

## КОМПОНЕНТЫ

### Монолитные ИС, содержащие биполярные и полевые транзисторы на одной подложке<sup>1</sup>

Маттера

Редакция Electronics

Описаны успехи в разработке линейных ИС, изготовленных по комбинированной технологии и содержащих на одной монолитной подложке как биполярные, так и полевые транзисторы. Рассмотрены оба существующих варианта таких схем — на биполярных и полевых транзисторах с управляющим рп-переходом и на биполярных и МОП-транзисторах. Выпущенные к настоящему времени с использованием этой технологии линейные ИС убедительно доказали свое превосходство в части рабочих характеристик над чисто биполярными схемами, поэтому многие полупроводниковые фирмы ведут активные исследования и разработки приборов самого разнообразного назначения.

В настоящее время происходит «вторжение» ИС, изготовленных по комбинированной технологии полевых и биполярных приборов, в области, традиционно занимаемые биполярными линейными ИС.

Большинство таких ИС, называемых сокращенно би-ПТ<sup>2</sup> и би-МОП<sup>3</sup>, содержит выходные каскады на биполярных транзисторах и входные каскады на полевых транзисторах с согласованными параметрами. Благодаря применению полевых транзисторов во входных каскадах схемы, изготовленные по комбинированной технологии, могут работать при входных токах смещения, в 1000 раз меньших по сравнению с токами, необходимыми для чисто биполярных ИС. Помимо этого такие ИС имеют более чем в 10 раз высокое быстродействие, более широкие полосы частот, меньшие уровни шумов и повышенную стабильность.

При изготовлении би-ПТ ИС (на биполярных и полевых транзисторах с управляющим рп-переходом) для создания входных р-канальных полевых транзисторов используется ионное легирование. Применение ионных пучков высокой энергии позволяет легко получать низколегированные примесные области, которые необходимы для изготовления высококачественных полевых приборов с управляющим рп-переходом. В то же время при изготовлении би-МОП ИС, как пра-

вило, используется только диффузия, однако для формирования затворных областей входных р-канальных МОП-транзисторов в данном технологическом процессе требуется дополнительная стадия фотолитографии.

Характеристики би-ПТ и би-МОП ИС почти одинаковы, за исключением, быть может, небольшого преимущества первых в части шумов и дрейфа напряжения сдвига. С другой стороны, входные МОП-транзисторы могут работать с входными сигналами во всем диапазоне напряжений питания. И наконец, следует отметить, что входы МОП-транзисторов обычно необходимо защищать от электростатического пробоя при помощи защитных диодов.

Большинство выпускаемых по комбинированной технологии линейных ИС представляет собой операционные усилители, однако начинают появляться и другие типы приборов. К концу 1976 г. комбинированную технологию би-ПТ-приборов освоют более полудюжины крупных полупроводниковых компаний. Несомненно, что и би-МОП-технология не стоит на месте — в ближайшем будущем ведущие в этой области фирмы собираются выпустить ряд чрезвычайно интересных новинок.

К настоящему моменту фирма National Semiconductor Corp. (Санта-Клара, шт. Калифорния) уже анонсировала самую крупную и разнообразную серию би-ПТ-приборов, в которую включены операционные и измерительные усилители, компараторы, аналоговые переключатели и АЗЭ. Кроме того, эта компания, которая вскоре начнет выпускать счетверенный би-ПТ операцион-

<sup>1</sup> L. Mattera. Mixed-process devices gain ground, pp. 51—52.

<sup>2</sup> би-ПТ — bi-FET (bipolar-FET).

<sup>3</sup> би-МОП — bi-MOS (bipolar-MOS).

ный усилитель, ведет также исследования в направлении создания би-ПТ-преобразователей данных и приборов для аппаратуры связи.

Управляющий разработками линейных ИС в фирме National Соломэн сообщил, что би-ПТ-технология не только сложнее обычной биполярной технологии, но при этом для реализации эквивалентных схемных функций требуются кристаллы в 5—10 раз большей площади. В результате би-ПТ-приборы всегда, по его мнению, бу-

