

ДИСКРЕТНЫЕ СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

РАСШИРЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ

В.Шурыгина

Бурно развивающаяся информационная технология нуждается во все более надежных, эффективных и дешевых силовых электронных устройствах. Перед современной технологией мощных дискретных полупроводниковых приборов стоят задачи снижения сопротивления в открытом состоянии ($R_{DS(on)}$), уменьшения размеров; введения дополнительных средств защиты от воздействия высоких напряжений и температур, электростатического разряда и т.п. И хотя доля силовых полупроводниковых приборов в общем объеме продаж полупроводниковых приборов составляет лишь ~10%, степень освоения новых перспективных технологий велика. Это глубокое травление для формирования структур мощных транзисторов на основе суперпереходов, использование подложек кремния на изоляторе (КНИ), а также широкозонных материалов (карбида кремния, нитрида галлия) или сверхтонких кремниевых подложек для создания мощных приборов с требуемыми параметрами.

ки (приборы на напряжение менее 300 В), промышленных систем и энергосистем (приборы на напряжение свыше 300 В) (рис.1).

Основные параметры силовых полупроводниковых приборов – напряжение пробоя, сопротивление в открытом состоянии, потери на переключение и проводимости, значения времени нарастания и спада сигнала при переключении и область безопасной работы. При этом немаловажную роль играет соотношение этих характеристик. Так, с ростом напряжения пробоя за счет увеличения толщины и снижения уровня легирования дрейфовой области транзистора возрастает и $R_{DS(on)}$. А формирование транзистора на основе большого числа параллельно соединенных ячеек с целью уменьшения этого сопротивления приводит к увеличению емкости прибора и, следовательно, к снижению его быстродействия.

РЫНОК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Рост рынка силовых полупроводниковых компонентов стимулируют такие факторы, как удорожание энергии наряду с ростом энергозатрат, а также увеличение быстродействия электронных систем, более широкое применение мобильных устройств, в которых необходимо контролировать мощность батарей питания. В эксплуатацию вводится все больше оборудования, для которого необходимы силовые приборы (все больше развивающихся стран осваивают цифровую технику и, соответственно, отгрузки источников питания быстро растут). В результате, несмотря на тенденцию к интеграции все больше транзисторных функций в микросхемы, применение дискретных полупроводниковых приборов в разнообразном электронном оборудовании непрерывно растет.

Согласно оценкам компании Yole Development (Франция), специализирующейся в области маркетинговых исследований, продажи силовых полупроводниковых устройств за период 2005–2008 годы увеличатся с 22,6 млрд. до 29,5 млрд. долл. (среднегодовые темпы прироста 30,5%). При этом доля дискретных компонентов в этом секторе рынка не превысит 50%. На первый взгляд эти данные могут показаться не столь значительными, поскольку доходы от продажи дискретных компонентов в 2005 году составили 15,7 млрд. долл. (~7% от общего объема рынка полупроводниковых приборов,

Мощные полупроводниковые приборы – сердце силовых электронных устройств. Развитие их технологии за более чем 50 лет привело к появлению практически всей современной электронной техники. Мощный германиевый биполярный транзистор (Bipolar Junction Transistor, BJT), разработанный в 1954 году компанией Motorola, лег в основу первых транзисторных радиоприемников. Выпущенный International Rectifier в 1979 году МОП полевой транзистор (МОП ПТ) и созданный в 1982 году специалистами фирмы General Electric биполярный транзистор с изолированным затвором (БИТЗ, или Insulated-Gate Bipolar Transistor, IGBT) стали важнейшими функциональными элементами современных систем преобразования энергии. Назначение современных силовых дискретных полупроводниковых приборов – переключение и экстракция энергии. Области применения самые разнообразные – от домашней бытовой техники до автомобильной электрони-

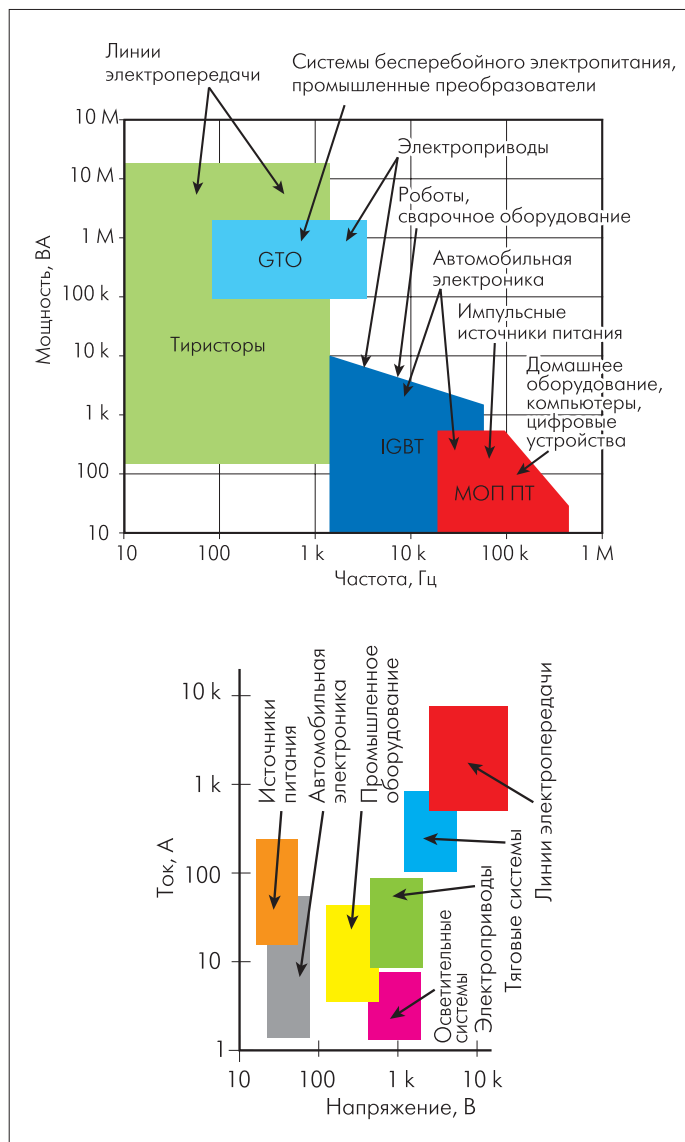


Рис. 1. Области применения силовых полупроводниковых приборов

равного 228 млрд. долл.). Но состояние сектора дискретных приборов служит показателем тенденций развития силовых устройств. Примерно две трети этого сектора как правило предназначено для силовых систем. По данным компании IC Insights, доходы от продаж мощных транзисторов в 2005 году составили 7,7 млрд. долл., или ~50% рынка дискретных полупроводниковых приборов. Доходы от продажи диодов и выпрямителей достигли 2,2 млрд. и 2,3 млрд. долл., соответственно (10 и 20% рынка), тиристоров – 729 млн. долл. (менее 10% рынка). В 2010 году, согласно прогнозам IC Insights, продажи мощных транзисторов составят 10,5 млрд. долл., или 54% общего объема продаж дискретных приборов. При этом продажи мощных транзисторов на напряжение до 200 В в 2010 году составят 4,3 млрд. долл. (прирост 6% по сравнению с 2005 годом), МОП ПТ на напряжения свыше 200 В – 1,7 млрд. долл. (прирост 9%). Но наиболее высокие темпы прироста ожидаются для IGBT. Уже в 2006 году продажи этих транзисторов должны были увеличиться на 14% по отношению к 2005 году и составить 1,6 млрд. долл.

