

# НОВЫЕ СЕМЕЙСТВА БТИЗ НА ПУТИ К СТРАТЕГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

В.Юдинцев



Биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ) – рабочая лошадка современной силовой электроники. Этот ключевой элемент, способный блокировать чрезвычайно высокое напряжение и проводить большой ток с малыми потерями, находит самое широкое применение в оборудовании, работающем при экстремальных нагрузках. Выбор конкретного БТИЗ определяют такие параметры силового блока, как рабочая частота и коэффициент заполнения, от которых зависит эффективность любого конечного электрического (и электронного) оборудования.

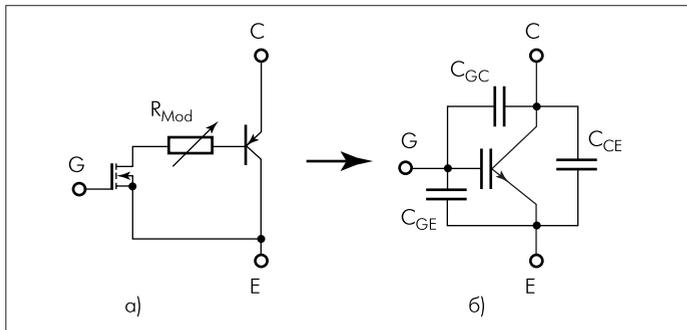
## СТРУКТУРЫ БТИЗ

Как уже отмечалось, \* БТИЗ присущи достоинства как биполярных транзисторов, так и МОП ПТ. Замена в структуре БТИЗ  $n^+$ -области стока МОП ПТ на  $p^+$ -область коллектора приводит к инжекции дырок в высокоомный  $n^-$ -слой канала, появлению в нем избыточных носителей заряда и, тем самым, к увеличению проводимости канала и снижению падения напряжения (напряжения насыщения) БТИЗ в открытом состоянии. Вот почему отличительные особенности БТИЗ – высокое пробивное напряжение транзистора и низкое сопротивление канала в открытом состоянии  $R_{DS(on)}$ , которое в пять–десять раз меньше, чем у МОП ПТ с аналогичными характеристиками и площадью кристалла (например, для 1000-В БТИЗ – в пять раз). Низкое  $R_{DS(on)}$  в сочетании с большим входным импедансом БТИЗ позволяет получить высокое усиление по мощности (обычно более  $10^6$ ). Скорость переключения БТИЗ можно регулировать путем управления временем жизни носителей. В результате

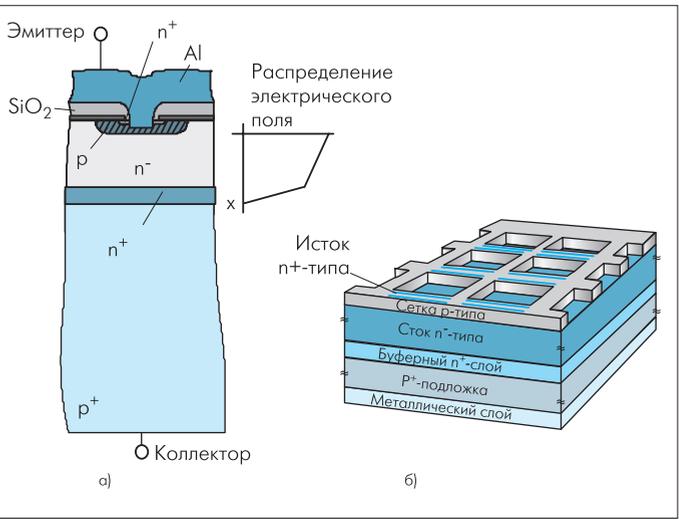
эти приборы весьма перспективны для применения в разнообразных силовых схемах средней и большой мощности.

БТИЗ может быть достаточно точно представлен в виде  $pnp$ -транзистора, базовый ток которого задается МОП-транзистором (рис. 1). Правда, потери на переключение БТИЗ, как и у биполярного транзистора, из-за необходимости рассасывания носителей, накопленных в  $n$ -области базы, много больше, чем у МОП ПТ, и значительно превышают потери на проводимость. Поскольку база не имеет внешнего вывода, сократить время запаздывания можно лишь за счет изменения структуры прибора, но это приводит к повышению напряжения насыщения и, следовательно, к увеличению статических потерь, т.е. улучшение динамических показателей может быть достигнуто лишь за счет ухудшения статических характеристик. Поэтому работы по совершенствованию БТИЗ направлены на поиск оптимальной структуры, обеспечивающей приемлемые значения как динамических, так и статических характеристик.

Сегодня существуют несколько структур БТИЗ: с проколом базы (Punch Through – PT, или эпитаксиальная структура), без прокола базы (Non Punch Through – NPT, или гомогенная структура) и с затвором-канавкой (Trench-gate). В PT-структуре поверх  $p$ -области коллектора БТИЗ выращивается эпитаксиальный буферный слой  $n^+$ -типа (рис. 2а). Его назначение – предотвратить распространение образуемой при выключении транзистора обедненной области до  $p$ -коллектора. Кроме того, наличие этого слоя позволяет уменьшить