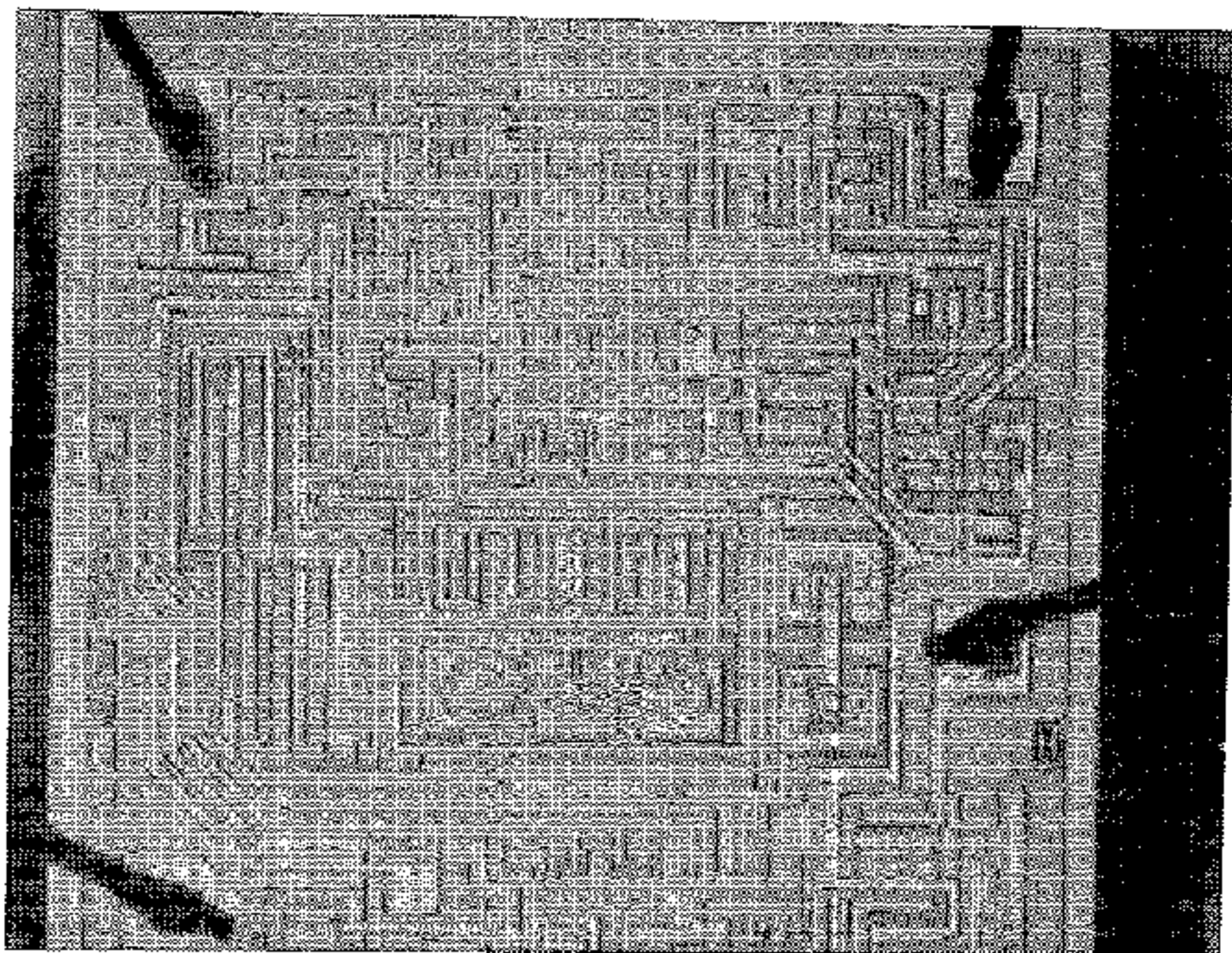


РИС. 1. На фотографии показан би-ПТ операционный усилитель фирмы National. Этот прибор на одном схемном кристалле содержит биполярные и полевые транзисторы с управляющим рп-переходом.

дут примерно на 15% дороже биполярных. Однако он считает, что технология би-ПТ-схем окажет существенное влияние на производство гибридных ИС, позволив в течение нескольких лет заменить большинство гибридных ИС монолитными.

**Недостатки.** Вероятно, главным недостатком современной би-ПТ-технологии является большое входное напряжение сдвига. «Для получения в МОП-структурах таких же напряжений сдвига, как в биполярных, необходимо контролировать ширину каналов полевых транзисторов с точностью примерно в десять раз большей, чем геометрические размеры биполярных транзисторов», — заметил Соломэн. Но даже при более совершенном контроле геометрических размеров полевых транзисторов, который возможен благодаря использованию ионного легирования, удастся добиться согласования характеристик пары полевых транзисторов только в пределах 3 мВ, тогда как для биполярных транзисторов можно получить согласование в пределах всего 0,8 мВ.

В связи с очевидными преимуществами рабочих характеристик би-ПТ-приборов целый ряд других полупроводниковых компаний занимается

совершенствованием технологических процессов изготовления подобных ИС. Две из них — Inter-sil Inc. (Купертино, шт. Калифорния) и Fairchild Camera and Instrument Corp. (Маунтен-Вью, шт. Калифорния) — вскоре объявят о выпуске своих вариантов операционного усилителя фирмы National, а вслед за этими приборами — серии аналоговых переключателей и мультиплекторов. Зачинатель использования технологии ионного легирования в серийном производстве — компания Signetics Corp. (Саннивейл, шт. Калифорния) также планирует выпуск серии би-ПТ-схем, намечая его начало на первый квартал 1977 г.

