

Результаты измерения электрофизических характеристик

№	P_{O_2} , Па	P_{CF_4} , Па	P_{SiH_4} , Па	$T_{п}$, К	ϵ	$tg\delta$	ρ_v , Ом·м
1	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$2,66 \cdot 10^{-1}$	335	3,76	0,025	$1,8 \cdot 10^5$
2	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	335	1,84	0,045	$2,0 \cdot 10^5$
3	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	335	1,35	0,070	$1,6 \cdot 10^5$
4	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	398	4,20	0,057	$0,9 \cdot 10^5$
5	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	483	4,40	0,110	$0,4 \cdot 10^5$
6	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,06 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$	573	3,80	0,090	$0,4 \cdot 10^5$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали перспективность нового метода формирования структур диэлектрик/кремний с низкой диэлектрической проницаемостью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Зайцев, Н.А. Физико-технологические проблемы проектирования ультрабольших интегральных схем с пониженной мощностью потребления /Н.А. Зайцев, И.В. Матюшкин, А.И. Сухопаров // Электронный научный журнал «Исследовано в России». – 2007. – № 836.
2. Телеш, Е.В. Формирование пленок SiOF реактивным ионно-лучевым распылением кварцевой мишени / Е.В. Телеш, О.В. Гуревич, С.А. Юшкевич // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции, г. Минск, 01–03 ноября 2017 г. БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2017. – С. 287–289.
3. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и нанoeлектроники: монография / А.П. Достанко [и др.]; под общей ред. А.П. Достанко, А.М. Русецкого.– Минск: Бестпринт, 2011.– 210 с.

БЕСКОНТАКТНОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА В КРЕМНИИ
ЗОНДОВЫМ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

**А. К. Тявловский¹, А. Л. Жарин¹, К. Л. Тявловский¹, К. В. Пантелеев¹,
Р. И. Воробей¹, А. И. Свистун¹, В. А. Пилипенко², А. Н. Петлицкий²**

¹⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013 Минск, Беларусь, e-mail: nil_pt@bntu.by

²⁾ ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», ул. Казинца, 121А,
220108 Минск, Беларусь, e-mail: office@bms.by

Для определения и картирования примеси железа в кремнии *p*-типа разработана методика контроля, основанная на использовании методов сканирующей зондовой электрометрии и дополнительных неразрушающих воздействий, таких как освещение поверхности и нагрев полупроводниковой пластины. Приведено краткое описание реализующей методику измерительной установки, показаны примеры получаемых с её помощью результатов. Выполняемые измерения носят полностью бескон-

тактный и неразрушающий характер, что обеспечивает возможность последующего исследования пластин другими методами либо их возвращения в технологическую линию.

Ключевые слова: кремний; примесь железа; картирование; поверхность; полупроводниковая пластина; сканирующая зондовая электрометрия.

CONTACTLESS MAPPING OF IRON-IN-SILICON DISTRIBUTION USING A CHARGE-SENSITIVE PROBE TECHNIQUE

A. K. Tyavlovsky¹, A. L. Zharin¹, K. L. Tyavlovsky¹, K. V. Pantsialeu¹,
R. I. Vorobey¹, A. I. Svistun¹, V. A. Pilipenko², A. N. Petlitsky²

¹⁾ *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti Av. 65, 220013 Minsk, Belarus*

²⁾ *JSC "INTEGRAL" – Holding Management Company, Kazintsa str., 121A, 220108 Minsk, Belarus*
Corresponding author: A. K. Tyavlovsky (tyavlovsky@bntu.by)

To determine and map iron contamination in p-type silicon, a testing technique has been developed based on the use of scanning probe electrometry and additional non-destructive factors, such as surface illumination and low heating of a semiconductor wafer. A brief description of the measuring setup that implements the technique is given, also shown examples of results obtained on real semiconductor wafers. Due to completely contactless and non-destructive mode of operation the investigated wafers could be subsequently studied with other methods or returned into production line.

Key words: silicon; iron contamination, mapping, surface, semiconductor wafer, scanning probe electrometry.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве изделий микроэлектроники железо рассматривается как одна из наиболее значимых вредных примесей, оказывающих отрицательное влияние на электрические характеристики полупроводниковых материалов, в первую очередь, кремния [1]. В зависимости от конкретного применения предельно допустимая концентрация атомов железа в объеме полупроводниковой пластины может составлять до $1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ при предельно допустимой поверхностной плотности (концентрации) примеси до $1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ [2]. При этом практически неустранимым источником примеси железа являются элементы конструкции самого технологического оборудования производственной линии. Для уменьшения вредного влияния примеси и предотвращения формирования глубоких рекомбинационных центров в рабочей области пластины применяют геттерирование [2]. Оценка эффективности таких мер, определение источников загрязнения, а также оценка качества и в целом пригодности полупроводниковой пластины для конкретного применения требует не только количественного определения концентрации или поверхностной плотности примеси железа в кремнии, но и анализа ее пространственного распределения по поверхности пластины (картирования). При этом предпочтительно использование неразрушающих методов картирования, обеспечивающих возвращение пластины после исследования в технологический процесс.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

