

Новая технология мощных ИС, позволяющая уменьшить время восстановления и обратный ток диодов

Фрэнк Гудинаф

Дискретные полупроводниковые приборы, такие, как МОП и биполярные транзисторы с изолированным затвором, могут управлять широким диапазоном уровней мощности, начиная от милливатт и кончая мегаваттами. Эти возможности, однако, сужаются вследствие ограничений, налагаемых временами восстановления и обратными токами импульсных диодов и выпрямителей (рассчитанных на напряжения свыше 100 В), с которыми должны работать мощные транзисторы. (Обычно в схемах помимо диодов и выпрямителей, включаемых с МОП и биполярными транзисторами с изолированным затвором, имеются и другие диоды, например ограничительные диоды, диоды гашения обратного хода, диоды свободного хода и фиксирующие диоды.)

Чтобы избавиться от этих ограничений, фирма International Rectifier Corp. (Эль-Сегандо, шт. Калифорния) объединила обычную технологию изготовления диодов с быстрым восстановлением со своей технологией изготовления мощных МОП-транзисторов, имеющих ячеистую структуру (получивших название HEXFET-транзисторов). В результате были созданы так называемые HEXFRED-структуры (сокращение FRED означает fast-recovery epitaxial diode — эпитаксиальный диод с быстрым восстановлением) (рис. 1). До появления диодов HEXFRED параметры высоковольтных схем управления мощностью (таких, как стабилизаторы с импульсным регулированием и схемы управления электродвигателями) были очень ограничены. Хотя в продаже имеются эффективные быстродействующие выпрямители Шотки, рассчитанные на токи до сотен ампер и напряжения до 100 В, при более высоких напряжениях эти приборы нельзя использовать и необходимо применять так называемые «диоды с накоплением заряда» или «ультра-быстродействующие выпрямители». Но и эти приборы имеют ограничения. Их нельзя применять в наиболее быстродействующих переключающих схемах на МОП-транзисторах: их обратные токи при восстановлении велики, а само восстановление часто происходит слишком быстро.

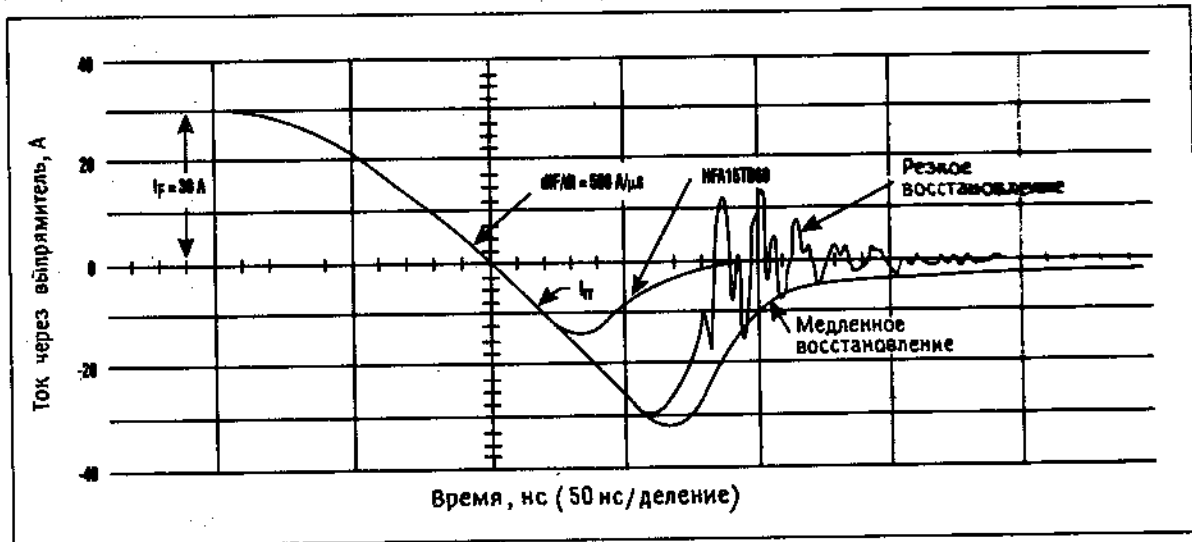
В структурах HEXFRED каждая из гексагональных ячеек представляет собой отдельный диодный анод, подсоединенный параллельно ко всем другим анодам с помощью металлизации. Однако каждый анод образует рп-переход с общим монокристаллическим кремниевым катодом выпрямителя. Такое разби-



ение анода выпрямителя позволяет управлять плотностью неосновных носителей заряда в активной области, что позволяет сделать время восстановления обратной характеристики диода независимым от времени жизни неосновных носителей. Наличие множества анодов дает возможность лучшим образом найти в процессе разработки прибора требуемый компромисс между восстановлением обратной характеристики, падением напряжения в открытом состоянии и токами утечки, протекающими через переход.

При протекании тока в прямом направлении все рп-переходы накапливают заряд (вследствие накопления неосновных носителей). Именно эта инжекция неосновных носителей заряда вызывает модуляцию проводимости, что в свою очередь приводит к уменьшению прямого падения напряжения на диоде V_F и в результате — к снижению потерь мощности. В этом смысле инжекция носителей играет положительную роль. Однако, когда напряжение на диоде меняет знак, накопленный заряд должен быть полностью удален (или нейтрализован). До тех пор пока это не произойдет, диод не может считаться полностью закрытым. Удаление заряда путем пропускания тока (называемого током обратного восстановления I_{rr}) требует определенного времени (называемого временем восстановления обратной характеристики t_{rr}).

В течение начального периода t_{rr} ток I_{rr} протека-



ет за очень короткий промежуток времени через МОП-транзистор, к которому в этот момент прикладывается все напряжение схемы. При этом транзистор рассеивает значительную мощность и может разогреться до температуры, превышающей допустимую. Во время второй части процесса восстановления на рп-переходе падает все напряжение, приложенное в обратном направлении, и также происходит значительное рассеяние мощности. Если время восстановления меньше и максимальный ток в обратном направлении снижается, нагрузка на МОП-транзистор и выпрямители уменьшается и суммарная мощность потерь в системе падает. При сравнительных испытаниях параметры прибора HEXFRED, к которому прикладывалось напряжение 200 В, превосходили параметры двух имеющихся в продаже быстродействующих выпрямителей с накоплением заряда, имеющих допустимое напряжение 600 В и ток 15 А (речь идет о времени восстановления и обратном токе) (рис. 2). Хотя так называемый выпрямитель с «резким восстановлением» (snappy-recovery) обладает более высоким быстродействием, чем выпрямитель с медленным восстановлением, возникающие в нем периодические процессы (так называемый «звон») могут приводить к появлению недопустимых электромагнитных и высокочастотных помех. Но и в том, и в другом случаях время восстановления больше, чем в приборе HEXFRED.

Первыми приборами, изготовленными по новой технологии, станут выпрямители HFA30TA60C (на 600 В) и HFA15TB60C (также на 600 В). Первый из них — двоярный прибор, в котором каждый диод рассчитан на 15 А. Второй — это один прибор с 15-А диодом. Типичное время восстановления диодов при токе 15 А составляет 19 нс, а типичный обратный ток достигает 6 А. Цены позволяют конкурировать с имеющимися в продаже приборами. Дополнительную информацию можно получить у Dave Gutierrez по тел. (310) 607-5974 [ED, 1992, No. 14, pp. 32, 34].