

в интервале $\sim 2\text{--}12$ мс. Степень деградации теплового сопротивления слоя посадки после термопрогона коррелирует с его исходным значением (рис. 5), т. е. у транзисторов с большим тепловым сопротивлением данного слоя деградация проходит быстрее. Степень деградации для первой группы не превышала 23 %, в то время как для второй – 47 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработан метод определения теплового сопротивления слоя посадки кристалла на теплоотводящее основание. Показано, что деградация теплового сопротивления транзистора после термопрогона связана с деградацией слоя посадки. Обнаружено, что деградация данного слоя проходит сильнее у транзисторов с большим тепловым сопротивлением.

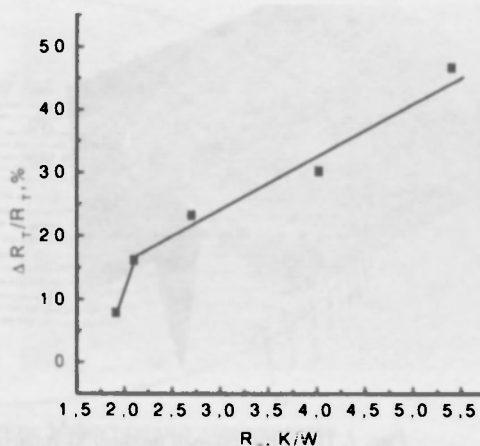


Рис. 5. Зависимость степени деградации теплового сопротивления слоя посадки транзисторов КП1743Б1 после 200 ч термопрогона от значений исходных тепловых сопротивлений

ЛИТЕРАТУРА

1. Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information. JEDEC STANDARD N51-12. 2005. 18 с.
2. Бумай Ю. А., Васьков О. С., Доманевский Д. С. и др. // Тез. 6 Всерос. конф. «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы. Санкт-Петербург, 18–20 июня 2008 г. С. 78–79.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЛАСТЯХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Р. И. Воробей¹, О. К. Гусев¹, В. А. Пилипенко², В. И. Плебанович²,
А. К. Тявловский¹, К. Л. Тявловский¹, Г. Г. Чигирь²

¹Белорусский национальный технический университет
²НТЦ «Белмикросистемы»

Контроль параметров пространственного распределения структурных дефектов производится неразрушающим методом измерения электрического потенциала поверхности с использованием зонда Кельвина. Модификация метода зонда Кельвина с анализом дистанционной зависимости компенсирующего напряжения от межэлектродного зазора [1] позволяет обнаруживать и измерять параметры пространственного распределения электрического потенциала поверхности объекта контроля, связанные с неоднородностью распределения структурных образований, имеющих размеры существенно меньше размеров отсчетного электрода.

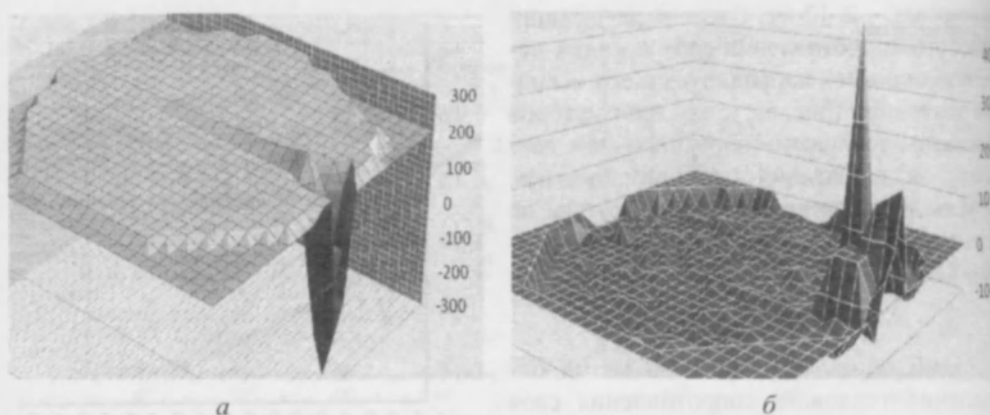


Рис. 1. Потенциальный рельеф Si-пластины (в мВ), обусловленный электронным средством (а) приповерхностным изгибом энергетических зон (б)

