

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС

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

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

В качестве базового метода измерений при контроле распределения поверхностной фотоЭДС рассматривается метод вибрирующего конденсатора, известный как метод Кельвина-Зисмана [1]. Для регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС в состав зарядочувствительного измерительного преобразователя, дополнительно введен импульсный источник оптического излучения, обеспечивающего возбуждение контролируемой оптоэлектронной структуры. Зарядочувствительный измерительный преобразователь обеспечивает бесконтактное измерение величины возникающего при этом нескомпенсированного заряда на поверхности полупроводниковой пластины. Импульс оптического излучения обеспечивает возбуждение электронов в валентной зоне полупроводника, что приводит к их переходу в зону проводимости при условии, что энергия квантов оптического излучения превышает ширину запрещенной зоны хотя бы для одной из структур в освещенной области. Переход электронов в зону проводимости приводит к разделению зарядов в полупроводнике: в зоне проводимости возникает избыток отрицательно заряженных электронов, а в валентной зоне – избыток положительно заряженных дырок. Различие в подвижности электронов и дырок приводит к их пространственному разделению, следствием чего является возникновение в образце электрического поля, формирующего значение потенциала поверхности, которое зависит от свойств и характеристик исследуемой поверхности в зоне воздействия оптическим излучением.

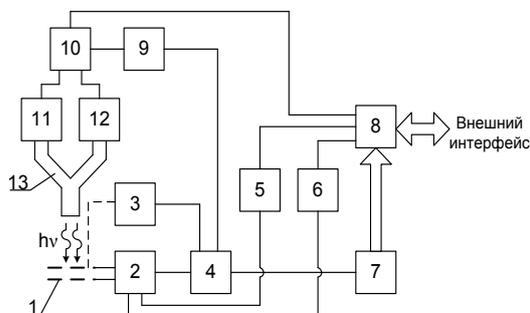
Для улучшения помехозащищенности (повышения отношения сигнал-шум) предлагается использовать модуляцию оптического излучения в сочетании с фазовым (синхронным) детектированием измерительного сигнала. Определение ряда параметров легированных слоев полупроводниковых пластин, в частности, определение примеси металлов (железа, меди и др.) требует анализа спектральной зависимости поверхностной фотоЭДС, в связи с чем освещение поверхности должно осуществляться оптическим излучением нескольких (не менее 2) длин волн. Таким образом, структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС должна включать две связанных подсистемы:

подсистему генерации модулированного оптического излучения нескольких длин волн и подсистему регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС. Данные подсистемы различаются по характеру взаимодействия с поверхностью полупроводниковой пластины: воздействие оптическим излучением изменяет зарядовое состояние поверхности полупроводника (эффект поверхностной фотоЭДС), тогда как электрометрический зонд, находящийся по статическим потенциалом, близким к потенциалу поверхности, не оказывает какого-либо влияния на последнюю и является только устройством регистрации. В обоих случаях взаимодействие с поверхностью является полностью неразрушающим и обратимым.

Предлагаемая структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС приведена на рисунке 1. Блоки (узлы) 1–7 структурной схемы составляют подсистему регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС, блоки 9–13 – подсистему генерации модулированного оптического излучения нескольких длин волн, блок 8 – устройство управления, согласующее работу указанных подсистем. В соответствии со стандартной системой обозначений, тонкими сплошными линиями на схеме показаны линии электрической связи, прерывистой – линии механической связи, широкими стрелками – линии передачи цифровых данных (цифровые шины данных).

Регистрация сигнала поверхностной фотоЭДС осуществляется сеточным электрометрическим зондом 1, подключенным ко входу трансимпедансного предварительного усилителя 2. Принцип работы электрометрического зонда Кельвина-Зисмана предполагает модуляцию тока в цепи динамического конденсатора, представленного системой электрометрический зонд – поверхность, для чего в традиционной методике измерения используется модуляция зазора между обкладками динамического конденсатора за счет механической вибрации зонда. В приведенной схеме модуляция зазора обеспечивается приводом вибрации 3. С учетом того, что оптическое излучение также является модулированным, сигнал поверхностной фотоЭДС будет иметь переменную составляющую, что также способно

обеспечить модуляцию тока в цепи измерительного конденсатора. При достаточной мощности переменной составляющей сигнала поверхностной фотоЭДС это позволяет исключить механическую модуляцию зазора. В связи с этим, необходимость наличия в структурной схеме привода вибрации 3 должна быть определена в ходе экспериментальных исследований.



- 1 – сеточный электрометрический зонд;  
 2 – трансимпедансный предусилитель сигнала; поверхностной фотоЭДС; 3 – привод вибрации электрометрического зонда;  
 4 – фазовый детектор; 5, 6 – источники опорных напряжений; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – микроконтроллер;  
 9 – модулятор; 10 – коммутатор;  
 11, 12 – источники оптического излучения;  
 13 – совмещенный световод

Рисунок 1 – Структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС

Повышение отношения сигнал-шум обеспечивается применением синхронного (фазового) детектирования сигнала, для чего в структурную схему введен фазовый детектор 4. В качестве сигналов синхронизации используются электрический сигнал привода вибрации электрометрического зонда 3 и сигнал модулятора оптического излучения 9 (в случае реализации схемы невибрирующего зонда используется только второй сигнал). Детектированный сигнал преобразуется в цифровой вид в реальном масштабе времени с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 7. Реализуемый метод бесконтактных измерений электрического потенциала с неполной компенсацией [2] предусматривает двукратную регистрацию измерительного сигнала при поочередной подаче на вход компенсации предварительного усилителя двух различных значений компенсирующего напряжения  $U_1$  и  $U_2$  с последующим вычислением истинного значения потенциала на основе математического выражения.

Генерацию напряжений  $U_1$  и  $U_2$  обеспечивают два источника опорных напряжений 5 и 6. Выбор источника компенсирующего напряжения и синхронную с выбором регистрацию оцифрованных значений измерительного сигнала обеспечивает микроконтроллер 8, выполняющий также функции устройства управления блоками структурной схемы электрометрического зонда и связи с внешними устройствами посредством цифрового интерфейса.

В качестве источников оптического излучения 11 и 12 предполагается использовать светоизлучающие диоды или светодиодные лазеры. При необходимости количества источников может быть увеличено. Преимущества светодиодных источников излучения заключаются в высокой монохроматичности излучения, простой схеме управления мощностью излучения путем задания рабочего тока и малой инерционности источника. Это позволяет осуществлять модуляцию оптического излучения путем модуляции управляющего (питающего) напряжения либо тока без применения механических затворов-прерывателей. В качестве источника такого модулирующего напряжения используется модулятор 9, представляющий собой генератор импульсов. Выбор длины волны излучения осуществляется путем коммутации модулированного напряжения на соответствующий источник оптического излучения с помощью коммутатора 10. Работой коммутатора управляет микроконтроллер 8, что позволяет синхронизировать измерения поверхностной фотоЭДС с моментами освещения поверхности полупроводниковой пластины излучением выбранной длины волны или при затемнении (в последнем случае выходы коммутатора блокируются по сигналу микроконтроллера). Доставку оптического излучения к поверхности полупроводниковой пластины в области выполнения измерений обеспечивает совмещенный световод 13, волокна входной стороны которого равномерно распределены между всеми используемыми источниками оптического излучения.

1. Жарин А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. – Минск: Бестпринт, 1996. – 240 с.
2. Способ измерения контактной разности потенциалов: заявка на патент ЕА 201500105/26 : МПК G01R 19/00, G01N 27/00 (2014.01) / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, К.В. Пантелеев, А.В. Дубаневич; дата публ.: 21.01.2015.