

УДК 621.3.049

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА БАЗЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ С СОБСТВЕННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тьяловский К.Л., Шадурская Л.И., Самарина А.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Методы неразрушающего, в частности, дистанционного контроля широко используют различные оптические методики измерений. В свою очередь их применение [1] обеспечивает контроль самых разнородных параметров качества изделий и материалов – от химического состава до качества механической обработки поверхности, для контроля технологических процессов. В каждом конкретном случае реализации избранной методики, характеризующейся определённым сочетанием свойств объекта контроля и среды передачи оптического излучения, требуется индивидуальная совокупность применяемых параметров источника и приемника излучения. Это определяет необходимость использования широкой номенклатуры измерительных преобразователей систем оптической диагностики. В ряде случаев для обработки одного информационного оптического сигнала может использоваться несколько измерительных преобразователей.

Выходом из такой ситуации предлагается использовать сочетание двух подходов к реализации измерений: выполнение многопараметрических измерений в односигнальной реализации [2] и использование в измерительных преобразователях систем оптической диагностики полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) с изменяемой функциональностью и переключением поддиапазонов преобразования [3–5] энергетической и спектральной характеристик чувствительности под действием внешних управляющих факторов и параметров самого измерительного сигнала.

Основу ряда многофункциональных ФЭП, предназначенных для применения в измерительных преобразователях, составляют базовые фоторезистивные и барьерные структуры металл-полупроводник (рисунок 1) на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью [4, 5].

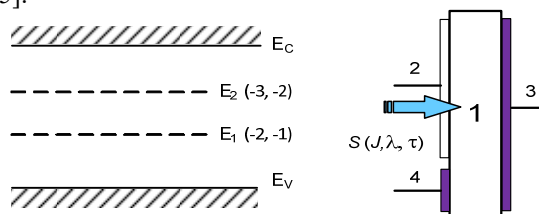


Рисунок 1 – Зонная диаграмма полупроводника с многозарядными примесными центрами (в скобках указаны зарядовые состояния) и приборная структура ФЭП на его основе

Приборная структура на рисунке 1, где 1 – это полупроводник с многозарядными примесными центрами, 2 – прозрачный электрод, 3 – электрод, 4 – управляющий электрод, является базовой, и, в зависимости от требований к характеристикам и функциональности ФЭП, может быть модифицирована. Используя различные комбинации приборных структур, свойство границ раздела металл-полупроводник, материалов полупроводника с низкой концентрацией глубокой примеси и контактов, технологии формирования приборных структур можно получить и ФЭП с существенно различающимися характеристиками [4, 5], и, благодаря использованию сложности процессов рекомбинации и перезарядки примесных центров [5, 6], многофункциональными свойствами (рисунок 2).

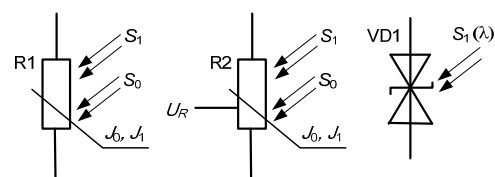


Рисунок 2 – ФЭП на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью:
 S_1 – информационный сигнал, S_0 – управляющее воздействие

При этом, фотоприёмные структуры на основе полупроводников с низкой концентрацией глубокой многозарядной примеси [3–5] могут обладать следующим набором свойств, в ряде случаев, позволяющих оперативно изменять их под действием дополнительного электрического или оптического сигнала:

- энергетическая характеристика с расширенным (не менее, чем в два раза) динамическим диапазоном с авто- или внешним переключением между поддиапазонами (многозарядная примесь с акцепторными свойствами);
- непрерывная протяженная энергетическая характеристика (многозарядная примесь с акцепторными свойствами);
- энергетическая характеристика с внутренним усилением;
- спектральная характеристика чувствительности с автоматическим или внешним переключением «красной границы»;
- определение интенсивности оптического излучения и длины волны монохроматического

излучения в одном объеме одноэлементного ФЭП при изменении режима смещения;

– формирование двуполярного электрического сигнала на выходе ФЭП при модуляции оптического сигнала по длине волны (реализация биполярной модуляции в оптических каналах связи);

– 2D и 3D чувствительность к форме и положению светового пятна относительно электродов и краев ФЭП;

– чувствительность к внешним факторам иной физической природы (давление, влажность).