Следует отметить, что для производства силовых полупроводниковых приборов в основном используется вторичное технологическое оборудование "старых" производителей микросхем. При этом, как правило, мощные компоненты изготавливаются на пластинах диаметром 100 и 150 мм. Доля пластин для таких компонентов составляет 7,1% от общего объема пластин, обрабатываемых при производстве полупроводниковых приборов.

Производство силовых приборов географически равномерно распределено между США, европейскими и азиатскими странами. Лидер на рынке силовых полупроводниковых приборов, по данным компании IMS Research, – фирма Infineon Technologies. Ее доходы от их продаж в 2005 году составили 1,06 млрд. долл., или ~9% этого сектора рынка.

Что же сегодня представлено на рынке силовых полупроводниковых приборов?

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИЛОВЫХ ПРИБОРОВ

Диоды. В "идеальном" мощном диоде при прямом смещении напряжение между его выводами должно быть равно нулю, независимо от протекающего тока. При обратном смещении нулю должен быть равен ток, независимо от подаваемого напряжения. Переход из открытого состояния в закрытое должен происходить мгновенно. Поскольку каждое состояние диктует противоположные требования, структуру диода либо оптимизируют для выполнения одного из них, либо предусматривают конечное время переключения из одного состояния в другое. Но это приводит к снижению быстродействия.

На рынке представлены различные типы мощных диодов: диоды Шоттки, сильноточные, высоковольтные, мощные р-и-п-диоды, мощные диодные ключи, мощные выпрямители и др. Диоды Шоттки отличаются высокой скоростью переключения и хорошими характеристиками в открытом состоянии. Однако ток утечки их в открытом состоянии высок. Скорость переключения р-и-п-диодов изменяется в достаточно широком диапазоне, но с увеличением быстродействия ухудшаются характеристики в открытом состоянии.

Разнообразны и типы корпусов мощных диодов: диодного типа (DO), малогабаритные, диодного типа (SOD), транзисторного типа (TO), малогабаритные TO (SOT), так называемые корпуса дискретных компонентов (DPAK), в том числе и для поверхностного монтажа.

Важный параметр, определяющий требования к силовым приборам, – так называемая функция коррекции коэффициента мощности (Power Factor Correction, PFC), которая обеспечивает защиту сети питания от ВЧ-искажений. Это особенно важно для импульсных источников питания. К 2005 году ~30% мировых потребителей импульсных источников питания для компьютерной техники в Европе, Китае, Японии

и некоторых штатах Индии требовали применения PFC. По мнению специалистов компании International Rectifier, – ведущего мирового производителя силовых электронных компонентов – реализация PFC во входном каскаде позволяет создавать источники питания, способные работать в широком диапазоне входных напряжений (80–264 В). Более того, такие источники питания смогут поддерживать без искажений значения напряжения шин на уровне 380 или 400 В. В результате удастся снизить требования к значению напряжения МОП ПТ или диодов (можно заменить МОП ПТ на 800 В транзистором на 500 или 600 В). А следовательно, улучшится такой показатель, как "рабочие характеристики–стоимость". В импульсных источниках с PFC используется повышающий преобразователь, содержащий мощный ключ на базе МОП ПТ или IGBT и диод. Диоды для таких преобразователей в зависимости от характеристик обратного восстановления, от которых зависят потери при переключении и вносимые электромагнитные помехи, обеспечивают плавную (достаточно медленную) или "бойкую" (резкую) коммутацию. Желательно, чтобы коммутация диода была достаточно плавной, а время обратного восстановления t_{rr} мало. Плавная коммутация зависит от отношения времени t_b , требуемого для установления напряжения обратного смещения диода, к времени распространения области обеднения в дрейфовую область t_a . Задача обеспечения приемлемого отношения t_b/t_a успешно решается разработчиками мощных компонентов. Так, в марте 2007 года компания Fairchild Semiconductor выпустила выпрямители типа FFP08S60S и FFPF08S60S серии Stealth II с отличной плавной коммутацией ($t_b/t_a > 1,3$) при весьма малом времени обратного восстановления ($t_{rr} < 25$ нс) при напряжении пробоя 600 В. Диоды выполнены на эпитаксиальной ионно-имплантированной структуре и пассивированы нитридом кремния. Применение новых выпрямителей позволяет снизить электромагнитные помехи PFC-источников питания постоянного тока, а также сократить потери переключения используемых в них МОП ПТ.

Компания Fairchild также выпустила диод FFPF08H60S серии Hyperfast II с временем обратного восстановления $t_{rr} < 35$ нс при напряжении пробоя 600 В и падением прямого напряжения $V_f < 2,1$ В. Диод позволяет снизить потери проводимости PFC-источников питания прерываемого тока.

Новые диоды предназначены в первую очередь для источников питания телевизоров с ЖК-экраном. Поставляются в бессвинцовых корпусах, отвечающих требованиям стандарта J-STD-020 и директиве RoHS Европейского Союза.

Диоды Шоттки на напряжение 200–250 В, превосходящие традиционные выпрямители по времени обратного восстановления ($t_{rr} < 35$ нс при $I_F = 1,0$ А, $di/dt = 50$ А/мкс и $T_k = 25^\circ\text{C}$), прямому падению напряжения ($V_f = 0,86$ В) и плавному переключению ($t_b/t_a > 1$), выпустила компания ON Semiconductor. Максимальный обратный ток диодов состав-

ляет 30 кА. Диапазон температуры перехода $-65...150^\circ\text{C}$. Диоды предназначены для задающих устройств плазменных телевизоров, автомобильных электронных систем и источников питания компьютеров.

Важную роль при выборе того или иного диода играют и характеристики переключения. При работе в непрерывном режиме для потребителя большее значение имеют потери переключения, а не потери проводимости. В других режимах работы ток при коммутации практически равен нулю и тогда значение имеет прямое падение напряжения. Среди диодов этого типа можно отметить выпущенное в 2006 году компанией IXYS новое поколение сверхбыстродействующих выпрямителей серии HiPerFRED2. Диоды рассчитаны на напряжение 200–400 В и прямой ток 10–120 А. При этом предусмотрены "специализированные" конструкции (диоды типа DPF для схем, где требуются малые потери в открытом состоянии, и типа DPG – для высокочастотных устройств). Время обратного восстановления диодов серии составляет 35 нс, прямое падение напряжения – 0,98–1,22 В. Благодаря применению новой технологии пассивации ток утечки выпрямителей существенно уменьшен (до менее 1 мкА).

