

FRED ДИОДЫ КОМПАНИИ IXYS

Вступление

На сегодняшний день существует мнение, что кремний, на основе которого изготавливаются практически все типы существующих диодов, исчерпал свои свойства. Поэтому на данном этапе развития современной электроники остро встает вопрос о дальнейшем внедрении таких перспективных материалов как, арсенид галлия и карбид кремния. Ряд крупнейших мировых производителей, в том числе и компания IXYS, уже начали производить новые типы диодов на основе этих материалов. Первые испытания таких устройств показали ряд их неоспоримых преимуществ перед кремниевыми диодами. Дальнейшее развитие технологий SiC и GaAs является наиболее перспективным. Устройства на основе этих материалов в первую очередь найдут своё применение в приложениях, требующих максимальной производительности, при максимально возможных частотах, где необходимо поддерживать заданные параметры вне зависимости от температурных режимов и т.д.

Основным недостатком таких изделий пока по-прежнему остается их высокая цена, зачастую на порядок превышающая стоимость обычных кремниевых диодов. Также существует ряд ограничений по достигнутому диапазонам токов и напряжений. Например, для диодов на основе SiC максимально достигнутые параметры: до 20А средний прямой ток и до 1200В обратное напряжение. Для получения большей мощности необходимо объединять несколько подобных устройств. Вопрос цена-качество в этом случае встает еще более остро.

Поэтому, для большинства существующих приложений подобного рода решения пока остаются неприемлемыми. И подчас в условиях конкурентного, динамически развивающегося рынка электроники вопрос цены оказывается решающим. Тем более что на данный момент «стандартные» устройства на основе кремния продолжают прочно занимать свою нишу, предоставляя широчайшие возможности по диапазонам электрических параметров и для большей части сегмента потребительского рынка, являются оптимальным решением. Зачастую, для большинства приложений просто нет необходимости в использовании дорогостоящих устройств, тем более что оптимальное функционирование оборудования можно обеспечить и на существующей элементной базе.

Поскольку обычные устройства на основе кремния наиболее полно соответствуют требованиям современного рынка, остановимся на их рассмотрении более подробно.

Применение и типы FRED диодов.

Свободные диоды.

Эти диоды, соединенные параллельно с быстро переключающимися транзисторами, работающими с индуктивной нагрузкой, такой как индуктивности в повышающих или понижающих преобразователях, трансформаторах и двигателях. Большинство этих схем управляется ШИМ контроллером, работающим на конкретной частоте. Под действием индуктивности ток протекает через «свободную» схему. В случае, когда транзистор включен, «свободный» путь должен блокироваться для предотвращения короткого замыкания. Характерное взаимодействие между силовым транзистором и свободным диодом можно рассмотреть на примере усилительной схемы понижающего преобразователя (buck converter) на схеме 1.

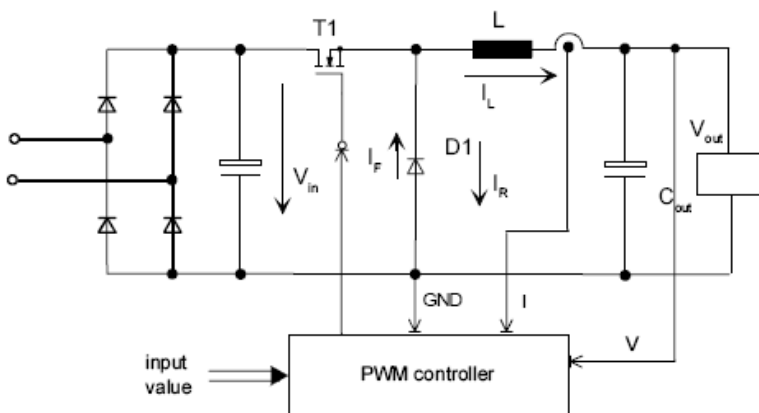


Схема 1: buck converter

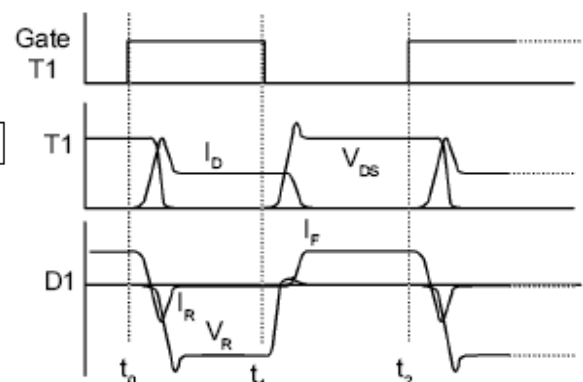


Схема 2: Сигналы затвора транзистора.

