

УДК 681.2

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЛЯ ФОТОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Микитевич В.А., Свистун А.И., Жарин А.Л.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время являются актуальными вопросы определения характеристик полупроводниковых пластин бесконтактными методами. Использование контактных методов приводит к нарушениям поверхностных слоев пластин, что не позволяет их возврат в технологический процесс. Зондовые зарядочувствительные методы основаны на регистрации электрического потенциала поверхности с помощью бесконтактного емкостного зонда (например, зонда Кельвина [1–4]). Они позволяют выявлять различные неоднородности (наличие дефектов, механических напряжений, неоднородностей химического состава и др.) как в металлах, так и в полупроводниках.

В емкостных зондах для модуляции потенциала используются механические колебания эталонного образца, образующего с измеряемой поверхностью конденсатор. В отличие от металлов, в полупроводниках присутствует фото-ЭДС, что позволяет использовать емкостные зонды с модуляцией потенциала светом, без механических колебаний.

Таким образом, емкостной зонд может быть использован в двух режимах: (а) с механической модуляцией для измерения потенциала и (б) со световой модуляцией для измерения фото-ЭДС.

В свою очередь, по фото-ЭДС возможно определение таких параметров полупроводников, как время жизни носителей заряда в приповерхностном слое, высота потенциального барьера, токи утечки барьерной структуры, диффузионная длина носителей заряда, удельное поверхностное сопротивление и др. [5].

Целью настоящей работы является разработка универсального цифрового измерителя, позволяющего измерять как потенциал поверхности, так и фото-ЭДС с дополнительными опциями (режим определения диффузионной длины носителей и режим определения удельного поверхностного сопротивления, а также определение производных от этих параметров величин).

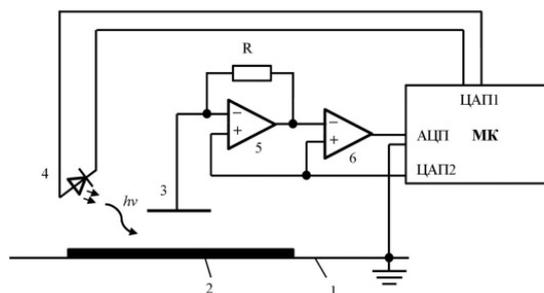
В основе измерителя использован микроконтроллер с ядром Cortex M4 типа STM32L476.

Данный микроконтроллер имеет низкий уровень собственных шумов, а также улучшенный аналоговый блок, позволяющий в режиме оверсэмплинга получать данные с АЦП вплоть до 24 бит. Также он имеет встроенный арифметический сопроцессор, что позволяет проводить первичную обработку данных с плавающей запятой (вычисление среднеквадратичного значения сигналов, фильтрацию, БПФ и др.) в реальном времени.

Рассмотрим конструкцию измерителя. На рисунке 1 показана упрощенная структурная схема универсального цифрового измерителя для фотостимулированной зондовой электрометрии. Конструкция измерителя состоит из следующих основных узлов: на заземленном основании 1 располагается исследуемый образец 2 (например, полупроводниковая пластина). Исследуемый образец 2 и зонд 3 образуют плоский конденсатор. В цепи обратной связи электрометрического усилителя 5 установлен резистор R с гигаомным сопротивлением. Для согласования уровня выходного сигнала со входом АЦП микроконтроллера (МК) использован инструментальный усилитель 6. ЦАП2 МК используется для генерации напряжения компенсации. ЦАП1 используется для управления яркостью светодиода 4.

В зависимости от заданного режима работы, МК включает соответствующую модуляцию зонда (механические колебания или модулированный свет), а также необходимые для каждого режима каналы и режимы считывания получаемых сигналов.

Работа измерителя осуществляется следующим образом: при освещении поверхности исследуемого образца (полупроводниковой пластины) происходит генерация носителей заряда. Следовательно, возникает заряд в зонде, который преобразуется в напряжение электрометрическим усилителем и усиливается инструментальным усилителем. При этом измерение осуществляется компенсационным методом. Микроконтроллер управляет напряжением компенсации при помощи ЦАП2 и яркостью светодиода при помощи ЦАП1.



