

- вание дистанционной зависимости разрешающей способности сканирующего зонда Кельвина // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1(4). – С. 30-36.
3. Danyluk S. Kelvin probe's stray capacitance and

noise simulation / S. Danyluk, A.V. Dubanevich, O.K. Gusev, A.I. Svistun, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, R.I. Vorobey, A.L. Zharin // Devices and Methods of Measurements. – 2014. – № 1. – Р. 94-98.

УДК 537.58:621.891

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА В КРЕМНИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Жарин А.Л.<sup>1</sup>, Микитевич В.А.<sup>1</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>, Пилипенко В.А.<sup>2</sup>, Петлицкий А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»  
Минск, Республика Беларусь

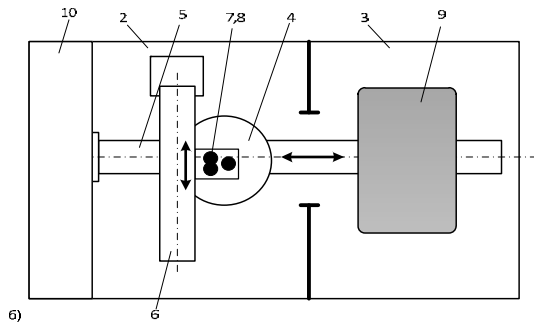
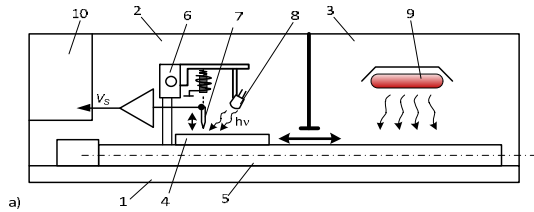
На характеристики приборных полупроводниковых структур определяющее влияние оказывают дефекты кристаллической структуры исходной заготовки (кремниевой пластины). Присутствие в кристаллической решетке кремния атомов таких металлов как железо, медь, золото, никель и некоторых других приводит к возникновению центров рекомбинации, вероятность захвата и ре-комбинации неравновесных носителей заряда (ННЗ) на которых достаточно высока, что приводит к уменьшению времени жизни и длины диффузии ННЗ и, соответственно, снижению электрических характеристик полупроводникового устройства. Наиболее значимой является примесь железа, источником которой являются элементы технологического оборудования, изготовленные из стали. Используемые в настоящее время методы контроля примесей металлов в кремнии носят разрушающий характер, связаны с повреждением поверхности полупроводниковой пластины и вследствие этого требуют использования пластин-спутников, что снижает производительность линии (за счет изъятия части заготовок из технологического процесса на разных его стадиях), увеличивает себестоимость конечной продукции и не обеспечивает необходимой достоверности контроля.

Разработанная методика визуализации пространственного распределения примеси железа в кремнии предусматривает исследование поверхности сканирующим электрометрическим зондом (зондом Кельвина), обеспечивающим регистрацию контактной разности потенциалов (КРП) или, при использовании дополнительного воздействия оптическим излучением, поверхностной фотоЭДС без непосредственного механического контакта зонда с исследуемой поверхностью [1]. За счет этого обеспечивается отсутствие каких-либо разрушающих воздействий на поверхность образца. В основу определения концентрации примеси железа в кремнии положена

двукратная регистрация поверхностной фотоЭДС до и после воздействия на полупроводниковую пластину умеренным нагревом (до 200 °С) в течение 1...10 минут. Согласно общепринятой теоретической модели, атомы железа, попадающие на поверхность кремния *p*-типа в виде загрязнений, химически связываются с легирующей примесью бора, формируя пары Fe-B. Из-за нестойкости данного соединения кратковременный нагрев загрязненной полупроводниковой пластины до температуры 180...200 °С приводит к распаду пар Fe-B на легирующий бор и интерстициальное железо Fe<sub>i</sub>, атомы которого располагаются между узлами кристаллической решетки кремния [2]. В отсутствие создаваемых парами Fe-B центров рекомбинации время жизни ННЗ в приповерхностных слоях кремния возрастает, что может быть зарегистрировано по изменению величины поверхностной фотоЭДС [3]. Интенсивный процесс повторного формирования пар Fe-B начинается спустя 2 ч после охлаждения образца до комнатной температуры [2], вследствие чего дальнейшие измерения должны выполняться в пределах этого интервала времени.

Данная методика реализована в конструкции и программном обеспечении разработанной в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ измерительной установки для неразрушающей бесконтактной характеристики полупроводниковых структур с субмикронными слоями по параметрам пространственного распределения времени жизни и примеси железа в кремнии *p*-типа (рисунки 1 и 2). Рабочее пространство установки разделено на две изолированные зоны: зону измерений и зону нагрева. Образец (полупроводниковая пластина диаметром до 200 мм) закрепляется на подвижном держателе с помощью вакуумного прижима (присоски). Система трехкоординатного перемещения на основе шаговых двигателей обеспечивает как сканирование поверхности образца, так и его перемещение в зону

нагрева и обратно. Источником нагрева служит инфракрасный керамический нагреватель с располагаемой мощностью нагрева до 2 кВт. В нормальном режиме работы установки установленная мощность нагрева не превышает 1 кВт. Управление процессом нагрева осуществляется с помощью ПИД-регулятора с терморпарой в цепи обратной связи, чем обеспечивается быстрый и плавный нагрев с точным поддержанием температуры без существенного перерегулирования.