Эта схема обеспечивает на выходе напряжение V_{out} , меньшее, чем напряжение питания V_{in} . Схема 2 показывает управляющие сигналы транзистора T1 и диаграммы тока и напряжения транзистора T1 и диода D1. Блокирующая и проводящая фазы двух активных элементов T1 и D1 могут подразделяться следующим образом: в определенный момент времени t_0 контроллер включает транзистор T1.

Последовательно включенные L и C_{out} питаются напряжением питания V_{in} и обеспечивают линейный

рост тока. Этот ток определяется индуктивностью L и выходным напряжением V_{out} . По истечению определенного времени, определяемого контроллером, транзистор $T1$ выключается снова. В прерывистом режиме работы, энергия, находящаяся в индуктивности $L(W = 0.5 \cdot L \cdot I_L^2)$, передается через цепь свободного диода на конденсатор C_{out} . В определенное время t_2 , $T1$ включается снова и вся процедура повторяется.

На схеме 3 показана зависимость тока обратного восстановления от температуры чипа на золотой(3a) и платиновой(3b) подложке диода для одинаковых характеристик.

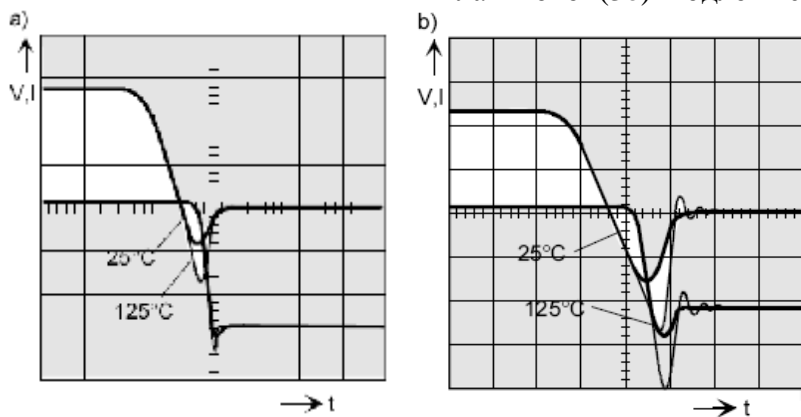


Схема 3: Ток обратного восстановления для двух FRED диодов для температур $T_{VJ}=25^{\circ}\text{C}$ и 125°C .

А) С примесью золота; Б) С примесью платины

Разница между двумя технологиями поразительная, если сравнивать характеристики восстановления для различных значений $\frac{di_F}{dt}$ при одной и той же температуре.

Выпрямительные диоды

FRED диоды используются в качестве выпрямительных диодов при условии что частота переключений больше чем 1кГц и блокирующее напряжение превышает 200В. Эти условия являются наиболее общими для импульсных источников питания обеспечивающих выходное напряжение 200 и более В, т.к. трудно найти диоды Шоттки удовлетворяющие данным значениям блокирующих напряжений(схема 4). Импульсные источники питания в основном работают с ШИМ контроллером. Поэтому режим работы таких диодов очень схож с режимом обратного диода. Поскольку диаграммы тока и напряжения представляют собой прямоугольники, расчет потерь энергии можно проводить по описанной схеме в случае обратного диода.

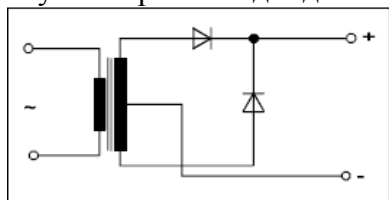


Схема 4: Выходная схема постоянного тока со средним выводом на диодах с общим катодом

Снаберные диоды

Снаберные цепи используются для защиты от пробоя полупроводниковых элементов. Достигаемая при использовании MOSFETs и IGBTs транзисторов di/dt более чем 1000А/мкс, приводит к перенапряжению, благодаря паразитным индуктивностям.

