

# Компоненты NEC Electronics для беспроводной связи на базе кремниево-германиевой технологии

Руслан ЮРКОВ

ruslan.yurkov@eltech.rostov.ru

Данная статья представляет собой краткий обзор основных характеристик и достоинств полупроводниковой кремниево-германиевой технологии (SiGe). В публикации рассмотрены некоторые SiGe-компоненты компании NEC Electronics, а также рассказано о перспективах широкого распространения беспроводных систем на основе новой технологии.

Компания NEC Electronics является одним из самых крупных японских производителей электронных компонентов. В своих продуктах и разработках эта компания стремится идти на шаг впереди своих конкурентов. Специалисты NEC Electronics считают, что России стоит ориентироваться на внедрение новейших технологий беспроводной инфраструктуры и не рассматривать широко распространенные в мире, но морально устаревающие стандарты. Это даст нашей стране шанс за несколько лет создать мощную современную беспроводную инфраструктуру.

Корпорация NEC Electronics занимает передовые позиции в разработке и производстве электронных компонентов для беспроводной связи. Она была одной из первых, предложивших коммерческую кремниево-германиевую (SiGe) технологию на российском рынке.

В настоящее время беспроводные технологии переживают пик своего развития. Это различные системы беспроводной высокоскоростной передачи данных, такие как WiMAX, UWB, GSM, GPS, DBS, STB/TV, W-CDMA, а также радары для систем безопасности автомобилей. Для большой территории России все более популярным становится использование спутниковых VSAT-решений. Все эти системы требуют создания нового поколения электронных компонентов. Помимо высоких технических характеристик эти приборы должны обладать минимальным размером и иметь низкое энергопотребление. Базовыми материалами для создания компонентов традиционно являлись арсенид галлия (GaAs) и кремний (Si). Но на частотах в несколько гигагерц кремний перестает справляться с нагрузкой. А изделия из арсенида галлия имеют высокую цену. Поэтому в области беспроводной связи уже давно существует дефицит

дешевых высокочастотных микросхем. Решением этой проблемы стало использование соединения кремния с германием. За прошедшие годы эта технология произвела революцию в отрасли беспроводной связи, став основной для массового производства компонентов на основе кремния.

## Требования к компонентам для мобильных беспроводных систем

Основные требования, предъявляемые к компонентам для мобильных беспроводных систем передачи данных:

- работа в диапазоне СВЧ (до 10 ГГц и выше);
- низкий уровень шума;
- минимальный размер;
- низкое энергопотребление;
- возможность интеграции (создание «систем на кристалле»);
- надежность;
- низкая цена.

Теперь важна не только производительность, но и другие критерии — тепловыделение, время автономной работы, размер и стоимость.

## Технологии на основе GaAs и Si

Кремний — один из самых распространенных на Земле химических элементов. Изделия на базе кремния широко используются в цифровой технике и в низкочастотных устройствах. Эту популярность они приобрели благодаря своей низкой стоимости. Однако эти компоненты обладают приемлемыми характеристиками лишь в диапазоне до нескольких гигагерц. Это обусловлено низкой подвижностью электронов и большой шириной запрещенной зоны материала.

Некоторые электронные свойства GaAs превосходят свойства Si. Более высокая подвижность основных носителей арсенида галлия позволяет работать на частотах 250 ГГц. Кроме того, приборы на основе GaAs генерируют меньше шума, чем кремниевые устройства. Однако компоненты, созданные на основе арсенида галлия, потребляют больше энергии, чем их кремниевые аналоги. Из-за более высокого напряжения пробоя перехода приборы на основе арсенида галлия могут работать при большей мощности. Но, несмотря на привлекательные характеристики, стоимость изделий на основе GaAs-технологии продолжает оставаться высокой. А большое энергопотребление ограничивает использование этих изделий в мобильных устройствах.

В каждом случае есть свои преимущества и недостатки. Поэтому производители придерживаются обе технологии.

