

УДК 537.58+621.317

Неразрушающий контроль параметров пространственного распределения дефектов с характерными размерами более 50 нм в полупроводниковых пластинах

Гусев О. К., Воробей Р. И., Тявловский К. Л., Тявловский А. К.
Белорусский национальный технический университет

Надежность и стабильность приборных структур интегральных микросхем (ИМС) во многом определяют ионные загрязнения, присутствующие в диэлектрических слоях. В технологическом процессе производства ИМС используются различные диэлектрические слои с использованием большой номенклатуры материалов:

- подзатворный диэлектрик – высокотемпературные процессы окисления кремния в различных средах (пирогенное окисление, пары воды, сухой кислород и др.);
- изолирующие и базовые диэлектрики – высокотемпературные длительные процессы окисления кремния с целью создания изоляции элементов ИМС;
- межслойные, пассивирующие диэлектрики – средне- и низкотемпературные процессы осаждения слоев (разложение сложных кремнийорганических соединений, пиролитическое осаждение и др.)

Наличие микронеоднородностей на поверхности полупроводниковых пластин, границах раздела и слоях Si-SiO₂ во многом определяет параметры и надежность схем, разброс параметров приборных структур. Анализ микронеоднородностей становится наиболее актуальным в связи с переходом к субмикронным проектным нормам и уменьшением толщины подзатворного диэлектрика.

Метод зонда Кельвина (КРП) характеризуется высокой чувствительностью к искажениям электрического потенциала, вызванных любыми типами дефектов, является бесконтактным, т.е. неразрушающим, не требует какой-либо подготовки поверхности или создания тестовых структур. Однако пространственная разрешающая способность метода ограничивается размерами расчетного электрода.

Разработанная методика позволяет использовать дополнительные параметры измерительного сигнала, ранее обуславливающими дополнительную случайную составляющую погрешности измерения, для контроля параметров микронеоднородности распределения дефектов вплоть до их размеров несколько десятков нанометров.

Так при повторных измерениях вдоль одной и той же линии сканирования обнаружено несовпадение измеряемых пространственных распределений электрического потенциала поверхности. Моделирование неоднородности потенциала тестовыми структурами и использовании отсчетных электродов различных размеров показало, что размах несовпадений при повторных измерениях составляет величину $\Delta U \approx 3 \sigma$, где σ – среднеквадратичное отклонение потенциала. При прекращении сканирования в области с несовпадающими значениями измерительного сигнала при повторных измерениях и поперечном перемещении отсчетного электрода наблюдается дистанционная зависимость измерительного сигнала. При этом, при поперечном перемещении отсчетного электрода над областью поверхности с микронеоднородным распределением потенциала дистанционная зависимость измерительного сигнала отсутствует.

Неоднородность распределения потенциала под электродом может быть смоделирована наличием под электродом участков поверхности с потенциалами $U_1 \dots U_n$, занимающими площади $S_1 \dots S_n$ (Рис. 1). При этом должно выполняться условие равенства средних значений потенциала на площади под электродом S для модели и моделируемой поверхности. Наличие под электродом неоднородностей потенциала приводит к зависимости измеряемого значения потенциала от расстояния между отсчетным электродом и поверхностью. Результаты моделирования дистанционной зависимости измерительного сигнала при наличии микронеоднородностей приведены на рис. 2. Пунктирными линиями нанесены средние под отсчетным электродом значения поверхностного потенциала.

Объектом исследования служили пластины кремния марки КЭФ (n-типа проводимости), КДБ (p-проводимости) и арсенида галлия (n-типа проводимости) после химико-механической полировки. Вначале на исходных пластинах измерялось пространственное распределение потенциала (КРП), затем на них был

выявлен микрорельеф и оценено структурное совершенство по распределению декорирующих столбиков, связанных с дефектами типа агрегатов примесей. После этого на кремниевых пластинах были выращены эпитаксиальные пленки, дефектность которых оценивалась с помощью оптического и просвечивающего электронного микроскопа. Измерения выявили области поверхности с различным характером распределения дефектов и соответствие характера сигнала КРП размерам и типу пространственного распределения дефектов. Обнаружена связь зависимости измеряемого потенциала от расстояния между отсчетным электродом и исследуемой поверхностью с характером распределения структурных неоднородностей. Дефекты с характерными размерами пространственного распределения менее 50 нм при чувствительности 2 мВ в методике анализа дистанционной зависимости сигнала КРП не обнаруживаются. Это может быть объяснено взаимным перекрытием электрического поля близко расположенных дефектов.

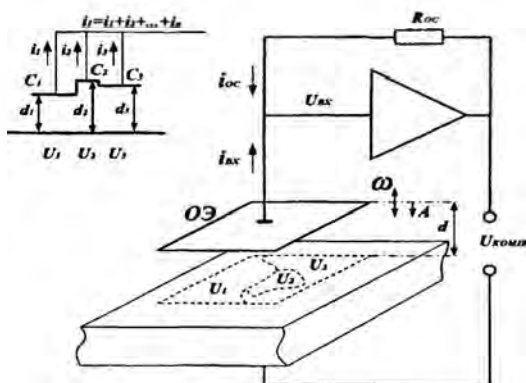


Рис. 1 – Модель реального отсчетного электрода и поверхности полупроводника с микронеоднородным распределением потенциала

Таким образом, анализ дистанционных зависимостей измеряемого сигнала в методе зонда Кельвина позволяет неразрушающим способом производить контроль параметров пространственного распределения дефектов в полупроводниковых пла-

стигах при характерных расстояниях между дефектами более 50 нм. Измерения проводятся в диэлектрическом воздушном зазоре, т.е. возможны на структурах Si-SiO₂.

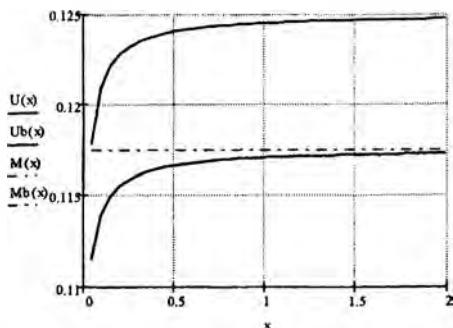


Рис. 2 – Дистанционная зависимость измеряемого значения потенциала поверхности в методе зонда Кельвина при микро неоднородном распределении потенциала

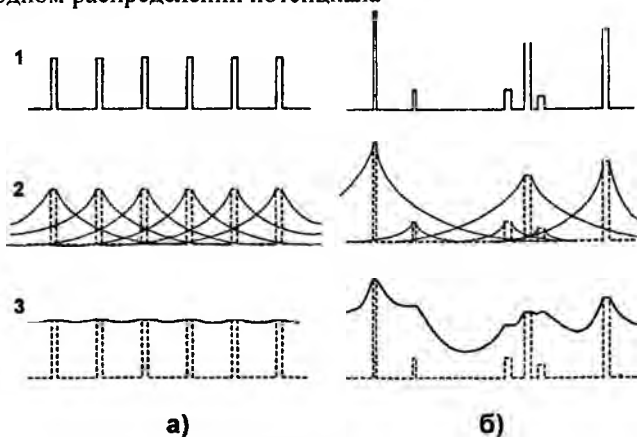


Рис. 3 – Пространственные распределения плотности дефектов и электрического потенциала на поверхности полупроводника а) микрооднородное распределение дефектов; б) микрооднородное распределение; 1- распределение искажений электрического потенциала на дефектах; 2- распределение электрического потенциала в окрестности каждого из дефектов; 3- суммарный потенциал