Выражение $V=L \cdot di/dt$ только лишь подчеркивает, насколько велики, могут быть величины перенапряжений, даже при очень малых паразитных индуктивностях. Например, при $-di/dt=1000\text{A}/\mu\text{s}$ во время выключения с паразитной индуктивностью 100 нГн, то пик напряжения будет:

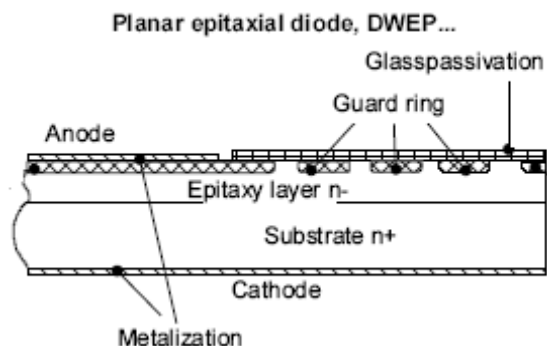
$$V=100\text{нГн} \cdot 1000\text{A}/\mu\text{s}=100\text{В}$$

Этот 100В пик добавится к постоянному питающему напряжению, что потребует использования более мощных MOSFET или IGBT. Такие устройства не только стоят дороже, но и снижают эффективность всей схемы благодаря повышенным потерям при переключениях. Снаберные цепи могут ограничить вырабатываемые перенапряжения путем передачи энергии, хранящейся в паразитных индуктивностях, на емкости. Наряду с емкостями, поведение диода при включении определяется остаточным напряжением.

Технология.

FRED(эпитаксиальные диоды с быстрым восстановлением) аббревиатура используется для серии сверхбыстрых диодов, получивших широкое распространение в последнее время.

Существует ряд методов для контроля характеристик диодов, показывающих различные взаимосвязи между прямым падением напряжения V_f , напряжением пробоя V_{gm} , и время переключения t_{rr} . Производственные процессы оказывают непосредственное влияние на такие параметры, как напряжение прямого восстановления V_{fr} , прямое напряжение V_f , прямое время восстановления t_{FR} , максимальный обратный ток I_{rm} и обратное время восстановления t_{rr} . На схеме 5 изображен кристалл FRED диода в разрезе. Во время подачи прямого напряжения(схема 5), сопротивление n-эпитаксиального слоя уменьшается посредством избыточного количества не основных зарядов(в данном случае – дырок).
 Схема 5: Вид в разрезе планарного перехода FRED диода.



Характеристики.

Для ускорения выключения биполярного диода применяются примеси золота или платины, а также электронное облучение материала. В случае сверхбыстрых диодов, n- слой, характеризующий обратное напряжение, следует делать как можно тоньше для минимизации потерь при прямом токе, так же как заряда, хранящегося в pn- переходе. Эпитаксиальная технология является лучшим выбором для получения необходимой толщины подложки, улучшающая механическую обработку плат. Эта технология позволяет использовать относительно тонкий n+ слой, соединенный с подложкой для придания механической прочности, на котором выращивается тонкий монокристаллический n- слой (так называемый эпитаксиальный слой). Толщина и сопротивление эпитаксиального слоя подбираются согласно желаемому уровню блокирующего напряжения.

Если производственные параметры(энергия облучения, температура закаливания) подобраны правильно, то характеристики переключения будут сохраняться стабильными. В таблице 1 изображены все значимые характеристики быстрых диодов по технологиям производства.

Таблица 1: сравнительные преимущества различных технологий изготовления сверхбыстрых диодов

| С примесью золота | С примесью платины | Электронное облучение | Диоды Шоттки |
|---|--|---|---|
| Плавное восстановление | Тенденция к накоплению | Тенденция к накоплению | Гораздо лучше при выключениях чем с золотом |
| Хороший баланс V_F - t_{rr} , короткое t_{rr} с более высоким V_F | Хороший баланс V_F - t_{rr} почти такое же V_F как у золота, выше I_{RM} при том же t_{rr} | Баланс V_F - t_{rr} не такой хороший как с примесью Pt или Au, явно дольше t_{rr} | Очень малый I_{RM} , малое V_F при низком V_R |
| Высокий I_R при высоких температурах(100°C) | Низкий I_R | Низкий I_R | Очень высокий I_R , даже при комнатной температуре, относительно низкое V_R |

Конечно, любые производственные процессы имеют как достоинства, так и недостатки. FRED диоды, использующие золотую примесь для управления жизненным циклом второстепенных носителей, представляют собой прекрасный компромисс между прямым напряжением, низкими пиками обратного тока и «мягким» восстановлением. Эти диоды характеризуются мягким восстановлением при температурах от -40°C до +150°C, не показывающие тенденций к накоплению заряда, даже при высокой скорости изменения тока $-di_F/dt(>800A/ms)$. Более высокий ток утечки является единственным недостатком для диодов с примесью золота, по сравнению с облученными диодами или диодами с примесью платины. Однако во многих приложениях потери, связанные с током утечки, малы по сравнению с потерями обратного восстановления и прямого тока(схема б).