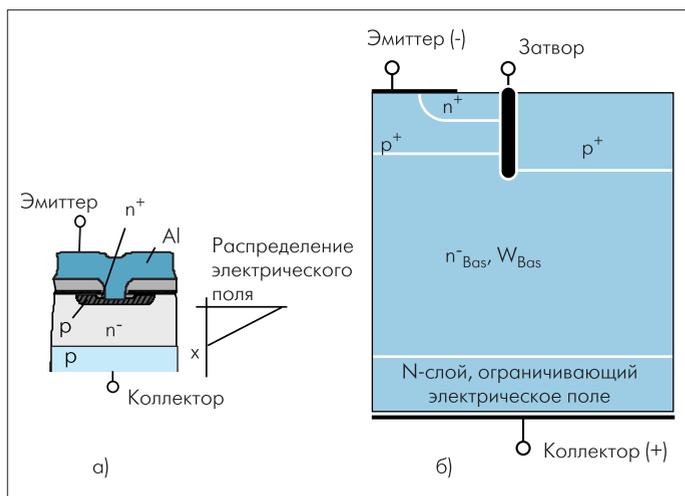


**Рис. 1. Эквивалентная схема БТИЗ. Проводимость резистора в цепи базы транзистора при включении БТИЗ растет, и большая часть тока проходит через цепь базы (а). Для пользователя этот эффект проявляется в виде появления времени задержки выключения и хвоста тока при отключении. Поэтому БТИЗ может быть представлен в виде биполярного транзистора с конденсаторами в соответствующих цепях (б)**



**Рис. 2. Структура стандартного PT БТИЗ (а) и PowerMesh-транзистора (б)**

\*ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №6, с. 16.



**Рис.3. Структура стандартного NPT- (а) и TrenchStop(+FieldStop)-транзистора (б)**

толщину области дрейфа и потери в открытом состоянии. Чтобы "погасить" избыточное время переключения (рассасывания), проводится диффузия платины в подложку или ее облучение, вызывающее разупорядочение кристаллической решетки материала.

Фирма STMicroelectronics предлагает разновидность PT-структуры с верхним сетчатым  $p$ -слоем, формируемым диффузией в эпитаксиальный слой  $n$ -типа. В этот слой затем проводится диффузия  $n^+$ -полос, образующих области эмиттера транзистора (рис.2б). По такой технологии фирма выпускает семейство PowerMESH, в которое входят БТИЗ с чрезвычайно малыми потерями на проводимость (о чем свидетельствует буква S в конце маркировки транзистора серии), предназначенные для устройств, работающих на частотах ниже 1 кГц, а также быстродействующие БТИЗ, рассчитанные на работу на частотах до 120 кГц (с буквой H в маркировке). При изготовлении транзисторов этой серии проводится имплантация ионов платины в область базы для "погашения" времени переключения.

Но меры, используемые для "гашения" времени переключения, приводят к отрицательному температурному коэффициенту напряжения коллектор–эмиттер, что исключает возможность параллельного включения таких транзисторов. Кроме того, введение буферного  $n^+$ -слоя существенно снижает блокирующую способность БТИЗ, определяемую напряжением пробоя  $n^+p$ -перехода. Таким образом, для получения высоких значений как проводимости, так и быстродействия необходима дальнейшая оптимизация структуры БТИЗ.

Эта задача решена за счет отказа от буферного  $n^+$ -слоя и реализации NPT-структуры, в которой толщина  $n^+$ -слоя выбирается так, чтобы электрическое поле его не "прокалывало". При этом  $p$ -коллектор формируется ионной имплантацией (рис.3а). В транзисторах на напряжение 600 В толщина этого слоя должна быть равна 100 мкм, что трудно получить с помощью механической обработки (пока минимальная толщина подложки составляет 175 мкм). В NPT-транзисторах уже не нужно "гасить" избыточные носители, и время их выключения достаточно мало. Температурный коэффициент напряжения коллектор–эмиттер положителен, и при увеличении температуры перехода в результате прохождения большого тока сопротивление транзистора в открытом состоянии будет расти, т.е. происходит процесс саморегулирования. Таким образом, NPT БТИЗ благодаря положительному температурному коэффициенту напряжения можно включать параллельно. Их отличает и высокая стойкость к короткому замыканию, что значительно повышает надеж-

ность и робастность конструкций на их основе. А отказ от выращивания эпитаксиального слоя позволил упростить процесс изготовления БТИЗ и, следовательно, снизить их стоимость.

Разновидность NPT БТИЗ – транзисторы с затвором-канавкой фирмы Infineon Technologies (ранее отделение компании Siemens), выполняемые по технологии TrenchStop(+Fieldstop) (рис.3б). Благодаря такой структуре затвора достигнуто чрезвычайно низкое напряжение насыщения и значительное (на 40%) снижение потерь на проводимость без увеличения потерь на переключение. К тому же, при низком напряжении насыщения не происходит сильного разогрева транзистора, что позволяет ослабить требования к его охлаждению и, следовательно, снизить стоимость системы, в которой он используется. Кроме того, помехозащищенность структур с затвором-канавкой лучше, чем у планарных приборов. Другие достоинства TrenchStop БТИЗ – чрезвычайно высокая прочность и стойкость к коротким замыканиям, улучшенная, по сравнению со стандартными NPT-транзисторами, надежность, низкие вносимые электромагнитные помехи. Все это приводит к улучшению конструкции и уменьшению габаритов системы.

