

ченной в результате теоретических исследований математической модели, выражающейся в виде расчетной формулы (блок б)

$$N_{Fe} = 1,05 \cdot 10^{16} \left(\frac{1}{L_{nf}^2} - \frac{1}{L_{ni}^2} \right),$$

где L_{ni} и L_{nf} – длина диффузии ННЗ до и после нагрева, соответственно.

Результатом выполнения указанных действий является карта распределения примеси железа в кремнии, получаемая с использованием только бесконтактных методов и средств измерений. Разработанный алгоритм реализуется в кон-

УДК 537.58:621.891

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН СКАН-2013

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

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь

Разработка измерительной системы для контроля полупроводниковых пластин СКАН-2013 проводилась в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ в рамках исследований по созданию новых средств неразрушающего контроля для микроэлектронной промышленности.

Конструктивно система состоит из двух основных блоков:

- сканирующей системы (рисунок 1);
- персонального компьютера с установленным специализированным программным обеспечением SCAN2013.



Рисунок 1 – Сканирующая система установки

СКАН-2013 обеспечивает неразрушающую бесконтактную характеристику пластин со структурой кремний-диэлектрик диаметром до 200 мм с помощью коронного разряда и регистрации потенциала поверхности в процессе

структуры и программном обеспечении измерительной установки для характеристики полупроводниковых пластин со структурой кремний-диэлектрик, разрабатываемой в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ.

1. Zoth, G. A fast, preparationfree method to detect iron in silicon / G. Zoth, W. Bergholz // J. Appl. Phys. – 1990. – V. 67. – P. 6764.
2. Choi, B.-D. Latent Iron in Silicon / B.-D. Choi, D.K. Schroder, S. Kolesnikov, S. Mahajan // Jpn. J. Appl. Phys. – 2001. – V. 40. – P. L915-L917.

двухкоординатного сканирования поверхности пластины. Принцип работы системы заключается в бесконтактной регистрации пространственного распределения электрического потенциала поверхности полупроводниковой пластины по методу Кельвина-Зисмана. Результаты регистрации отображаются в виде цветовой топограммы, где значение измеренного потенциала отображается условным цветом. Измерения проводятся при нормальных условиях и не связаны с разрушающими воздействиями на контролируемую пластину. Предварительной подготовки поверхности пластины (травления, металлизации и т.д.) также не требуется, что позволяет выполнять контроль образцов, взятых непосредственно из технологического процесса.

Воздействие коронным разрядом на поверхность окисленной полупроводниковой пластины позволяет выявлять места с повышенной концентрацией дефектов (ловушечных уровней) на границе раздела кремний-диэлектрик. Электрический заряд, осаждаемый на поверхность диэлектрика, формирует с полупроводником подобие МОП-структуры. «Затвор» структуры создается ионами H_3O^+ или CO_3^- в зависимости от знака разряда. Регулирование дозы воздействия коронным разрядом с измерением электрического потенциала поверхности после каждого цикла воздействия с помощью бесконтактного зонда Кельвина позволяет получить отсчеты $Q-V$ характеристики структуры для анализа энергетических уровней дефектов, а анализ изменения распределения заряда на поверхности пластины во времени обеспечивает выявление областей с повышенными токами утечки диэлектрика.

Напряжение коронного разряда составляет 9 кВ, что гарантирует отсутствие ударных по-

вреждений поверхности пластины вследствие низкой кинетической энергии генерируемых ионов. Доза заряда, вносимого при коронном зарядении поверхности диэлектрика, ограничена величиной $4 \cdot 10^{-6}$ Кл/см², много меньшей порогового значения для контролируемой структуры.