Большое разнообразие силовых приборов связано и с методами их корпусирования. До недавнего времени они в основном поставлялись в корпусах с штыревыми выводами. Однако эффективность охладителя таких корпусов невелика. К тому же они не совместимы с плотностью мощности современных устройств. Если в 2000 году максимальная плотность мощности источников питания постоянного и переменного тока составляла 5 Вт/дюйм², то уже в 2005-м она возросла до 20 Вт/дюйм², а у опытных образцов – до 25 Вт/дюйм².

Сегодня на рынке появляется все больше мощных диодов в малогабаритных корпусах для поверхностного монтажа. В начале 2007 года компания Diodes Inc. выпустила первый выпрямитель на основе барьера Шоттки (Schottky Barrier Rectifier, SBR) SBR3U30P1 семейства 3A SBR, смонтированный в запатентованный плоский корпус PowerDI 123 размером (с выводами) 3,7×2,8×0,98 мм. Выпрямитель на повторяющееся обратное напряжение 30 В и средний выпрямленный ток 3 А характеризуется сверхнизким прямым падением напряжения V_f (от 0,2 до 0,39 В). Его максимальный обратный ток I_R равен 0,5 мА, максимальная температура перехода – 150°C . А максимальная температура перехода выпрямителя типа SBR3M30P1 составляет 175°C . В число выпрямителей SBR в корпусе PowerDI 123 также входят диоды с $V_f = 0,42–0,512$ В, температурой перехода $T_j = 150$ или 175°C и $I_R = 0,1$ мА (SBR2A40P1).

Еще меньше габариты выпущенных в апреле 2007 года компанией Vishay Intertechnology выпрямителей Шоттки в новом миниатюрном MicroSMP-корпусе для поверхностного монтажа – 2,7×1,4×0,76 мм. Диоды предназначены для схем синхронного выпрямления и применения в AC/DC- и DC/DC-



преобразователях (в качестве антипараллельных диодов), в миниатюрных силовых преобразователях и портативных электронных устройствах (цифровых фотокамерах, MP3-плеерах, навигационных системах, GPS, сотовых телефонах), средствах управления линиями электропитания и сигнальными шинами автомобильных и промышленных систем. Прямой ток диодов составляет 1 А при температуре выводов 110°C. Они способны выдерживать выброс прямого тока в 25 А в течение 8,3 мс. Прямое падение напряжения составляет 0,4–0,6 В при температуре перехода 125°C. По контактным площадкам диод в корпусе MicroSMP сопоставим с другими компонентами компании в корпусах для монтажа на поверхность. Поэтому, если они используются для модификации существующих устройств, в печатную плату не нужно вносить изменения.

Интересна и представленная в апреле 2007 года компанией International Rectifier серия высоконадежных выпрямителей Шоттки. Выпрямители удовлетворяют требованиям QPL (Qualified Products List) – Списка изделий, сертифицированных Центром снабжения Министерства обороны в Колумбусе (Defense Supply Center Columbus, DSCC). Предназначены для высоконадежных импульсных источников питания, спутниковых систем распределения питания, резонансных силовых преобразователей и низковольтных электроприводов.

Максимальное обратное напряжение шести выпрямителей, входящих в серию QPL-компонентов, составляет 45 и 100 В, прямое падение напряжения V_f – 0,69–1,3 В, прямой ток – 10–35 А. Поставляются в корпусах для монтажа на поверхность и в штыревых корпусах ТО-типа. Диоды проходят 100%-ный контроль в соответствии с военными стандартами MIL-PRF-19500/MIL-STD-750.

"Самокоммутируемые" мощные приборы

"Идеальный самокоммутируемый" прибор (тиристор или транзистор) блокирует высокое напряжение в закрытом состоянии, в открытом сопротивление его равно нулю. Скорость переключения такого ключа не ограничена.

Пока единственными приборами, пригодными для переключения чрезвычайно высоких значений напряжения (>4 кВ), остаются управляемые кремниевые выпрямители (SCR – Silicon Controlled Rectifier), или тиристоры, запираемые тиристоры (Gate Turn-off – GTO) и управляемые тиристоры с интегрированным блоком управления (Integrated Gate-Communicated Thyristor, IGCT). Эти приборы отличаются хорошей областью устойчивой работы и хорошим соотношением потерь проводимости и переключения.

Тиристор – четырехслойный прибор с чередующимися слоями p- и r-типа представляет собой обычный выпрямитель,

управляемый напряжением на затворе. Включается тиристор при подаче импульса на электрод управления и прямого напряжении между анодом и катодом. После прекращения подачи сигнала на электрод управления прибор остается в открытом состоянии до тех пор, пока потенциал анода положителен относительно катода или прямой ток не снижается до порогового значения удерживающего тока. Для выключения резистора необходимо, чтобы неосновные носители, накопленные в базовых областях анода и катода, рекомбинировали. Иначе эти носители могут привести к появлению базового тока и повторному включению тиристора. При включении следует ограничивать скорость нарастания приложенного напряжения. Быстрое увеличение напряжения может привести к появлению достаточно большого для переключения тиристора тока смещения, пропорционального емкости его р-п-переходов. Напряжение пробоя и максимальный ток тиристоры могут достигать 12 кВ/4 кА. Достоинства их – низкие потери проводимости, высокая перегрузочная способность и высокая надежность. Они легко соединяются как параллельно, так и последовательно. Основной недостаток – отсутствие возможности принудительного запираания по управляющему электроду. Рабочая частота обычных тиристоры невелика (50/60 Гц). Существует множество индуктивно-емкостных схем коммутации, позволяющих уменьшить время выключения. Но при этом увеличиваются массогабаритные показатели прибора и ухудшается его надежность. Основные области применения тиристоры – электроприводы постоянного тока, мощные источники питания, сварочное оборудование, оборудование плавления и нагрева, ключи переменного тока. Выпускают тиристоры 177 компаний. Крупнейшие производители – American Microsemiconductor, Digi-Key, ON Semiconductor, Onlinecomponents.

К последним разработкам относятся выпущенные в апреле 2007 года компанией Infineon Technologies тиристоры типа T281N65TOF и T571N65TOF для электроприводов с плавным стартом на средние напряжения и выпрямителей (табл. 1)

Тиристор типа T281N65TOF монтируется в керамический прижимной таблеточный корпус диаметром 58 мм,

T571N65TOF – в корпус диаметром 75 мм. Массовое производство тиристоры компания планировала начать в конце апреля 2007 года.

Компания Westcode Semiconductor (дочерняя компания фирмы IXYS) выпустила на рынок новые тиристоры на импульсное обратное напряжение 600 В и ток от 2154 до 6974 А в малогабаритных корпусах серии Wespack (высота всего 14 мм, диаметр от 32 до 68 мм). Корпус с прижимным контактом разработан компанией Westcode для тиристоры фазового управления на напряжение до 2200 В. Для этих приборов достигнуто максимальное отношение мощности к массогабаритному показателю без ухудшения их качества и надежности. Он допускает любые методы охлаждения: принудительное воздушное, жидкостное, полное погружение в жидкость, в том числе в масло. Кроме того, тиристоры в корпусах этой серии характеризуются максимальным для приборов аналогичных габаритов и массы током в открытом состоянии и минимальным тепловым сопротивлением корпуса R_{thc} (0,018–0,009 К/Вт). Тиристоры предназначены для сварочного оборудования, источников питания, систем с батарейным питанием и выпрямителей на низкое напряжение.