Основное применение БТИЗ – ключи, используемые в разнообразных инверторах и преобразователях. Наиболее широкие области применения БТИЗ:

- системы питания и управления энергией: импульсные источники питания, источники бесперебойного питания, системы управления двигателями, сварочное оборудование, итнверторы телекоммуникационных систем;
- автомобильная электроника: системы зажигания, сервоприводы, устройства зажигания фар;
- системы освещения: регуляторы, высокочастотные балластные сопротивления;
- бытовая техника: стиральные машины, пылесосы, микроволновые печи, устройства обработки пищевых продуктов, обогреватели.

БТИЗ для таких применений должны отвечать следующим требованиям:

- низкие статические и динамические потери (на низких частотах по этому показателю БТИЗ превосходят биполярные и МОП ПТ);
- достаточно широкая область безопасной работы, т.е. область работы транзистора в "жестком" (неблагоприятном) режиме ключа при максимальных значениях тока, напряжения и длительности импульса;
- высокая стойкость к короткому замыканию, определяемая по значению его допустимого времени, составляющего для стандартных транзисторов 1–10 мкс. Обычно задается и напряжение, которое не должно быть превышено при коротком замыкании;
- возможность параллельного включения;
- способность выдерживать высокие значения  $di/dt$  и  $dv/dt$ .

Вместе с тем, поскольку потери мощности силового блока любого оборудования при заданной частоте и коэффициенте заполнения в первую очередь зависят от общей переключаемой энергии и напряжения насыщения, для минимизации мощности, рассеиваемой оборудованием, его разработчик должен правильно выбрать соотношение между этими двумя основными характеристиками, задаваемыми структурой транзистора. Поэтому-то изготовители БТИЗ выпускают многочисленные специализированные семейства, рассчитанные на определенные значения рабочей частоты и напряжения насыщения.

Рассмотрим некоторые конкретные области применения БТИЗ, предъявляемые к этим транзисторам требования и их реализацию.

**БТИЗ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

Важный параметр приборов, предназначенных для импульсных источников питания, – рабочая частота, влияющая на эффективность преобразователя. До последнего времени БТИЗ применялись в основном в ключах импульсных источников питания, работающих на частотах ниже 50 кГц. Но по мере их совершенствования ситуация меняется, и сегодня БТИЗ уже могут успешно конкурировать с МОП ПТ на частотах до 100 кГц. Специалисты фирмы Intersil сравнили эффективность ключей на базе двух типов мощных транзисторов с одинаковыми характеристиками: МОП ПТ (размера 6 – 0,654 см<sup>2</sup>) и БТИЗ (размера 3 – около 0,148 см<sup>2</sup>). Ключи предназначались для работы в мостовом преобразователе на мощность 1700 Вт и частоту 100 кГц с максимальным коэффициентом заполнения 0,45 при напряжении 300 В и 0,346 при 390 В. Время включения было равно 3,46 мкс, максимальная температура перехода – 125°C, ток выключения – 12 А, ток включения – 10 А. Благодаря низкому напряжению насыщения потери мощности БТИЗ в открытом состоянии были намного меньше, чем у МОП ПТ: 6,7 против 20,5 Вт, а поскольку характеристики включения обоих типов транзисторов примерно равны, потери при включении были одинаковы – 5,5 Вт. МОП ПТ "переиграл" БТИЗ в режиме выключения – его потери в этом случае составили 13,6 против 17,5 Вт для БТИЗ. Общие потери мощности БТИЗ были равны 29,7 Вт, МОП ПТ – 39,6 Вт. Таким образом, в мостовой схеме преобразователя победителем оказался БТИЗ, потери мощности которого были на 25% меньше, чем у МОП ПТ. Поскольку его размеры меньше, чем у конкурента, во-первых, упрощается проектирование системы охлаждения (можно применять теплоотводы или вентиляторы малых размеров) и, во-вторых, снижается стоимость в сравнении с МОП ПТ.

Непрерывно растет и рабочая частота БТИЗ. Так, фирма Harris Semiconductor уже с 1999 года поставляет БТИЗ на напряжение 600 В, пригодные для работы в источниках питания, на частоту до 200 кГц. Транзистор типа 12N60A4 работает при напряжении 390 В и токе 12 А на частоте 100 кГц и при токе 9 А на частоте 200 кГц. Его максимальное напряжение насыщения,  $V_{CE(SAT)}$ , равно 2,7 В при температуре перехода 25°C и 2 В при 125°C. При  $V_{GE} = 15$  В максимальный заряд на затворе прибора 12N60A4 равен 96 нКл, емкость затвора в открытом состоянии – 6,4 нФ. Для обеспечения высокого быстродействия необходима схема драйвера, способного быстро заряжать/разряжать эту емкость.

Новое поколение БТИЗ на напряжение 600 и 1200 В (ток 29, 32, 40, 46, 49 и 62 А) для импульсных источников питания на частоту до 200 кГц выпустила в начале 2002 года фирма Advanced Power Technology. Транзисторы с металлизированной поликремниевой структурой затвора выполнены по усовершенствованной запатентованной фирмой технологии Power MOS 7. Сопротивление их канала на один-два порядка меньше, чем у аналогичных приборов с поликремниевым затвором. БТИЗ предназначены для замены 500/600- и 1000/1200-В МОП ПТ в импульсных источниках питания, схемах корректировки коэффициента мощности и других силовых системах. БТИЗ на 600 В изготавливаются на кристаллах двух размеров, транзисторы на 1200 В – на кристалле одного размера. Они могут поставляться с встречно-параллельно включенным импульсным диодом, предназначенным для разблокировки тока при отключении транзистора, нагрузка которого в большинстве случаев имеет индуктивный характер. Всего возможно 10 различных сочетаний корпуса, размера транзистора и наличия или отсутствия диода. Цена БТИЗ при закупке партии в 1 тыс. шт. – от 5,63 до 27, 64 долларов.

