

06.2

© 1991

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ДИНИСТОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЯМОГО СРАЩИВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

В.И. Брылевский, А.Ф. Кардо-Сысоев,
И.А. Смирнова, И.Г. Чашников

Как известно, переход динистора (тиристора) в проводящее состояние при больших плотностях тока связан с модуляцией проводимости базовых слоев p^+np^+ -структуры за счет инжектированных p^+n - и n^+p -переходами дырок и электронов. Время переключения этих приборов зависит от толщины высокоомного базового слоя W_n (W_{ny} современных тиристорov превышает $1.5 \cdot 10^{-2}$ см) и составляет десятки-сотни наносекунд. Создание сильноточных тонкобазовых приборов с лучшим быстродействием наталкивается на ряд технологических трудностей, к которым следует отнести прогиб и механические напряжения, возникающие при односторонних диффузионных процессах в тонких (< 250 мкм) пластинах. Эти, а также некоторые другие причины не позволяют реализовать расчетные блокируемые напряжения в ключевых приборах большой площади.

В последние годы интенсивно разрабатывается метод прямого сращивания полупроводниковых пластин с различными электрофизическими параметрами (*wafer direct bonding*) [1-3]. Привлекательность метода прямого сращивания (ПСР) заключается в сравнительной простоте, возможности встраивания в структуру внутренних сильнолегированных слоев, отсутствии длительных термообработок.

По нашему мнению, метод ПСР перспективен для создания многослойных p^+np^+ -структур с тонкими базовыми слоями.

Настоящая работа, насколько нам известно, является первой успешной попыткой создания с помощью ПСР многослойных структур быстродействующих динисторов с тонкими базовыми слоями ($< 10^{-2}$ см).

Изготовление динисторов начиналось со сращивания полированных кремниевых пластин толщиной по 350 мкм из кремния КДБ0,005 и КЭФ20, которое приводило к образованию p^+n - эмиттерного перехода. Далее часть пластины из кремния КЭФ20 сошлифовывалась и сполировывалась. Формирование p^- и n^+ -переходов производилось известными средствами диффузионной технологии с применением фотолитографии при создании шунтированного n^+-p -перехода. Заметим, что в процессе термообработок при изготовлении структуры p^+n -переход уходил с границы раздела соединенных пластин (~ 35 мкм) за счет диффузии бора из пластины КДБ 0.005

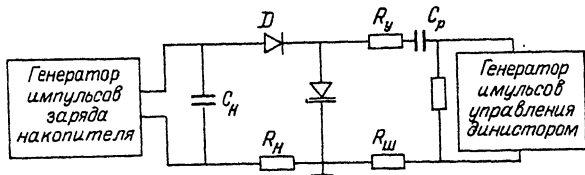


Рис. 1. Схема для регистрации переходных характеристик динисторов.

в пластину КЭФ 20. О хорошем качестве r^+p -перехода свидетельствует ВАХ r^+pp^+ -диода-спутника. Этот диод имел прямое падение 1.1 и 2.1 В при плотностях прямого тока 80 и 800 А/см². Напряжение пробоя диода составило 900 В, что согласуется с расчетным для использованного кремния ($\rho = 22-25$ Ом·см). Для исследования переходных процессов в широком интервале плотностей токов из пластин были изготовлены образцы с площадью ~ 0.07 см².

Не затрагивая известных диффузионных этапов формирования r^+pp^+ -структуры, отметим основные особенности использованного нами процесса ПСР. Для соединения из стандартных полированных пластин отбирались визуально пластины, не имевшие дефектов полировки и видимых в косом свете отклонений от плоскостности.

После стандартного цикла отмывки пластин производилось снятие естественного окисла в разбавленной HF с последующей отмывкой в деионизованной воде и сушкой на центрифуге при комнатной температуре. Помимо создания гидрофобных поверхностей, необходимых для получения хороших электрических характеристик [3], такая обработка, как показали дополнительные эксперименты, позволяет избавиться от неконтролируемой быстродиффундирующей примеси, присутствующей на поверхности серийных пластин до снятия окисла.