Далласская фирма Texas Instruments уже выпускает серию би-ПТ операционных усилителей, в состав которой входят счетверенные, сдвоенные и одиночные приборы, а в качестве второго поставщика выпускает операционные усилители фирмы National. Компания выпускает еще и серию би-ПТ аналоговых переключателей и собирается начать производство родственных им приборов, например компараторов. Более того, буквально через несколько недель фирма TI выпустит в продажу модели своих счетверенных би-ПТ-усилителей, которые будут проходить селективный отбор — входные напряжения сдвига этих приборов будут снижены примерно вдвое, до уровня 6—7 мВ.

В самом начале 1977 г. фирма Precision Monolithic Inc. (Санта-Клара, шт. Калифорния) объявит о выпуске усовершенствованного варианта би-ПТ операционного усилителя фирмы National. «Мы разработали новое схемное решение, позволившее обеспечить наилучшее согласование параметров полевых транзисторов с управляющим рп-переходом и избавиться от ряда нежелательных эффектов», — сообщил Дули, вице-президент этой компании по разработкам. В отличие от прибора фирмы National, в котором при повышении температуры на каждые 10°C входной ток смещения возрастает вдвое, в новом приборе это возрастание составляет лишь 1—2%.

В декабре 1976 г. свой первый би-ПТ-прибор, счетверенный операционный усилитель, выпустит и фирма Motorola Semiconductor Products (Финикс, шт. Аризона). Каждый из усилителей этой ИС будет иметь полосу частот 10 МГц. Точная цена ИС еще не определена, но предполагается, что при продаже партиями 100 и более штук она будет стоить около 5 долл. Вслед за этим фирма Motorola собирается начать выпускать в качестве второго поставщика серию операционных усилителей фирмы National Semiconductor.

Особое положение на рынке ИС, изготавливаемых по комбинированной технологии, занимает фирма TI, так как она освоила как би-ПТ-так и би-МОП-технологии. Эти комбинирован-

ные технологии открывают огромные перспективы, как считает инженер по применениям линейных ИС Спенсер. «Мы начали это дело, и сейчас нам даже трудно сказать, в каком конкретном направлении пойдет его дальнейшее развитие», — добавил он. Будущие операционные усилители, изготавливаемые по комбинированной технологии, будут, по его словам, представлять собой не

роятно, наиболее интересные изделия разрабатывает сейчас отделение полупроводников фирмы RCA (Сомервилл, шт. Нью-Джерси).

Уже сейчас эта фирма выпускает (используя комбинированную технологию) три нетиповых прибора, в том числе операционный усилитель на биполярных и К/МОП-структурах, а в 1977 г. собирается завершить разработку ряда заказных ИС для потребительской электронной аппаратуры. Комбинированная технология представляет собой идеальный способ реализации на кристалле линейной ИС таких двух цифровых схем, как делители частоты и управляющая логика, заметил Гувер, сотрудник группы, разрабатывающей биполярные ИС в отделении полупроводников.

Последней новинкой фирмы RCA в этой области является би-МОП операционный усилитель, входная часть которого выполнена на р-МОП-транзисторах, а выходная — на биполярных. Этот прибор, по словам Гувера, превосходит стандартный для отрасли биполярный операционный усилитель 741 по всем характеристикам, не уступая ему даже по входным напряжениям сдвига. Он подчеркнул, что помимо этого новый прибор может работать от однополюсного источника питания без ухудшения подавления синфазного сигнала. Прибор является в то же время и достаточно дешевым — всего 69 цент. за 1 шт. в партиях по 100 шт.

При изготовлении приборов по комбинированной технологии можно также использовать и диэлектрическую изоляцию. Главный сторонник применения метода диэлектрической изоляции — фирма Harris Semiconductor (Мелберн, шт. Флорида) успешно разработала такие монолитные ИС, как широкополосный инвертирующий операционный усилитель, усилитель тока и стабилизированный прерыванием операционный усилитель, содержащие на одном кристалле биполярные и п-МОП-транзисторы.

Как и следовало ожидать, промышленное освоение комбинированной технологии привело к непрерывному появлению все новых и новых модификаций приборов. Например, разработчики фирмы National проводят сейчас исследования би-ПТ ИС с п-канальными транзисторами, имеющих лучшие по сравнению с р-канальными аналогами рабочие характеристики. В частности, приборы с п-канальными полевыми транзисторами обладают в 5—6 раз большим усилением и в четыре раза меньшими шумами, а также повышенными скоростями отслеживания и меньшими сопротивлениями во включенном состоянии.