Не столь быстры, но весьма впечатляюще по своим параметрам, БТИЗ семейства Warp Speed фирмы International Rectifier, предназначенные для замены 400–600-В МОП ПТ в импульсных источниках питания на частоту 150 кГц. Задача создания БТИЗ, способных заменить МОП ПТ, была решена за счет разработки специализированных для данного применения и, следовательно, достаточно дешевых транзисторов, т.е. за счет правильного выбора соотношения между напряжением насыщения и переключаемой мощностью. Напряжение насыщения БТИЗ семейства Warp Speed на 24% больше, чем у транзисторов предшествующей серии U. Следовательно, они рассчитаны и на меньший постоянный ток. (При составлении ТУ на БТИЗ заказчик указывает этот параметр в самом его начале. В результате он может отдать предпочтение прибору серии U или вообще отказаться от применения БТИЗ.) А основное достоинство транзисторов семейства Warp Speed – малые потери на переключение при работе в схеме импульсного источника питания (общие энергетические потери на 40% ниже, а столь важные потери при выключении – ниже на 50%). И все это при меньшей стоимости – один БТИЗ семейства Warp Speed заменяет несколько параллельно включенных МОП ПТ, позволяя снизить не только стоимость источника питания, но и уменьшить занимаемую им площадь платы. Да и управлять одним БТИЗ с относительно малой входной емкостью легче, чем несколькими МОП ПТ с более высокими значениями емкости затвора.

Эти выводы подтверждает и новое поколение 600-В БТИЗ семейства SMPS II (FGxxxN6S2x) фирмы Fairchild Semiconductor, предназначенных для прямой замены (без изменения тока и схемы управления напряжением затвора) 500/600-В МОП ПТ в источниках питания мощностью от 500 до 4000 Вт. По значению напряжения затвора и напряжения насыщения (8–10 и ~6 В, соответственно) БТИЗ этого семейства сопоставимы с МОП ПТ. При напряжении 390 В и токе 7 А они могут применяться в схемах на частоту 150 кГц, при токе 5 А – в схемах на частоту 200 кГц. Помимо более низких потерь на проводимость, заряд затвора (30 нКл) новых БТИЗ на 80% меньше, чем у заменяемых МОП ПТ. БТИЗ семейства SMPS II могут монтироваться в корпус с фирменным встречно-параллельно включаемым диодом типа Stealth (в конце маркировки этих БТИЗ стоит буква D). Потери на включение транзистора семейства на 30% ниже, чем у БТИЗ предшествующего поколения SMPS I. Кроме того, замена новыми транзисторами 600-В МОП ПТ позволит разработчику аппаратуры снизить ее стоимость на 22%, уменьшить разогрев прибора более чем на 25°C и улучшить эффективность на 1–2%.

БТИЗ семейства SMPS II поставляются в 14 различных сочетаниях корпуса, размера кристалла с транзисторной структурой (все-го возможны четыре варианта различных размеров) и наличия или отсутствия диода. Стоимость при закупке партии в 10 тыс. шт. колеблется в пределах от 1,46 до 9,28 долларов.

В последнее время импульсные источники питания находят все более широкое применение в сварочном оборудовании, позволяя увеличить эффективность систем питания при уменьшении их размеров и веса. Основное требование, предъявляемое к БТИЗ для таких применений, – малые потери на переключение, т.е. малое запаздывание. Поэтому в таких схемах транзисторы применяются со встречно-параллельно включенным накопительным диодом, время восстановления которого должно быть как можно меньше. В импульсных источниках питания сварочного оборудования может применяться второй каскад инвертора для генерации импульсов тока, необходимых для сварки алюминия, и дополни-

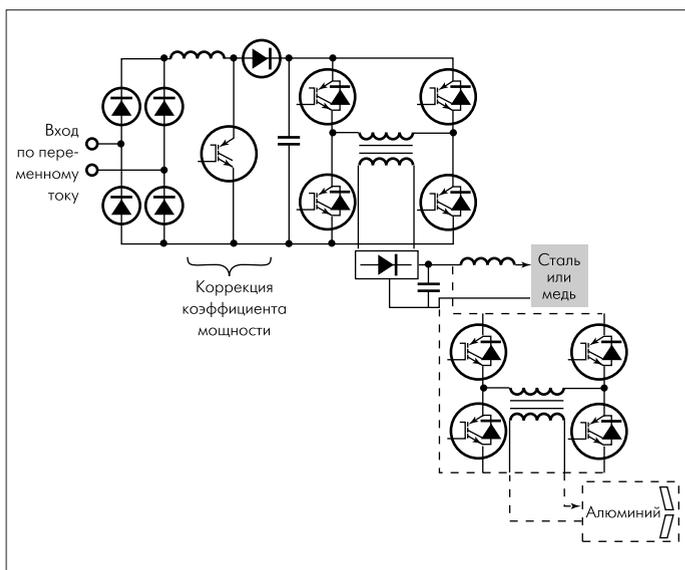


Рис.4. Импульсный источник питания для сварочного оборудования

тельная комбинация БТИЗ/накопительный диод для коррекции коэффициента мощности (рис.4).