- 1 – основание; 2 – зона измерений;
  - 3 – зона воздействия нагревом; 4 – держатель образцов; 5 – привод перемещения по координате X;
  - 6 – привод перемещения по координате Y;
  - 7 – источник коронного разряда и электрометрический зонд; 8 – источник оптического излучения;
  - 9 – инфракрасный нагреватель. 10 – электронные блоки установки
- а) вид сбоку; б) вид сверху

Рисунок 1 – Схема измерительной установки для определения примеси железа в кремнии на основе методов зондовой электрометрии

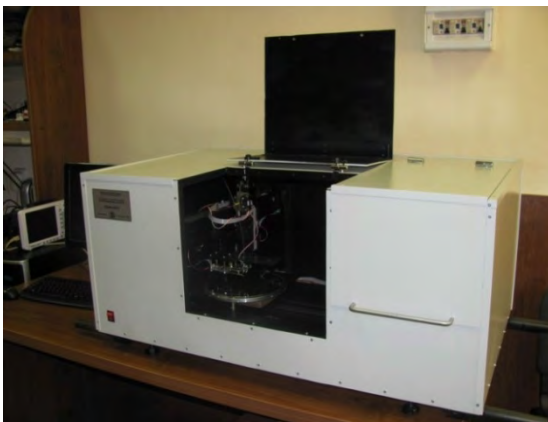
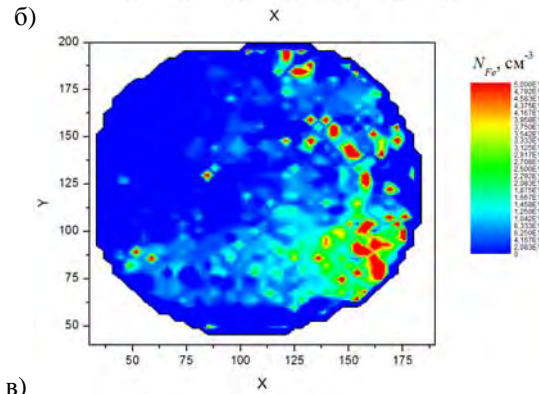
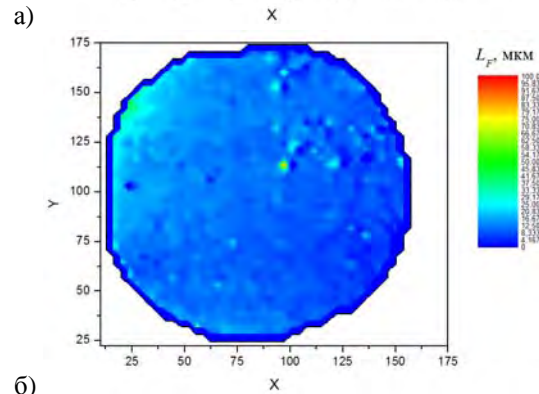
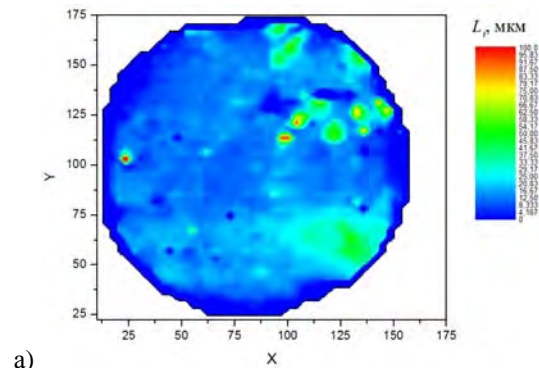


Рисунок 2 – Внешний вид измерительной установки

Пример визуализации пространственного распределения примеси железа в кремнии показан на рисунке 3. Рисунок 3(а) демонстрирует зарегистрированное распределение длины диффузии ННЗ до нагрева пластины, рисунок 3(б) – после. На рисунке 3(в) показан результат автоматического вычисления концентрации примеси железа в кремнии на основе данных этих двух сканирований и заложенной в программное обеспечение установки математической модели.



- а – распределение длины диффузии ННЗ до нагрева; б – то же, после нагрева;
- в – распределение примеси железа в кремнии

Рисунок 3 – Пример визуализации пространственного распределения примеси железа в кремнии на основе методов зондовой электрометрии

1. Воробей Р.И. Контроль дефектов структуры кремний-диэлектрик на основе анализа пространственного распределения потенциала по

- поверхности полупроводниковых пластин / Воробей Р.И., Жарин А.Л., Гусев О.К., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.А., Турцевич А.С., Тявловский А.К., Тявловский К.Л. // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 67-72.
2. Choi B.-D. Latent Iron in Silicon / B.-D. Choi, D.K. Schroder, S. Koveshnikov, S. Mahajan // Jpn. J. Appl. Phys. – 2001. – V. 40. – P. 915-917.
  3. Воробей. Р.И. Использование эффекта поверхностной фотоЭДС для определения примеси железа в кремнии / Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.Н. Петлицкий, В.А. Пилипенко, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский // Приборостроение-2013: материалы 6-й Международной научно-технической конференции (20-22 ноября 2013 г.). – Минск: БНТУ. – 2013. – С. 162-163.