

Беспроводные сотовые средства связи пока лидирует GSM стандарт

М. Шурыгина

Сотовая радиосвязь — одно из самых успешных начинаний XX века. Всего за 15 лет число ее абонентов увеличилось с нуля до более 50 миллионов. Ожидается, что к концу столетия оно преодолет рубеж в 100 миллионов. Некоторые изготовители оборудования для таких систем полагают, что к 2005 году число абонентов вырастет до 350–400 миллионов. Тогда системы сотовой связи сравняются по этому показателю с телефонной сетью. Уже сейчас на долю абонентов сотовых систем в мире приходится 10% абонентов проводных телефонных сетей, а в Дании и Швеции их число даже больше, чем абонентов проводной связи.

Концепция сотовой связи была предложена специалистами фирмы Bell Laboratories в конце 60-х годов, но первые системы этого типа реализованы лишь в 1980 году в Швеции, Норвегии, Дании и Финляндии. Эти сети работают на базе скандинавского стандарта подвижной телефонной связи (NMTS) для аналоговых систем. Уже в 1982 году услугами сотовой связи смогли воспользоваться и жители США, где для аналоговых систем на диапазон частот 900 МГц был принят стандарт перспективных подвижных телефонных систем (AMPS).

Сегодня сотовой связью широко пользуются более 100 стран, входящих в Международный телекоммуникационный союз. Свыше 50% абонентов сотовых систем связи находятся в США (табл.1). Второе место занимает Западная Европа (примерно 25%). За ней следуют страны АТР (менее 20%). Однако к концу столетия картина может измениться, поскольку сейчас активно формируются крупные рынки сотовых систем связи в таких развивающихся странах, как Индия, Китай и Индонезия. Ожидается, что к 2005 году самым крупным рынком сотовых систем станет АТР (около 48% абонентов), который обгонит Западную Европу и США (по 35%).

Наиболее насыщенными являются рынки систем сотовой связи скандинавских стран (табл.2), где в крупных городах, например Стокгольме, на 100 человек приходится свыше 20 абонентов этих систем. Среднегодовые темпы прироста рынка в Швеции превышают 40%. Согласно прогнозам, к 2000 году более половины населения страны будет пользоваться этими средствами связи.

Важным фактором, способствовавшим динамичному развитию сотовых

систем связи, которые первоначально рассматривались как деловые и специализированные (в том числе полицейские), стала либерализация телекоммуникационных услуг, в результате которой усилилась конкуренция, расширилась сфера предоставляемых услуг, снизились цены. В большинстве стран пользуются услугами двух, а иногда и более операторов. Правда, в развивающихся странах, рынок и экономика которых пока слабы, целесообразнее иметь одного оператора.

Крупнейшим достижением в данной области стал переход на цифровую технику. Первые сотовые системы были выполнены на базе аналоговой техники, которая обеспечивала высокое качество передачи речевого сигнала, но не давала возможности решить многие важные проблемы, в частности передачи данных. Самой распространенной на сегодняшний день технологией цифровой сотовой связи является глобальная система подвижной связи (GSM), разработанная в середине 80-х годов по заданию Конференции европейских почтовых и телеграфных ведомств. Единый цифровой стандарт для Европы был крайне необходим, поскольку его отсутствие препятствовало установлению телефонной связи при пересечении границ европейских государств. В разработке GSM стандарта приняли участие операторы, изготовители, правовые и правительственные органы региона.

Первые сети GSM стандарта, работающие в диапазоне частот 800–900 МГц, появились в 1991 году. К настоящему времени такие сети развернуты в 77 странах мира. Ожидалось, что к концу 1996 года GSM системами будут пользоваться 22 млн. абонентов. Популярность сотовой связи привела к необходимости выде-

лить этим системам новые частотные каналы. Стремление к совершенствованию характеристик и расширению предлагаемых услуг вызвало к жизни

Таблица 1
10 крупнейших стран – потребителей сотовых систем связи

Страна	Число абонентов, млн.
США	25,3
Япония	4,331
Великобритания	3,962
Италия	2,518
Германия	2,176
Канада	2,157
Австралия	1,957
Китай	1,805
Швеция	1,533
Южная Корея	1,106