## Основные характеристики и преимущества полупроводниковой SiGe-технологии

Передовая кремниево-германиевая технология стремительно продвигается на рынок. Эта технология, развиваемая ведущими производителями электронных компонентов, привела к революционному перевороту в конструкции сотовых телефонов и беспроводных электронных систем.

В процессе изготовления SiGe-приборов образуется гетеропереход Si/SiGe, позволяющий увеличить уровень легирования базы и тем самым снизить ее сопротивление. При этом сокращается время переключения и снижается уровень шумов. А уменьшение ширины запрещенной зоны приводит к увеличению коэффициента эффективности

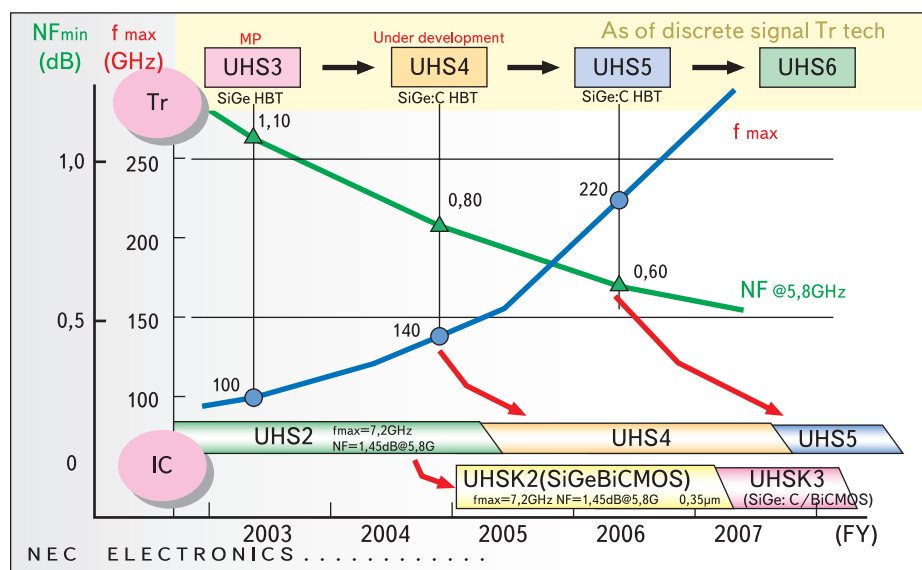


Рисунок. Перспективы развития SiGe-транзисторов и интегральных схем от NEC Electronics

эмиттера, благодаря чему увеличивается коэффициент усиления и уменьшается потребляемый ток. Это особенно важно для мобильных устройств.

Основные достоинства SiGe-структур:

- высокая надежность и живучесть за счет малой температурной зависимости;
- низкая стоимость, сравнимая со стоимостью кремния;
- широкий частотный диапазон — 110 ГГц;
- низкий уровень шума;
- низкое энергопотребление;
- возможность комбинации с обычными CMOS схемами на одной и той же кремниевой подложке.

SiGe-технологии позволяют еще больше миниатюризировать полупроводниковые системы за счет очень высокой интеграционной плотности и создавать однокристалльные решения для целой системы («системы на кристалле»).

Очередного успеха инженеры компании NEC Electronics достигли, последовательно совершенствуя технологии внедрения атомов германия в кристаллическую решетку кремния. Новые решения носят название UHS-процессов (Ultra-High-Speed). А новая SiGe BiCMOS технология обеспечивает еще более высокую производительность, меньшее энергопотребление и более высокую степень интеграции, чем обычные SiGe-технологии. На рисунке показано, что новые устройства работают не только на более высоких частотах, но имеют и более низкий уровень шума.

Рассмотрим некоторые компоненты компании NEC Electronics, произведенные с использованием SiGe-технологии.

### Маломощные SiGe-транзисторы

Главным элементом приемного модуля, определяющим чувствительность приемни-

ка в целом, является маломощный усилитель (МШУ). Для достижения высоких результатов МШУ должен обладать низким уровнем шума и высоким коэффициентом усиления.

