Новые силовые полупроводниковые приборы производства ЗАО «Протон-Электротекс»

Локтаев Ю.М., Ставцев А. В., Сурма А.М., Черников А.А.

ЗАО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» - одна из лидирующих в России компаний в части в разработки и производства высокомощных полупроводниковых приборов: диодов, тиристоров, модулей на их основе, охладителей.

Выпускаемая продукция охватывает практически всю гамму силовых тиристоров и диодов на напряжения от 100 до 6500 В, средние токи от 100 до 3000 А. Тиристоры и диоды выпускаются как в таблеточном, так и в штыревом конструктивных исполнениях. Кроме тиристоров и диодов, предназначенных для работы на промышленной частоте, выпускаются быстродействующие и частотно-импульсные тиристоры, быстровосстанавливающиеся диоды, в том числе диоды с мягкой характеристикой обратного восстановления.

Выпускается также широкая номенклатура модулей, на базе диодных и тиристорных элементов в различных схемных конфигурациях, в полностью прижимном конструктивном исполнении с изолированным основанием. Модули выпускаются на напряжения до 6500 В, средние токи 100 - 1250А

Основные направления развития новой техники можно охарактеризовать следующим образом:

1. Разработка и освоение в производстве высоковольтных тиристоров и диодов большой мощности, в том числе приборов на базе кремниевых кристаллов диаметром 100 и более миллиметров.

Сегодня уже освоены тиристоры и диоды с напряжением до 6500 В на базе кремниевых кристаллов диаметром 23 – 80 мм, на средние токи от 200 до 1250 А, а также тиристоры на базе кремниевого кристалла диаметром 100 мм на напряжение до 6000 В, средний ток до 2000 А.

Близка к завершению разработка тиристоров диапазона напряжения до 8500 В, в том числе на базе кристаллов диаметром 1000 мм, со средним током 1850 А.

Планируется, что такие приборы найдут применение в отечественной энергоэффективной электропреобразовательной аппаратуре нового поколения в электроэнергетике и на транспорте. Проявляют значительный интерес к новым высоковольтным и сильноточным тиристорам и диодам также наши зарубежные партнеры.

2. Разработка и освоение в производстве высоковольтных тиристоров и диодов с прецизионно контролируемыми характеристиками обратного восстановления, как с повышенным быстродействием, так и для работы на промышленной частоте.

Разработан и освоен в серийном производстве тиристор ТБИ 473-1600, на базе кристалла диаметром 80 мм, обладающий уникальными характеристиками, даже в сравнении с лучшими зарубежными аналогами: напряжение до 4300 В, средний ток 1600 А, время выключения менее 80 мкс, заряд обратного восстановления (125С, di/dt = - 50 А/мкс) не более 1000 мкКл с возможностью прецизионного подбора в поставляемой партии с разбросом менее 2%.

Компания также предлагает высоковольтные тиристоры и диоды (на напряжение до 6500 В) с прецизионно подобранными характеристиками обратного восстановления для работы в последовательных сборках или готовые последовательные сборки таких приборов. Группировка приборов по характеристикам обратного восстановления осуществляется на специальном стенде, воспроизводящем условия работы в последовательном соединении в режимах, близких к эксплуатационным. Использование этой испытательной установки и специальных методик позволяет производить отбор групп приборов, надежно работающих в последовательных столбах даже при отсутствии согласующих RC-цепей.

Также предлагаются комплектные силовые ключи-сборки КТ.5.11-800 на тиристорах, сгруппированных по описанной технологии, для применения в высоковольтных устройствах плавного пуска асинхронных электродвигателей (до 6 кВ) мощностью от 630 кВт.

3. Разработка и освоение высоковольтных модулей с изолированным основанием на базе диодных и тиристорных кристаллов диаметром 24-56 мм. Освоены новые приборы такого типа на напряжения 4000 – 6500 В, планируется в ближайшее время расширить диапазон напряжений до 8500 В.

4. Разработка и освоение серий высоковольтных тиристоров повышенной надежности.

Используются новые, более надежные покрытия периферийных областей, идет разработка новых технологий соединения кристаллов с термокомпенсатором.

Разработана серия высоковольтных тиристоров с интегрированными в кремниевую структуру элементами самозащиты, позволяющими безопасно переключить прибор при импульсном перенапряжении, а также при подаче напряжения на тиристор с не полностью восстановившейся запирающей способностью.

5. Развитие силовых высокомощных приборов с использованием новых конструктивно-технологических решений и физических принципов функционирования.

Интересными результатами ведущихся в этом направлении исследований и разработок, на наш взгляд, являются:

5.1.Симметричные ограничители напряжения с улучшенной энергоемкостью, содержащие скрытые n’ - слои.