Поскольку рабочая частота ключа, а также уровни напряжения и токов сварочного оборудования достаточно велики, корпус транзистора играет важную роль при выборе того или иного прибора. Тип корпуса определяет не только тепловые характеристики устройства, влияя на допустимую для кристалла данного размера рассеиваемую мощность. Его паразитные параметры могут привести к увеличению потерь на переключение. Вместе с тем, тип корпуса, конечно, влияет и на габариты источника питания, на его надежность, простоту изготовления и стоимость. Сейчас все большее число производителей силовых полупроводниковых приборов, включая International Rectifier, отдают предпочтение модульным, многочиповым конструкциям. По их мнению, такие конструкции позволяют не только улучшать рабочие характеристики источника питания. Они могут стать функциональными блоками построения систем с более высоким уровнем интеграции. Их относительно высокая стоимость – 30–150 долл. – оправдана сокращением издержек производства сварочного оборудования, в котором они используются.

При проектировании модульных блоков ключей, в которых монтируются БТИЗ с одним-двумя диодами, специалисты фирмы International Rectifier особое внимание уделяют оптимизации топологии, с тем чтобы уменьшить паразитные параметры модуля. В будущем фирма планирует интегрировать в модуль ключа и некоторые функции управления.

Заказные модули для систем питания сварочного оборудования поставляет и фирма Semikron. В ее модулях помимо тепловой защиты предусмотрена также защита от выбросов тока и напряжения. Разработанный специалистами фирмы корпус SKIM с изолирующей подложкой из окиси алюминия или нитрида алюминия позволяет объединять до шести БТИЗ на напряжение 600, 1200 и 1700 В. Мощность его составляет 10–100 кВт.

Заслуживает внимания и модуль MII 400-12E4 фирмы Ixys с двумя NPT БТИЗ третьего поколения и накопительными диодами, рассчитанный на ток 420 А при температуре коллекторного перехода 25°C и напряжении насыщения транзисторов составляет 2,2 В (на 20% меньше, чем у БТИЗ предыдущего поколения), а потери энергии при выключении – 30 мДж. Накопительные диоды с высокими характеристиками, выполненные по техно-

логии HiPerFRED, обеспечивают быстрое плавное восстановление тока, низкие прямое напряжение и ток утечки. Помимо источников питания сварочного оборудования, модуль предназначен и для мощных инверторов, используемых в электроподъемниках и электромобилях, для приводов двигателей, а также для систем бесперебойного питания. Размер модуля 62x110 мм.

### ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ БТИЗ

БТИЗ – ключевой компонент систем привода двигателей с регулируемой скоростью (ПРС). По точности управления ПРС сопоставим с таким прецизионным оборудованием, как робототехнические системы и рентгеновские установки. С середины 90-х годов ПРС все шире реализуются на базе БТИЗ, поскольку у них скорость нарастания передних и задних фронтов импульса в пять-десять раз выше, чем у МОП ПТ. А это, в свою очередь, обеспечивает эффективную и точную регулировку скорости двигателя. БТИЗ для таких применений должны быть высоконадежными, чрезвычайно стойкими к неблагоприятным условиям эксплуатации и к коротким замыканиям, вносить малые электромагнитные помехи.

Высоковольтные БТИЗ для приводов двигателей выпускают все крупные производители силовых полупроводниковых приборов. На ежегодной выставке PCIM Europe 2002 фирма Infineon Technologies сообщила о новом поколении TrenchStop БТИЗ типа 1KWxT120/IGWxT120 на напряжение 1200 В. Напряжение насыщения транзисторов равно 1,7 В, что на 40% меньше, чем у обычных NPT-транзисторов. Приборы оптимизированы для работы на частоте 10 кГц (в режиме интенсивных переключений) и 30 кГц (в режиме резонансных переключений) и предназначены для приводов промышленных двигателей всех видов, преобразователей частоты, контроллеров роботов и систем бесперебойного питания. В новое семейство 1200-В TrenchStop БТИЗ входят пять смонтированных в корпус TO-247 транзисторов на ток от 8 до 55 А ( $T_{кол} = 100^\circ\text{C}$ ) или от 16 до 100 А ( $T_{кол} = 25^\circ\text{C}$ ). БТИЗ могут поставляться и в "сдвоенной упаковке" совместно с ограничительным диодом. Транзисторы на 1200 В и 15 А в одинарном корпусе стоят 2,5 долл. при закупке партии в 1 тыс. шт., в сдвоенной упаковке – не более 3 долларов.

В 2003 году фирма намерена выпустить 600-В вариант TrenchStop БТИЗ на ток до 20 А и частоту до 100 кГц.

Активно расширяет серию высоковольтных БТИЗ крупный поставщик силовых полупроводниковых приборов – фирма Powerex. Ее транзисторы покрывают диапазон напряжений от 250 до 4500 В. Весной 2002 года фирма освоила крупносерийное производство двух модулей с двумя БТИЗ на 600 А, 1700 В (СМ600DY-34Н) и на 800 А, 1700 В (СВ800DZ-34Н), а также начала опытные поставки модулей с одним транзистором на 1600 А, 1700 В (СМ1600НС-34Н) и на 1800 А, 1700 В (СМ1800НС-34Н). Кроме того, в 2001 году фирма расширила семейство БТИЗ на напряжение 1700 В, добавив в него приборы серии КА на ток от 50 до 400 А, выполненные по технологии "легкого" прокола (Light Punch-Through – LPT), позволившей снизить ток утечки и вероятность теплового пробоя. Тем самым обеспечена возможность параллельного включения транзисторов без согласования их характеристик. Один из модулей серии на 1700 В и 50 А содержит шесть транзисторов. БТИЗ монтируются в созданный еще в 1996 году стратегическим партнером фирмы – компанией Mitsubishi – U-корпус с низкими значениями паразитной индуктивности, теплового сопротивления и паразитной емкости.