В качестве примера компонентов для построения МШУ можно привести транзисторы NESG3031M05, NESG3032M14 и новинку NESG3033M14. Приборы изготовлены по 110-гигагерцовой технологии SiGe (UHS3) HBT. Эти транзисторы идеально подходят для задач, требующих низкого уровня шума и большого коэффициента усиления. Они находят широкое применение в маломощных приложениях — сотовых телефонах, мобильных устройствах и т. п. (то есть там, где нужно минимизировать энергопотребление и не требуется высокая мощность).

NESG3031M05 имеет коэффициент шума 0,95 дБ и усиление 10 дБ на частоте 5,2 ГГц. Транзистор может применяться в маломощных усилительных каскадах в диапазоне до 6 ГГц. Например, в качестве МШУ для беспроводной сети, работающей на частоте 5,8 ГГц (802.11b/g).

NESG3032M14 имеет коэффициент шума всего 0,6 дБ, а максимальное усиление 20,5 дБ на частоте 2 ГГц. Интермодуляция OIP3 = 24 дБм при токе коллектора 20 мА. Этот транзистор может применяться в маломощных усилительных каскадах в диапазоне от 1 до 3 ГГц.

Таблица. Широкополосные усилители на основе SiGe (Vпит = 5 В, f = 1...2,2 ГГц)

Тип	f <sub>c</sub> , ГГц	I, мА	R <sub>вых</sub> (насыщ), дБм	R <sub>вых</sub> (1 дБ), дБм	G <sub>p</sub> , дБ	NF, дБ
uPC3215TB	2,5	14,0	3,5	-1,5	20,5	2,3
uPC3223TB	3,2	19	12	6,5	23	4,5
uPC3224TB	3,2	9	4	-3,5	21,5	4,3
uPC3225TB	2,8	24,5	15,5	9	33,5	3,7
uPC3226TB	3,8	15,5	13	7,5	26,0	4,9
uPC3227TB	3,6	4,8	-1,0	-6,5	25,0	4,6
uPC3232TB	3,2	26	15,5	11	33,5	4,0

Например, в качестве МШУ для беспроводной сети 2,4 ГГц (802.11b/g).

Новинка NESG3033M14 — улучшенная версия NESG3032M14 со встроенной защитой от электростатического разряда (ESD).

### Транзисторы средней мощности

Для промежуточных и выходных каскадов усилителей мощности компания NEC Electronics выпускает серию недорогих транзисторов с выходной мощностью до 2 Вт. Приборы изготовлены по технологии SiGe HBT (процесс UHS2-HV).

Транзистор NESG2101M05 имеет выходную мощность P1 дБ = 21 дБм при I<sub>к</sub> = 10 мА. Благодаря низкому уровню шума NF = 0,6 дБ и высокому усилению G<sub>a</sub> = 19 дБ, измеренных на частоте 2 ГГц, транзистор может широко использоваться в маломощных усилителях мощности, усилителях средней мощности и генераторах.

Транзисторы NESG250134, NESG260234 и NESG270034 имеют высокий выходной уровень мощности — 29, 30 и 33 дБм соответственно. Коэффициент усиления достигает 22 дБ при I<sub>к</sub> = 30 мА, V<sub>к</sub> = 6 В и f = 460 МГц. Эти изделия предназначены для систем связи, работающих в диапазоне 300–460 МГц, но могут применяться и в усилительных каскадах устройств, работающих на частоте до 1000 МГц.

### Широкополосные усилители на основе SiGe

Для широкополосных устройств компания NEC Electronics предлагает серию маломощных усилителей uPC32xx. Приборы имеют высокий коэффициент усиления от 20 до 33 дБ, хорошее согласование с 50-омной нагрузкой и низкое энергопотребление (от 4,7 мА). Эти устройства могут применяться для усиления промежуточной частоты в маломощных блоках приемников L-диапазона. Технические параметры усилителей приведены в таблице.

