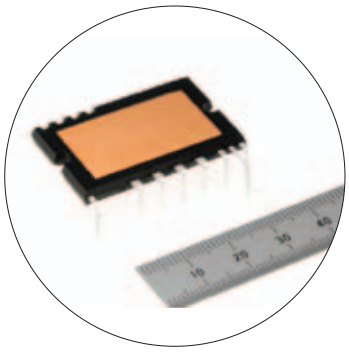
Карбид кремния приходит на смену кремнию в силовых модулях инверторных кондиционеров



В конце лета 2016 г. произошло знаковое событие в электронике, которое имеет прямое отношение к системам кондиционирования воздуха. 17 августа 2016 г. компания Mitsubishi Electric Corporation приступила к серийному производству силовых модулей Super-mini Full SiC DIPIPMTM на основе карбида кремния (SiC). Их электрические характеристики и стоимость ориентированы на применение в системах кондиционирования воздуха массового сегмента.

Более 20 лет инверторный привод на IGBT-транзисторах безоговорочно господствовал в кондиционерах. Аббревиатура IGBT обозначает биполярный транзистор с изолированным затвором. Успех этой технологии обусловлен сочетанием в IGBT-транзисторе лучших свойств биполярного и полевого транзисторов. Он имеет низкое сопротивление в открытом состоянии, свойственное биполярному транзистору, а также высокое входное сопротивление и быстродействие полевого транзистора.

Силовые транзисторы инвертора работают в ключевом (импульсном) режиме – они переключаются из закрытого в открытое состояние несколько тысяч раз в секунду, формируя синусоидальный ток через обмотки электродвигателя компрессора или вентилятора. Изменяя длительность импульсов напряжения (это называется широтно-импульсная модуляция – ШИМ) можно формировать ток разной частоты и регулировать скорость вращения электродвигателя.

Идеальный ключ должен мгновенно переключаться между открытым и закрытым положением и иметь в замкнутом состоянии нулевое сопротивление. К сожалению, IGBT-транзистор не идеален. Он относительно не быстр (наследие биполярного транзистора), а также имеет недостаточно низкое сопротивление в открытом состоянии. Оба этих фактора вызывают бесполезный нагрев IGBT-транзистора и ограничивают ток нагрузки. Для исключения перегрева и выхода из строя транзисторный каскад устанавливают на теплоотвод, ребра которого обычно выставляют в поток воздуха вентилятора конденсатора. Побочное тепло, рассеиваемое теплоотводом, уменьшает эффективность инверторного привода и всей системы кондиционирования.

Карбид кремния (карборунд) – это химическое соединение кремния с углеродом (SiC). Оно знакомо практически каждому. Благодаря

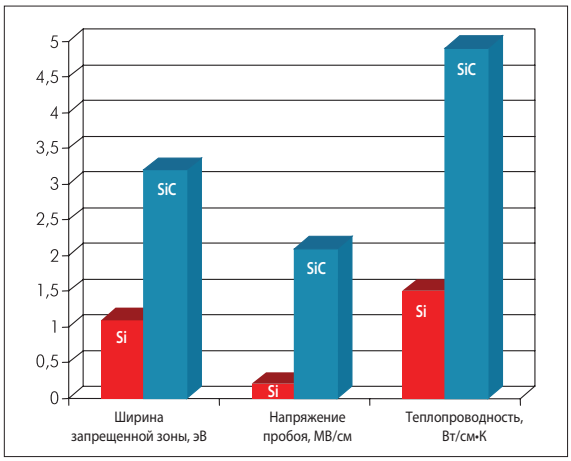


Рис. 1. Сравнение характеристик кремния (Si) и карбида кремния (SiC)

механической прочности и невысокой стоимости его издавна применяют как абразивный материал при изготовлении шлифовальных кругов, отрезных дисков, наждачной бумаги и т. п. Полупроводниковые свойства этого соединения тоже известны достаточно давно, однако «абразивный» карбид кремния для этих целей не подходит. Для электроники требуется вещество высокой химической чистоты и особой кристаллической структуры.

Этот материал имеет лучшие характеристики по сравнению с кремнием, однако широкому внедрению приборов на основе SiC препятствовала сложность получения высококачественного исходного материала, высокая стоимость, сложность и дороговизна технологических процессов. С начала 90-х годов крупнейшие институты и лаборатории искали способы промышленного выращивания кристаллов карбида кремния (SiC) нужного качества и возможности применения их в силовой электронике.

Компания Mitsubishi Electric Corporation инвестировала огромные средства в разработку полупроводниковых приборов на основе карбида кремния, понимая, что эффективные инновационные устройства чрезвычайно востребованы в современном мире. Это – электроприводы поездов, автомобилей и лифтов, преобразователи для ветрогенераторов и солнечных панелей, станки и разнообразное промышленное оборудование и многое другое. Сегодня эти уникальные технологии удалось перенести и в массовый сегмент бытовой техники. В ближайшее время SiC-модули будут устанавливаться в наиболее эффективные кондиционеры, холодильники и стиральные машины.

Напряжения пробоя карбида кремния в 10 раз превышает пробивное напряжение кремния. Это значит, что канал силового полевого транзистора можно сделать в 10 раз тоньше (короче), что приведет к значительному уменьшению его сопротивления. В результате бóльшая мощность будет передаваться в нагрузку и меньше будет нагреваться ключевой элемент.

Полевые транзисторы на основе карбида кремния имеют более высокое быстродействие. Вследствие этого время нахождения транзистора в промежуточном состоянии (его называют активным режимом) между полным включением и отключением чрезвычайно мало, что дополнительно уменьшает нагрев ключа.

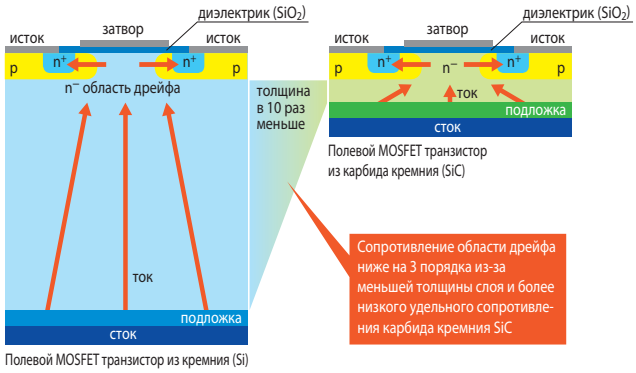


Рис. 2. Упрощенная структура полевого транзистора MOSFET

Повышение температуры кристалла – это крайне нежелательный фактор для кремниевых IGBT-транзисторов, так как увеличиваются токи утечки. Поэтому их термостатированию всегда уделяется особое внимание. Карбид кремния в 3 раза менее чувствителен к повышению температуры, и токи утечки ключевого элемента незначительны.

Еще одно важное свойство кристалла силового элемента – это теплопроводность, так как тепло, выделяемое в нем, требуется отводить для исключения перегрева. По этому показателю карбид кремния превосходит кремний почти в 3 раза.

Сочетание уникальных свойств карбида кремния позволило компании Mitsubishi Electric Corporation создать силовой модуль, эффективность которого на 70 % выше, чем у применяемых сегодня модулей на IGBT-транзисторах. Новый Super-mini Full SiC DIPIPMTM модуль выпускается в том же корпусе и с той же цоколевкой (разводкой выводов), что и его кремниевый предшественник. Поэтому их внедрение не потребует существенных изменений печатных узлов, и в скором времени нас ожидает существенное увеличение энергоэффективности кондиционеров Mitsubishi Electric.

Информация предоставлена ООО «Мицубиси Электрик (РУС)»

MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better