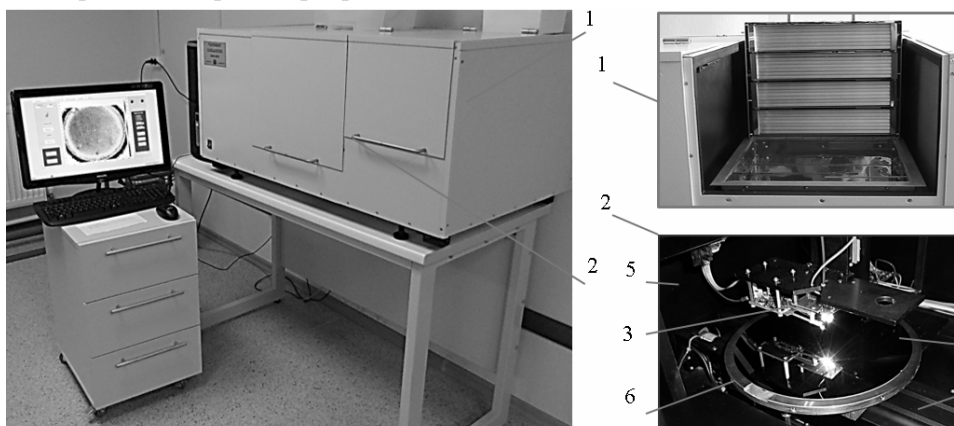
В представленном исследовании неразрушающее картирование примеси железа в кремнии *p*-типа обеспечивалось за счет применения измерительной установки СКАН-2015 (рисунок 1), разработанной и изготовленной в научно-исследовательской лаборатории полупроводниковой техники Белорусского национального технического университета. Установка реализует зондовый электрометрический метод картирования, процедура которого включает следующие основные операции.

1. Картирование пространственного распределения длины диффузии неосновных носителей заряда (ННЗ) на поверхности полупроводниковой пластины с использованием сканирующего электрометрического зонда и дополнительного воздействия оптическим излучением нескольких длин волн.

2. Отжиг пластины при температуре 200 °С с использованием бесконтактного инфракрасного нагревателя.

3. Повторное картирование пространственного распределения длины диффузии ННЗ.

4. Вычисление концентрации примеси железа в кремнии на основании результатов первого и второго картирований.



1 – камера отжига; 2 – камера сканирования; 3 – измерительная головка, включающая отсчетный электрод и источник светового воздействия, и электронный блок драйверов управления; 4 – приводы двухкоординатного сканирования (координаты $[x, y]$); 5 – привод подвода отсчетного электрода (координата $[z]$); 6 – предметный столик; 7 – контролируемая полупроводниковая пластина

Рисунок 1. – Общий вид измерительной установки СКАН-2015

При нормальных условиях атомы железа в кремнии *p*-типа, легированном бором, практически полностью присутствуют в виде пар Fe-B. Связи в этих парах являются нестойкими, и нагрев пластины до температуры 200 °С приводит к их распаду с выделением интерстициального железа. Данный процесс является обратимым, при этом повторное формирование пар Fe-B занимает несколько часов (до суток и более), вследствие чего второе картирование пространственного распределения длины диффузии ННЗ должно выполняться непосредственно, либо в течение первого часа, после нагрева. Поскольку интерстициальное железо и пары Fe-B характеризуются различными вероятностями захвата ННЗ и, соответственно, оказывают разное влияние на длину их диффузии, то анализ изменений длины диффузии ННЗ в каждой точке

поверхности образца (полупроводниковой пластины) с использованием соответствующих математических моделей позволяет определить концентрацию примеси железа в кремнии и картировать ее распределение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 2 и 3 приведены результаты исследования (картирования) длины диффузии ННЗ кремниевой пластины-спутника «Дюна 1820» диаметром 150 мм в исходном состоянии (до отжига) и после отжига при температуре 200 °С в течение 30 минут. Кремний *p*-типа, пластина геттерирована сурьмой с дозой $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Толщина окисла на поверхности пластины 200 нм, толщина геттера 1 мкм.

