris разработана новая технология "UHF-1X", которая позволит освоить массовое производство схем, работающих в диапазоне частот 2,4-2,5 ГГц. В начале 1995 года фирма планировала организовать опытные поставки этих ИС.

Выбор материала (кремний или арсенид галлия) для изготовителя монокристаллов СВЧ ИС определяется конкретными требованиями системы. Кремниевые приборы, как правило, представляют собой биполярные или МОП-транзисторы, для функционирования которых требуется один источник питания. КПД их составляет в среднем 30-40 процентов (табл.3), т.е. не так велик, если учесть длительность пользования радиотелефонной трубкой и требуемый высокий уровень мощности.

Один из основных постулатов, касающихся арсенида галлиевой технологии: чем лучше характеристики, тем выше стоимость - по мнению экспертов фирмы Analogics, неверен, поскольку сейчас стоимость GaAs монокристаллов резко уменьшается благодаря

совершенствованию технологии и увеличению выхода годных.

Согласно прогнозу фирмы Venture Development, в 1997 году объем отгрузок схем усилителей мощности для приемопередатчиков беспроводных систем связи между подвижными объектами составит примерно 239 млн.долл. При этом 78 процентов их продаж придется на долю схем, выполненных на арсениде галлия. Объем отгрузок схем приемников и других схем передатчиков (помимо усилителей мощности) достигнет в 1997 году 252,5 млн.долл. Для этого класса изделий доля кремниевых ИС будет равна 55 процентам. По данным фирмы Strategies Unlimited (США), к 1998 году большинство радиотелефонных трубок сотовых систем связи и радиотелефонов следующего поколения, работающих на частотах 0,9 и 1,9 ГГц, будет выполнено на основе GaAs схем. По прогнозу фирмы Venture Development, в 1997 году 64 процента проданных на рынке GaAs ИС будут представлять собой схемы для беспроводных систем связи.

Из сказанного следует, что разработчики беспроводных систем связи должны хорошо понимать и уметь правильно оценивать возможности различных технологий изготовления компонентов для них. Уже сейчас выявились определенные ниши применения схем двух типов. Так, GaAs ИС отдается предпочтение в переключателях, работающих на частотах выше 500 МГц, в усилителях мощности и устройствах, где требуется высокий КПД; кремниевые ИС - в синтезаторах. Кроме того, кремниевые ИС какое-то время будут использоваться в беспроводных системах DECT-стандарта, который разрабатывался с учетом параметров кремниевых приборов.

Сейчас в беспроводных системах связи в основном используются кремниевые монокристаллы усилители общего назначения, арсенид галлиевые монокристаллы одно-функциональные схемы и схемы маломощных усилителей.

Таблица 3

Сравнительные параметры арсенид галлиевых и кремниевых биполярных приборов, используемых в беспроводных системах связи

Параметр	Един.изм.	Тип	
		GaAs полевой с барьером Шотки	Si биполярный
Удельная стоимость в пересчете на 1 мм (диаметр обрабатываемой пластины)	Долл. (мм)	0,25 (100)	0,1 (200)
Частота отсечки	ГГц	13-25	12-18
Напряжение пробоя	В	15-20	5-9
Проводимость подложки		Изолирующая	Проводящая
Коэффициент шума на частоте			
1 ГГц	дБ	1,0	1,5
5 ГГц		1,5	6,0
Требуемое смещение		Положительное и отрицательное напряжение	Положительное напряжение
КПД	%	60	40
Число требуемых внешних компонентов		Небольшое	Большое

Ведутся работы по созданию многофункциональных монолитных ИС как кремниевых, так и арсенид галлиевых, в частности схем приемопередатчиков и объединяющих на одном кристалле усилители мощности и переключатели. Особое внимание уделяется тому, чтобы стоимость многофункциональной схемы не была выше суммы стоимостей заменяемых ею однофункциональных устройств. В более отдаленном будущем ожидается появление СВЧ подсистемы, объединяющей на одном кристалле входное приемное устройство, секции ПЧ, переключатели, фильтры и усилители мощности.

На фирме Philips ведутся работы по совершенствованию БиКМОП технологии изготовления монолитных ИС серии QUBIC. Усовершенствованная технология QUBIC-2 с 0,7-мкм топологическими нормами позволяет создавать кремниевые ИС с высокой степенью интеграции на частоту 2,4 ГГц. В начале 1995 года фирма планировала приступить к опытным поставкам этих схем, а в конце - полностью освоить их производство. Отмечается,

что все новые схемы фирмы Philips (в том числе и усилители мощности, для большинства из которых требуется напряжение 4,8 В) работают от источника питания на напряжение 2,7-5,5 В.