Таблица 2
Десять ведущих стран по насыщенности рынка сотовых систем связи

Страна	Насыщенность рынка, %
Швеция	18,25
Норвегия	15,45
Финляндия	14,56
Австралия	11,05
США	10,3
Дания	10,1
Гуам	8,83
Сингапур	8,7
Исландия	8,6
Канада	8,42

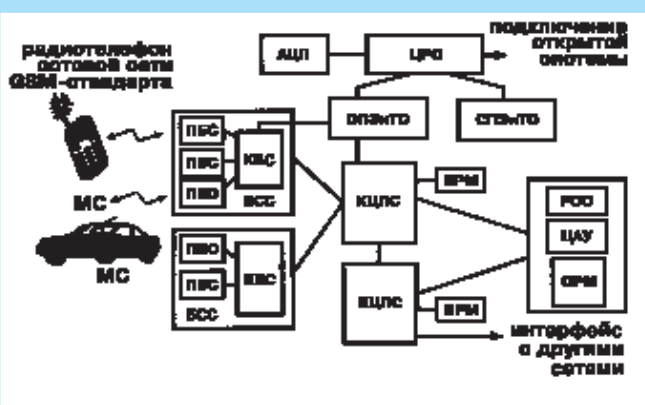


Рис.1. Структура GSM системы

появление систем различных стандартов. Особенно активно этот процесс идет в США, где в отличие от Европы нет унифицированной инфраструктуры GSM. В результате сейчас реализуются системы на базе стандарта европейских цифровых средств связи на частоту 1800 МГц (DACS1800), персональных услуг связи на частоту 1900 МГц (PCS-1900) в США, а также системы на базе разнообразных стандартов сопряжения воздушных каналов: многостанционный доступ с временным, частотным и кодовым разделением каналов (TDMA, FDMA и CDMA соответственно).

В США первая система на базе стандарта PCS 1900 развернута в конце 1995 года фирмой American Personal Communications (APC). Сейчас там действует семь операторов систем PCS 1900 стандарта. Помимо APC, это American Portable Telecom, Bell South Personal Communications, Intercel, Omnipoint, Pacific Bell Mobile Services и Western Wireless, которые объединились в Североамериканскую группу интересов, чтобы способствовать развитию GSM систем.

Цифровые системы связи между подвижными объектами быстро завоевывают рынок средств связи. Согласно оценкам фирмы IDC, 80% из 18,3 млн. сотовых телефонов, отгруженных в 1994 году, представляли собой аналоговые устройства. К 1995 году доля таких устройств сократилась до 77%. В 2000 году будет отгружено около 61 млн. сотовых радиотелефонных трубок. Из них только 28% – аналоговые. Огромный интерес к цифровым системам в целом и к GSM стандарту в частности объясняется их большими возможностями: кодирование передаваемого речевого сигнала, факсимильная передача, передача данных и коротких сообщений. Системы GSM стандарта способны поддерживать связь и при переезде из страны в стра-

ну владельца сотового радиотелефона. Из рис.1 видно, что GSM система содержит мобильные станции (МС), как ручные (портативные), так и традиционного типа, и интерфейс с другими сетями. Типичная ячейка GSM системы показана на рис.2. Радиус ее может достигать 35 км (для стандарта GSM900) или 2 км (для стандарта PCS1900, предусматривающего применение средств подвижной связи малой мощности). Основной элемент такой ячейки – базовая станция и антенная мачта с несколькими направленными антеннами, перекрывающими каждая свою зону. Как правило, вокруг одной общей антенной мачты структурируется несколько ячеек. Число приемопередатчиков ПБС базовой стационарной станции зависит от числа каналов ячейки и пользователей. Все ПБС имеют постоянно излучающий радиовещательный канал, позволяющий пользователям быстро войти в GSM сеть. Сигнал радиовещательного канала принимается всеми подвижными средствами связи, находящимися в пределах ячейки, независимо от того, ведутся по ним переговоры или нет. По интенсивности сигнала этого канала можно определить ближайший к подвижному средству связи приемопередающий модуль; сигнал также содержит кодированную информацию об операторе сети, сообщения поискового вызова (пейджинговые) подвижного средства, которое должно принять телефонный вызов, и другую информацию. Частота радиовещательного канала меняется от ячейки к ячейке, на одной и той же частоте могут работать лишь удаленные друг от друга станции, когда вероятность перекрестных помех мала.