1 – заземленное основание; 2 – исследуемый образец; 3 – зонд; 4 – светодиод; 5 – электрометрический усилитель; 6 – инструментальный усилитель; R – резистор с гигаомным сопротивлением; МК – микроконтроллер; hv – световой поток

Рисунок 1 – Структурная схема универсального цифрового измерителя для фотостимулированной зондовой электрометрии:

При разработке измерителя учитываются следующие нюансы:

1) зависимость фото-ЭДС от освещенности не линейна, что требует дополнительных исследований с целью подбора оптимальных режимов работы измерителя;

2) измерения целесообразно проводить на переменном токе (при изменяющейся яркости светодиода), что позволяет значительно упростить выделение полезного сигнала при наличии шумов и наводок;

3) зависимость яркости светодиода от напряжения не линейна, следовательно, ЦАП микроконтроллера должно иметь токовый выход;

4) светодиод должен освещать поверхность исследуемого образца под зондом, поэтому необходимо использовать соответствующую конструкцию световода и зонда;

5) большое значение имеет угол падающих лучей света из-за наличия эффекта отражения на границе воздух-исследуемый образец;

6) определения диффузионной длины носителей заряда необходимо наличие двух источников излучения, с разными длинами волн [5];

7) необходимо экранирование от внешних источников светового излучения.

Универсальный цифровой измеритель для фотостимулированной зондовой электрометрии может быть использован для исследования характеристик полупроводниковых пластин при

научных исследованиях, а также в процессе производства.

### Литература

1. Zharin A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping. In Book: Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. – pp. 687–720.

2. Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Жарин А.Л. Построение измерителей контактной разности потенциалов / Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 7–15.

3. Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Жарин А.Л. Малогабаритный аналоговый измеритель контактной разности потенциалов. / Приборостроение–2016: Материалы 9-й МНТК. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 97–99.

4. Микитевич В.А., Жарин А.Л. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов. / Новые направления развития приборостроения: материалы 11-й МНТК молодых ученых и студентов. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 63.

5. Жарин А.Л., Гусев О.К., Воробей Р.И., Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Пилипенко В.А., Петлицкий А.Н. Реализация режима модулированной поверхностной фотоэдс в конструкции средств неразрушающего контроля полупроводниковых пластин. / Приборостроение–2017: Материалы 10-й МНТК. – Минск : БНТУ, 2017. – С. 83–84.

УДК 539.1.074.3/6

### ФОСВИЧ-ДЕТЕКТОР ЛЕГКИХ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ

Лобко А.С.<sup>1</sup>, Мисевич О.В.<sup>1</sup>, Федоров А.А.<sup>1</sup>, Кучинский Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Российская Федерация

Проблема спектрометрии и идентификации легких ионов (до  $Z \sim 10$ ) на фоне гамма-квантов и электронов часто встает как в научных экспериментах на пучках заряженных частиц, так и в промышленных установках с использованием ускоренных ионов. Такие задачи решались с помощью газовых пропорциональных и полупроводниковых детекторов, однако их эффективность регистрации и быстродействие не позволяют работать на интенсивных пучках. Для преодоления этого ограничения нами был разработан двухслойный сцинтилляционный детектор-фосвич – с повышенным быстродействием и близкой к 100 % эффективностью регистрации заряженных частиц.

Фосвич-детекторы применялись и ранее для измерения поверхностной загрязненности альфа- и бета-активными радионуклидами, где внешний слой поглощает альфа-частицы, второй слой – бета-, и третий слой (при наличии) – гамма-кванты. В качестве альфа-чувствительного слоя практиче-

ски всегда применялся тонкий поликристаллический сцинтиллятор ZnS:Ag. Но его быстродействие невелико, и энергетическое разрешение, как и стойкость к климатическим и химическим воздействиям оставляют желать лучшего. После аварии на АЭС в г. Фукусима (Япония) вновь возникла потребность в подобных приборах.

Для преодоления указанных недостатков в качестве фронтального слоя фосвича нами был применен кристалл алюмината иттрия  $YAlO_3:Ce$  (известный также как YAP) [1] в сочетании с пластическим сцинтиллятором во втором слое. Оба сцинтиллятора имеют малые постоянные времена высвечивания – 28 нс и 5 нс соответственно. Диаметр детектора – 60 мм, толщина YAP – 250 мкм, толщина пластика – 6 мм (может быть снижена до 2 мм для низкофоновой радиометрии). Сцинтилляторы оптически связаны с фотоприемником ФЭУ Hamamatsu R11102 посредством световода с конической образующей. Электроника детектора содержит в себе подсистему питания ФЭУ, блок