

Новые GaAs диоды

для корректора коэффициента мощности фирмы IXYS

Одной из важнейших задач в разработке современных источников электропитания и модулей коррекции коэффициента мощности (ККМ) является увеличение удельной мощности изделия и сокращение его массы и габаритов. Для решения данной проблемы требуется переход на более высокие рабочие частоты и, соответственно, применение новых быстродействующих компонентов. Одним из наиболее значимых элементов ключевой схемы является быстрый диод.

Иван Полянский

ivan_sl@argussoft.ru

В этой связи часто возникает вопрос об ограничениях, существующих у стандартных кремниевых диодов. Наличие процесса обратного восстановления у кремниевых диодов обуславливает потери переключения, которые приводят к значительному росту мощности, рассеиваемой прибором на высоких частотах. Поэтому для высокочастотных применений материалы с более высокой запрещенной зоной, такие как SiC и GaAs, оказываются более эффективными.

Технология GaAs является хорошо отработанной и активно применяется в современной электронике для производства широкого спектра элементов. Кристаллы GaAs производятся на стандартном оборудовании и имеют высокий процент выхода годных изделий, обеспечивая необходимый для промышленного применения уровень надежности. Основное ограничение данной технологии — невысокое рабочее напряжение, обусловленное физическими свойствами этого полупроводника.

Карбид кремния является «молодым» материалом, имеющим очень хорошие перспективы для высоковольтных приложений, а его уникальные свойства позволяют освоить недостижимые ранее рабочие частоты. Основной проблемой применения SiC является уникальность и сложность технологического процесса, которая в конечном счете приводит к увеличению себе-

стоимости таких элементов. Рано или поздно это препятствие будет преодолено, поскольку совершенствованием данной технологии занимаются практически все известные мировые производители кристаллов.

Как было сказано ранее, GaAs диоды использовались только для напряжений не выше 300 В (ограничение определяется физическими свойствами материала), таких как различные DC/DC преобразователи (36 и 48 В), в то время как применение в ККМ требует приборов с напряжением 600 В, в качестве которых себя хорошо зарекомендовали диоды по технологии SiC.

Компания IXYS представила новое (второе) поколение диодов GaAs с рабочим напряжением 600 В в качестве альтернативы диодам, производимым по технологии SiC. Эти диоды получили название «диоды Шоттки инжекционного типа».

Рассмотрим подробнее структуру такого диода. Когда уровень барьера Шоттки выбран выше чем уровень запрещенной зоны проводника, область непосредственно прилегающая к металлу, становится р-типа, поскольку электроны из полупроводника будут переходить в металл до момента достижения уровня Ферми. При прямом протекающем токе, дырки из этой р-области будут инжектироваться в нейтральную n-область и создавать дополнительный ток. При большой плотности тока дополнительные электроны, вносимые из n-области, будут поддерживать нейтральность этого заряда. Данный эффект приводит к «модуляции» проводимости n-области.

В результате диоды демонстрируют уменьшение дифференциального сопротивления при увеличении протекающего тока и температуры (рис. 1), что приводит к уменьшению прямого падения напряжения VF и увеличению допустимых значений токов. Благодаря очень малому времени жизни отрицательных носителей заряда в GaAs, время обратного восстановления также остается малым, сопоставимым с величиной, характерной для SiC.

Первое поколение GaAs диодов Шоттки (обедненные диоды Шоттки) обладали низкой температурной зависимостью характеристик, но имели большее прямое падение напряжения. Второе поколение инжекционных диодов Шоттки показывает уменьше-