В каждом ЦПС GSM системы имеется список местоположения “посетителей” (СМП), в котором перечисляются подвижные средства связи, находящиеся вне “своей” ячейки, что позволяет легко отыскать их в сети. ЦПС также соединен с регистром хранения домашнего адреса (РДА) подвижного средства связи, центром аутентификации пользователей (ЦАУ) и регистром опознавания оборудования (РОО). Благодаря этому появляется возможность исключить несанкционированное пользование системой, например в случае кражи автомобиля. В системе предусмотрены средства поддержки эксплуатации и

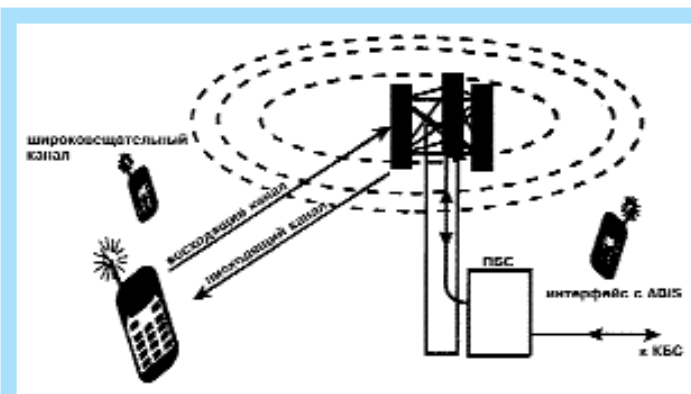


Рис.2. Ячейка GSM системы

Подвижные средства связи ведут переговоры по каналу трафика, представляющего собой канал двухстороннего обмена речевыми сигналами, причем связь между подвижными средствами осуществляется по так называемому восходящему каналу (в диапазоне 935–960 МГц для стандарта GSM900), а между подвижным средством и базовой стационарной станцией — по другому, нисходящему каналу (в диапазоне 890–915 МГц). Разделение частот нисходящего и восходящего каналов составляет 45 МГц. Таким образом, частоты восходящего и нисходящего сигналов различны (табл.3). Следует отметить, что по широковещательному каналу передается лишь нисходящая информация; его восходящий канал может быть использован в качестве неэкранированного канала или канала произвольного доступа для привлечения внимания БСС к подвижному средству.

Современные цифровые сотовые системы, как правило, работают в гибридном режиме многостанционного доступа с временным и частотным разделением (хотя в США ряд операторов предпочитает CDMA стандарт — многостанционный доступ с кодовым разделением каналов). В первом случае полоса рабочих частот разбивается на каналы с полосой 200 кГц, называемые абсолютными номерами ВЧ каналов. Помимо этого предусмотрено разбиение периода передачи на временные интервалы. Каждым абсолютным номером ВЧ канала могут пользоваться поочередно восемь подвижных станций, причем одна станция пользуется номером за один временной интервал, после чего ожидает своей очереди для повторного его использования. Согласно GSM стандарту, длительность временного интервала равна 576,9 мкс, импульса ВЧ сигнала — 542,8 мкс. Каждый импульс содержит 147 бит информации. Временные интервалы нисходящего и восходящего каналов отстоят друг от друга на три интервала, что обеспечивает достаточное время для переключения. Комбинация временного интервала и абсолютного номера ВЧ канала образует физический канал. Поскольку разделение временных интервалов и абсолютных номеров мало, очень важно обеспечить высокую точность частоты, амплитуды и времени передачи сигналов подвижной и стационарной станций. При этом БПС должно изменять синхронизацию сигнала подвижной станции в соответствии с ее перемещениями относительно БСС.