Помимо источника коронного разряда, блок измерительных преобразователей установки СКАН-2013 включает также набор монохроматических источников оптического излучения на основе светодиодов с длинами волн 405, 470, 574 и 583 нм, а также широкоспектральный источник «белого» света (рисунок 2). Интенсивное освещение поверхности структуры полупроводник-диэлектрик «белым» светом приводит к спрямлению энергетических зон полупроводника, что позволяет определять величину приповерхностного изгиба зон. При этом анализ динамики изменения потенциала поверхности образца при его возбуждении импульсным оптическим излучением позволяет определить генерационное время жизни неравновесных носителей заряда в выбранной точке образца. В то же время, вследствие ограниченного быстродействия измерительной системы точность таких измерений оказывается низкой, особенно при малых значениях времени жизни. Значительно большую точность обеспечивают измерения с помощью установки рекомбинационного времени жизни, выполняемые в квазистатическом режиме. Такие измерения основаны на бесконтактной регистрации изменений электрического потенциала поверхности при освещении полупроводниковой структуры монохроматическим излучением различных длин волн из области поглощения кремния. При этом за счет различия коэффициентов поглощения на разных длинах волн происходит возбуждение носителей заряда на разной глубине в пределах области пространственного заряда. Вычисление времени жизни и длины диффузии неравновесных носителей заряда на основании соответствующих математических моделей осуществляется с помощью персонального компьютера в автоматическом режиме.

Специализированное программное обеспечение SCAN2013 рассчитано на работу под операционной системой Windows 7 (Windows 8) и имеет мультиоконный интерфейс. В частности, окно интерфейса управления (рисунок 3) обеспечивает возможность предварительной установки измерительного преобразователя в выбранную точку, задания области сканирования, шага сканирования, режима исследования (без дополнительных воздействий, с воздействием коронным разрядом, режим измерения времени жизни неравновесных носителей заряда), а также вертикальное позиционирование зонда для обеспечения требуемого по условиям измерений зазора зонд-образец.

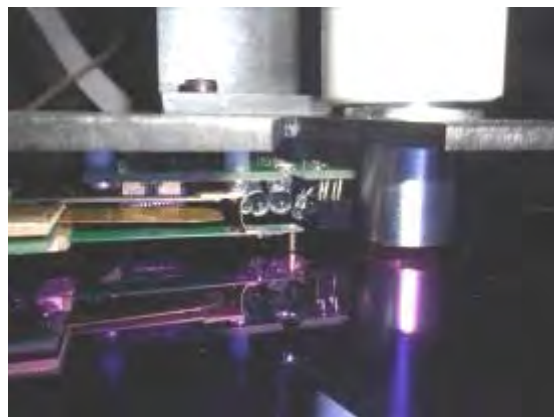


Рисунок 2 – Блок измерительных преобразователей



Рисунок 3 – Интерфейс управления установкой

Результаты сканирования полупроводниковой пластины отображаются в отдельном окне (рисунок 4) в виде цветной топограммы распределения потенциала поверхности (контактной разности потенциалов) либо времени жизни неравновесных носителей заряда.

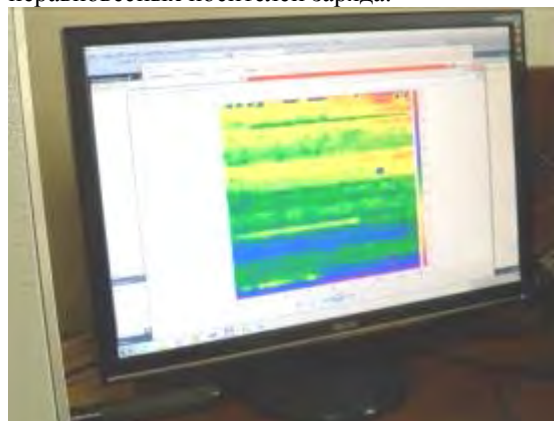


Рисунок 4 – Отображение результатов сканирования в окне представления результатов

Диапазон контроля электрического потенциала поверхности структуры кремний-диэлектрик составляет $\pm(5 \dots 5000)$ мВ при динамической погрешности измерения а пределах $\pm 1,5$ мВ. Благодаря использованию в качестве измери-

тельного преобразователя бесконтактного вибрирующего зонда Кельвина обеспечивается возможность контроля полупроводниковых структур под слоем диэлектрика до 20 000 нм и более без увеличения погрешности измерений. Максимальное пространственное разрешение топограммы составляет 0,5 мм. Имеется возможность выбора шкалы условных цветов для топограммы с целью более четкой (контрастной) визуализации областей скопления дефектов.