### Маломощные усилители для GPS

Желание знать свое местонахождение и направление движения — возможно, одно из самых старых стремлений человека. Навигация и позиционирование во многих видах деятельности осуществляются с помощью GPS-устройств. Эти изделия используются

в мобильных телефонах, автомобильной навигации, КПК и др. Модули GPS совместно с GSM/GPRS широко применяются в различных противоугонных системах и системах наблюдения за подвижными объектами, например, для слежения за инкассаторскими автомобилями.

Малошумящий усилитель GPS-модуля должен удовлетворять многим, зачастую противоречивым требованиям. Поэтому важно выбрать устройство, максимально удовлетворяющее этим требованиям. В транспортных навигационных системах МШУ должен встраиваться в антенный блок. Благодаря этому достигается минимально возможный уровень шума. Если установить МШУ в модуль, то прохождение сигнала по кабелю от антенны до модуля вызовет его затухание. В этом случае чувствительность GPS-приемника существенно снизится. В мобильных системах, где расстояние от антенны до модуля минимально, большое значение имеют размеры модуля МШУ. А для увеличения времени работы мобильного устройства МШУ должен иметь функцию снижения энергопотребления в режиме ожидания.

СВЧ интегральные микросхемы uPC8211TK, uPC8215TU и uPC8226TK предназначены для работы в качестве МШУ для GPS и мобильной связи. Эти микросхемы изготавливаются по технологии SiGe UHS2 50 ГГц. Усилители uPC8211TK и uPC8226TK имеют коэффициент усиления  $G_p = 18$  дБ и предназначены для использования в мобильных телефонах. uPC8215TU подходит для использования в GPS-приложениях и имеет высокий коэффициент усиления — 28 дБ. Особенностью этих усилителей является низкий уровень шума  $NF = 1,1$  дБ. Микросхемы uPC8211TK и uPC8226TK имеют функцию снижения энергопотребления. Используя внешние цепи согласования, можно расширить рабочий диапазон частот микросхем от 400 до 2000 МГц [3].

Для приложений диапазона 5,8 ГГц NEC предлагает мощный усилитель uPA901TU. Компонент изготовлен по фирменной технологии SiGe HBT (процесс UHS2-HV). Микросхема содержит два транзистора и встроенные цепи смещения. Выходная мощность  $P_{вых} = 19$  дБм при  $P_{вх} = -3$  дБм,  $V_{кз} = 3,6$  В,  $I_{к} = 90$  мА. Размер корпуса —  $2,0 \times 2,2 \times 0,5$  мм.

### Карбоновые интегральные микросхемы на основе SiGe

Передовая технология SiGe:C (процесс UHS4) компании NEC Electronics позволяет создавать новые семейства малошумящих усилителей, которые сочетают в себе малое энергопотребление и низкий уровень шума. Эта технология стала основой для последнего поколения биполярных транзисторов с SiGe-гетеропереходом. Они имеют самые низкие в своем классе уровни шума для дискретных транзисторов на осно-

ве кремния, которые ранее достигались только благодаря использованию более дорогих технологий, основанных на арсениде галлия.

Новая серия малошумящих усилителей SiGe:C (UPC8230TU, UPC8231TK, UPC8232T5N) предназначена для установки в первом каскаде усиления GPS-приемников. Кроме низкого уровня шума (от 0,8 дБ) и высокого усиления (до 20 дБ) эти изделия могут похвастаться отличным согласованием на частоте 1575 МГц. Тем не менее, схема согласования может быть модифицирована внешними пассивными компонентами. При этом рабочий диапазон усилителей можно расширить от 1,5 до 2,4 ГГц. UPC8231TK имеет миниатюрный корпус с размерами  $1,5 \times 1,1 \times 0,55$  мм, а UPC8232T5N — корпус с очень низким профилем —  $1,5 \times 1,5 \times 0,37$  мм.

