

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИМПУЛЬСНО-ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРЕМНИЕВЫХ СИЛОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ

Ладыгин Е.А., Лагов П.Б., Мусалитин А.М. (МИСиС)

Сурма А. М., Кокин С.А. (ГУП «ВЭИ им. В.И. Ленина, г. Москва)

Учуваткин В.В. (ГУП «НИИ Приборов», г. Лыткарино)

Представлены результаты применения радиационно-технологического процесса (РТП) с применением облучения быстрыми электронами для улучшения импульсно-частотных параметров кремниевых силовых диодов и тиристоров.

Известны преимущества РТП перед традиционно используемыми методами управления временем жизни τ с использованием диффузии золота и др. «глубоких» примесей. Во-первых, РТП позволяет точно дозировать концентрации радиационных центров (РЦ), вводимых для уменьшения τ , и вносить в высшей степени однородно по площади полупроводниковой структуры, что в конечном счете увеличивает процент выхода годных приборов. Во-вторых, обработка быстрыми электронами приводит к введению в структуру прибора целого набора РЦ, причем с помощью специальной термообработки (отжига) можно управлять составом РЦ и изменять их концентрации относительно друг друга, удовлетворяя таким образом тем или иным требованиям и сочетанию основных параметров: импульсного прямого напряжения (U_{FM}), времени восстановления обратного сопротивления (t_{rr}), коэффициента коммутационного перенапряжения (K_{rr}) и целого ряда других параметров, зависящих от времени жизни и удельного электросопротивления в активных физических областях силовых диодов и тиристоров.

Объектом исследований являлся быстросовосстанавливающийся силовой диод типа ДЧ143 с параметрами: средний прямой ток $I_{FAV} = 800$ А, импульсное повторяющееся напряжение $U_{RRM} \leq 2800$ В, $t_{rr} \leq 5$ мкс. Приборы изготовлены на пластинах из трансмутационного кремния марки КОФ-110 диаметром 40 мм и толщиной 380 мкм. Эмиттерные слои сформированы одновременной диффузией бора и алюминия на глубину 60 и 105 мкм, соответственно, с одной стороны, и фосфора на глубину 70 мкм, с другой. Сопротивление растекания p+-p слоя 4 Ом/кв, а n+-слоя, 0,75 Ом/кв. Технологическое облучение диодов проводилось на линейном ускорителе электронов «Электроника» в интервале потоков 10^{14} – 10^{16} см⁻² быстрыми электронами с энергией 6 МэВ при комнатной температуре.

Для исследования поведения параметров и кинетики РЦ в структурах проведены: изохронный отжиг в интервале 100–550 °С; снятие спектров термостимулированных токов (ТСТ); исследование инжекционной и температурной зависимостей τ .

В результате проведенных исследований выбраны оптимальные режимы операций облучения быстрыми электронами ($\Phi_e = 6 \cdot 10^{14}$ см⁻²) и отжига ($T = 400 \pm 40$ °С, 40 мин), применение которых позволяет значительно улучшить сочетание основных параметров U_{FM} – t_{rr} – K_{rr} ; значения U_{FM} и K_{rr} снижаются на 20–25 %, t_{rr} снижаются более, чем в 3–4 раза. Изготовленные с применением РТП силовые диоды с повышенным быстродействием более устойчиво работают при коммутации импульсов тока с резким передним и задним фронтами (до 1000 А/мкс), когда создание эффективных внешних демпфирующих RC-цепей становится проблематичным.

При применении РТП в технологии силовых тиристоров типа ТБ-173 (3,5 кВ, 2000 А), изготавливаемых на основе кремния марки КОФ-160, быстродействие возрастает в 1,8 – 2 раза при сохранении остальных параметров в нормах технических условий.

Радиационно-технологические процессы стали базовыми для обеспечения импульсно-частотных параметров в производстве силовых кремниевых диодов, транзисторов и тиристоров.

Литература

1. Н.Н. Горюнов, Е.А. Ладыгин, А.П. Галеев, А.В. Паничкин. Основы радиационной технологии микроэлектроники (в 3-х ч., 311 с.). М.: МИСиС, 1996 г.
2. Ладыгин Е.А., Лагов П.Б., Сурма А.М., Мусалитин А.М., Кокин С.А., и др. Материалы второй Всероссийской конференции «Кремний-2000», 9–11 февраля 2000 г., МИСиС, Москва, с. 275–283.