GSM стандарт не является статичным. Под руководством Европейского института телекоммуникационных стандартов ведется большая работа по совершенствованию характеристик этих систем. К числу возможностей GSM систем в ближайшее время прибавятся функции передачи данных, факсимильной связи и пакетной радиопередачи. Как считает один из ведущих европейских операторов сотовой связи, к 2000 году 30% передач по сотовой сети сведется к передаче данных. Развитие технологии приведет к появлению услуг беспроводной мультимедийной передачи данных.

Выпуск на рынок в сжатые сроки новых изделий сотовых систем способствует утверждению доказавшего свои преимущества GSM стандарта. Поставщики микротелефонных трубок выдвигают требования к разработке ИС на малое напряжение питания, выполняющих дополнительные функции (в частности, поддержка передачи данных/факсимильных сообщений и усовершенствованных методов кодирования речевого сигнала). Наличие нескольких стандартов в США усложняет проблему формирования элементной базы сотовых систем связи.

Когда в 1992 году началось рассмотрение TDMA и CDMA стандартов для сотовых систем, американские изготовители микротелефонных трубок обсуждали необходимость выпуска аппаратов, работающих в двойном режиме: аналоговом и цифровом. Сейчас изготовители подвижной аппаратуры вынуждены рассматривать проблему создания трехрежимных телефонов, в которых предусмотрена возможность обслуживания аналогового канала AMPS стандарта и двух цифровых каналов сотовой связи (возможно, на частоты 800 МГц и 1,9 ГГц). В результате в одном телефонном аппарате должны размещаться два ВЧ подблока, а также средства поддержки двух стандартов сопряжения воздушных каналов. С введением нового частотного канала (1800 МГц) для европейской GSM сети в Европе возникла аналогичная проблема.

Однако двух- и, тем более, трехрежимная микротелефонная трубка требует применения более сложных ИС и, следовательно, стоимость ее достаточно велика. Идеальным решением этой проблемы стало бы создание однокристалльной схемы приемного блока, способного принимать сигналы на

Характеристики GSM цифровых сотовых систем

Таблица 3

Параметры	Варианты систем				
	GSM900		DCS1800		PCS1900
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2	
Восходящий канал, МГц	890-915	880-915	1710-1785	1710-1785	1850-1910
Нисходящий канал, МГц	935-960	925-960	1805-1880	1805-1880	1930-1990
Абс. число ВЧ каналов	1-124	0-124 и 975—1023	512-885	512-885	512-810
Разделение передающих/ приемных каналов, МГц	45	45	95	95	80
Разделение передающих/ приемных каналов, временных интервалов	3	3	3	3	3
Скорость модуляции данных, бит/с	270,833	270,833	270,833	270,833	270,833
Период цикла, мс	4,615	4,615	4,615	4,615	4,615
Период временного интервала, мкс	576,9	576,9	576,9	576,9	576,9
Период разряда, мкс	3,962	3,962	3,962	3,962	3,962
Разделение каналов, кГц	200	200	200	200	200
Мощность ПС, макс., Вт	20	8 (наиб. часто 8)	1	4	2
Мощность ПС, мин., дБм	13	5	0	0	0
Мощность ПС, шагов упр.	0-15	2-19	0-13 0-15	0-15	30, 31
Частота речевого кодера по битам, бит/с	13	13 5,6	13 5,6	13	13

обеих рабочих частотах, и разместить усилители мощности, излучающие на двух частотах, также на одном кристалле. Поскольку нельзя разработать фильтр с одинаково хорошими характеристиками на частотах 800–900 МГц и 1,9 ГГц, наряду с другими дискретными пассивными компонентами в трубке придется применять два фильтра. Правда, пока нет единого мнения о реальной возможности разработки такого комплекта схем для сотовых телефонов. Специалисты фирмы GEC Plessey (Великобритания) считают, что решением этой проблемы может стать двухрежимный входной блок, переключаемый между двумя ВЧ устройствами, смонтированными в малогабаритные корпуса. Это решение особенно выгодно для фирм, выпускающих “универсальные” ВЧ ИС для систем связи.

