

2. Воробей, Р.И. Режим самокалибровки зонда Кельвина для контроля электрофизических параметров полупроводниковых пластин / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.Л. Жарин, А.Н. Петлицкий,

В.А. Пилипенко, А.С.Турцевич, А.К. Тявловский // Приборы и методы измерений. – 2014. – № 2(9). – С. 46–52.

УДК 621.382

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА МОДУЛИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС В КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

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

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

Основным назначением разрабатываемых методов и методик измерения, основанных на бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины при воздействии модулированным оптическим излучением, является измерение пространственного измерения длины диффузии неравновесных носителей заряда (ННЗ) и других параметров полупроводниковой пластины. В качестве рассматриваемых материалов выступает кремний как в виде монокристаллической пластины, так и в форме эпитаксиальных слоев, выращенных на подложке с более высокой, чем у эпитаксиального слоя, степенью легирования. В последнем случае измерения возможны, если толщина эпитаксиального слоя превышает длину диффузии ННЗ не менее чем в 4 раза [1].

При выполнении измерений модулированное оптическое излучение передается в локальную точку поверхности образца, в которой выполняются измерения, посредством гибкого оптоволоконного световода. Диаметр светового пятна должен существенно (в 3-5 раз) превышать линейные размеры электрометрического зонда, осуществляющего регистрацию изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины, т.е. при диаметре зонда 1 мм составлять 3-5 мм. Для исключения затенения области измерений чувствительный элемент зонда следует выполнять в виде сетки. Частота модуляции оптического излучения должна находиться в пределах от 10 до 20 Гц, что позволяет исключить влияние переходных процессов на результаты измерений.

Предлагаемая принципиальная схема бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины и его пространственного распределения при воздействии модулированным оптическим излучением в режиме постоянной интенсивности оптического излучения показана на рисунке 1. Схема предусматривает использование нескольких (не менее двух)

источников монохроматического оптического излучения на основе светодиодов либо полупроводниковых лазеров. Все источники предварительно калибруются по плотности мощности оптического излучения для обеспечения равного значения последней. При этом установленное значение плотности мощности для всех длин волн должно находиться в пределах диапазона линейности зависимости «поверхностная фотоЭДС – плотность мощности оптического излучения», а энергия квантов должна превышать ширину запрещенной зоны исследуемого образца.

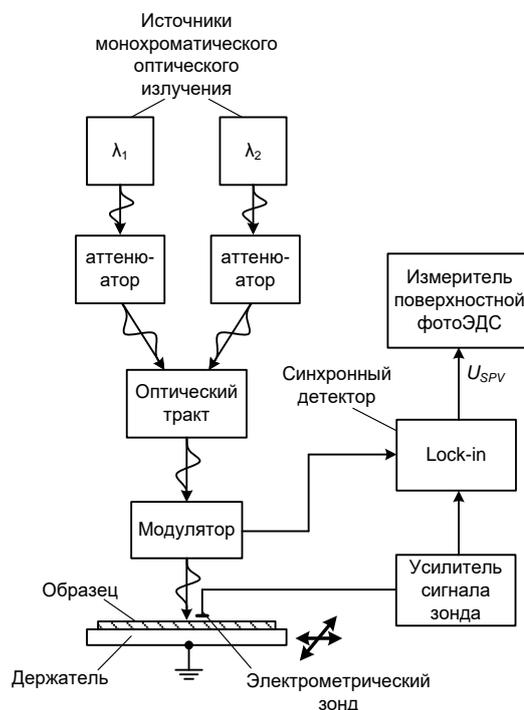


Рисунок 1 – Принципиальная схема бесконтактной неразрушающей регистрации изменений потенциала поверхности полупроводниковой пластины и его пространственного распределения при воздействии модулированным оптическим излучением в режиме постоянной интенсивности оптического излучения

Непосредственно измерения сигнала поверхностной фотоЭДС при воздействии модулированным оптическим излучением выполняют при поочередном подключении на вход световода источников монохроматического оптического излучения, начиная от источника с наибольшей энергией квантов (наименьшей длиной волны излучения). Световод и нейтральный светофильтр (при его наличии) в процессе регистрации не заменяются. Длительность регистрации изменений потенциала поверхности при воздействии каждой длиной волны должна превышать время установления выходного сигнала электрометрического зонда (приблизительно 1 с).