В последнее время большое внимание уделяется разработке монолитных полностью интегрированных схем гомодинных (с прямым преобразованием) приемников, поскольку современная ВЧ и СВЧ технология не позволяет изготовить однокристалльную схему гетеродинного приемника (высококачественные фильтры, требуемые в таких приемниках пока могут быть выполнены только на дискретных компонентах). Однако при нулевом значении ВЧ существуют решения проблемы фильтрации, реализуемые в виде однокристалльной ИС.

Из-за высокой чувствительности к помехам, разбаланса входного/выходного каналов, ухода смещения по постоянному току и т.п., а также требования работы приемника при низких значениях напряжения и рассеиваемой мощности создание гомодинных приемников до сих пор было затруднено.

Чтобы показать возможность изготовления однокристалльной схемы терминала цифровой беспроводной системы связи на базе гомодинного приемника, специалисты фирмы AT&T Bell Laboratories разработали схему входного ВЧ блока, в которой использованы биполярные транзисторы с максимальной частотой генерации 20 ГГц. Схема гомодинного приемника, работающего на частоте 900 МГц, содержит малощумящий усилитель (полный коэффициент шума 3 дБ) и два кольцевых балансных смесителя. Она работает от источника питания на напряжение 3 В, рассеиваемая мощность составляет 28 мВт, усиление по напряжению - 35 дБ. Зондовые испытания схемы показали, что утечки гетеродина не превысили 95 дБ, а величина разбаланса входных/выходных каналов - 0,1 дБ.

Новая КМОП схема гомодинного приемника разработана и на фирме Toshiba, которая стремится завоевать рынок компонентов беспроводных систем связи PHS стандарта второго поколения. В схему входят малощумящий усилитель,

преобразователь частоты, фильтр-переключатель каналов и усилитель с переменным усилением. По мнению разработчиков, применение новой ИС позволит исключить дорогостоящую и требующую большого числа внешних компонентов GaAs схему супергетеродинного приемника, используемую в первом поколении систем PHS стандарта. В результате число компонентов радиотелефонов PHS стандарта удастся уменьшить на 50 процентов.

Перспективными для беспроводных систем связи считаются SiGe ИС. Фирмы Analog Devices и IBM еще в декабре 1993 года заключили соглашение по освоению массового производства таких схем с максимальной частотой генерации 60 ГГц и КПД 66 процентов для входных приемных устройств беспроводных систем связи. Схемы должны изготавливаться на пластинах диаметром 200 мм в Технологическом центре перспективных полупроводниковых приборов фирмы IBM. Они могут быть объединены с МОП-транзисторами и цифровыми БИМОП ИС, что в итоге позволит создать однокристальные цифровые радиотелефоны.

В октябре 1995 года разработчики фирмы IBM собирались сообщить на конференции по биполярным КМОП схемам и технологиям о первых пригодных для освоения в массовом производстве SiGe схемах. В число этих ИС входят:

- делитель частоты на 23 ГГц, разработанный с фирмами Hughes и Colby Instruments;
- смеситель на частоту 12 ГГц, разработанный с фирмами Hughes и Delco Electronics;
- компаратор на частоту 4 ГГц - совместная разработка с фирмой Northorn Teleson и Университетом Карлетона (Великобритания).

Схемы изготавливаются с помощью ХОПФ технологии в условиях сверхвысокого вакуума на оборудовании фирмы Leybold (Германия). Отмечается, что с целью ускорения внедрения новой технологии фирма IBM купила у Leybold лицензию на продажу оборудования последней на рынке. По мне-

нию разработчиков IBM, сегодня вряд ли можно пробиться в лидеры в одиночку.

Разработка SiGe ИС ведется и на фирме Magus Research (США), где вначале предполагается создать SiGe ЦАП. В дальнейшем SiGe ИС могут составить конкуренцию аналоговым и цифровым GaAs ИС. Правда, считается, что SiGe ИС начнут широко применяться в микрофонных трубках персональных систем связи только через пять лет.

Изготовители GaAs компонентов для беспроводных систем связи (как дискретных приборов, так и монолитных схем) наряду с улучшением характеристик большое внимание уделяют совершенствованию технологии изготовления и увеличению выхода годных с целью снижения их стоимости. Затраты на обработку арсенид галлиевых пластин диаметром 100 мм при уровне загрузки производственных мощностей 60 процентов составляют около 1,5 тыс.долл.; при выходе годных GaAs монолитных СВЧ ИС, равном 75 процентам, издержки на производство схемы равны примерно 0,25 долл./мм.