Симметричный лавинный ограничитель напряжения «традиционной» конструкции и новый прибор, содержащий скрытые n’ - слои с уменьшенным удельным сопротивлением, схематично изображены на рис.1.

Для приборов традиционной конструкции проблемной зоной, ограничивающей максимальные импульсные значения рассеиваемой мощности и лавинного тока, а также максимально допустимую энергию потерь, является краевая область, граничащая с фаской. В этой зоне при любой полярности

приложенного напряжения происходит концентрация плотности тока, кроме того, ухудшены условия отвода тепла, так как размер верхнего контакта корпуса меньше размера полупроводниковой структуры.

Прибор новой конструкции лишен этого недостатка: лавинный ток в краевой зоне не протекает. Это позволяет существенно увеличить допустимые параметры амплитуды лавинного тока, пиковой рассеиваемой мощности и энергии потерь.

На рис.2 показаны зависимости тока и напряжения для экспериментального лавинного симметричного ограничителя новой конструкции. Диаметр полупроводниковой структуры этого прибора составлял 32 мм, напряжение начала лавинного пробоя – 1650 В.

Пиковая ударная мощность составляла около 300 кВт, энергия потерь – до 150 Дж при однократных импульсах.

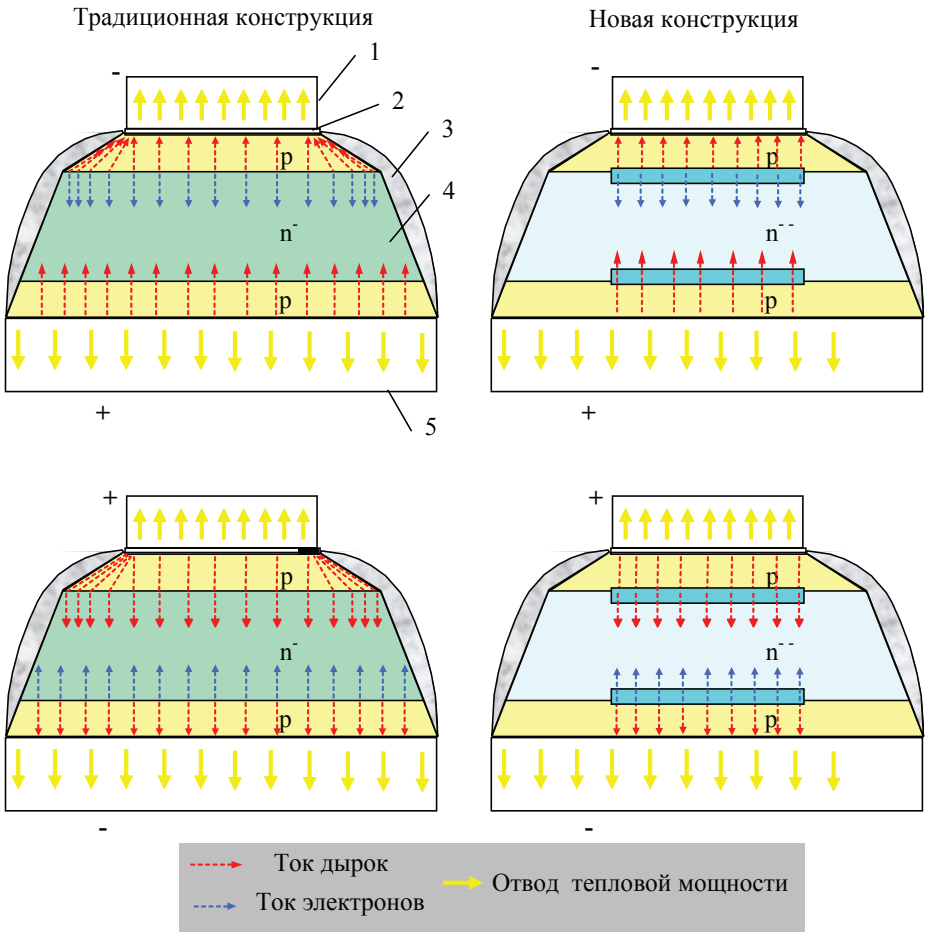
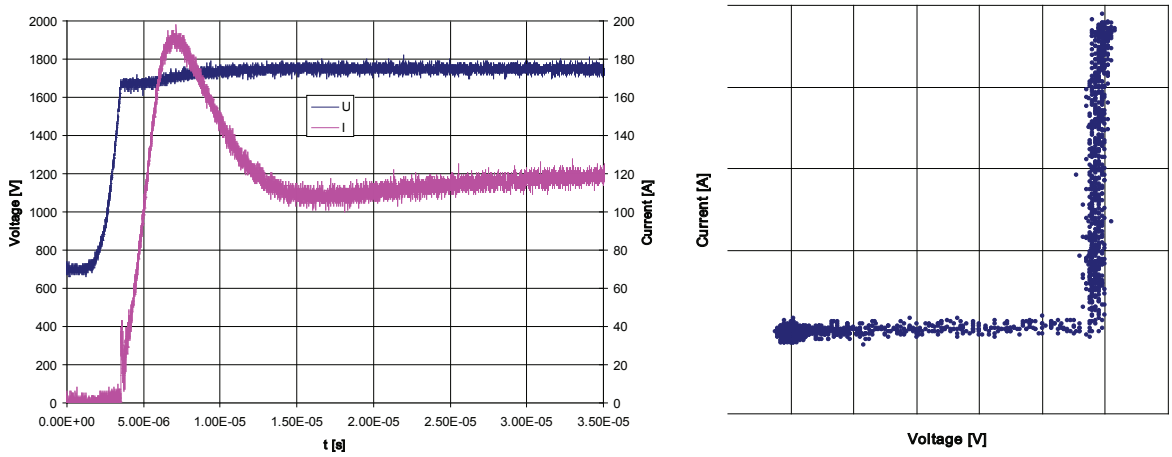