Недостатки тиристоры стимулировали исследования, направленные на обеспечение запираания прибора управляющим электродом и быстрого рассасывания носителей заряда в базовых областях. Итогом этих работ стал *запираемый тиристор (GTO)* – полностью управляемый полупроводниковый прибор с четырехслойной структурой как и у обычного тиристоры. Включается он подачей положительного импульса тока между контактами электрода управления и катода. Выключается GTO при подаче на электрод управления импульса напряжения, отрицательного относительно катода. Чтобы получить требуемое напряжение переключения (блокирования), нужен достаточно большой ток (~10% прямого тока тиристоры). Для ограничения скорости нарастания прямого тока (di/dt) при включении используется индуктивный реактор. При выключении необходимо ограничивать скорость нарастания коммутационного напряжения $(dv/dt)_{crit}$, для чего применяются защитные RC-цепи, так называемые снабберы.

Таблица 1. Максимальные номинальные значения характеристик новых тиристоры компании Infineon

Характеристика	Условие измерения	Значение	
		T281N65TOF	T571N65TOF
Повторяющееся импульсное обратное напряжение и напряжение в закрытом состоянии, V_{DRM} и V_{RRM} , В	$T_{пер} = 25...125^{\circ}C$	6500	6500
Импульсное напряжение в открытом состоянии, V_{DSM} , В	$T_{пер} = 25...125^{\circ}C$	6600	6600
Максимально допустимый ток в открытом состоянии, I_{TRMS} , А	–	600	1150
Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии, I_{TAVM} , А	$T_k = 85^{\circ}C$	280	540
	$T_k = 60^{\circ}C$	380	730
Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, $(dv/dt)_{crit}$ В/мкс	$T_{пер} = 125^{\circ}C, V = 0,67 V_{DRM}$	1000	
Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии, $(di/dt)_{crit}$ А/мкс	В соответствии с стандартом DIN IEC 60747-6 $f = 50$ Гц, $i_G = 3$ А, $di_G/dt = 6$ А/мкс	150	
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}C$	–	-40...125	

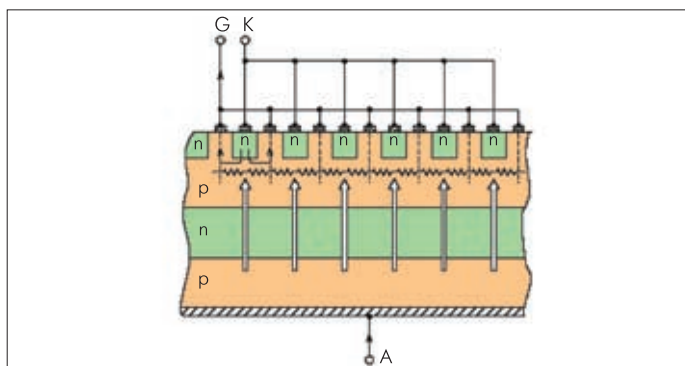


Рис.2. Структура GTO

Среднее время перехода из закрытого в открытое состояние и обратно составляет 10–30 мкс. Чтобы обеспечить равномерное распределение тока по всей площади полупроводниковой структуры при выключении, n-слой катода разбивается на элементарные соединенные параллельно ячейки (рис.2). Контакт электрода управления к базовому слою катодного транзистора состоит из примерно такого же числа ячеек.

Недостаток GTO – большие потери переключения в сравнении с обычными тиристорами и потеря энергии в защитных цепях при коммутации. С увеличением частоты потери возрастают, поэтому, как правило, частота коммутации не превышает 250–300 Гц, хотя возможна и работа на частоте до 500 Гц.

Сейчас GTO с повторяющимся импульсным напряже-

нием в закрытом состоянии (V_{DRM}) от 600 В до 6,5 кВ и максимальным повторяющимся запираемым током (I_{TGM}) от 140 А до 6 кА поставляют 11 компаний, в том числе American Microsemiconductor, ABB, Dynex Semiconductor, Mitsubishi Electric & Electronics USA, NEC Electronics, Westcode Semiconductors. Основные области применения GTO – электроприводы двигателей с регулируемой скоростью вращения, статические компенсаторы, системы бесперебойного питания, оборудование индукционного нагрева.

В ходе совершенствования технологии GTO был создан *запираемый тиристор с интегрированным блоком управления (Integrated Gate-Commutated Thyristor, IGCT)*. Это оказалось возможным благодаря контролю примесных профилей, применению меза-технологии, протонного и электронного облучения для получения нужного распределения рекомбинационных центров, технологии так называемых прозрачных или тонких эмиттеров, формированию буферного слоя в n-базовой области. Все эти методы позволили значительно улучшить характеристики выключения GTO. Схема управления включением-выключением интегрирована с тиристором и требует внешнего источника питания на напряжение 28–40 В. Максимальная помехоустойчивость и компактность достигнуты за счет того, что блок управления окружает тиристорную структуру. В результате удалось добиться равномерного переключения и

Таблица 2. Номенклатура выпускаемых АВВ тиристоров типа IGCT

V _{DRM} , кВ	Максимальный повторяющийся запираемый ток, ITGQM, А								
	тиристоров, проводящих в обратном направлении, при диаметре корпуса				тиристоров, не проводящих в обратном направлении, при диаметре корпуса				асимметричных тиристоров
	38 мм	5 мм	68 мм	91 мм	38 мм	5 мм	68 мм	91 мм	91 мм
3,3	–	–	–	–	–	–	–	–	Подлежит определению
4,5	340	640	1100	2250	–	–	–	–	4000 ¹
4,5	–	–	–	–	–	–	–	–	3800 ²
4,5	–	–	–	–	–	–	–	–	4000 ³
4,5	–	–	–	–	–	–	–	–	5500 ⁴
5,5	275	520	910	1820	–	–	–	–	5000 ⁴
6,0	–	–	–	–	–	800	–	–	3000
6,5	–	–	–	–	400	800	1500	Подлежит определению	4200 ⁴
10	–	–	Подлежит определению		–	–	–	–	Подлежит определению

Примечание. 1 – стандартный прибор; 2 – на высокую частоту; 3 – низкое напряжение в открытом состоянии; 4 – большая область безопасной работы, производство намечено на 2007 год.

увеличить область безопасной работы тиристора до пределов, ограниченных лавинным пробоем. Тиристорам этого типа не требуется защитная цепь для предотвращения превышения допустимого значения dv/dt. Скорость изменения тока IGCT благодаря низкой индуктивности цепи электрода управления достигает 4 кА/мкс. Значение dv/dt задается конструктивным исполнением анода в процессе изготовления прибора. При нулевом катодном токе остаточный ток анода протекает в блок управления, сопротивление которого мало. В результате потребляемая блоком управления мощность минимизирована. Средняя частота переключения IGCT, как и GTO, составляет 500 Гц. Малые потери переключения позволяют тиристорам этого типа на напряжение 6,5 кВ работать на частотах до 600 Гц, приборов на напряжение 4,5 кВ – на 1 кГц в непрерывном режиме и кратковременно – на частотах до 40 кГц. Напряжение IGCT в открытом состоянии при токе 4 кА составляет 2 В, его тепловое сопротивление – 8,5 К/кВт. Максимально допустимый средний прямой ток при температуре корпуса 85°С равен 1700 А, что позволяет отказаться от параллельного включения IGCT для получения требуемого тока.