В области дискретных приборов интерес представляет разработанный в Южнокорейском институте электроники и дальней связи мощный GaAs транзистор с барьером Шотки, параметры которого были оптимизированы для получения высокого КПД (64 процента) при средней выходной мощности 31,5 дБм и напряжении смещения 2,9 В (против 30 дБм и 3,5 В для ранее разработанных транзисторов этого типа) на частоте 900 МГц.

Высокие рабочие характеристики транзистора с затвором длиной 0,6 мкм и шириной 16 мм были достигнуты благодаря новой структуре канала, состоящего из двух слоев GaAs (слабо- и сильнолегированных), введению в буферный слой сверхрешетки GaAs/AlGaAs и использованию верхнего нелегированного слоя GaAs для защиты канала от поверхностных дефектов, вызываемых хемосорбцией кислорода. Транзистор предназначен для усилителей мощности портативных радиотелефонов цифровых сото-

вых систем связи следующего поколения.

Фирма NEC решила задачу увеличения КПД мощных усилительных GaAs транзисторов с затвором Шотки за счет изготовления прибора с гетероструктурой AlGaAs/InGaAs/AlGaAs. Транзистор с затвором Шотки (длиной 1,0 мкм и шириной 14 мм), формируемым путем напыления силицида вольфрама на нелегированный слой AlGaAs, обеспечивал КПД 66 процентов при выходной мощности 1,7 Вт (максимальный КПД 71 процент при 1,2 Вт). Высокие значения КПД и выходной мощности были получены благодаря согласованию входного и нагрузочного импедансов на основной гармонике и контролю нагрузочного импеданса на второй гармонике.

В университете шт. Иллинойс разработан маломощный сверхмалошумящий GaAs полевой транзистор с высоким коэффициентом усиления, работающий в режиме обеднения. Этот прибор предназначен для усилителей пейджеров, модемов беспроводных систем связи, локальных сетей передачи данных, а также портативных систем связи военного назначения.

Затвор транзистора формируется путем имплантации ионов кремния, что обеспечивает получение указанных параметров при низких затратах на изготовление. Отмечается, что коэффициенты усиления и шума транзистора могут быть улучшены путем оптимизации процесса имплантации примеси р-типа (Be), проводимого для увеличения напряжения отсечки, и разработки технологии изготовления прибора с самосовмещенным затвором.

Одновременно ведутся работы по созданию GaAs монолитных СВЧ схем усилителей мощности для замены этих устройств на дискретных приборах и гибридных ИС. Значительных успехов в этом направлении достигла фирма Motorola, являющаяся крупнейшим поставщиком оборудования систем сотовой связи наряду с фирмами Nokia и Ericson. На ее долю приходится 90 процентов продаж систем стандарта GSM на европейском и 30 процентов объема продаж радиотеле-

фонов цифровых сотовых систем на японском рынках).

К числу последних разработок фирмы относятся три GaAs СВЧ ИС на диапазон частот 2,40-2,48 ГГц - понижающий преобразователь типа MRFIC 2401, усилитель мощности типа MRFIC 2403 и буферный/возбуждающий усилитель типа MRFIC 2404. Все три схемы характеризуются малой потребляемой мощностью и габаритами, монтируются в дешевые пластмассовые малогабаритные корпуса типа SO. Они предназначены для устройств считывания штриховых кодов и дистанционного считывания показаний измерительных приборов беспроводных локальных сетей передачи данных, систем СВЧ идентификации или маркировки и радиотелефонов.

Многие операции технологического процесса изготовления новых GaAs ИС, названного MAFET, заимствованы у технологии крупносерийного производства кремниевых приборов. В предложенной технологии не предусмотрена типичная для GaAs полевых транзисторов с барьером Шотки операция изготовления утопленного затвора, выход годных на которой низок. ИС содержит транзисторы с затвором длиной 0,8 мкм и обычные компоненты монолитных схем (спиральные элементы индуктивности, передающие линии, конденсаторы и резисторы). Благодаря небольшому числу этапов маскирования и дешевой технологии изготовления новые GaAs ИС по стоимости сопоставимы с БиКМОП ИС. Для оптимизации СВЧ характеристик GaAs ИС были сконструированы специальные выводные рамки.

