

Неразрушающий контроль механических напряжений на поверхности проводящих объектов

Гусев О.К., Киреенко В.П., Русакевич Д.А., Тявловский К.Л.,
Тявловский А.К.

Белорусский национальный технический университет

В производстве интегральных схем и приборов точной механики создание высококачественных маскирующих покрытий и поверхностей без механических напряжений является одной из основных проблем совершенствования технологии. Анализ пространственного распределения поверхностного потенциала может быть эффективно использован для обнаружения скрытых дефектов структур полупроводниковых приборов и материалов электронной техники. Для измерения электрического потенциала поверхности используется бесконтактный неразрушающий метод зонда Кельвина.

Сопоставление пространственного распределения электрического потенциала поверхности с дефектностью эпитаксиальных пленок на Si и GaAs подложках выявило корреляцию толщины переходной области и локализации скопления дефектов на поверхности эпитаксиальной пленки. Метод зонда Кельвина может успешно использоваться для выявления и определения глубины нарушенного слоя, что подтверждено при его последовательном съеме и оценке качества подготовки поверхности подложки после химико-механической полировки по параметрам распределения электрического потенциала поверхности. Для группы пластин из различных партий после операции полировки, характеризующихся неоднородной поверхностью ($\max \Delta U > 50$ мВ, $\Sigma S_v > 30\%$, $\alpha < 0,7$) проведены повторные измерения электрического потенциала поверхности и морфологии травленной поверхности после съема 10 мкм слоя материала. Значение $\max \Delta U$ снизилось до 20 мВ, ΣS_v – до величины менее 10 % и α увеличилось более чем до 0,9, причем распределение поверхностного потенциала по пластине и микроморфологии травленной поверхности не отличались от пластин с однородной, бездефектной поверхностью. При съеме поверхностного слоя методом химического травления $> 15...20$ мкм величина потен-

циала остается постоянной и соответствует полному удалению нарушенного слоя (рис. 1).

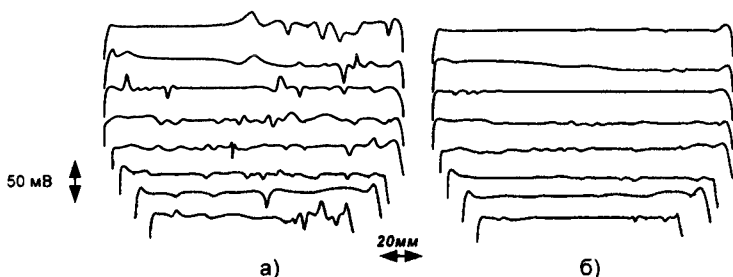


Рис. 1. Пространственное распределение поверхностного потенциала пластин Si и GaAs при не полностью (а) и полностью удаленном механически нарушенном слое (б)

Это связано с тем, что в местах локализации дефектов, представляющих собой участки с повышенной свободной энергией, осуществляется ускоренный обмен примесями между пластиной и окружающей средой, что и вызывает локализованное изменение значений поверхностного потенциала.

Микроморфология образцов с неполностью удаленным нарушенным слоем исследованных с помощью электронного микроскопа свидетельствует о соответствии пространственной локализации участков с плотностью дефектов типа агрегатов примесей около 10^{10} см^{-2} – участкам с величиной неоднородности потенциала менее 10-15 мВ. Равномерное распределение дефектов, свойственное объему полупроводника, достигается на глубине 30-80 нм. Участкам с неоднородностью распределения потенциала более 20 мВ соответствует морфология с характерным распределением неоднородных по размеру декорирующих столбиков с плотностью до $7 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$.

Эпитаксиальные пленки, выращенные на подложках, характеризующихся низкой степенью однородности поверхности ($\Delta U_{\text{max}} \approx 40-80 \text{ мВ}$, $\Sigma U_{\text{в}} > 20-40\%$; $\alpha < 0,7$), имели большую плотность дислокаций 10^7 см^{-2} и дефектов упаковки $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$, причем равномерное распределение дефектов, свойственное

объему полупроводника, достигается на глубине $> 5-10$ мкм. Метод контроля механически нарушенного слоя и дефектов, приводящих к механическим напряжениям в приповерхностном слое, с использованием зонда Кельвина применялся также для металлических образцов с внедренными алмазными зернами и пленок металла на стеклянных подложках (шаблонах для фотолитографии). Наряду с измерениями КРП проводились измерения дефектности маскирующих покрытий, начиная с размера в $0,5$ мкм и геометрических размеров от 8 до $0,8$ мкм. Критерием воспроизводимости элементов являлась величина отношения отклонения размера элементов от эталонного значения, к размеру элемента на эталоне, выраженная в процентах, которая должна быть меньше установленной границы допуска на номинальный размер.

Установлена корреляционная связь топографической картины распределения поверхностного потенциала на хромированной стеклянной пластине фотошаблона от дефектности маскирующего покрытия и размерных погрешностей элементов. Увеличение отклонения поверхностного потенциала коррелирует с локализацией дефектов и размерной погрешностью элементов. Сопоставление процента выхода годных топологических структур с местами расположения локальных отклонений поверхностного потенциала на пластине позволяет сделать вывод о возможности прогнозирования процента выхода годных структур в зависимости от качества исходной пластины на основании анализа пространственного распределения поверхностного потенциала.

Оценка однородности свойств поверхности исходных подложек методом КРП позволяет прогнозировать получение эпитаксиальных пленок с заданными параметрами (плотность дефектов, толщина переходного слоя). Соответствие величины поверхностного потенциала типу обработки, а соответствующих численных значений его критериев – качеству обработки и структурному совершенству поверхности позволяет использовать метод зонда Кельвина для входного контроля и группировки структур формируемых приборов с заданными параметрами.