Проектирование и разработку сотового микротелефона можно разделить на три этапа: создание аппаратных и программных средств и их объединение. Правда, частично эти этапы ведутся параллельно. Разработка аппаратных средств предусматривает создание блоков обработки модулированного и ВЧ сигналов, причем для изготовления последних требуется большой опыт и владение ноу-хау. При проведении этих работ широко используются опытные платы и справочные конструкции, позволяющие заранее приступить к созданию программной продукции, сокращая тем самым общий цикл разработки. Вместе с тем нельзя недооценивать сложность и длительность разработки программной продукции. Таким образом, для минимизации себестоимости микротелефонной трубки необходима ясная концепция, высокий выход годных и возможность проведения быстрых и простых испытаний.

Стоимость микротелефонной трубки в значительной степени определяется затратами на ИС. Чтобы оптимизировать стоимость, при выборе ИС принимают во внимание следующие факторы:

- увеличение уровня интеграции блоков обработки модулированного и ВЧ сигналов приводит к уменьшению числа используемых дискретных приборов и упрощению процесса;

- применение схемы на малое напряжение питания (3 В и ниже) способствует значительному снижению затрат на батареи, занимающие второе место по вкладу в стоимость конечного изделия;

- использование в блоке обработки модулированного сигнала микроконтроллера, эффективно оперирующего с кодом, позволяет сократить объем

требуемой быстростраиваемой памяти и, тем самым, снизить затраты на память системы;

- затраты на фильтры могут быть снижены за счет перераспределения функции фильтрации МОП схемы обработки модулированного сигнала.

При стоимости комплекта ИС 50 долл. появится возможность выпускать высококачественные сотовые телефоны по цене 150–200 долларов.

Примером стандартного комплекта схем, обеспечивающих работу сотового телефона в GSM, PCN и PCS1900 стандартах, является выпускаемый фирмой Siemens набор из шести ИС: трех схем блока обработки модулированного сигнала и трех – ВЧ блока.

Интерес представляет комплект схем семейства Sceptre фирмы Lucent Technologies, выделившейся из AT&T и вобравшей в себя часть ее подразделений, в том числе AT&T Microelectronics и Bell Labs. Наряду с пакетом программных изделий в комплект входят три схемы для поддержки работы 900МГц терминалов GSM стандарта: процессор обработки модулированного сигнала типа DSP1618, процессор преобразования сигнала типа CSP1088 и ВЧ приемопередатчик типа W2020. Фирма намерена выпустить усовершенствованный вариант процессора DSP1618 с постоянной памятью емкостью 24 слова для микротелефонных трубок следующего поколения. В них предусмотрена возможность передачи факсимильных сообщений и функции модема.

Схема будет реализовывать первый уровень протокола GSM стандарта и сопрягаться с верхними его уровнями. Фирма также планирует в 1997 году освоить производство ИС микроконтроллера сотовой связи, изготовленного на базе процессорного ядра, выполняющего протокол связи. RISC микроконтроллер войдет в семейство Sceptre. Его функция – реализация верхних уровней протокола GSM стандарта. Кроме того, ведется разработка семейства super Sceptre, в которое войдут МОП ИС смешанной обработки сигнала. На одном кристалле объединены ЦОС процессор, процессор преобразования сигнала, протокола связи и биполярная схема ВЧ приемопередатчика, поддерживающая все предлагаемые GSM стандартом услуги (работу на частотах 900 МГц, 1,8 и 1,9 ГГц.). Выпуск этого супернабора планируется на 1997 год.

Разработки объединенных ВЧ блоков ведут фирмы GEC Plessey, Texas Instruments и Analog Devices (последние являются крупнейшими постав-

щиками ЦОС процессоров для сотовых систем связи GSM стандарта). Фирма Texas Instruments планировала в III кв. 1996 года выпустить ВЧ комплект, в который вошли три схемы усилителей и одна – передатчика с встроенным усилителем мощности. Конечная цель разработки – создание схемы, объединяющей все три малосигнальных усилителя.

GSM системы – прекрасная платформа для создания персональных средств связи третьего поколения. Разработка технологий для системы связи, получившей название Международная подвижная телекоммуникационная система 2000 (IMT2000), уже ведется под руководством сектора радиосвязи Международного союза электросвязи. Система IMT2000 обеспечит услуги глобальной связи с использованием малогабаритных легких терминалов. Ей выделен рабочий диапазон 2 ГГц.