Понижающий преобразователь MRFIC 2401 состоит из маломощного усилителя и смесителя. Диапазон промежуточных частот его - 100-350 МГц, коэффициенты шума - 3 дБ, усиления преобразования - 21 дБ, напряжение источника питания - +5 В, мощность гетеродина - 5 дБм. Прибор может работать в режиме резервирования при управлении логическим устройством. В этом случае ток стока равен 600 мкА, что позволяет увеличить срок службы батареи. Маломощный усилитель преобразователя выпол-

нен на двух полевых транзисторах с затвором шириной 400 мкм, работающих в режиме обогащения; смеситель - на полевом транзисторе с затвором шириной 200 мкм, работающем в режиме обеднения с общим затвором, и на полевом транзисторе с затвором шириной 400 мкм, работающем в режиме обогащения с общим истоком.

Двухкаскадный усилитель мощности MRFIC 2403 содержит GaAs полевые транзисторы в режиме обеднения с затворами шириной 300 и 1200 мкм, работающие в режимах классов А и В соответственно.

КПД усилителя превышает 55 процентов. Он требует применения двух источников питания на напряжение +5,0 и -2,5 В. Коэффициент усиления в режиме малого сигнала 23 дБ, диапазон регулировки коэффициента усиления 20 дБ, выходная мощность при насыщении 200 мВт. Уровень второй и третьей гармоник -19 и -34 дБ соответственно. В режиме резервирования ток стока, равный 400 мкА, может быть уменьшен до 150 мкА при нулевом напряжении регулировки коэффициента усиления.

Дешевый однокаскадный GaAs усилитель MRFIC 2404 первоначально был разработан для возбуждения усилителя мощности MRFIC 2403. Однако благодаря низким значениям тока стока и коэффициента шума (4 дБ) и высокому коэффициенту усиления в режиме малого сигнала (17 дБ) в диапазоне 2-3 ГГц он может выполнять функции маломощного, пост- и буферного усилителя. Схема работает от источника питания на напряжение +5 В и обеспечивает выходную мощность в режиме насыщения 5 мВт. В режиме резервирования ток стока равен 900 мкА.

Отмечается, что в сочетании с разработанными ранее антенным переключателем типа MRFIC 1801 отражательного типа (максимальная переключаемая мощность 1 Вт, время переключения 1 мкс, вносимые потери в приемнике 1,4 дБ, в передатчике 1,1 дБ на частоте 2,5 ГГц) и балансным повышающим преобразователем MRFIC 1803 (усиление преобразования 7 дБ на

частоте 2,4 ГГц), также смонтированными в пластмассовые корпуса типа SO, три новые дешевые GaAs ИС образуют комплект схем для беспроводных систем связи, работающих на частоте 2,4 ГГц.

Специалисты фирмы Motorola пытаются решить задачу создания модуля радиотелефона, содержащего всего две монолитные ИС - блок ВЧ усилителя мощности и маломощного усилителя, а также блок специализированного ЦОС-процессора, который будет обрабатывать сигналы на промежуточной частоте.

Больших успехов в разработках GaAs СВЧ ИС для беспроводных систем связи, работающих на частоте 2,4 ГГц, добилась фирма Tri-Quint, которая выпустила на рынок приемопередатчик для беспроводных систем передачи данных, выполненный на базе двух монолитных ИС - входного усилителя/переключателя типа TQ 9205 и повышающего/понижающего преобразователя типа TQ 9206, содержащие смесители, буферные усилители и гетеродин. Коэффициент шума маломощного усилителя 3,5 дБ. Комплект заменяет 25-30 дискретных приборов и успешно конкурирует с ранее разработанным комплектом из шести монолитных схем для аналогичного приемопередатчика. Обе схемы поставляются в 24-выводном пластмассовом монтируемом на поверхность корпусе. Стоимость комплекта 18,29 долл. при закупке партии в 10 тыс. штук. Это одни из наиболее сложных GaAs монолитных СВЧ ИС для беспроводных систем связи на рынке.

Большой объем работ в области создания и освоения производства GaAs монолитных схем проводит фирма Anadigics, выпускающая ежемесячно более 1 млн. арсенид галлиевых схем для приемников/передатчиков (что доказывает возможность крупносерийного производства таких схем для гражданской и бытовой техники). Отмечается, что фирма широко использует арсенид галлиевую технологию, разработанную в ходе проведения военных программ.

К числу последних разработок фирмы относится серия из пяти

монолитных GaAs схем усилителей мощности, работающих на частоте 900 МГц и пригодных для применения в сотовых системах связи различных стандартов, в том числе и GSM. Цена одной схемы усилителя при закупке партии в 100 тыс. штук равна 10 долл. Такая относительно низкая стоимость во многом обусловлена необычайно высоким для промышленности GaAs ИС выходом годных - 70 процентов.