Контроль параметров потенциального рельефа полупроводниковых пластин проводился на партии пластин диаметром 150 мм из технологического процесса производства силовых МДП-структур. В качестве информационных параметров использованы средние значения потенциалов эффективного электронного средства, приповерхностного изгиба энергетических зон и их среднеквадратического отклонения (СКО). При этом отклонения в пространственном распределении эффективного электронного средства связаны со структурными дефектами, а приповерхностного изгиба энергетических зон – с остаточными примесями после технологических обработок. Локализация отклонений потенциала приповерхностного изгиба энергетических зон также связана с локализацией структурных дефектов, но может не совпадать с локализацией дефектов, выявляемых при контроле пространственного распределения электрического потенциала эффективного электронного средства. Как правило, пространственное распределение потенциала приповерхностного изгиба энергетических зон является более «гладким» (рис. 1). Необходимо также отметить, что величина потенциала почти не связана с концентрацией структурных дефектов (рис. 2), а в основном определяется их типом и видом остаточных загрязнений, «декорирующих» выявляемые дефекты.

В местах отклонений электрического потенциала, превышающего по величине его СКО, от среднего значения по пластине, измеренного до проведения технологической операции (окисление, формирование затвора МДП-структуры), наблюдаются повышенная концентрация дефектных приборных структур, отбраковываемых по критериям пробивных напряжений и токов утечки в предпробойной области.

В ходе исследования параметров пространственного распределения электрического потенциала поверхности партия пластин-спутников была подвергнута специальным операциям термообработки (табл. 1).

В таблице 2 приведены параметры, характеризующие изменение характеристик пространственного распределения потенциального рельефа полупроводниковых пластин-спутников после термической обработки (термоудара) (рис. 3 и 4). В таблице приведены следующие параметры: абсолютное значение приповерхностного изгиба энергетических зон, СКО изгиба энергетических зон, СКО электронного средства.

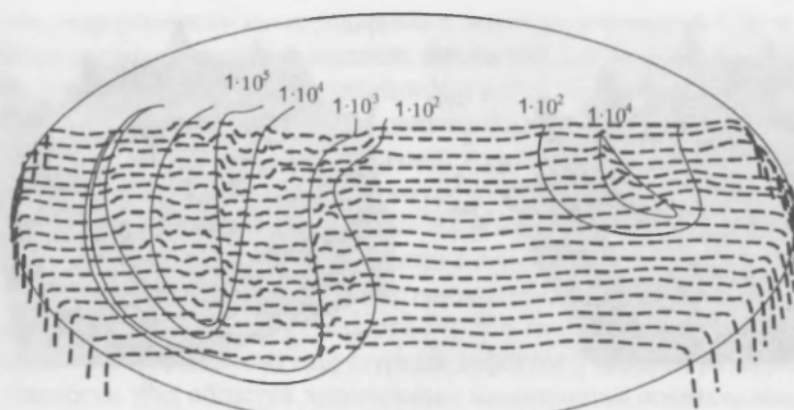


Рис. 2. Пространственное распределение эффективного электронного сродства на подложке и соответствующее ему распределение плотности дефектов (см^{-3}) в ионно-легированном слое

Таблица 1

Основные характеристики операции обработки пластин-спутников

Пластина	Операция	Время загрузки/выгрузки, мин	Температура обработки, °C	Атмосфера обработки
№1	Хранение, 10 дн.	—	20	воздух
№ 2	Термообработка	20/20	550	N ₂
№ 3	Термообработка	20/20	700	N ₂
№ 4	Термообработка	20/20	850	N ₂
№ 5	Термообработка	3/3	950	N ₂

Таблица 2

Изменения параметров пространственного распределения электрического потенциала поверхности полупроводниковых пластин после термообработки

