

Новая технология полевых МОП-транзисторов

для современной автомобильной электроники

Одной из важнейших и приоритетных задач современного автомобилестроения является создание экономичных, экологически чистых, надежных и безопасных моделей автомобилей. При решении этой задачи ключевая роль отводится совершенствованию электронного оборудования и расширению числа систем и узлов, в которых применяются электронные блоки контроля, управления и привода.

**Николай Голубев,
к. ф.-м. н.**

vtokarev@sktbes.vrn.ru

Для современной автомобильной электроники требуются силовые транзисторы, обеспечивающие преобразование напряжения на частотах выше 100 кГц, коммутацию токов до 200 А, высокую устойчивость к лавинному пробую. Для низковольтных цепей автомобильного электрооборудования перечисленным выше требованиям удовлетворяют силовые полевые МОП-транзисторы. Традиционная планарная технология двойной диффузии (Д2МОП) с горизонтальным каналом позволяет изготавливать транзисторы с сопротивлением сток-исток в открытом состоянии ($R_{си\text{откр}}$) 3,6–2,3 мОм при пробивном напряже-

нии сток-исток $U_{си\text{проб}} = 40$ В. При уровнях тока более 100 А даже при таком низком внутреннем сопротивлении потери мощности на транзисторном элементе управления превышают 20–30 Вт. Поэтому принципиально важной проблемой является снижение внутреннего сопротивления управляющих силовых элементов даже на несколько десятых долей миллиома. Дальнейшее увеличение площади кристалла ограничено габаритными размерами корпуса и нежелательным ростом входной емкости, что приведет к снижению быстродействия и требует увеличения мощности в цепях управления ключевых силовых транзисторов.

Таблица

Наименование прибора	Тип корпуса	Максимальное напряжение сток-исток $U_{си}$, В	Сопротивление открытого транзистора $R_{си}$, Ом	Максимальный ток стока I_c , А	Тепловое сопротивление переход-корпус, C/Вт	Пороговое напряжение $U_{зи\text{пор}}$, В
IRF2804S	D ² Pak	40	2,0	75*	0,45	2,0–4,0
IRF2804S**	D ² Pak-7P	40	1,7	150*	0,45	2,0–4,0
IRF1404ZS	D ² Pak	40	3,7	75	0,65	2,0–4,0
IRL1404ZS	D ² Pak	40	4,7	75	0,65	0,8–2,0
IRFR4104S	Dpak	40	5,5	42*	1,05	2,0–4,0
IRFR3504Z	Dpak	40	10,0	42	1,8	2,0–4,0
IRF1405ZS	D ² Pak	55	4,9	75	0,65	2,0–4,0
IRF3205ZS	D ² Pak	55	6,5	75	0,67	2,0–4,0
IRF1010ZS	D ² Pak	55	7,5	75	1,11	2,0–4,0
IRFZ48ZS	Dpak	55	11,0	62	1,64	2,0–4,0
IRFZ44ZS	D ² Pak	55	14,9	49	1,87	2,0–4,0
IRFR4105Z	Dpak	55	24,5	30*	3,12	2,0–4,0
IRF1010EVS	D ² Pak	60	8,5	75	1,11	2,0–4,0
IRF2807ZS	D ² Pak	75	9,4	75	0,90	2,0–4,0
IRFR3710	Dpak	100	18	42	1,05	2,0–4,0
IRF540ZS	D ² Pak	100	26,5	36	1,64	2,0–4,0

Примечания:

* максимальный ток стока ограничивается корпусом;

** новое приоритетное изделие.

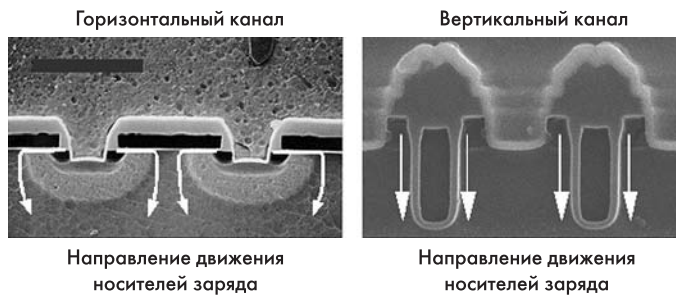


Рис. 1. Разрез структур с горизонтальным и вертикальным каналом

Компания International Rectifier является одним из лидеров в разработке и производстве электронных компонентов для автомобильной электроники, постоянно совершенствует технологию и внедряет новые конструктивные решения. В настоящее время компания разработала серию силовых полевых МОП-транзисторов для автомобильной электроники, соответствующих требованиям стандарта качества Q101 и превосходящих по параметрам все предыдущие серии. Основные характеристики новых транзисторов 1 приведены в таблице.

Конструктивной особенностью кристаллов транзисторов нового поколения является вертикальное расположение канала, создаваемого на стенках канавок, которыми прорезаются на планарной стороне пластины, предварительно сформированные двойной диффузией области истока n^+ и более глубокие области канала p (trench technology — канавочная технология). Микрофотографии фрагментов поперечного сечения с планарным (горизонтальным) и вертикальным (в «канавках») расположением каналов приведены на рис. 1.

Основные конструктивно-технологические достоинства МОП-транзистора с вертикальным каналом по сравнению с планарным вариантом заключаются в следующем:

1. Носители заряда в приборе с вертикальным каналом движутся только вертикально, тогда как в планарных конструкциях носители заряда в канале движутся вдоль планарной поверхности горизонтально и затем вертикально в дрейфовой области стока и проходят при этом гораздо больший путь.
2. В структуре с вертикальным каналом отсутствует присущее планарным конструкциям «сжатие» верхней дрейфовой части стока областями пространственного заряда соседних ячеек.
3. В конструкции, формируемой по канавочной технологии, достигается максимальная плотность условных ячеек на единицу площади, что обеспечивает увеличение общей ширины канала.
4. В приборах с вертикальным каналом в режиме обратного смещения и лавинного пробоя практически отсутствует горизонтальная составляющая тока вдоль истока n^+ , что является причиной включения паразитного биполярного транзистора и развития разрушающего лавинного процесса в структурах с планарным расположением канала.