На фирме Anadigics создана монолитная схема понижающего преобразователя на частоту 900 МГц, в которой на одном арсенид галлиевом кристалле объединены генератор и фильтр. Коэффициент шума преобразователя 3 дБ, усиление преобразования 15 дБ; работает схема от источника питания на напряжение 5В, мощность входного ВЧ сигнала 10 дБм, мощность гетеродина 17 дБм. Кроме того, на фирме разработана серия СВЧ GaAs ИС для спутниковых систем прямого ТВ вещания, приемников кабельного ТВ и сотовых радиотелефонов. Планируется увеличить применение этих ИС в беспроводных и сотовых сетях передачи информации.

Значительных успехов добилась фирма Vitesse Semiconductor, специалисты которой разработали процесс изготовления GaAs ИС с топологическими нормами 0,5 мкм (т.е. сопоставимых по плотности упаковки с современными КМОП и БиКМОП ИС). Рабочая частота схем, изготовленных по новой технологии H-GaAs IV, равна 600 МГц; они выполнены на полевых транзисторах либо с непосредственной связью, либо со связью по истоку.

Большое внимание фирма уделяет выбору корпуса монолитных GaAs ИС, поскольку, по мнению разработчиков, вклад корпуса в стоимость схем велик: при монтаже в керамический корпус с теплоотводом цена схемы может достигать

100 долл., при монтаже в пластмассовый корпус с металлической теплоотводящей полоской - 10 долл., в плоский винилиновый корпус - нескольких долларов.

Этого мнения придерживаются и специалисты фирмы National Semiconductor, которые с целью завоевания лидирующего положения на рынке ВЧ блоков и блоков модулирующих частот, намерены освоить производство ВЧ модулей, содержащих монолитные GaAs усилитель мощности и малошумящий усилитель и БиКМОП ИС, смонтированные на многослойной керамической подложке со скрытыми проводящими линиями, сквозными соединительными отверстиями, конденсаторами, резисторами, элементами связи и фильтрами. С целью уменьшения габаритов и числа компонентов входного блока радиотелефона компания использует низкотемпературную спеченную керамику (LTCC), разработанную на фирме Hughes Aircraft. Работы National Semiconductor финансируются (на сумму в 8 млн.долл.) Управлением перспективных разработок США (ARPA).

Применение LTCC-керамики, по мнению разработчиков, позволит создать ВЧ приемопередатчик для беспроводных систем связи DECT стандарта, размещаемый на подложке площадью 6,45 см. Кроме того, конструкции многослойных керамических модулей могут быть объединены в библиотеку, используемую при автоматизированном проектировании ВЧ схем, аналогично библиотеке ячеек специализированных ИС. В результате создание опытных образцов модулей займет несколько недель, а не месяцев, как в случае разработки однокристалльной кремниевой схемы модуля.

К концу 1995 года фирма National Semiconductor планировала разработать основные блоки

модуля ВЧ приемопередатчика, в том числе управляемый напряжением генератор и блок с автоматической фазовой подстройкой частоты, рассчитанный на сотовые системы, работающие в диапазоне частот 900 МГц и 1,8 ГГц. Весь ВЧ модуль приемопередатчика беспроводной системы связи DECT стандарта должен появиться в 1998 году.

Модули будут выпускаться на приобретенном у фирмы Hughes заводе в г. Ньюпорт Бич площадью 1860 м², на котором раньше изготавливались модули на керамических подложках для аэрокосмических и военных систем.

М.В. Гольцова

Литература

- IEEE Elect.Dev.Lett.*, 1994, v.15, N3, pp.324-326.
- IEEE Elect.Dev.Lett.*, 1994, v.15, N7, pp.239-244
- Electronic Component News*, 1994, v.38, N6, p.123.
- IEEE Communications*, 1995, v.33, N6, pp.44-48.
- JEI*, 1995, v.42, N8, p.6.
- Electronic Letters*, 1995, v.31, N4, pp.265,266.
- Electronics*, 1995 v.68, N2, p.9.
- Electronic Engineering News*, 1995, N863, pp.1,37,38.
- Electronic Engineering News*, 1995, N859, pp.1,30.
- Electronic Engineering News*, 1995, N864, pp.1,90.
- Electronic News*, 1994, v.40, N2027, pp.62,64.
- Microwaves & RF*, 1994, v.33, N10,
- Microwaves & RF*, 1994, v.33, N8, p.58.
- Microwaves & RF*, 1994, v.33, N7, pp.111, 112, 114-116, 118.
- Electronic Engineering Times*, 1994, N820, p.18