Основной производитель IGCT – компания АВВ (табл.2).

На базе IGCT компании АВВ без их параллельного или последовательного включения созданы преобразователи мощностью более 15 МВт. А параллельное включение, по утверждению специалистов компании, позволит реализовать преобразователи мощностью 100 МВт и довести мощность последующих поколений статических преобразователей энергосистем до 300 МВт.

Транзисторы

Биполярные. Как уже отмечалось, развитие силовой полупроводниковой электроники началось с разработки фирмой Motorola мощного германиевого биполярного транзистора. И мощные германиевые транзисторы представлены на рынке до сих пор. В течение многих лет "почтенный" NPN 2N3055

являлся "стандартным" мощным биполярным транзистором. Позже появился комплементарный ему PNP MJ2955. Эти выпускаемые компанией ON Semiconductor германиевые транзисторы с рабочей частотой 1 МГц, током коллектора в непрерывном режиме 15 А, напряжением коллектор-эмиттер 60 В и рассеиваемой мощностью 115 Вт используются в аудиоусилителях мощности, источниках питания и системах управления энергопитанием.

Но в основном на рынке мощных приборов представлены кремниевые биполярные транзисторы, как npn-, так и pnp-типа, на ток до нескольких сотен ампер и напряжение более тысячи вольт (значения тока и напряжения npn-приборов выше, чем у pnp-типа). Это объясняется низкой стоимостью и высокой теплопроводностью кремния по сравнению с другими материалами, пригодными для изготовления ВJT, в первую очередь с арсенидом галлия. В последнее время все большее внимание разработчиков мощных полупроводниковых приборов привлекает карбид кремния (SiC). Этот материал существенно превосходит кремний по теплопроводности (в три раза) и выдерживает на порядок большие напряжения пробоя. Но пока широкому распространению SiC мешает его высокая стоимость и недостаточно высокое качество.

Значение усиления мощных ВJT меньше, чем у маломощных приборов (не более 20). Эта проблема решается путем включения двух транзисторов (основного и менее мощного, задающего) по схеме Дарлингтона.

Мощные биполярные транзисторы широко используются в качестве статических ключей в силовых преобразователях и выполняют функцию блокировки прямого напряжения. Особого внимания заслуживают высоковольтные ВJT компании STMicroelectronics – ведущего мирового поставщика полупроводниковых приборов для отклоняющих систем телевизоров и мониторов (~20% рынка) и второго поставщика на мировом рынке биполярных транзисторов. Последние



приборы, выпущенные компанией, – это высоковольтные мощные ВТ семейства HD1, предназначенные для систем горизонтального отклонения ЭЛТ телевизоров высокой четкости и моделей “Super-Slim”, сопоставимых по глубине с плоскими ЖК-экранами.

Новые транзисторы компании STM с максимальными значениями напряжения коллектор-эмиттер (V_{CES}) 1500 и 1700 В и током от 24 (HD1520FX) до 50 А (HD1760JL) выполнены по запатентованной технологии усовершенствованной высоковольтной структуры (Enhanced High Voltage Structure, EHVS). Благодаря уменьшению емкости перехода база-коллектор за счет формирования глубокой базы напряжение пробоя транзисторов достигает 1700 В при высоких значениях тока и скорости переключения. Важное достоинство транзисторов семейства HD1 – достижение требуемых выходных параметров при колебаниях базового тока в пределах 15% от оптимального значения. В результате минимизируются потери мощности в широком диапазоне рабочих условий. Так, в наихудших условиях работы широкоэкранный телевизор с рабочей частотой 100 Гц транзистор типа HD1750FX потребляет всего 10 Вт. Это на 1 Вт меньше, чем у лучших конкурентоспособных приборов. Транзисторы семейства также менее чувствительны к колебаниям рабочей температуры (максимальное значение 150°C). Кроме того, они отличаются расширенной областью устойчивой работы при обратном смещении (Reverse Bias Safe Operating Area, RBSOA), благодаря чему улучшена их надежность и снижено напряжение насыщения при высоких токах.

Транзисторы типа HD1xxx характеризуются высокой частотой переключения и малыми потерями в открытом состоянии. Они предназначены не только для телевизоров высокой четкости, но и для цифровых и проекционных телевизоров, дисплеев мониторов, применяемых в медицине.

Другой интересный прибор компании STM – гибридный, переключаемый эмиттером биполярный транзистор (Emitter-Switched Bipolar Transistor, ESBT). Он содержит смонтированные в одном корпусе биполярный и МОП-транзисторы, включенные по каскадной схеме. В результате транзистор имеет лучшие для “обоих миров” характеристики: малое падение напряжения при прямом смещении, высокое напряжение блокировки и высокую скорость переключения. Напряжение пробоя транзисторов STC03DE170, STC05DE150 и STC08DE150 семейства ESBT составляет 1,7; 1,5 и 1,5 кВ, соответственно, сопротивление в открытом состоянии – 0,55, 0,17 и 0,11 Ом (сопротивление МОП ПТ на 1,5 кВ в открытом состоянии равно 5–9 Ом). Значение напряжения насыщения коллектор-эмиттер – 0,9 В, благодаря чему минимизированы потери проводимости. А отсутствие хвостового тока минимизирует потери переключения. Источники питания на основе транзисторов этого семейства отличаются высокой эксплуатационной надежностью.

Все транзисторы семейства поставляются в четырехвыводных корпусах TO-247. Предназначены в основном для трехфазных вспомогательных источников питания и преобразователей с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью (Single-Ended Primary Inductance Converters, SEPIC), используемых для регулировки коэффициента мощности промышленных систем освещения.

Интерес представляют ВТ на напряжение коллектор-эмиттер до 100 В компании Zetex Semiconductors. Транзисторы поставляются в корпусе SOT23 с размером основания 3×2,5 мм. Их рассеиваемая мощность составляет 1,25 Вт. В семейство входят семь ррп-транзисторов (типа ZXTNxxxx) и шесть рпр-транзисторов (типа ZXTPxxxx). Новые приборы способны блокировать напряжение до 180 В и выдерживать при переключении нагрузку в 500 Вт. Ток коллектора в непрерывном режиме составляет 5 А, в импульсном – 12 А. Напряжение насыщения коллектор-эмиттер транзистора ZXTN2031F на напряжение 50 В равно всего 40 мВ, что обеспечивает их меньший нагрев при работе. Сопротивление в открытом состоянии транзистора типа ZXTN2020F на напряжение 100 В составляет 30 мОм.