### Делители частоты на основе SiGe

Новый продукт для станций спутниковой связи VSAT и STB-систем — серия 13-гигагерцовых делителей частоты uPB1512TU и uPB1513TU с коэффициентами деления 1:8 и 1:4 соответственно. Входной диапазон частот делителей — от 5 до 13 ГГц. Эти устройства предназначены для предварительного деления частоты гетеродина, которая впоследствии может быть обработана системами ФАПЧ. При изготовлении микросхем используется процесс SiGe UHS2. Эти высокопроизводительные компоненты успешно справляются с задачами, ранее доступными лишь более дорогим GaAs, и имеют при этом низкое энергопотребление ( $I = 48$  мА при  $V = 5$  В) [4].

### «Системы на кристалле»

Еще одно основное достоинство SiGe-транзисторов — простота объединения на одном кристалле с цифровыми кремниевыми схемами. Это нужно, прежде всего, для создания разнообразных интегральных микросхем смешанной обработки сигнала, в которых объединены ВЧ, аналоговые и цифровые устройства.

Не случайно SiGe-технология — одна из основных при изготовлении СВЧ-преобразователей, в том числе для сотовых телефонов. Этому способствует и современная тенденция применения конвертеров прямого преобразования — устройств с «нулевой» промежуточной частотой. Возможности новой технологии позволяют создавать полупроводниковые компоненты для расширенной обработки радиочастотных и аналоговых сигналов, дополняющие базовые возможности цифровых компонентов. Эти разработки повышают надежность, уменьшают размеры, снижают энергопотребление и стоимость конечных устройств.

В качестве примера таких интегральных микросхем можно назвать различные кон-

вертеры, делители частоты, приемники GPS, модули W-CDMA, модуляторы-демодуляторы и другие полноценные решения, разработанные компанией NEC Electronics и применяемые для обработки сигналов в аппаратуре систем связи и телекоммуникаций.

Технология, основанная на объединении структур SiGe и BiCMOS ( процессы UHSK2 и UHSK3), оптимальна для создания радиоустройств. Сейчас это самое перспективное направление SiGe-технологии. Изделия, построенные на комбинации этих технологий, характеризуются малым энергопотреблением, широким рабочим температурным диапазоном, малой стоимостью и миниатюрными корпусами.

### Заключение

Новые SiGe-устройства полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к высокочастотным компонентам для мобильных беспроводных систем связи. На этих изделиях строятся приложения, включающие в себя беспроводную локальную сеть (802.11a, b, g), WiMAX, глобальные системы определения местоположения GPS, беспроводные телефоны, спутниковое телевидение, цифровые малошумящие преобразователи, станции спутниковой связи VSAT, STB-системы и широкополосные сети передачи данных (UWB). Благодаря высоким техническим характеристикам и низкой стоимости компоненты на основе SiGe-технологии будут способствовать дальнейшему широкому распространению беспроводной связи в России.

Инженеры компании NEC Electronics предлагают ряд радиочастотных блок-схем с рекомендациями по применению своих компонентов. Это решения для устройств Bluetooth, DECT, CDMA, PDC, GSM, AMPS, GPS, CATV, DBS, STB/TV, W-CDMA, WiMAX, UWB, беспроводных сетей и т. п. Они доступны на сайте компании по адресу: [ht tp:// www.w.ncsd.necel.com/microwave/english/application/index.html](http://www.w.ncsd.necel.com/microwave/english/application/index.html). Кроме того, на сайте можно найти S- и SPICE-параметры компонентов, а также модели для пакетов AWR Microwave Office, Agilent ADS и Ansoft Designer. ■

### Литература

1. Шахнович И. Твердотельные СВЧ-приборы и технологии // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2005. №№ 4, 5.
2. Заскалет М. NEC готова к поставке IMS и 3,5G в Россию. [ht tp:// www.w.connect.r.u/article.asp?id=6651](http://www.w.connect.r.u/article.asp?id=6651).
3. Малошумящий усилитель для применения в диапазоне частот 400–2000 МГц // Альманах «Мир электронных компонентов». 2005. № 1.
4. Дмитриев С. В. Предделители частоты от NEC Electronics СВЧ-диапазонов 5...13 ГГц // Альманах «Мир электронных компонентов». 2005. № 2.