Система третьего поколения будет сопрягаться со всеми стационарными и подвижными средствами связи при приемлемой стоимости и заменит сотовые, беспроводные, подвижные системы передачи данных и поискового вызова. Параллельно с разработкой IMT2000 изучается концепция создания персональных средств телекоммуникаций, рассчитанных на нужды малых предприятий и домашних офисов (SOHO). Во всех этих системах должна быть предусмотрена возможность передачи мультимедийного сигнала (комплексной обработки). Это выдвигает серьезные требования к совместимости ВЧ каналов, развернутых в различных средах. Решением этой проблемы может стать технология сигнала с расширенным спектром, используемая уже на протяжении многих лет в военных и спутниковых системах связи. В сравнении с традиционными узкополосными радиоканалами ей присуща большая избирательность за счет разбиения передаваемой информации с помощью кода псевдопроизвольного шума. Технология также характеризуется высокой помехоустойчивостью, устойчивостью к внешним воздействиям и скрытностью связи. Создание систем, работающих с расширенным спектром, требует объединения многих современных направлений электронной техники: создания ИС смешанной обработки сигнала, ВЧ ИС, архитектур обработки сигнала с расширенным спектром, встроенных программных средств и алгоритмов ЦОС процессоров. Лишь небольшое чи-

сло компаний имеет столь разнообраз- ные ресурсы и в состоянии создавать все необходимые блоки средств связи с расширенным спектром. Чтобы га- рантировать соответствие таких изделий

ТУ и требованиям, предъявляемым к ка- честву, при их разработке необходимо тесное сотрудничество изготовителей ИС, разработчиков систем и представи- телей конечного пользователя.

Microwave Journal,
1996, v.39, N7, p.98-104;
N10, p.84-100
Electronic Engineering Times,
1996 N894, p.1, 65, 130;
N903, p. 72, 74, 90, 100

По данным Gerard and Associates – консультативной фирмы, специализирующейся в области средств телекоммуникаций, средств передачи данных, беспроводных систем и широкополосных систем связи, до конца столетия можно ожидать значительный рост объема продаж беспроводных средств связи. Это объясняется расширением сети Internet/Intranet, обеспечивающей доступ к информации в реальном масштабе времени, а также ростом применения портативных ПК, лежащих в основе персональных систем связи, используемых в таких секторах рынка, как сети общественного пользования, сети с индивидуальными услугами за дополнительную плату и беспроводные локальные сети. Новые технологии беспроводной связи, обеспечивающие передачу как звукового сигнала, так и данных, плюс возможность развертывания систем персональной связи (т.е. обеспечение подвижной локальной связи на базе беспроводных учрежденческих телефонных станций и/или локальных сетей с возможностью доступа в сети общественного пользования). По мнению аналитиков фирмы, стоимость услуг сетей общественного пользования будет резко падать, тогда как сами услуги будут совершенствоваться: возрастет объем передаваемой интегрированной, свободной от ошибок информации, а также скорость передачи.

В числе основных причин, способствующих развертыванию беспроводных локальных систем, называют исключение затрат на прокладку проводов и, соответственно, сокращение их числа в учреждении; обеспечение связи при перемещениях в пределах учреждения; снижение затрат на внесение изменений в станцию. К недостаткам этих систем относят отсутствие стандартов и возможности прозрачного объединения в обычные локальные сети, нехватку средств управления сетью, проблемы развертывания/сопряжения и, самое важное, достаточно высокую стоимость и относительно низкое быстродействие. Поэтому, хотя рынок беспроводных локальных систем связи растет, темпы прироста ниже, чем ожидалось. Доля этих систем пока не достигла прогнозирувавшихся ранее 25–30% рынка беспроводных систем связи. Тем не менее необходимость мобильной связи и сокращения эксплуатационных затрат стимулирует спрос на беспроводные сети. По прогнозу Gerard and Associates, к концу столетия на долю этих систем будет приходиться 12% рынка локальных сетей.