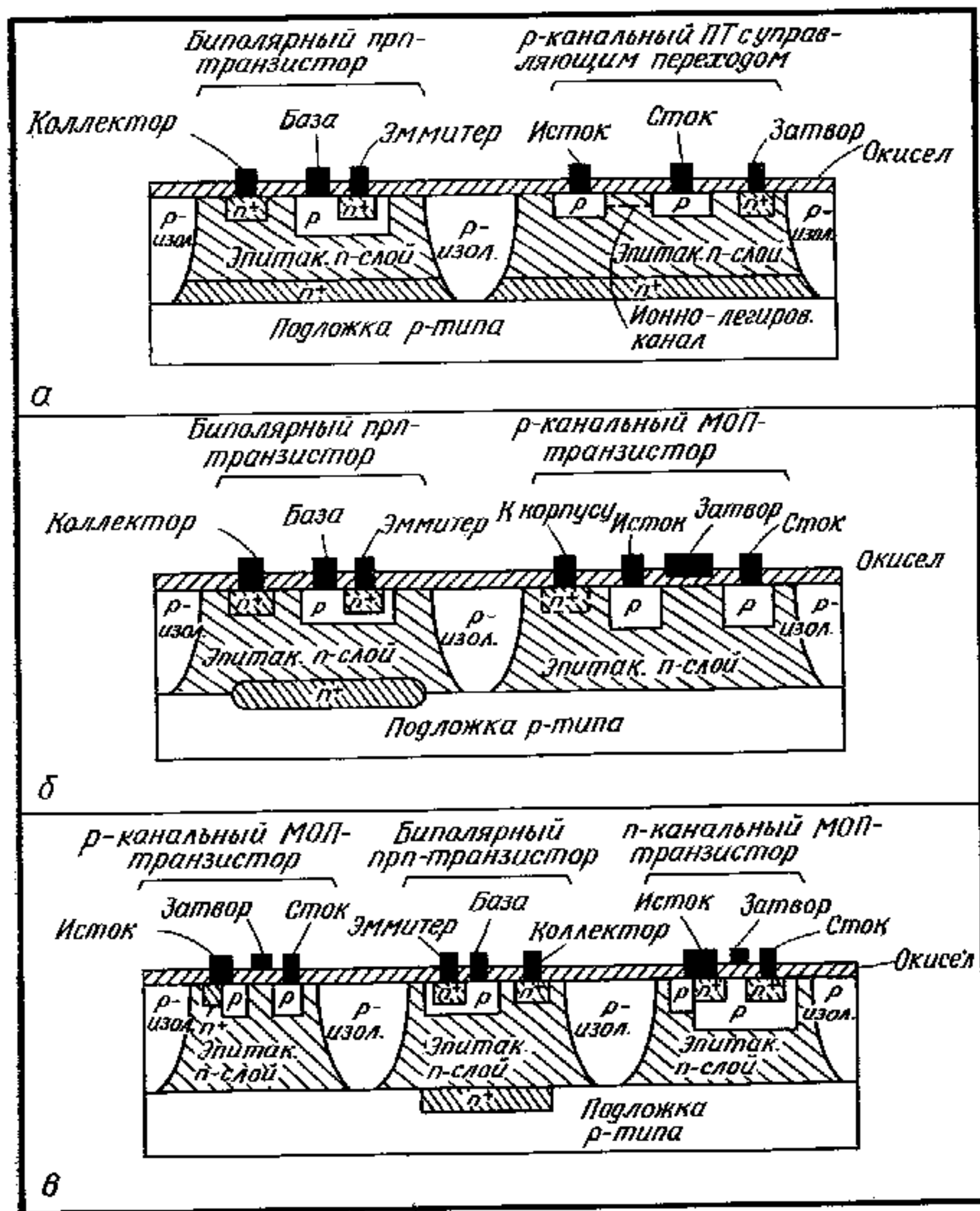


РИС. 2. Изготовленные по комбинированной технологии ИС могут содержать биполярные и полевые транзисторы с рп-переходом (а), биполярные и р-МОП-транзисторы (б) и комбинацию биполярных транзисторов с К/МОП-структурами (в).

просто усилительные схемы, а системные компоненты, например узлы с программируемым усилением или операционные усилители с мультиплексируемыми входами, позволяющие обрабатывать несколько входных сигналов.

Помимо би-МОП-усилителей и аналоговых переключателей фирма Siliconix Inc. (Санта-Клара, шт. Калифорния) разработала еще и би-МОП ИС для двухкристального 3,5-разрядного аналого-цифрового преобразователя. Но, ве-