Пластина	До термообработки			После операции термоудара		
	изгиб зон, мВ	СКО изгиб зон, мВ	СКО эл. ср., мВ	изгиб зон, мВ	СКО изгиб зон, мВ	СКО эл. ср., мВ
№1	68,3	4,15	11,80	69,5	14,29	19,01
№ 2	44,9	3,25	11,38	45,4	4,70	16,44
№ 3	43,2	5,77	42,12	172,8	14,23	87,35
№ 4	44,9	5,55	9,40	173,7	20,95	14,55
№ 5	72,7	7,97	16,97	16,1	10,34	34,73

Как видно, для всех пластин характерно увеличение СКО после проведения операции термообработки, причем для пластины № 2 эти изменения гораздо меньше, чем для других, и практически несущественны. Более того, для этой пластины и изменение значения приповерхностного изгиба зон составляет всего 0,5 мВ, что сравнимо с погрешностью измерений. Также можно отметить, что неоднородность распределения потенциала изгиба зон меньше, чем потенциала электронного сродства.

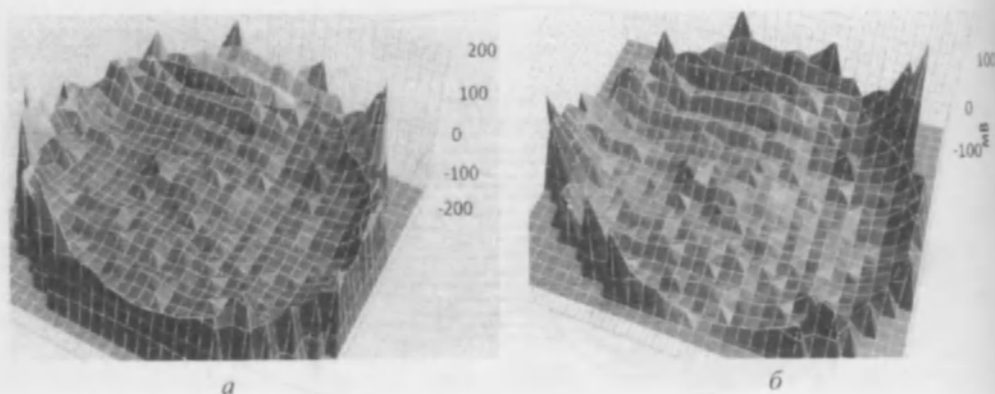


Рис. 3. Потенциальный рельеф пластины-спутника № 2, обусловленный электронным средством: до термообработки (а), и после (б)