Новые транзисторы предназначены для высокоэффективных ключей, используемых в автомобильных, промышленных и телекоммуникационных системах для управления работой осветительных устройств, реле и соленоидов. К началу 80-х годов биполярные транзисторы на высокие напряжения (>1000 В) были вытеснены тиристорами. На рынке силовой электроники ВТ заняли нишу устройств относительно невысоких напряжений и токов, в первую очередь ШИМ-устройств. В то же время, произошел значительный рывок в области МОП-технологии. МОП ПТ на напряжение свыше 1000 В и частоту более 1 МГц начали активно вытеснять на рынке как тиристоры, так и биполярные транзисторы.

МОП ПТ– униполярные устройства, управляемые напряжением. Ток переносится основными носителями. Благодаря этому МОП ПТ превосходят биполярные транзисторы по скорости переключения, низким потерям на переключение и простому способу управления*. Развитие МОП ПТ шло по пути освоения структуры с “утопленным” затвором (Trench MOSFET) и ее совершенствования.

Основной недостаток МОП ПТ – большое сопротивление $R_{DS(on)}$. В результате у них большие потери проводимости, а значение прямого тока ограничено. Прямой ток и возможность блокирования напряжения обратно пропорциональны. Поэтому МОП ПТ характеризуются либо малым рабочим током и высоким блокирующим напряжением, либо большим током и относительно низким напряжением. Кроме того, наличие затворного окисла ограничивает значение напряжения пробоя. Правда, благодаря положительному тепловому коэффициенту эти транзисторы можно включать параллельно и тем самым увеличивать рабочий ток переключателя. Таким

* ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №6, с. 16–20.

Таблица 3. Характеристики мощных МОП ПТ, выпущенных на рынок в период с сентября 2006 года по март 2007 года

Фирма	Тип	V_{GS}, B	V_{GS}, B	$R_{DS(on)}, мОм$	I_D, A	Корпус	Назначение	Примечание
ST-Microelectronics	STD11NM60N	650	25	<450	10	TO-220 TO-220FP IPAK DPAK	Высокоэффективные преобразователи средств управления системами освещения	Изготовлены по запатентованной Mdmesh-технологии, позволившей на 55% уменьшить $R_{DS(on)}$ без ухудшения температурных характеристик прибора
ON Semiconductor	NTK313xx	20	6	200 (4,5 В) 280 (2,5 В) 420 (1,8 В) 820 (1, % В)	0,89	SOT-723 (размер основания 1,2×1,2 мм, зазор – 0,5 мм) SC-75 SC-89	Устройства переключения нагрузки/электроэнергетических систем. Переключение малосигнальных интерфейсов. Управление питанием портативного оборудования	Восемь МОП ПТ: по четыре р- и п-канальных с trench-структурой
Infineon Technology	BSC016N03LSG (семейство OptiMOS 3)	30	–	3,5–1,6	–	Shrink SuperSO8 (S308) размером 3×3 мм	DC-DC-преобразователи компьютеров, телекоммуникационных систем и бытовой электроники	N-МОП ПТ, позволяющие повысить эффективность использования энергии на 1–1,3% по сравнению с транзисторами предыдущего поколения. В сравнении с МОП ПТ семейства OptiMOS 3 на 30% уменьшено $R_{DS(on)}$, на 30% улучшен показатель качества и на 60% уменьшены габариты корпуса
	Семейство CoolMOS CP	500	2,5	520–140 299–140	7–23	TO220 и TO220FP D2PAK	Источники питания настольных компьютеров. Бытовые устройства. Высокоинтенсивная разрядная осветительная аппаратура	N-канальный транзистор. Показатель качества ($R_{DS(on)} \cdot Q_g$) – 6,7 Ом·нК против 2,5 Ом·нК для транзисторов семейства CoolMOS C3. Низкое напряжение затвора позволяет использовать стандартные устройства возбуждения затвора
International Rectifier	IRF6641TRpbF	200	20	51 (10 В)	26	DirectFET MZ	DC-DC-преобразователи на входное напряжение 36–75 В	Обеспечивает эффективность использования энергии 95%
	IRF6643TRpbF	150	20	29 (10 В)	35	DirectFET MZ	DC-DC-преобразователи на входное напряжение 36–75 В, системы с фиксированным входом на 48 В	Весьма низкие значения заряда затвора $Q_g = 39$ нК и $Q_{gd} = 11$ нК
Fairchild Semiconductor	MicroFET	<30	–	95	–	Формованный пластмассовый безвыводной (MLP) корпус размером 2×20,8 мм	Зарядные устройства. DC-DC-преобразователи. Системы переключения нагрузки	11 новых транзисторов с улучшенными тепловыми характеристиками (тепловое сопротивление 151°C/Вт против 180°C/Вт для обычного сдвоенного р-канального прибора в корпусе SSOT, занимающего площадь 9 мм ²). По своим тепловым параметрам и эффективности превосходят транзисторы в корпусах SC-70 аналогичного размера (меньше на 80% значение $R_{DS(on)}$ и на 65% тепловое сопротивление). Выполнены по запатентованной компанией технологии PowerTrench
	FDZ191P	<20	2,5	67 (4,5 В)	–	Корпус размером с кристалла типа WL-CSP (1×1,5×0,65 мм)	Преобразователи мощности, зарядные устройства и устройства переключения нагрузки	P-канальный МОП, изготовленный по технологии PowerTrench. Тепловое сопротивление 83°C/Вт. Отвечает всем "зеленым" стандартам и стандарту RoHS
	FDB2614 FDB2719	200 250	–	29 36,3	–	D2PAK	–	–

**Таблица 4. Параметры IGBT, выпущенных на рынок в 2004–2007 годы**

Тип (фирма)	Технология	$U_{CE\text{ макс.}}$, В	$I_{C\text{ макс.}}$ при $T_c=25^\circ\text{C}$, А	U_{CESAT} , В при 125°C	t_r/t_f , нс	P_{tot} , Вт	Примечание
1KW15N120T2 (Infineon)	TrenchStop второго поколения с антипараллельным диодом с быстрым восстановлением	1200	30	1,75	25/95	235	Предназначен для преобразователей частоты и систем бесперебойного электропитания. Высокая надежность и температурная стойкость. Возможность параллельного включения. Стойкость к электромагнитным помехам. Соответствие требованиям RoHS
1HW30N160R2 (Infineon)	TrenchStop с обратной проводимостью (Reverse Conducting, RC) и монокристаллическим диодом	1600	30	1,6	–/38,3	312	Предназначен для систем индукционного нагрева и плавного переключения. Наличие мощного монокристаллического диода с низким прямым падением напряжения
STGW30NC120YD (STMicroelectronics)	PowerMesh + FWD	1200	60	<2,75	11/14	220	Предназначен для систем индукционного нагрева. Рабочая частота до 130 кГц. Быстрое переключение при сохранении малого падения напряжения. Смонтирован в корпусе TO-247 совместно с диодом с плавным быстрым обратным восстановлением
IRGB4056DPbF (International Rectifier)	Trench + FWD	600	24	1,97	18/41	140	Благодаря сочетанию низкого напряжения насыщения и высокой выходной мощности перспективен для применения в электроприводах с широким диапазоном рабочих частот кондиционеров, компрессорах холодильников, пылесосов, стиральных машин, посудомоечных машин, вентиляционных систем и т.п. Достоинства – широкая область безопасной работы при обратном смещении, максимальная рабочая температура 175°C , положительный температурный коэффициент напряжения U_{CESAT} , $dv/dt = 10\text{ кВ/мкс}$. Диод с быстрым восстановлением позволяет улучшить эффективность прибора и снизить вносимые электромагнитные помехи
1XEL40N400 (IXYS)	NPT-структура	4000	62	4	100/450	380	Широкая область безопасной работы при обратном смещении, положительный температурный коэффициент напряжения насыщения. Монтируется в корпус ISOPLUS264
IXRP(A)15N120 (IXYS)	NPT-структура с последовательным диодом, обеспечивающим блокирование в обратном направлении	± 1200	25	2,5	18/32	300	Предназначен для преобразователей, требующих блокировку в обратном направлении. Положительный температурный коэффициент напряжения насыщения. Смонтирован в корпус TO-247