Популярность сотовых систем связи породила деловую культуру мобильной связи, главное достоинство которой — удобство речевого контакта с сотрудниками и заказчиками. Правда, за соответствующую цену. Тем не менее, этот подход в бизнесе принят всеми крупными игроками делового мира.

Прогнозы

По оценкам прогностическо-издательской фирмы Cahners Economics, объем продаж средств связи на американском рынке в 1996 году должен был увеличиться по сравнению с предыдущим годом на 15% и составить 72,1 млрд. долл. (в 1995 году темпы прироста рынка были равны 21,9%). В 1997 году ожидается увеличение объема продаж на 16,9% – до 83,5 млрд. долларов.

Движущая сила роста объема продаж средств связи — “расцветающий” рынок систем беспроводной связи, позволяющих объединить услуги по передаче речевого сигнала и данных.

Electronic Business Today, 1996, v.22, N11, p.8

По прогнозам фирмы ICE, мировой рынок радиотелефонов будет развиваться достаточно высокими темпами. К 2000 году объем продаж на нем может достигнуть 25,5 млрд. долл. По сравнению с уровнем 1994 года он возрастет почти в 80 раз. Однако после рекордного (в 4,3 раза) роста в 1995 году годовые темпы прироста продаж стали последовательно снижаться. Эта тенденция сохранится вплоть до 2000 года, хотя падение темпов будет замедляться. Ведущими стандартами в этой области являются стандарт ISM диапазона, DECT, CT2(+) и PHS. В 1994 году их доли на рынке составляли 6,8; 15,3; 49,4 и 28,5% соответственно. Однако уже в следующем году картина существенно изменилась: на первое место резко выдвинулся стандарт DECT. Продажи

Мировой рынок цифровых радиотелефонов

Прогнозы

систем этого стандарта возросли более чем в 16 раз, увеличив его долю на рынке с 15,3 до 57,4%. Второе место по-прежнему занимал стандарт PHS, доля которого составила 27,2%. По прогнозам фирмы ICE, эти стандарты будут лидировать и в 2000 году. Их доли в общем объеме продаж почти сравняются и составят 42–44%.

Стандарт системы	Объем продаж, млн. долл.						
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ISM диа-пазона	22	53	79	95	106	115	122
DECT	49	795	2665	7280	9566	10746	11271
CT2(+)	158	161	221	782	1426	2341	3520
PHS	91	376	1984	5360	8335	10102	10564
Всего	319	1385	4948	13515	19433	23303	25487

Экзотические приборы и материалы на конференции IEDM

Дайджест

Большой интерес на ежегодной Международной конференции по электронным приборам (IEDM) вызвали необычные приборы, изготовленные на базе новых материалов с помощью хорошо известных методов. Среди них гибкое, прочное цветное устройство отображения для будущего поколения малогабаритных дорожных ПК. Индикатор создан учеными Центра материалов для фотоники и оптоэлектроники Принстонского университета. Гибкость системы достигается благодаря креплению схемы управления на базе аморфных кремниевых тонкопленочных транзисторов и устройства отображения на органической сверхрешетке к гибкой подложке из стальной фольги, что потребовало множества инновационных решений.

В первую очередь была решена задача крепления транзисторов из аморфного кремния к стальной фольге. Для этого сначала на фольгу толщиной 200 мкм осаждался слой нитрида кремния, поверх него наносился аморфный кремний, на котором изготавливались тонкопленочные транзисторы. Органические светоизлучающие диоды (СИД), выполненные на базе светоизлучающего органического материала, заключенного в полимер, формировались поверх слоя платины, служившего инжектором дырок. Достоинство органического материала — возможность нанесения его методом центрифугирования практически на любую подложку при комнатной температуре.

Из-за шероховатости стальной подложки толщина полимерного покрытия в новом приборе больше, чем обычно. В результате для инжекции электронов и дырок нужно большое напряжение. Тем не менее ученым центра удалось создать индикаторное устройство с достаточно высоким коэффициентом преобразования при напряжении питания 5 В.