LPT-технология была использована и в новых БТИЗ с оптимизированными параметрами семейства Mega Power Dual, о создании



которых Powerex объявила в середине 2002 года. Помимо LPT-технологии при разработке транзисторов были использованы еще две инновации. Во-первых, для оптимизации соотношения между напряжением насыщения и напряжением блокировки, а также уменьшения общих потерь мощности применена структура с накоплением носителей заряда и затвором-канавкой (Carrier-Stored Trench Gate Bipolar Transistor – CSTBT). И, во-вторых, в конструкции транзистора ячейки объединены со штырьковыми выводами, что повысило стойкость к короткому замыканию прибора за счет управления уровнем тока насыщения и уменьшения емкости затвора. Всеми этими достоинствами обладают транзисторы на напряжение 1200 В и ток 900–1400 А, занимающие на плате на 40% меньшую площадь, чем два обычных прибора на ток 1000 А. Транзисторы серии Mega Power Dual предназначены для систем приводов двигателей и источников бесперебойного питания. Образцы транзисторов новой серии поставляются по цене от 500 долл. (для приборов типа CM900DU-24NF) и 760 долл. (транзистор типа CM1400DU-24NF) при закупке партии в 10 шт.

Два БТИЗ типа IXLF19N220A и IXLF19N250A со значениями блокирующего напряжения 2200 и 2500 В, соответственно, выпустила фирма Ixys, ведущий поставщик мощных полупроводниковых приборов для инверторов и систем управления двигателями. Оба транзистора рассчитаны на ток 19 А при  $T_{\text{кол}} = 90^\circ\text{C}$ . Их максимальное напряжение насыщения равно 3,9 В, а время спада тока – 50 нс при  $T_{\text{кол}} = 125^\circ\text{C}$ . Монтируются они в новый, разработанный на фирме корпус типа ISOPLUS\*. Предназначены БТИЗ для схем разряда высоковольтных конденсаторов, используемых в дефибрилляторах, лазерных импульсных генераторах и т.п. При закупке партии в 1 тыс. шт. стоимость IXLF19N220A равна 22,5 долл., IXLF19N250A – 25 долларов.

### БТИЗ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Еще одна область широкого применения БТИЗ – электронные системы автомобиля, особенно в связи с переходом на новый 42-В стандарт автомобильной сети, необходимый для решения проблем, связанных с ростом мощности, потребляемой электронными устройствами машины: при сохранении настоящей 14-В сети мощность может превысить 3 кВт. Одна из последних разработок в этой области – БТИЗ самых малых на сегодняшний день размеров семейства EcoSPARK фирмы Fairchild Semiconductor для схем возбуждения катушек зажигания. Транзистор семейства занимает на 40% меньшую площадь кристалла в сравнении с аналогичными приборами, благодаря чему он может монтироваться в стандартный корпус типа D-ПАК (до сих пор БТИЗ для схем возбуждения катушек зажигания поставлялись в корпусе D<sup>2</sup>-ПАК). Это, в свою очередь, приводит к экономии площади печатной платы на 60%. Новые БТИЗ пригодны для реализации продвигаемой сегодня концепции монтажа катушки зажигания на выводе, или "катушки-карандаша" (coil-on-plug, или pencil coil), позволяющей отказаться от высоковольтной проводки и устанавливать отдельную катушку для каждого цилиндра.

БТИЗ поставляются с включенными в цепь коллектор–затвор диодами, обеспечивающими автоматическую фиксацию уровня индуктивного переключения (self-clamped inductive switching – SCIS) и тем самым ограничивающими уровень нагрузки катушки зажигания. Предельная энергия лавинного пробоя коллектора БТИЗ типа ISL9Vxxxxx3S составляет 200–500 мДж. Напряжение насыщения при 175°C и токе 10 А для некоторых транзисторов семейства

может быть не больше 1,9 В, напряжение блокировки приборов серии – 360 или 400 В. Цена их – около 1 доллара.

Широко представлена на рынке электронных компонентов для автомобильных систем фирма STMicroelectronics, активно проводящая политику создания специализированных БТИЗ. Фирма предлагает три серии этих приборов: транзисторы с высоким быстродействием (на частоту до 120 кГц), со сверхнизким напряжением насыщения (до 0,95 В при 25°C и токе 3 А) и транзисторы с защитой от выбросов напряжения, монтируемые в корпус совместно с ограничительными диодами. Интерес представляет выпущенный в 2000 году БТИЗ STGD3NB60SD с малыми значениями напряжения насыщения и заряда затвора. Он монтируется в корпус D-ПАК совместно со встречно-параллельно включенным в цепь коллектора диодом и предназначен для управления зажиганием высокоэффективных интенсивных газоразрядных ламп, применяемых в автомобилях. БТИЗ выполнен по запатентованной PowerMesh-технологии фирмы. Его напряжение пробоя – 600 В, напряжение насыщения при токе 3 А не превышает 1,5 В (типичное значение 1,1 В), заряд затвора – 18 нКл.