Извлеченные из центрифуги пластины сразу же складывались на специальном столике. Соединение производилось в гермозоне с концентрацией частиц < 10 л⁻¹. Затем для обеспечения механической прочности при последующей шлифовке пластины подвергались пятичасовой термообработке при 1150 °С. Перед механической обработкой контролировалась сплошность срачивания пластин по методике [4]. Несоединенная область, как правило, была локализована по периферии в 5 мм от края шестидесятимиллиметровых пластин, что обусловлено „завалом краев“ при полировке. Далее из пластин вырезались диски со 100 % сплошностью соединения, которые поступали на механическую обработку для утоньшения части пластины образованной КЭФ20.

Статические ВАЗ изготовленных динисторов показали, что в прямом направлении они блокируют 550 В. При обратной полярности резкое увеличение тока происходило при несколько большем напряжении > 600 В, соответствующем проколу тонкой p -базы толщиной $W_{п} = 65$ мкм областью объемного заряда.

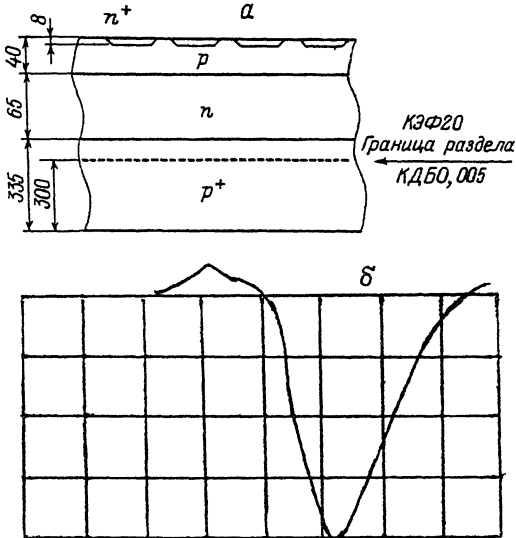


Рис. 2. Сечение динисторной структуры (а) и осциллограмма тока в нагрузке при переключении динистора (б); по горизонтали 20 нс/дел, по вертикали 50 А/дел.

Переходные процессы в приборах исследовались в схеме линейного модулятора (рис. 1) при сопротивлениях нагрузки от 100 до 0,2 Ом и напряжении на накопительной емкости C_H (0,02 мкФ) 500 В. В разрядный контур помимо динистора, сопротивления нагрузки и накопительной емкости был включен диод Д, благодаря которому сводилась к минимуму утечка тока управления через накопительный конденсатор C_H . Инициирование переходного процесса в разрядном контуре производилось путем подачи на анод динистора импульса напряжения с передним фронтом 10 нс от генератора импульсов управления через разделительный конденсатор C_p . Ток в цепи управления ограничивался резистором R_y . Длительность управляющего импульса была не менее 50 нс. Осциллографирование импульсов тока в цепи управления и силовой цепи производилось при частоте повторения импульсов 1 кГц; временное разрешение осциллографического тракта было не хуже 1 нс.

На рис. 2, а представлено сечение динисторной структуры, а рис. 2, б демонстрирует типичную осциллограмму тока в нагрузке при $R_H=0,2$ Ом и $C_H=0,02$ мкФ. Амплитуда импульса тока управления 20 А. Время задержки включения ~ 40 нс. Положительный выброс на осциллограмме, предшествующий началу переходного процесса нарастания тока (импульс тока – отрицательный), обусловлен утечкой части тока управления в силовую цепь через диод Д.

Изменение управления не влияло на форму кривой нарастания тока во времени, а сказывалось только на задержке. Двукратное увеличение тока управления уменьшало задержку включения до 20 нс, а его снижение до 7 А увеличивало задержку до 80 нс.

Эксперименты с динисторами показали, что они могут быть с успехом использованы для формирования колоколообразных импульсов тока с амплитудой до 300 А при длительности переднего фронта 20 нс.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Л.Э. Андрианову, В.А. Козлова и И.Я. Шапиро за интерес к работе и содействие в ее выполнении.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Shinbo M., Furukawa K., Fukuda K., Tanzawa K. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. N 8. P. 2987-2989.
- [2] Stengl R., Tan T., Gösele V. // Jap. J. of Appl. Phys. 1989. V. 28. N 10. P. 1735-1741.
- [3] Bengtsson S., Engström O. // J. Electrochem. Soc. 1990. V. 137. N 7. P. 2297-2302.
- [4] Воронков В.Б., Грехов И.В., Козлов В.А. // ФТП. 1991. Т. 25(2). С. 208-216.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
6 сентября 1991 г.