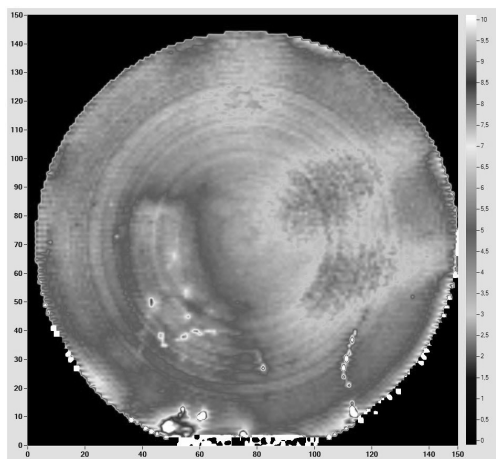


Рисунок 2. – Результат картирования длины диффузии ННЗ геттерированной кремниевой пластины до отжига

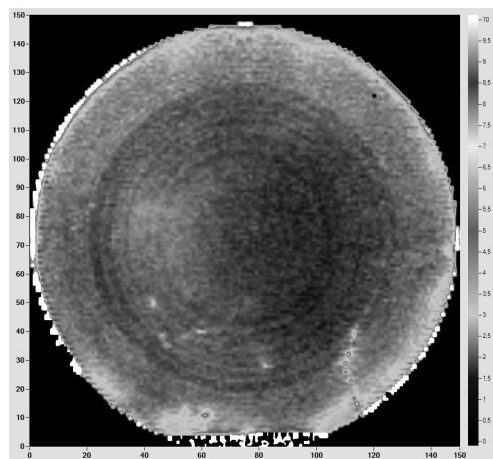


Рисунок 3. – Результат картирования длины диффузии ННЗ геттерированной кремниевой пластины после отжига

Представленные карты наглядно демонстрируют изменение длины диффузии ННЗ

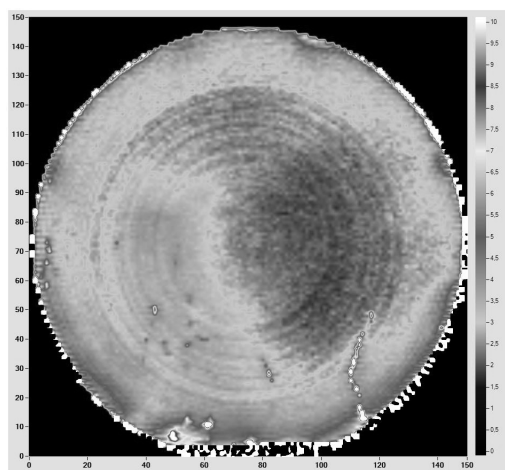


Рисунок 4 – Результат картирования длины диффузии ННЗ геттерированной кремниевой пластины спустя 24 часа после отжига

после распада пар Fe-B и выделения интерстициального железа, а также распределение дефектов, вызывающих сокращение длины диффузии ННЗ, по поверхности пластины. На основании результатов картирования были вычислены значения поверхностной плотности примеси железа в кремнии, составившие: в среднем по пластине – $1,54 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; то же, без учета базового среза – $1,49 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$; в центре пластины – $1,94 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Картирование той же пластины спустя 24 часа после отжига продемонстрировало распределение длины диффузии ННЗ, практически совпадающее с таковым до отжига (рисунок 4), указывающее на восстановление пар Fe-B и отсутствие необратимых изменений поверхности образца после проведения исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многочисленные исследования, выполненные на других образцах, включая полупроводниковые пластины, непосредственно используемые для изготовления приборных структур и взятые на различных стадиях технологического процесса обработки, показали высокую эффективность средств зондовой электрометрии в выявлении и картировании примеси железа в кремнии *p*-типа. При этом полностью бесконтактный и неразрушающий характер измерений обеспечил возможность дальнейшего исследования пластин другими методами, либо же их возвращения в технологическую линию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. М.: Мир, 1984. 472 с.
2. Пилипенко, В.А. Методы и механизмы геттерирования кремниевых структур в производстве интегральных микросхем / В.А. Пилипенко [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2013, № 2-3. – С. 43–57.

ЗОНДОВЫЕ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ПРОИЗВОДСТВА БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

К. Л. Тявловский¹, А. К. Тявловский¹, О. К. Гусев¹, Р. И. Воробей¹,
А. Л. Жарин¹, А. И. Свистун¹, В. А. Пилипенко², А. Н. Петлицкий²

¹⁾ Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013 Минск, Беларусь, e-mail: nil_pt@bntu.by

²⁾ ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», ул. Казинца, 121А,
220108 Минск, Беларусь, e-mail: office@bms.by

Рассмотрено использование зондовых зарядочувствительных методов на основе сканирующего бесконтактного электрометрического зонда в неразрушающем контроле качества проведения технологических операций обработки полупроводниковых пластин диаметром до 200 мм. Контроль различных параметров поверхности полупроводниковой пластины (времени жизни неосновных носителей заряда, удельное поверхностное сопротивление ионно-легированных и диффузионных слоев) обеспечивается модификацией классического метода сканирующих электрометрических измерений, включающей дополнительные воздействия на образец (полупроводниковую пластину) оптическим излучением различных длин волн. Приведены краткие описания измерительных установок, реализующих разработанные методы измерений. Установки обеспечивают полностью неразрушающий контроль и визуализацию электрофизических параметров поверхности полупроводника и могут использоваться в межоперационном контроле производства больших интегральных схем.

Ключевые слова: полупроводниковая пластина; кремний; поверхность; неразрушающий контроль; зарядочувствительные измерения.