Рис. 1

Цифрами обозначены: 1- медный контакт корпуса, 2 – контактная металлизация полупроводниковой структуры, 3 – компаунд, 4 – полупроводниковая структура, 5 – молибденовый термокомпенсатор.



a. b.

Рис. 2.

a. – зависимости тока и напряжения от времени, b. – изотермическая динамическая вольт-амперная характеристика.

5.2. Мощные высоковольтные импульсные динисторы.

Мощные высоковольтные импульсные динисторы изготовлены на базе четырехслойных тиристорных структур с интегрированным транзисторным элементом - ограничителем перенапряжения (рис.3).

Основная структура прибора – тиристорная, тиристор при этом играет роль управляемого коммутатора токов высокой амплитуды. Роль быстродействующего ограничителя напряжения играет интегрированный в структуру прибора трехслойный ограничитель, лавинный ток которого включает тиристорную структуру. Если структура тиристора имеет многоступенчатое регенеративное управление, этот элемент, в принципе, может быть расположен в пределах любой из областей управления, или в каждой из них.

Такой прибор может быть использован как очень мощный и очень быстродействующий защитный элемент или коммутатор импульсов тока и напряжения с исключительно высокими скоростями нарастания. На рис. 4 приведены осциллограммы тока и напряжения при коммутации экспериментального динистора, полупроводниковый элемент которого показан на рис. 5.

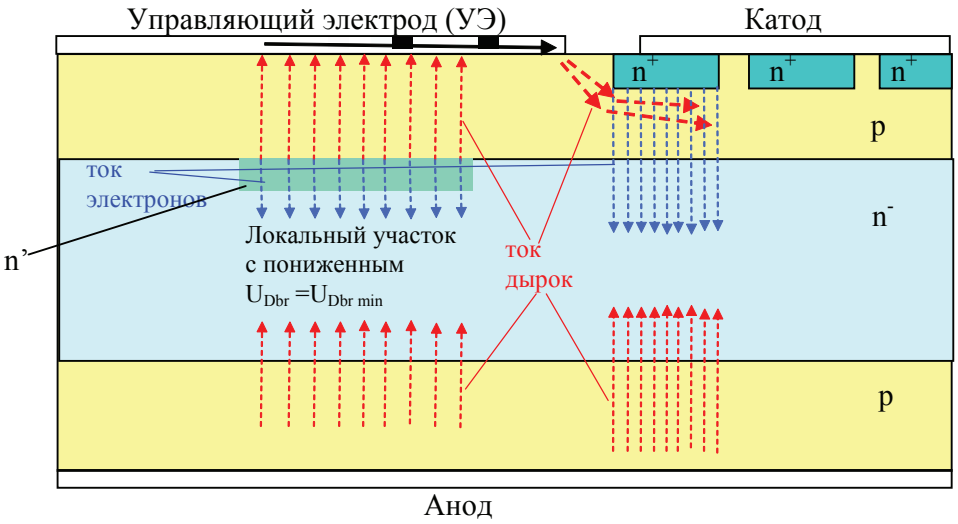
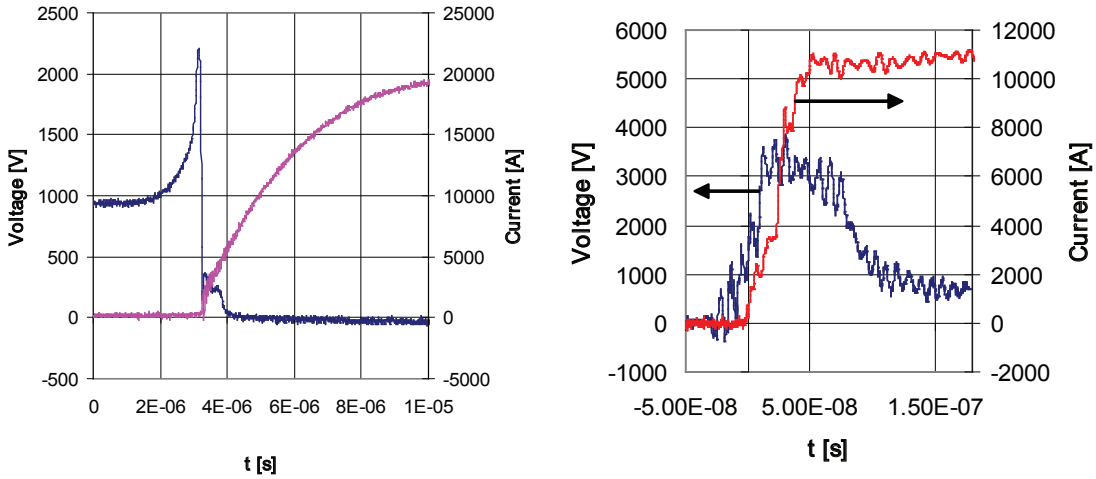


