

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФЕКТНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПЛАСТИНЫ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ И ЭЛЛИПСОМЕТРИИ

Воробей Р.И.¹, Жарин А.Л.¹, Петлицкий А.Н.², Пилипенко В.А.², Свистун А.И.¹,
Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Интеграл» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
Минск, Республика Беларусь

Для определения степени дефектности полупроводниковой пластины со структурой «кремний-диэлектрик» диаметром 20 см использовался метод сканирующего зонда Кельвина-Зисмана [1]. При выполнении исследований выполнялось измерение пространственного распределения двух величин – контактной разности потенциалов (КРП) U_{CPD} и изгиба энергетических зон U_{SC} , оцениваемого по разности значений КРП в темноте и при интенсивной засветке поверхности пластины ΔU_{CPD} . В отсутствие количественной информации о структуре энергетических уровней материала зонда Кельвина (о положении вершины зоны проводимости E_V) само по себе измеренное значение КРП не позволяет характеризовать полупроводниковую структуру. В то же время, при выполнении измерений в сканирующем режиме изменения КРП вдоль поверхности образца отражают изменения положения уровня Ферми в кремнии, что позволяет выявлять неоднородности (дефекты) полупроводниковой структуры и оценивать их величину (интенсивность). Важным преимуществом метода Кельвина-Зисмана является неразрушающий характер исследований, что позволяет выполнять межоперационный контроль полупроводниковых структур на любом этапе технологического процесса, а также применять другие (альтернативные) методы контроля после характеристики полупроводниковой пластины по методу Кельвина-Зисмана.

До выполнения измерений пластина прошла технологическую операцию отжига. Эксперимент с выполнением измерений на пластине, тыльная поверхность которой была покрыта окислом, показал, что в отсутствие омического контакта с кремнием отношение сигнал/шум оказывается невысоким, сигнал зонда Кельвина содержит значительную шумовую составляющую. В связи с этим перед проведением исследований локальный участок тыльной поверхности пластины был подвергнут травлению плавиковой кислотой для удаления окисного слоя и обеспечения омического контакта с держателем образцов измерительной установки.

Сканирование поверхности образца осуществлялось по прямоугольной координатной сетке. Для сокращения времени характеристики с учетом ожидаемого размера подлежащих выявлению неоднородностей разрешающая способность измерительной установки была принята равной 2,5 мм по обеим координатам X и Y. Результаты сканирования визуализировались в виде двумерных цветных карт распределения КРП и изгиба энергетических зон с представлением измеряемой величины условными индексированными цветами. Для уточнения контуров неоднородностей полученные цветные карты были подвергнуты компьютерной обработке, включавшей сечение визуализированного изображения линиями уровня. Результаты измерений пространственного распределения КРП пластины с протравленной нижней поверхностью показаны на рисунке 1. На рисунке 2 показаны результаты измерений пространственного распределения изгиба энергетических зон.

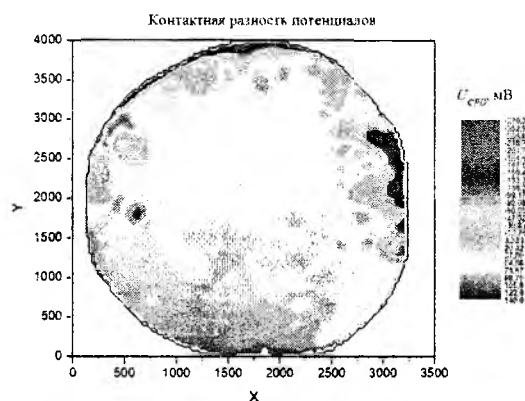


Рисунок 1 – Распределение контактной разности потенциалов полупроводниковой пластины со структурой кремний-диэлектрик.

Для оценки влияния диэлектрического слоя на результаты измерения КРП и изгиба энергетических зон методом эллипсометрии были выполнены измерения толщины оксида по поверхности пластины. Результат визуализации пространственного распределения толщины оксида по поверхности пластины показан на рисунке 3.