Рассматривая мощные дискретные транзисторы, нельзя не упомянуть приборы на карбиде кремния, напряжение лавинного пробоя которых на порядок выше, чем у сопоставимых с ними по размерам кремниевых транзисторов. Эти приборы привлекают все большее внимание разработчиков силовых систем, особенно систем военного назначения. Но это уже другая история.

EDN, Apr.27, 2000.

Electronic Design, March 19, 2001.

Материалы фирм International Rectifier, Infineon Technologies, Fairchild Semiconductor, Ixys, Intersil, Semikron.

\*ЭЛЕКТРОНИКА:НТБ, 2002, №6, с.16.

**Сегнетоэлектрическое ОЗУ  
Удачливый конкурент флэш-памяти?**

Энергонезависимая память, данные которой могут корректироваться или изменяться в процессе работы системы, широко востребована. Этим свойством обладает флэш-память. Однако во многих случаях ограничения систем по площади и потребляемой мощности не позволяют применять такой тип памяти. Характерный пример – микроконтроллерные системы, число входов/выходов которых обычно ограничено. А зачастую у таких систем нет внешних шин для параллельного включения памяти и они обходятся встроенной памятью программ. И здесь на передний план выходят ЭСРПЗУ, особенно ЗУ с интерфейсами последовательных I<sup>2</sup>C- или SPI-шин, поставляемые, как правило, в малогабаритных 8-выводных корпусах. А поскольку для I<sup>2</sup>C-интерфейса требуются два канала ввода/вывода, а для SPI-интерфейса три (против 20 и более при подключении параллельной памяти), габариты системы существенно уменьшаются. Таким образом, применение ЭСРПЗУ решает проблему экономии площади. Остается проблема потребляемой мощности.

Этот параметр ЭСРПЗУ не очень велик, но при батарейном питании каждый микроватт на счету. И вот здесь важную роль начинает играть новое энергонезависимое сегнетоэлектрическое ОЗУ (СэОЗУ) фирмы Ramtron International. Напряжение питания 4-Кбит СэОЗУ типа FM24CL04 составляет 2,7–3,65 В, а потребляемый в активном режиме ток – всего 75 мкА (в режиме ожидания – 1 мкА), т.е. потребляемая им мощность в 13 раз меньше, чем у стандартной репрограммируемой памяти. СэОЗУ имеет организацию 512x8 бит. Время записи данных – менее 0,5 мс против примерно 0,5 с для ЭСРПЗУ. Процесс записи осуществляется на частоте передачи шины. Максимальное ее значение – 1 МГц (для записи данных в ЭСРПЗУ требуется выдержка в 10 мс). Рабочий диапазон температур составляет 40...+85°C.

Долговечность новой памяти намного превышает 10<sup>6</sup> циклов записи обычных ЭСРПЗУ, и ее можно считать практически бесконечной. Хранить данные FM24CL04 способно 10 лет. Таким образом, FM24CL04 – идеальная энергонезависимая память для любой энергосберегающей системы, позволяющая продлевать срок службы батарей и улучшать производительность оборудования.

Образцы новой сегнетоэлектрической памяти поставляются с октября 2002 года в восьмивыводных корпусах SOIP-типа по цене 0,46 долл. при закупке партии в 10 тыс.шт. Новая схема разъемосовместима с ЭСРПЗУ промышленного стандарта и может непосредственно его замещать в оборудовании. Перспективные области применения FM24CL04 – струйные принтеры, аппаратура с батарейным питанием,

например расходомеры, системы сбора данных, хранения сведений о конфигурации системы.

Фирма Ramtron International, основной мировой разработчик и производитель СэОЗУ, активно продвигает свою технологию на рынок. С начала 2002 года по октябрь месяц фирма отгрузила заказчикам более 14 млн. таких микросхем памяти. СэОЗУ емкостью от 4К до 256 Кбит нашли применение в автомобильных навигационных и аудиосистемах, цифровых счетчиках электроэнергии, многофункциональных принтерах, контроллерах дисковых накопителей. В августе фирма получила заказ (суммой в 65 млн.долл.) на поставку компании Ampy Automation 27 млн. микросхем СэОЗУ, предназначенных для цифровых счетчиков электроэнергии, создаваемых в рамках крупнейшей мировой программы. Фирма Fujitsu по лицензии Ramtron выпускает СэОЗУ для нового поколения смарт-карт GO CARD фирмы Cubic Corporation. Емкость сегнетоэлектрической памяти одной карты – 32 Кбайт. Fujitsu также планирует участвовать в совместной с компанией STMicroelectronics программе разработки бесконтактных смарт-карт на базе СэОЗУ. В октябре 2002 года другой лицензиат Ramtron – фирма Samsung объявила о намерении приступить к продажам 4-Мбит СэОЗУ.