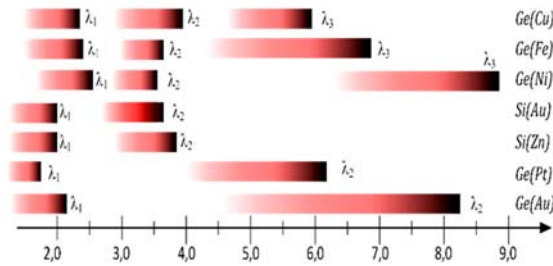


Рисунок 3 – Изменение «красной» границы чувствительности ФЭП под действием управляющих воздействий для разных материалов

Отметим, что использование традиционных фотоприемников для оперативного управления видом спектральной характеристики измерительного преобразователя потребовалось бы использование в нескольких фотоприемниках, каждый с оптическим фильтрующим элементом, настроенным на различные области спектра, светоделительное устройство и схема объединения электрических сигналов. Однако ФЭП на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью обеспечивают управление спектральной характеристикой чувствительности в широком диапазоне длин волн (рисунок 3) с использованием только одного элемента.

Для управления характеристиками многофункционального ФЭП в ряде случаев используется оптическое излучение. Применение сапфировых подложек [7] для изготовления управляемых ФЭП позволяет «примирить» различие свойств множества материалов (Si, SiGe, GaN, AlGaN, тройных и четверных соединений типа A^3B^5 , и других), применяемых при изготовлении ФЭП на основе полупроводников с собственной фотопроводимостью, и формировать интегрированную структуру управляемого встроением излучателем многофункционального ФЭП.

Использование концепции односигнальных измерений в многопараметрическом контроле [2] с применением управляемых многофункциональных ФЭП [4] наиболее эффективно реализуется в измерительных преобразователях, построенных на базе микроконтроллеров [8]. Это позволяет реализовать любой из требуемых алгоритмов процесса многопараметрических

измерений при существенном сокращении числа и типов фотоприемников.

Многофункциональные одноэлементные фотоэлектрические преобразователи на основе полупроводников с собственной проводимостью позволяют реализовать в одном измерительном преобразователе с одноканальной схемой измерения определение нескольких параметров оптического излучения, например, длины волны и мощности оптического излучения, геометрических параметров изображения, сравнение характеристик изображения по нескольким параметрам одновременно. Выбор структуры ФЭП, материала полупроводника, типа глубокой примеси и ее концентрации позволяют создавать фотоприемники для заданного диапазона плотностей мощности излучения, спектрального диапазона и функциональности.

Литература

1. Контроль неразрушающий. Методы оптические. Термины и определения. / Национальный стандарт Российской Федерации. – ГОСТ Р 53696 – 2009.
2. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями. / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский; под общ. ред. О.К. Гусева – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
3. Гусев, О.К. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Датчики и системы. – 2011, №1. – С. 19–23.
4. Гусев О. К., Тявловский К. Л., Воробей Р. И., Свистун А. И., Шадурская Л. И. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей. // Метрология и приборостроение. – 2017, № 2. – С. 34–42.
5. Vorobey, R.I. Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range / R.I. Vorobey, O.K. Gusev, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, A.I. Svistun, L.I. Shadurskaya, N.V. Yarzhebetskaya, K. Kierczynski // Przegląd elektrotechniczny, – Nr 5. 2014, – P. 5–78.
6. Яшин, А. Н. Применимость упрощенной модели Шокли-Рида-Холла для полупроводников с различными типами дефектов / Электронные и оптические свойства полупроводников / А. Н. Яшин // Физика и техника полупроводников. – 2005. Т. 39, № 11. – с. 1331–1333.
7. Andreou, A.G. Silicon on sapphire CMOS for optoelectronic microsystems / A.G. Andreou, Z.K. Kalayjian, A. Apsel, P.O. Pouliquen, R.A. Athale, G. Simonis, R. Reedy // Circuits and Systems. – 2001. – V.1. – P.22–30.
8. Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский. Измерительные преобразователи систем оптической диагностики с многофункциональными одноэлементными фотоприемниками. // Приборы и методы измерений. – 2018, Т. 9, № 3. – С. 215–226.