Одно из преимуществ нового устройства — высокая ударопрочность: по утверждению разработчиков, падение опытного образца с высоты 1 м не привело к ухудшению его характеристик.

Большой интерес участников конференции вызвало сообщение исследователей Калифорнийского университета о возможности получения естественного окисла алюминия поверх арсенида галлия методом окисления арсенида алюминия в паровом потоке. Ими создана так называемая структура “арсенид галлия-на-изоляторе”. Транзистор с высокой подвижностью электронов, выращенный поверх этого диэлектрического слоя, отличается высокой линейностью характеристик и эффективностью.

Ученые фирмы Fujitsu сообщили о создании работающего при комнатной температуре элемента, в котором единичные электроны могут вводиться и выводиться из квантовой точки с плавающим потенциалом. Новая структура предназначена для схем памяти сверхвысокой плотности.

Electronic Engineering Times, 1996, N925, p.40, 42

Такие старейшие электронные компоненты, как конденсаторы, по-прежнему представляют собой дискретные приборы и изготавливаются из материалов, не совместимых с полупроводниковой технологией. Однако в ближайшее время эта ситуация может измениться в связи с разработкой на предприятии Siemens в Мюнхене метода изготовления конденсаторов на кремниевых подложках. Первый этап создания нового конденсатора — электромеханическое травление полированной кремниевой пластины с целью получения неглубоких пористых ямок на ее поверхности. Этот процесс аналогичен методу, используемому для формирования пористого кремния со свойствами электролюминесценции. В результате создается структура, состоящая из нескольких тысяч произвольно расположенных прямоугольных ячеек глубиной 165 мкм и шириной 2 мкм при шаге 3,5 мкм. Стандартный процесс литографии для формирования рисунка расположения ячеек (пор) до электромеханического травления позволит получить упорядоченную структуру. Благодаря этому площадь поверхности пластины увеличивается примерно в 85 раз по сравнению с площадью полированной кремниевой подложки того же диаметра.

Внешние стенки ячеек образуют один из электродов конденсатора, на который наносится многослойный диэлектрик — оксид кремния (толщиной 5 нм)/нитрид кремния (20 нм)/оксид кремния (5 нм). Поверх этой многослойной структуры осаждаются легированный фосфором поликристаллический кремний, образующий второй электрод конденсатора. Для получения контакта к поверхности кремниевой подложки поликристаллический кремний и диэлектрическая структура подтравливается и на пластину методом распыления наносится слой алюминия толщиной в несколько микрон.

Размер кристалла с конденсатором — 0,9x0,9x0,2мм, площадь активной области — примерно 0,50 мм². Кристалл с конденсатором легко монтируется в корпус типа SOT-23. Значения емкости кремниевых объемных конденсаторов лежат в диапазоне от 10 нФ до 10 мкФ при диапазоне напряжения от 3 до 100 В. Хотя диэлектрическая постоянная многослойной структуры невелика (по сравнению с керамическими или электролитическими материалами — 6), благодаря малому расстоянию между обкладками конденсатора его удельная емкость равна 4 мкФ В/мм². Большими значениями этого параметра обладают лишь алюминиевые электролитические конденсаторы — 8 мкФВ/мм². Правда, предварительные результаты работ по уменьшению размеров прибора показали, что удельная емкость кремниевых объемных конденсаторов может достигать 12 мкФ В/мм².

Как утверждают разработчики, по стабильности характеристик новый конденсатор превосходит все существующие на один-два порядка. Температурная стабильность его равна $50 \cdot 10^{-5}/\text{K}$, изменение величины емкости при изменении частоты подаваемого напряжения от 0 до 100 кГц и через 1 тыс. ч работы не превышает 0,1%.

Ведутся исследования высокочастотных характеристик нового конденсатора с целью определения возможности его применения в ВЧ секциях подвижных систем радиотелефонной связи.

Поскольку все технологические процессы, применяемые для изготовления конденсатора, хорошо освоены в полупроводниковом производстве, по стоимости новые компоненты будут сопоставимы с дискретными полупроводниковыми приборами.

Electronic Engineering Times, 1996, N925, p.39

Конденсаторы на кремниевых подложках

Дайджест