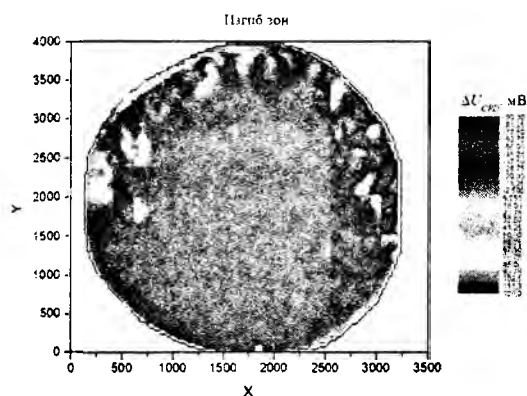


Рисунок 2 – Распределение приповерхностного изгиба энергетических зон.

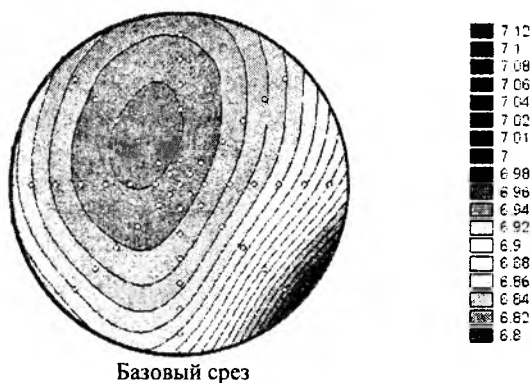


Рисунок 3 – Распределение толщины окисла по данным эллипсометрии.

Из рисунка 1 видно, что центральная часть пластины не имеет существенных неоднородностей. Значения КРП плавно повышаются от центра к нижнему левому краю пластины (в сторону базового среза и левее), и понижаются от центра к правому нижнему и левому верхнему краям пластины. Данное понижение коррелирует с увеличением толщины окисла (рисунок 3), однако в остальном корреляция значений КРП с толщиной окисла достаточно слабая. Это можно объяснить тем, что отклонения значений КРП определяются в первую очередь типом и концентрацией дефектов поверхности полупроводника, т.е., в данном случае, концентрацией дефектов на границе раздела полупроводник-диэлектрик, и связаны с толщиной диэлектрика только в той мере, в какой последняя влияет на концентрацию дефектов. Так, у правого края пластины, со смещением вверх от диаметральной линии, наблюдается большое скопление дефектов со значениями КРП, отличающимися от среднего по пластине приблизительно на 300 мВ, что составляет весьма значительную вели-

чину (на карте распределения толщины диэлектрика рис. 3 в этой области никаких неоднородностей не наблюдается). Локальные точечные неоднородности наблюдаются и в левой части пластины.

Более наглядно распределение дефектов прослеживается на карте распределения изгиба энергетических зон рис. 2. На большей части поверхности пластины изгиб зон составляет одну и ту же величину около минус 18 мэВ, без какой-либо корреляции с толщиной окисла (что хорошо согласуется с теоретическими выкладками, согласно которым само по себе наличие диэлектрика не меняет структуры энергетических уровней проводников и полупроводников). Таким образом, без использования дополнительного воздействия (например, воздействия коронным разрядом [2]), используемый метод Кельвина-Зисмана позволяет характеризовать поверхность полупроводника под диэлектриком, но не дает информации о диэлектрике. По краям образца, в особенности в его правой части, наблюдаются значительные скопления дефектов двух типов: со значениями изгиба зон порядка минус 70 мэВ и порядка плюс 15 мэВ.

Полученная визуализированная картина распределения дефектов находится в хорошем согласии с данными о неравномерности температурного поля в процессе отжига пластины, что позволяет говорить о пригодности предложенной методики для выявления дефектов термообработки. Наличие и толщина диэлектрического слоя не влияют на результаты измерений КРП, что подтверждает возможность контроля полупроводниковых материалов под диэлектрическими покрытиями без нарушения последних. В то же время, в соответствии с физической моделью рассматриваемого метода измерений, наличие и величина встроенного заряда в диэлектрике непосредственно влияет на величину изгиба энергетических зон полупроводника. Последняя также определяется в рамках рассмотренного метода при дополнении измерений КРП воздействием на полупроводниковую структуру интенсивным оптическим излучением.

1. Zharin, A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – V. 14. – P. 687-720.
2. Wilson et al. New COCOS (Corona Oxide Characterization of Semiconductor) Method for Monitoring the Reliability of Thin Gate Oxides // Electrochemical Society Proceedings. – 1999. – V. 99-16. – P. 373-384.