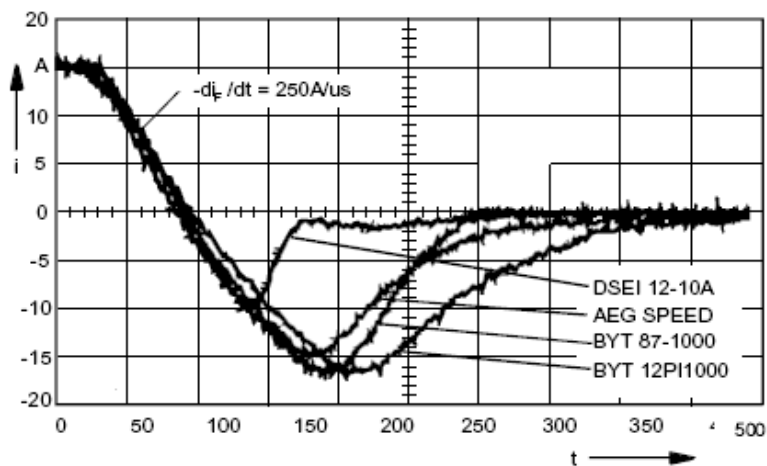


Схема 6: Сравнительные характеристики токов обратного восстановления для различных типов FRED диодов компании IXYS.

Все FRED диоды, поставляемые компанией IXYS, характеризуются очень низким током обратного восстановления, даже при высокой $-di_F/dt$. И в тоже время, они обеспечивают плавное снижение тока обратного восстановления, во избежание перенапряжений индуктивностей с очень высокой dv/dt . Эти перенапряжения могут привести к неисправности и даже разрушению работающего устройства, MOSFET, IGBT или биполярного транзистора.

IXYS предлагает диоды в следующих корпусах: TO-220, TO-247, SOT-227 SOT-227B, TO-263, TO-268, ISOPLUS220TM, ECO-PAC, ECO-PAC2, ISOPLUS247TM и ISOPLUS i4-PACTM, со следующими характеристиками: V_{rrm} -максимальное повторяющееся обратное напряжение от 200 до 1800В, I_{Fav} -среднее значение прямого тока от 8 до 2*165А FRED. Диоды компании IXYS имеют довольно высокую скорость переключения t_{rr} 35-40 нс, что является неоспоримым преимуществом.

Заключение

Как описывалось ранее, FRED диоды могут иметь различные характеристики, зависящие от технологии производства. По этим характеристикам можно судить о наиболее подходящем использовании диодов в различных приложениях.

Например, если стандартный FRED диод существующей схемы заменить диодами DSEI компании IXYS, то можно снизить потери энергии, как диодов, так и транзисторов. Плавное восстановление таких диодов также предотвращает перенапряжение транзистора вследствие слишком высокой dv/dt или импульса перенапряжения, а также снижает уровень электромагнитных и радиочастотных помех.

Рынок сверхбыстрых диодов постоянно расширяется. Наряду со стандартным их использованием в качестве обратных или свободных диодов в инверторах, эти диоды все чаще и чаще используются в снаберных цепях и в выпрямительных схемах импульсных источников питания.

Рассмотренный пример buck конвертора показывает, что при использовании сверхбыстрого диода нужно рассматривать все режимы работы устройства, а не отдельные параметры.

Приведенный пример buck конвертора можно подразделить, как показано на схеме 7.

Потери на включения и выключения составляют до 80% всех потерь диода. Определяющими факторами этих потерь являются: $P_D : V_F, P_{off} : t_{rr}, I_{RM}$.

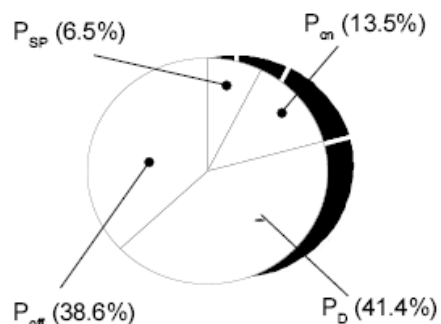


Схема 7: Пример сравнительных затрат энергии обратного диода в понижающем преобразователе.

Перспективные области применения FRED диодов: источники бесперебойного питания, чистящие машины, сварочные аппараты, снаберные цепи, антипараллельные и выпрямительные диоды.

Литература:

1. Rudiger Burkel, Thomas Schneider: Fast Recovery Epitaxial Diodes (FRED) Characteristics-Applications-Examples, Application Notes and Technical Information (1999)
2. Neumann, K: Impact of turn-off Semiconductor devices on power electronics, EPE Jornal, Vol. 1(1991)