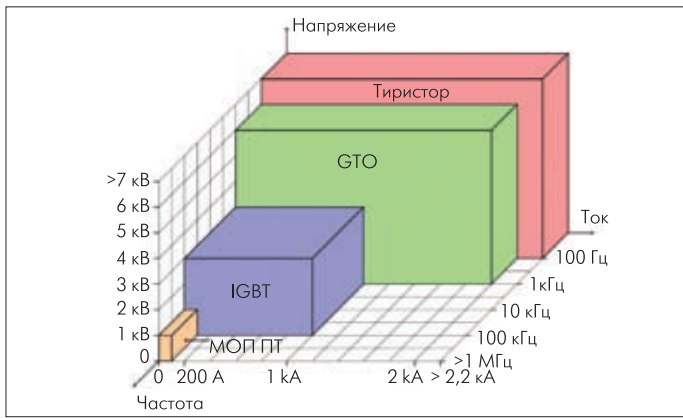


Рис.3. Характеристики основных силовых полупроводниковых приборов

образом, МОП ПТ отдают предпочтение при работе на достаточно высоких частотах (>200 кГц), при больших колебаниях напряжения или нагрузки, длительных рабочих циклах, напряжении не выше 250 В и выходной мощности не более 500 Вт. Сегодня основные области применения МОП ПТ – источники питания и домашнее оборудование.

Разработки, направленные на создание "идеального ключа", привели к созданию множества специализированных компонентов, удовлетворяющих многообразным и постоянно растущим требованиям рынка. С сентября 2006 года по апрель 2007-го на рынке появилось большое число новых мощных МОП ПТ. Так, в сентябре 2006 года о выпуске новых МОП ПТ объявили компании Alpha & Omega Semiconductors и Microsemi. Интеграция силовых МОП ПТ с плавным восстановлением и диода Шоттки с прямым напряжением 0,4 В в новом семействе SRFET (Soft Recovery FET) компании Alpha & Omega позволило снизить потери проводимости диода более чем на 40% и улучшить общую эффективность устройства. При этом значение $R_{DS(on)}$ осталось низким – не более 3,9 мОм для транзистора типа AOL1412. Поставляются транзисторы в корпусах UltraSO-8 и SO-8. Предназначены для DC-DC-преобразователей.

Компания Microsemi объявила о выпуске первых 15 МОП ПТ нового семейства POWER MOS 8 (10 МОП ПТ и пять МОП ПТ со встроенным диодом с сверхбыстрым восстановлением, или FREDFET). Напряжение блокирования транзисторов составляет 500–1200 В, ток – 19–75 А, $R_{DS(on)}$ – 75–800 мОм. В марте 2007 года компания дополнила семейство еще десятью моделями FREDFET на напряжение 500 и 600 В, токи от 18 до 97 А и $R_{DS(on)}$ – 41–430 мОм. Предназначены для автономных источников питания, электроприводов, источников питания серверов и телекоммуникационных систем, инверторов солнечных батарей, одно- и трехфазных источников питания оборудования дуговой сварки и резки плазмой, зарядных устройств батарей, систем индукционного нагрева, медицинского оборудования.

Особое внимание уделяется выпуску мощных МОП ПТ в усовершенствованных малогабаритных корпусах (табл.3).

Пример – серия силовых МОП ПТ на напряжение 55–100 В и ток от 44 до 280 А компании IXYS, выполненные по Trench-технологии и смонтированные в запатентованный корпус ISOPLUS i4-Pak. Транзисторы отличаются чрезвычайно малой рассеиваемой мощностью и сверхнизким сопротивлением $R_{DS(on)}$ (4,4 мОм для прибора IXT240N055T на напряжение 55 В и ток 240 А при тепловом сопротивлении 1,0 К/Вт). Особенность семейства – объединение Trench-технологии и сборки в корпус ISOPLUS, благодаря чему появилась возможность работать при высоких значениях тока в непрерывном режиме.

В конце 80-х–начале 90-х годов в мировой силовой электронике произошла так называемая вторая электронная революция, – в результате совершенствования силовых полупроводниковых приборов появился *биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT)*. Этот транзистор сочетает достоинства биполярных (низкое сопротивление области дрейфа носителей) и МОП-приборов (высокие полное входное напряжение и быстродействие). Сегодня это один из самых популярных силовых устройств. Модули IGBT представляют собой микросхему, на пластине которой площадью 1–1,5 см² размещены несколько сотен тысяч элементарных ячеек размером менее 10 мкм. Каждая ячейка содержит высоковольтный биполярный транзистор, в цепь управления которого включен полевой транзистор. Затраты энергии в цепи управления при включении/выключении тока в этом приборе невелики, быстродействие – высокое, коммутационные потери – малы. В то же время значения тока достигают нескольких сотен ампер, а блокирующего напряжения – 6 кВ (табл.4). Это позволяет создавать на его основе очень эффективные преобразователи.

К достоинствам IGBT относится возможность производства с использованием микроэлектронных технологий. К тому же IGBT занимают меньшую площадь кристалла в сравнении с МОП ПТ и, следовательно, дешевле их. Однако в сравнении с МОП ПТ, падение напряжения IGBT в открытом состоянии достаточно велико (2–4 В), а рабочая частота мала (рис.3). IGBT применяют в низкочастотных (<20 кГц) системах, уст-