Typical forward characteristics of 300V/10A GaAs and SiC diodes

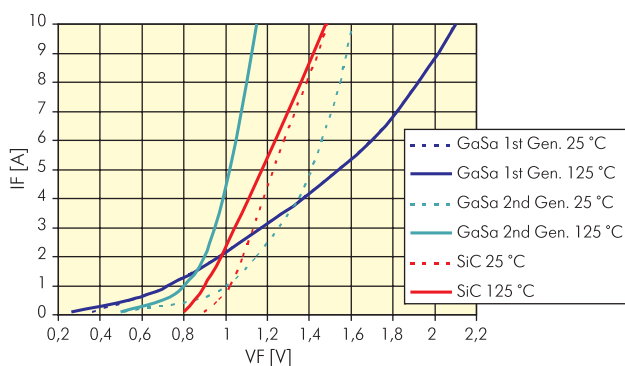


Рис. 1. Прямая характеристика диодов GaAs, SiC

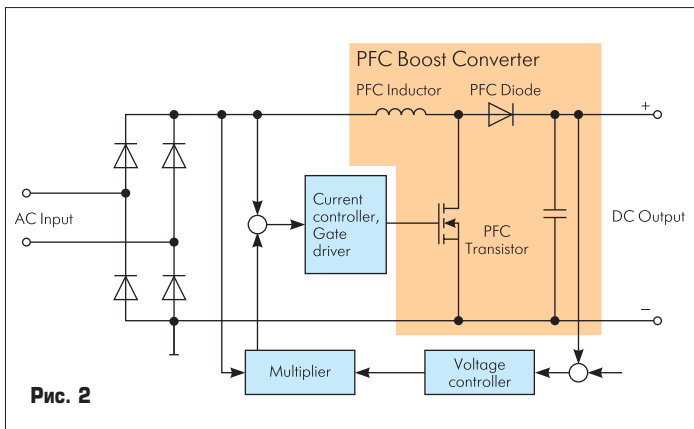


Рис. 2

ние дифференциального сопротивления с увеличением прямого тока и температуры вследствие эффекта модуляции заряда. По ряду технических характеристик они превосходят обычные SiCa диоды.

В новой диодной сборке DGSS10-06CC применены два последовательно соединенных GaAs диода второго поколения с напряжением 300 В, упакованные в изолированный корпус ISOPLUS220. В результате общая емкость снижена не только за счет последовательного соединения двух кристаллов, но и в результате применения ISOPLUS корпуса, чья емкость составляет всего 15 пФ, по сравнению с 124 пФ для TO-220.

Для демонстрации параметров работы различных диодов, рассчитанных на 600 В и 10 А, было проведено тестирование в схеме ККМ (см. рис. 2) мощностью 200 Вт, работающей в режиме непрерывного тока (CCM). Входное напряжение варьируется от 90 до 260 В, рабочая частота — от 100 до 250 кГц. Измерения проводились при температуре окружающей среды 20 и 70 °С. В схеме применялся MOSFET транзистор 11N60S5 производства Infineon. В качестве косвенной величины, характеризующей потери, использовалась температура кристалла диода и транзистора.

Рисунок 3 показывает эффективность работы тестовой схемы при различных входных напряжениях. Как видно из графиков, приме-

нение диодов GaAs и SiCa позволяет получить существенно лучшие показатели по сравнению с обычными кремниевыми диодами.

Рисунок 4 демонстрирует результаты проверки эффективности схемы при напряжении 220 В во всем спектре частот. Очевидно, что потери на GaAs диоде мало зависят от температуры по сравнению с кремниевыми диодами, особенно это проявляется на высоких частотах.

Рисунок 5 показывает потери, нормированные по отношению к величине потерь в обычном кремниевом диоде. На частоте 110 кГц преимущество GaAs диода составляет около 15%, а с увеличением частоты выигрыш доходит до 25%.

Диод, изготовленный по технологии SiCa, показывает схожие результаты, но во всем диапазоне производимых измерений он не превосходит по характеристикам диод GaAs. Результат может быть объяснен при анализе общих потерь в схеме: диод GaAs нагревается сильнее, нежели SiCa из-за более высоких потерь проводимости, но температура MOSFET транзистора в схеме с диодом SiCa оказывается выше за счет более высокой емкости этого диода и, соответственно, более высоких токов разряда емкости при запираии транзистора. Величина потерь на диоде и транзисторе была просуммирована, и результирующая характеристика эффективности оказалась схожей для обоих вариантов.

PFC System Relative Losses for GaAs-, SiC and Si-Diodes — T=70 °C
200W PFC system (continuous current mode) at 220V input voltage, P=200W.
Measurement by Prof.Dr.Ing. Manfred Reddig, University of Applied Sciences Augsburg

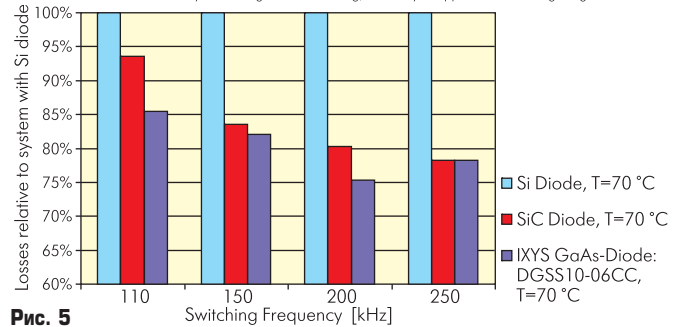


Рис. 5

Тем не менее, с увеличением температуры происходит уменьшение прямых потерь в диоде GaAs и их увеличение в SiCa диоде. С увеличением же частоты потери на нейтрализацию собственной емкости GaAs диода возрастали медленнее чем для SiCa.