Рис. 3.



a. b.

Рис. 4.

Коммутация импульсов тока со скоростью нарастания около 5кА.мкс (a.) и около 200 кА/мкс (b.)

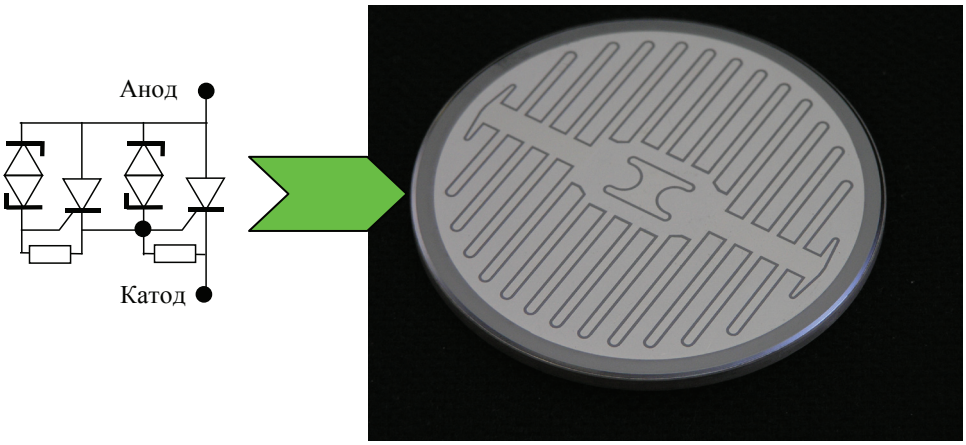


Рис. 5.

5.3. Высоковольтные сильноточные диоды с ультрамягкой характеристикой обратного восстановления.

На рис. 6. показана осциллограмма тока обратного восстановления экспериментального высоковольтного диода (UR=4800 В), изготовленного на базе кремниевого кристалла диаметром 56 мм. Испытания проводились в схеме с преимущественно индуктивной нагрузкой, определяющей скорость спада анодного тока, при напряжении источника обратного напряжения U R(DC) около 1000 В. Исходный прямой ток составлял около 1000 А, скорость спада – около 1600 А/мкс. Типичные значения S-фактора - 1,6-2.

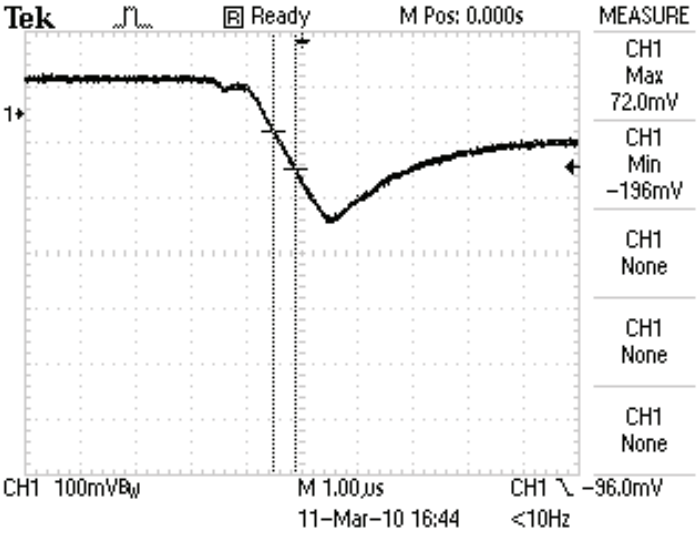


Рис. 6.