УДК 621.382

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЗАРЯДА НА ЛОВУШКАХ В СТРУКТУРЕ КРЕМНИЙ-ДИЭЛЕКТРИК СРЕДСТВАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

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

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²НПЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь

Использование C - V характеристик для характеристики полупроводниковой структуры (ППС) основано на зависимости ширины области пространственного заряда (ОПЗ) от величины приложенного к ней напряжения. При бесконтактной регистрации C - V характеристик средствами зондовой электрометрии данное напряжение создается при контролируемом осаждении на окисленную поверхность ППС электрического заряда с помощью источника коронного разряда. Тильная сторона ППС заземлена за счет омического контакта с заземленным держателем образцов и имеет потенциал, равный нулю. Таким образом, приложенное к структуре напряжение U будет численно равно электрическому потенциалу поверхности V_s . Для определенности далее будет рассматриваться кремний p -типа как наиболее распространенный случай полупроводникового материала. Для регистрации C - V характеристики на поверхность такой структуры осаждаются ионы как положительного, так и отрицательного знака.

Результирующий потенциал, измеряемый зарядочувствительным электрометрическим зондом, включает три аддитивных составляющих [1], соответствующих падениям напряжения на ОПЗ, диэлектрике и воздушном зазоре между поверхностью ППС и чувствительным элементом зонда (рисунок 1):

$$V = V_D + V_{SCR} + V_{CPD}, \quad (1)$$

где V_D – падение напряжения на диэлектрике;

V_{SCR} – падение напряжения на ОПЗ;

V_{CPD} – контактная разность потенциалов (КРП), определяемая разностью значений работы выхода электрона (РВЭ) чувствительного элемента зонда и исследуемого полупроводника [2].

С учетом (3) выражение для удельной электрической емкости ППС можно записать в виде

К настоящему времени измерительная система контроля полупроводниковых пластин СКАН-2013 изготовлена в одном экземпляре. Изготовленный экземпляр используется в НПЦ «Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» для научных исследований в рамках разработки новых методов неразрушающего контроля полупроводниковых пластин с структурой кремний-диэлектрик с субмикронными слоями.

$$C = - \frac{\Delta Q_S + \Delta Q_{it}}{\Delta V_D + \Delta V_{CPD}}, \quad (2)$$

где ΔQ_S – приращение заряда в ОПЗ;

ΔQ_{it} – приращение заряда на ловушках на границе раздела.

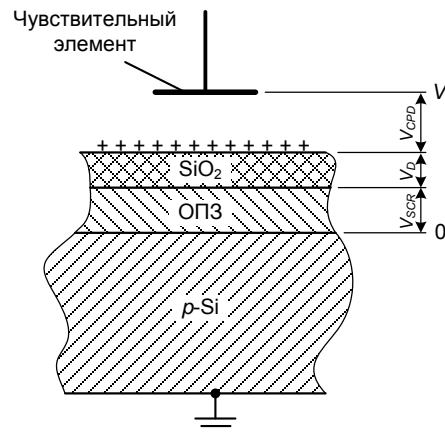


Рисунок 1 – Схема формирования результирующего потенциала V , измеряемого зарядочувствительным электрометрическим зондом

Плотность заряда в полупроводнике Q_S , численно равная (с учетом противоположного знака) плотности осажденного заряда на поверхности диэлектрика ППС, включает в себя заряд дырок Q_p , заряд в объеме ОПЗ Q_b и заряд электронов Q_n , то есть

$$Q_S = Q_p + Q_b + Q_n. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$C = - \frac{1}{\frac{\Delta V_D}{\Delta Q_S + \Delta Q_{it}} + \frac{\Delta V_{CPD}}{\Delta Q_p + \Delta Q_b + \Delta Q_n + \Delta Q_{it}}}, \quad (4)$$

откуда