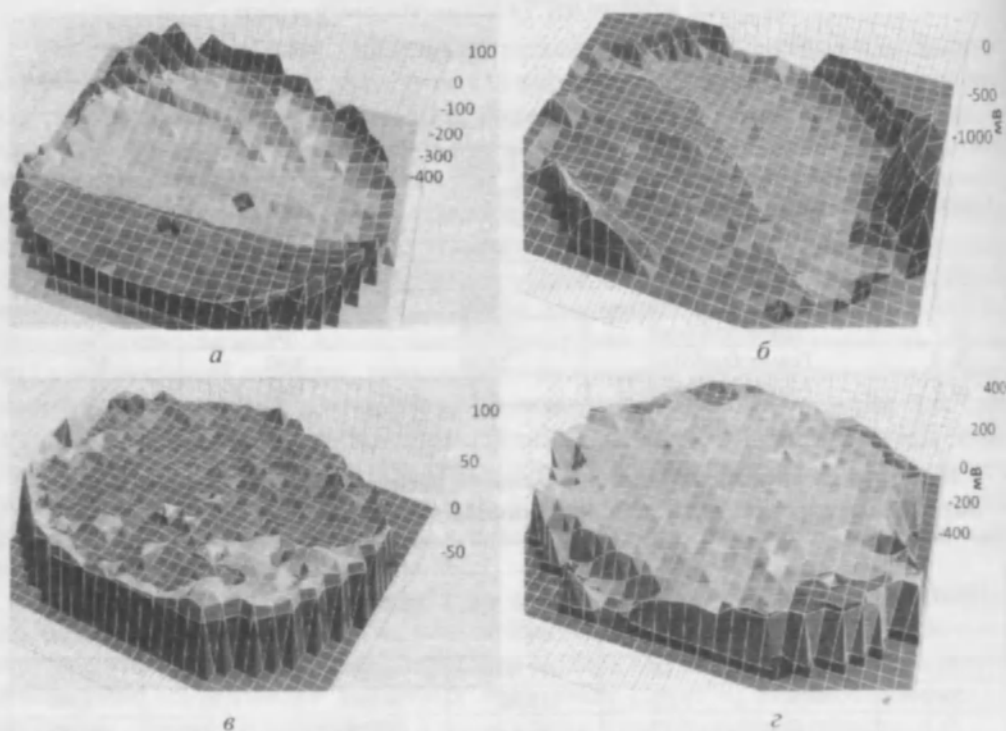


Рис. 4. Потенциальный рельеф пластины-спутника № 3, обусловленный электронным средством: до термообработки (а) и после (б), и приповерхностным изгибом зон: до термообработки (в) и после (г)

Пластина-спутник № 1 имеет практически неизменившиеся топограммы как электронного средства, так и приповерхностного изгиба зон. Абсолютное значение приповерхностного изгиба зон увеличилось незначительно (на 1,2 мВ), но вследствие хранения увеличились СКО как пространственного распределения электронного средства, так и приповерхностного изгиба зон. Можно также отметить, что для исходных пластин зна-

чения изгиба энергетических зон группируются около двух значений – 70 и 44 мВ. После обработки значение приповерхностного изгиба зон для пластин № 1 (хранение) и № 2 практически не изменилось. Для пластин № 3 и № 4 это значение установилось около 173 мВ. У пластины № 5 значение приповерхностного изгиба зон существенно уменьшилось, но за счет уменьшения величины изгиба зон до примерно 10 мВ в «нижней» части пластины (относительно базового среза). В «верхней», меньшей по площади, части пластины величина изгиба зон осталась такой же, как и до термообработки.

В локальных областях пластины с отклонениями электрического потенциала от среднего значения также наблюдается дистанционная зависимость компенсирующего напряжения от межэлектродного зазора [1], что свидетельствует о наличии микронеоднородного распределения структурных дефектов с малыми размерами. Исследование топологии этих областей электронным микроскопом показало наличие в них дефектов с размерами 50...100 нм и расстоянием между ними 200...700 нм.

При контроле параметров пространственного распределения электрического потенциала поверхности после проведения технологических операций установлено, что различные технологические операции по-разному влияют на формирование потенциального рельефа электронного сродства и приповерхностного изгиба энергетических зон. Таким образом, для различных технологических операций наибольшей информативностью обладают либо потенциальный рельеф электронного сродства, либо потенциальный рельеф приповерхностного изгиба энергетических зон, либо совокупность потенциальных рельефов. Для выбора информативного параметра применительно к конкретной технологической операции и параметрам исходной полупроводниковой структуры необходимо выполнение предварительных исследовательских контрольных измерений. Для эффективного применения методики контроля потенциального рельефа полупроводниковых пластин необходимо накопление экспериментальной базы данных типовых и предельно допустимых значений параметров пространственного распределения электрического потенциала электронного сродства и приповерхностного изгиба энергетических зон на полупроводниковых пластинах.

Применение метода зонда Кельвина наиболее оправданно при подборе параметров технологических операций. Достоинства действительно неразрушающего характера контроля проявляются в том, что к полупроводниковой пластине достаточен электрический и механический контакт только с тыльной, нерабочей стороны пластины. Механическое сканирование отсчетного электрода над рабочей стороной объекта контроля производится с межэлектродным зазором около 0,1 ... 0,5 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев О. К., Тявловский К. Л., Тявловский А. К. и др. Многопараметрические измерения электрического потенциала поверхности с использованием адаптивной односигнальной модели // Метрология и приборостроение. 2008. № 2. С. 32–38.