Большая надежды фирмы Ramtron на завоевание рынка энергонезависимой памяти связаны с успешным освоением выпуска 64-Мбит СэОЗУ крупнейшим производителем электронной техники – Texas Instruments. В разработке и внедрении этих микросхем в производство по лицензионному соглашению принимала участие и группа специалистов Ramtron. Микросхемы изготовлены по обычной 0,13-мкм КМОП-технологии с медными соединительными линиями и с двумя дополнительными операциями маскирования. Рабочее напряжение памяти – 1,5 В. Площадь ячейки памяти – всего 0,54 мкм<sup>2</sup>, что позволяет разработчикам утверждать о создании СэОЗУ с самой маленькой на сегодняшний день ячейкой памяти. Площадь ячейки при переходе к 0,09-мкм технологии, по которой Texas Instruments намерена изготавливать первые встраиваемые СэОЗУ, уменьшится до 0,35 мкм<sup>2</sup>. По мнению специалистов Texas Instruments, издержки производства и потребляемая мощность встраиваемой сегнетоэлектрической памяти меньше, чем у других типов встраиваемой памяти – флэш или ДОЗУ. Привлекают разработчиков компонентов беспроводных систем связи фирмы и такие параметры СэОЗУ, как малое время доступа, низкая рассеиваемая мощность, малые габариты и приемлемая стоимость производства. Кроме того, СэОЗУ смогут найти применение и в бытовой электронике, и программируемых сигнальных процессорах.

[www.chipcenter.com/memory/prod041.html](http://www.chipcenter.com/memory/prod041.html)

Пресс-релиз фирмы Ramtron International

**Твердотельные реле фирмы Fairchild Semiconductor  
Оптические соединения наряду с гибкой выходной структурой**

В список 100 лучших изделий 2002 года, опубликованный журналом EDN, входят твердотельные оптроны-реле фирмы Fairchild Semiconductor. Предназначенные для телекоммуникационных систем, все четыре модели оптронов-реле (HSR312, HSR412, HSR312L и HSR412L) выполнены на базе ИК-светодиодов из арсенида галлия-алюминия, возбуждающих фотодетектор, который в свою очередь управляет парой МОП-транзисторов. Реле монтируются в корпуса с двухрядным расположением шести выводов. Функционально все модели идентичны. Отличаются они рабочим напряжением – 250 В (HSR312 и HSR312L) и 400 В (HSR412 и HSR412L). Кроме того, в HSR312L и HSR412L предусмотрена активная схема ограничения тока, обеспечивающая защиту от выбросов в переходном процессе. Среднеквадратичное значение напряжения изоляции корпуса составляет 4000 В.

Новые оптроны-реле предназначены для замены рычажных выключателей, универсальных переключателей, механических реле и т.п. Цена при закупке партии в 1000 шт. – 0,85 долларов.

EDN, Dec.12, 2002, p.50.

Материалы фирмы Fairchild Semiconductor



**Все выше, выше и выше**

### **Транзисторы и ИС с рекордным быстродействием**

Как отметил главный технолог отделения технологии фирмы IBM Бернард Мейерсон, сегодня все компании, занятые разработкой и производством полупроводниковых приборов, стремятся добавить к своему арсеналу SiGe-технологии. Это важнейшая технология для формирования системы-на-кристалле, объединяющей стандартные логические устройства и высокочастотные коммуникационные схемы. По оценкам исследовательской фирмы IC Insights, продажи SiGe-устройств в 2001 году составили 320 млн. долл., а к 2006-му они достигнут почти 3 млрд. долл. И при этом на долю изделий IBM приходится более 80% этих продаж. Пока остальные компании осваивают выпуск первых вариантов SiGe-приборов, IBM разрабатывает их пятое поколение.

И это пятое поколение вновь бьет рекорды по быстродействию – новый SiGe HBT по частоте отсечки, равной 350 ГГц, на 65% превосходит ранее созданные на этом материале транзисторы. По мнению разработчиков, доложивших результаты своей работы на ежегодной Международной конференции по электронным приборам (IEDM), проходившей 8–11 декабря 2002 года в Сан-Франциско, новый транзистор позволит создать к 2005 году микросхемы для систем связи, работающие на частотах выше 150 ГГц. К тому же, предполагается, что появление таких микросхем позволит снизить потребляемую мощность и стоимость коммуникационных систем.

Изоляцию транзисторной структуры на кристалле обеспечивают две канавки – глубокая и мелкая. Область коллекто-

ра образуют скрытый субколлекторный слой и селективно имплантированный коллекторный пьедестал. Базу формируют легированный бором (концентрация бора  $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ) слой кремния-германия (25% германия), выращиваемый методом химического осаждения из паровой фазы при сверхвысоком вакууме, и приподнятый примесный слой, самосовмещенный с оправкой, задающей положение эмиттера. Оправка затем стравливается, и методами осаждения и отжига формируется легированный фосфором поликремниевый эмиттер. Транзисторная структура изготовлена на существующих производственных линиях предприятия фирмы в Бурлингтоне, благодаря чему издержки производства невелики.

В другом докладе, представленном на конференции IEDM, исследователи компании NTT сообщили о создании мультиплексора/демультиплексора для волоконно-оптических систем связи на основе InAlAs/InGaAs/InP-транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT). Максимальная частота переключения транзисторов с длиной затвора 0,1 мкм составляет 350 ГГц, что достаточно для того, чтобы "селекторная" логика ядра микросхемы поддерживала скорость передачи оптической линии связи 100 Гбит/с. До сих пор микросхемы мультиплексоров/демультиплексоров поддерживали скорость передачи 80 Гбит/с.

И еще об одном рекорде на конференции доложил студент-практикант фирмы Infineon Technologies. Это созданная в Исследовательском центре фирмы КМОП-схема, поддерживающая скорость передачи 40 Гбит/с.

**Semiconductor International, Dec.1, 2002.**