Безусловно, реальная схема корректора коэффициента мощности всегда оптимизируется для конкретного приложения. При разработке реального изделия должны учитываться особенности компоновки элементов, обусловленные размерами модуля, должны быть выбраны именно те компоненты, которые наиболее подходят для данного применения и обеспечивают необходимую эффективность.

Очевидно, что в будущем обе технологии — GaAs и SiCa — найдут свое применение в модулях ККМ, а полученное с их помощью увеличение удельной мощности позволит окупить более высокую стоимость GaAs и SiCa элементов.

В зависимости от области применения должны быть выбраны наиболее значимые преимущества той или иной технологии. Например для напряжений до 600 В предпочтительнее GaAs диоды, а при более высоких напряжениях явное преимущество имеют SiCa. В рассмотренном примере наилучшие результаты достигаются при использовании диодов GaAs, которые позволяют получить большую эффективность при меньшей цене.

PFC Efficiency for GaAs-, SiC and Si-Diodes
200W PFC system (continuous current mode) at 70 °C, 200kHz, P=200W
Measurement by University of Applied Sciences Augsburg, Prof.Dr.Ing. Manfred Reddig

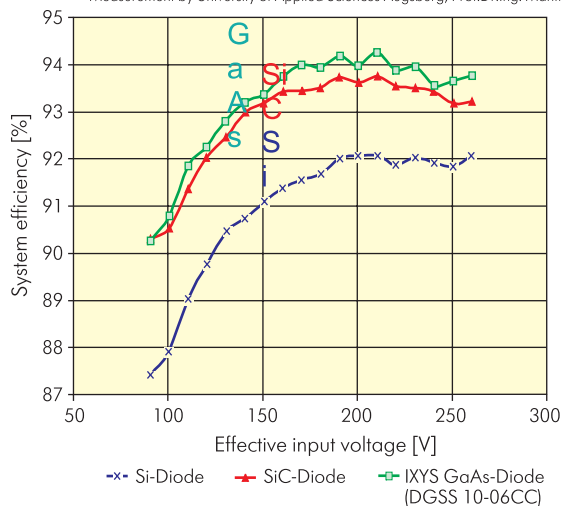


Рис. 3. Зависимость КПД тестовой схемы от входного напряжения

PFC Efficiency for GaAs-, SiC and Si-Diodes
200W PFC system (continuous current mode) at 220V input voltage, P=200W
Measurement by University of Applied Sciences Augsburg, Prof.Dr.Ing. Manfred Reddig

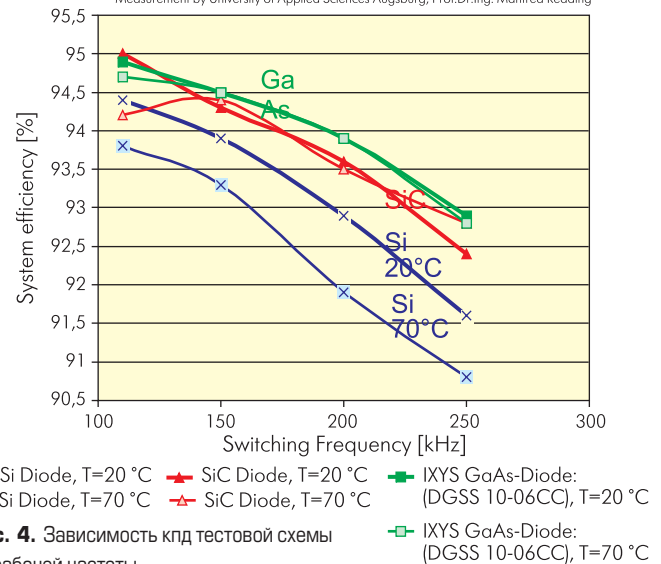


Рис. 4. Зависимость КПД тестовой схемы от рабочей частоты