Результаты измерений могут содержать случайные и систематические погрешности, а также грубые погрешности (промахи). Исходя из анализа разработанных физических моделей формирования сигнала поверхностной фотоЭДС полупроводниковых структур, исключение промахов и уменьшение случайных и систематических погрешностей измерения может быть выполнено на основе следующих процедур:

1) В случае, если результат измерения поверхностной фотоЭДС на большей длине волны U_{CPDi} меньше или равен результату измерения поверхностной фотоЭДС на меньшей длине волны U_{CPDi-1} , значение U_{CPDi} отбрасывается как промах.

2) Если толщина образца составляет менее 500 мкм, значения поверхностной фотоЭДС для длин волн более 1 мкм отбрасываются как содержащие неисключенные систематические погрешности, либо же измерения для данных длин волн не выполняются.

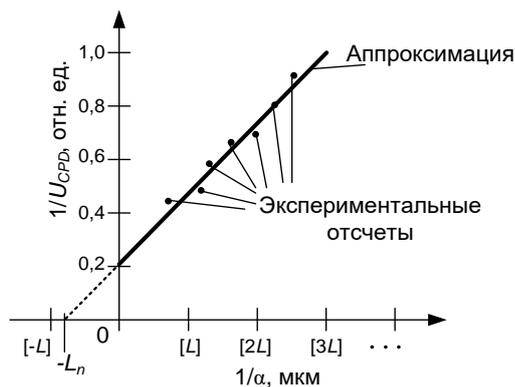


Рисунок 2 – Аппроксимация результатов регистрации изменений потенциала поверхности на графике зависимости $1/U_{CPD}$ ($1/\alpha$) (обобщенное представление)

Результаты измерений, оставшиеся после исключения погрешностей, откладываются на графике зависимости обратной величины изменения потенциала поверхности $1/U_{CPD}$ от

обратной величины коэффициента поглощения оптического излучения кремнием на данной длине волны $1/\alpha(\lambda)$. Полученные экспериментальные отсчеты аппроксимируются прямой линией (рисунок 2).

Аппроксимирующий график в виде прямой линии продляют до пересечения с осью абсцисс. Координата точки пересечения численно равна длине диффузии ННЗ L_n , взятой с обратным знаком [2]. Разработанные физические модели указывают на возможность определения также и других параметров поверхности полупроводника, что может явиться предметом дополнительных исследований.

Результаты математического моделирования показали, что для типовой полупроводниковой структуры на кремнии ($W = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м, $\tau_{scr0} = 10^{-6}$ с, $\tau_{r0} = 10^{-5}$ с, $\tau_{g0} = 10^{-3}$ с, $s_{r0} = 10^3$ см/с, $N_{A,epi} = 10^{15}$ см $^{-3}$) в пределах частот модуляции $\omega < 3 \cdot 10^2$ с $^{-1}$ ($f < 50$ Гц) отклик поверхностной фотоЭДС не зависит от частоты модуляции, что позволяет осуществлять измерения без стабилизации данной частоты. В то же время, алгоритмы цифровой обработки сигнала требуют анализа не менее 4 последовательных периодов переменного сигнала для определения его амплитуды. При использовании максимального значения частоты из линейной области $f = 50$ Гц время обработки составит не менее 80 мс. В соответствии с методикой измерения, определение поверхностной фотоЭДС осуществляется путем вычитания «темнового» значения электрического потенциала поверхности из его «светового» значения, что требует измерения потенциала неосвещенной поверхности в течение приблизительно такого же времени, а при использовании двух длин волн длительность определения параметров полупроводника в одной точке должна составлять не менее 120 мс. Данное значение увеличивается прямо пропорционально количеству используемых при измерении длин волн оптического излучения и обратно пропорционально выбранной частоте модуляции.

1. ASTM F391-96. Standard Test Methods for Minority Carrier Diffusion Length in Extrinsic Semiconductors by Measurement of Steady-State Surface Photovoltage // Annual Book of ASTM Standards, April 1996. – 9 p.
2. Жарин, А. Л. Бесконтактное определение пространственного распределения времени жизни неравновесных носителей заряда в кремнии на основе анализа спектральной зависимости поверхностной фотоЭДС / А. Л. Жарин, О. К. Гусев, А. К. Тявловский, К. Л. Тявловский, Р. И. Воробей, К. В. Пантелеев // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. VII Междунар. науч. конф., Минск, 12–13 окт. 2016 г. / редкол.: В. Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2016. – С. 53-55.