5. Конструктивные особенности затвора обеспечивают улучшение зарядовых характеристик и времени обратного восстановления встроенного обратного диода.

На рис. 2 сравниваются характеристики приборов компании International Rectifier и других производителей, изготавливающих приборы для автомобильной электроники по канавочной и планарной технологии. Из представленных данных видно, что $R_{си\text{ откр.}}$ для приборов, изготовленных по канавочной технологии, как у компании International Rectifier, так и у других компаний примерно на 40% ниже, чем для приборов по планарной технологии. Энергия лавинного пробоя ($E_{ас}$) для приборов компании International Rectifier, изготавливаемых по новой канавочной технологии (trench technology Gen 10.2), немного ниже или сравнима с $E_{ас}$ для приборов седьмого поколения, производимых по полосковой технологии (stripe technology Gen 7.5), которая считается самой эффективной по устойчивости к лавинному пробоя и в два раза выше, чем для приборов других компаний, изготавливаемых по канавочной технологии. Анализ конструкции структур с вертикальным каналом и траектории движения носителей заряда в них показывает, что такое конструктивно-технологическое решение обеспечивает максимальную устойчивость к лавинному пробоя и в ближайшее время следует ожидать более высокие показатели по устойчивости к лавинному пробоя. Применение новой технологии позволяет либо повысить допустимую величину тока без увеличения размеров кристалла, либо

уменьшать размеры кристалла при сохранении заданных уровней параметров. Для приборов с номинальным напряжением $U_{си} = 40$ В в корпусах D²Pak и DPak минимальные значения $R_{си}$ и допустимая величина тока ограничиваются не кристаллом, а характеристиками корпуса. Применение семивыводного корпуса D²Pak-7P для транзистора IRF2804S позволяет увеличить допустимое значение тока до 150 А и снизить $R_{си}$ до 1,7 мОм.

Номенклатура приборов нового поколения, представленных в таблице, применима для комплектации практически всех узлов электронного оборудования современных автомобилей. Транзисторы с номинальным напряжением $U_{си} = 40$ В предназначены для применения в блоках управления электро-механического усилителя руля (ЭМУР), антиблокировочной системы (АБС), вентилятором, электромагнитным приводом клапанов, коробки передач в автомобилях с сетевым напряжением 14 В. Переход в автомобилестроении на новый стандарт электрической сети с комбинированным напряжением 14/42 В потребует расширения производства транзисторов с номинальными напряжениями более 55 В, так как динамическое перенапряжение (повышение напряжения в сети в момент отключения потребителей) для сети с напряжением 42 В составляет 55 В. Компания International Rectifier разработала и изготавливает по новой технологии (trench technology Gen 10.2) для такого применения транзистор IRF2807ZS в корпусе D²Pak с номинальным напряжением $U_{си} = 75$ В и сопротивлением открытого канала не более 9,4 мОм.

Заключение

Высокие технические характеристики силовых МОП-транзисторов компании International Rectifier, изготавливаемых по новой канавочной технологии (trench technology Gen 10.2), обеспечивают создание надежных блоков управления электропривода в автомобилях с сетевым напряжением 14 В и комбинированным двухуровневым сетевым питанием 14/42 В.

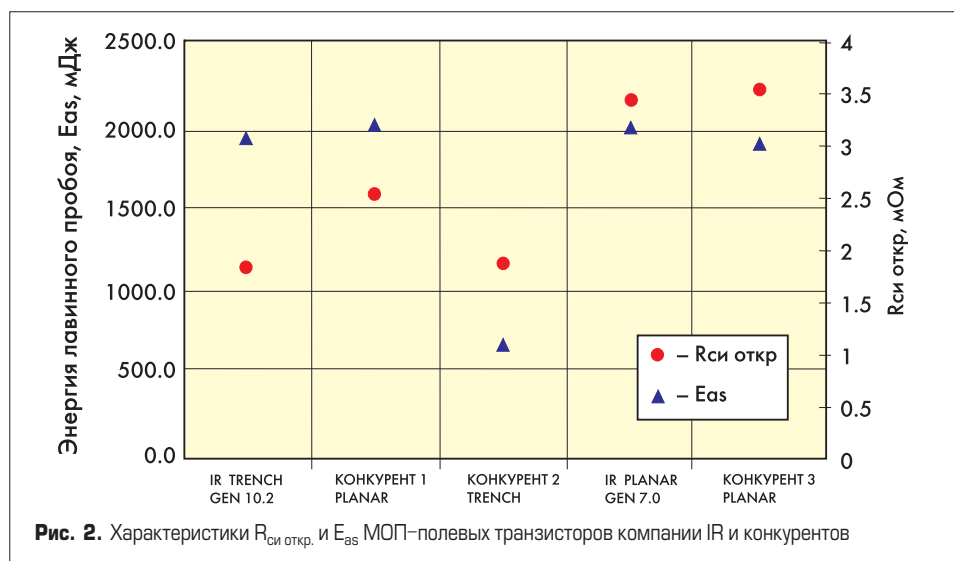


Рис. 2. Характеристики $R_{си\text{ откр.}}$ и $E_{ас}$ МОП-полевых транзисторов компании IR и конкурентов