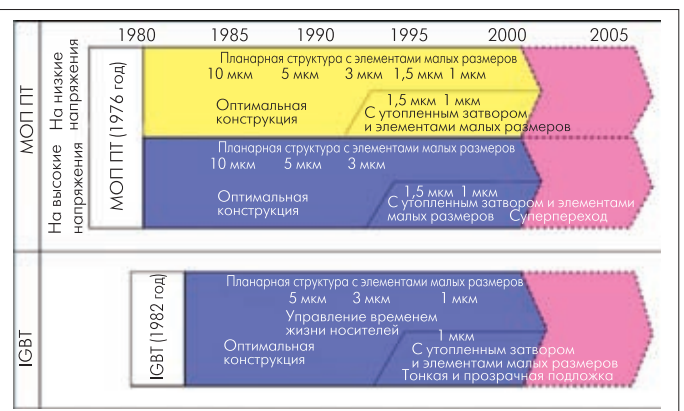


Рис.4. Совершенствование структур мощных транзисторов



Максимальные критические размеры	4-мкм проектные нормы, разумные силовые приборы	2-мкм проектные нормы, разумные силовые приборы	1-мкм проектные нормы, разумные силовые приборы	0,5-мкм проектные нормы, разумные силовые приборы	0,35-мкм проектные нормы, разумные силовые приборы
Толщина пластина		Технология тонких пластин (300 мкм)	Технология тонких пластин (200 мкм)	Технология сверхтонких пластин (85 мкм)	Технология сверхтонких пластин (65 мкм)
Глубокое травление		Изоляция глубокими желобками	Технология утолщенного затвора MDMESS-технология компании STM	Суперпереход с глубокой желобковой изоляцией	Глубокое травление новых материалов
Материалы		Суперпереходы. Транзисторы серии CoolMOS КНИ-пластины	Суперпереход с глубокой желобковой изоляцией Частичные КНИ-пластины SiC (диоды Шоттки)	SiC-приборы (МОП ПТ)	Приборы на алмазе (дисплеи на полевом эффекте)
	1980	1990	2000	2010	2020

Рис.5. Перспективы развития технологии производства силовых полупроводниковых приборов

ройствах с малым рабочим циклом и малыми колебаниями напряжения или нагрузки, высоковольтных (более 1 кВ) и мощных (>5 кВт) системах, а также при необходимости работы при высоких значениях температуры перехода (>100°C). Основные области применения IGBT – электроприводы с рабочей частотой менее 20 кГц, системы бесперебойного электропитания с постоянной нагрузкой и, как правило, низкочастотные, сварочное оборудование с большим средним током и переключением при нулевом напряжении, маломощные системы регулирования средств освещения. Благодаря

высоким значениям импульсного напряжения IGBT последних поколений начинают замещать такие "старые" приборы, как тиратроны в установках исследования физики элементарных частиц и плазмы. Наличие на рынке надежных приемлемых по цене IGBT открывает и широкие возможности для реализации электронных и "гибридных" автомобилей. В машине марки Toyota с гибридным двигателем Prius второго поколения преобразователь, управляющий двумя двигателями/генераторами переменного тока, присоединенными к аккумуляторной батарее, выполнен на IGBT мощностью 50 кВт.

При разработке новых IGBT основное внимание уделяется совершенствованию их структуры (рис. 4). Были разработаны транзисторы с проколом базы (Punch Through – PT, или эпитаксиальная структура), без прокола базы (Non Punch Through – NPT, или гомогенная структура) и с TrenchStop (+Fieldstop)-структурой.* Транзисторы последнего типа отличаются чрезвычайно низким напряжением насыщения и значительно меньшими (на 40%) по сравнению с NPT-транзисторами потерями проводимости (при этом потери переключения не возрастают). К тому же, при низком напряжении насыщения не происходит сильного разогрева транзистора.

Это позволяет ослабить требования к его охлаждению и, следовательно, снизить стоимость системы, в которой он используется. Кроме того, помехозащищенность структур с утопленным затвором лучше, чем у планарных приборов. К достоинствам TrenchStop IGBT относятся чрезвычайно высокая прочность и стойкость к коротким замыканиям, улучшенная по сравнению со стандартными NPT-транзисторами надежность, низкие вносимые электромагнитные помехи.

Сегодня параметры дискретных кремниевых силовых приборов близки к предельно возможным значениям. Вот почему основные достижения в области силовой полупроводниковой

электроники связывают с использованием КНИ-подложек и с заменой кремния широкозонными материалами, в первую очередь карбидом кремния (SiC) и нитридом галлия (GaN) (рис. 5). Основные потребители силовых полупроводниковых приборов на КНИ-подложках – драйверы плазменных дисплеев. Согласно прогнозам компании Yole Development, к 2009 году объем потребления КНИ-подложек диаметром 150 мм составит 350 тыс. Сточки зрения объединения мощных устройств с вертикальной/горизонтальной структурой интерес представляют так называемые частичные КНИ-подложки (partial SOI wafers). При производстве NPT IGBT в основном будут использоваться тонкие подложки (толщиной 65 мкм).

Сейчас на карбиде кремния выпускаются лишь диоды Шоттки (основной поставщик – компания Cree), хотя и ведутся активные работы по созданию SiC-транзисторов. Так, учеными Университета штата Нью-Джерси на 4H-SiC создан полевой транзистор с вертикальной структурой и затвором на основе рп-перехода. Его блокирующее напряжение составляет 10 кВ, плотность прямого тока – 23 А/см² при напряжении стока 2 В, $R_{SP(ON)}$ – 106 мОм/см².

Росту рынка SiC-приборов будет способствовать появление подложек диаметром 100 мм. Совершенствованию технологии этих приборов способствует рост потребности для автомобильных и промышленных систем.

* ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2003, №1, с. 16–23.



Оценка доходов 25 ведущих поставщиков полупроводниковых приборов.

"Сумел – не сумел"

Согласно данным компании IC Insights, у восьми из 25 ведущих мировых поставщиков полупроводниковых приборов в 2006 году рост доходов не превысил 9%, тогда как у шести фирм он составил более 35%. Продажи 25 ведущих поставщиков в 2006 году, кроме компании Nvidia (занявшей 25 место в списке), составили не менее 3 млрд. долларов.

2006 год оказался рекордным для рынка микросхем памяти – продажи только микросхем ДОЗУ увеличились на 32%. Благодаря этому доходы компании Elpida Memory возросли на 78%, и она сумела войти в список 25 ведущих мировых полупроводниковых фирм, заняв 23 место. Расширение рынка схем памяти привело и к увеличению доходов компаний Qimonda на 48% (новая компания, отделившаяся в мае 2006 года от фирмы Infineon и специализирующаяся в области микросхем памяти) и Hynix Semiconductor на 43%.

Самым заметным событием на рынке полупроводниковых приборов 2006 года стало снижение доходов компании Intel на 9% (по данным компании iSupply, на 11,1%). Сокращение доходов микропроцессорного гиганта связано с плохим состоянием бизнеса компании в области мик-

ропроцессорных ядер и флэш-памяти, на долю которых приходится ~80% ее доходов. Тем не менее компания Intel и в 2006 году осталась ведущим поставщиком микросхем на мировой рынок, опередившим по доходам на 64% компанию Samsung Electronics, занявшую второе место.

Вместе с тем доходы основного многолетнего конкурента Intel – компании Advanced Micro Devices – возросли на 44%, в том числе и благодаря приобретению фирмы ATI Technologies – поставщика графических микросхем. В результате AMD перешла с 16 на 13-е место в списке, и по мнению аналитиков компании IC Insights в 2007 году она сможет войти в список 10 ведущих фирм.

Головные офисы девяти из 25 ведущих компаний находятся в США, восьми – в Японии, четырех – в Европе и по два – на Тайване и в Южной Корее. Из них две компании – Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. и United Microelectronics Corp. – "чистые" производители (foundries), три – Qualcomm, Broadcom и Nvidia – "чистые" разработчики (fabless).

www.eetimes.com