

Перспективы применения радиационно-стимулированной диффузии в технологии силовых приборов

Сурма А.М.¹, Ладыгин Е.А.², Лагов П.Б.², Мурашев В.Н.²

¹ФГУП ВЭИ

²МИСиС

В конце 1990-х годов в технологии современных высоковольтных (свыше 1000 В) мощных кремниевых приборов, таких, как биполярные транзисторы с изолированным затвором – IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), сверхбыстродействующие диоды с мягкой характеристикой обратного восстановления – SFRD (Soft Fast Recovery Diod), произошло революционное изменение, позволившее резко улучшить характеристики приборов. Суть этой революции в замене исходных подложек с эпитаксиальными приборными слоями, на подложки из монокристаллического кремния, где приборный слой составляет исходный высокоомный материал подложки, а пассивный высоколегированный слой формируется методом диффузии на глубину 100...200 мкм. Такой подход, за счет резкого снижения дефектности приборного слоя, позволил освоить в серийном производстве мощные приборы с размером кристалла 12,5...25 мм рассчитанные на напряжения 1200...6500 В. Кроме того наличие плавного изменяющегося уровня легирования в глубоких диффузионных слоях позволило оптимизировать характеристики приборов (SPT – технология и ее аналоги).

Наиболее существенный недостаток технологии заключается в значительной энергоемкости и длительности диффузионных операций, необходимых для ее реализации. Типичный процесс диффузии для создания диффузионного слоя глубиной более 100 мкм легированного фосфором или бором проводится при температуре около 1300°C в течение более 100 часов и требует замены реактора диффузионной печи после проведения 1...3 таких процессов. Таким образом, использование традиционной диффузионной технологии существенно увеличивает себестоимость приборов и длительность производственного цикла. Следствием вышеизложенного является также отсутствие в мире свободного рынка монокристаллических подложек с глубокими диффузионными слоями. Предприятия-изготовители силовых полупроводниковых приборов, как правило, производят такие подложки только для собственных нужд и отказываются поставлять их на заказ. В связи с этим перспективным видится исследование возможности создания глубоких высоколегированных диффузионных слоев методом радиационно-стимулированной диффузии в потоке высокоэнергетических электронов.

Явление радиационно-стимулированной диффузии хорошо исследовано в приложении к сравнительно неглубоким слоям (как правило менее 10 мкм). Для разработки научных основ подобной технологии в приложении к проблеме создания глубоких высоколегированных слоев для структур силовой электроники требуется провести ряд дополнительных исследований. Необходимо исследовать следующие малоизученные аспекты, важные для последующей разработки промышленной технологии: 1) влияние характеристик электронного пучка (энергия электронов, плотность потока, импульсный или непрерывный характер потока) и температуры обработки на параметры диффузионного профиля донорных и акцепторных примесей; 2) возможность комплексного использования радиационного и теплового воздействия электронного пучка; 3) влияние предварительной обработки поверхности на дефектность приборного слоя подложки после проведения радиационно-стимулированных обработок; 4) особенности глубокой радиационно-стимулированной диффузии в градиентном поле концентраций дефектов Френкеля, ионизированном пучком электронов с энергией близкой к граничной; 5) особенности глубокой радиационно-стимулированной диффузии при дополнительном воздействии электрического поля; 6) возможность одновременной радиационно-стимулированной разгонки акцепторных и донорных примесей для создания глубоко залегающих (100 и более мкм) скрытых слоев в структурах силовых приборов.