

свою очередь позволило уменьшить стоимость датчика более чем в 2 раза по сравнению с первоначальной конструкцией и в 2-4 раза по сравнению с существующими аналогами [1].

Таким образом, была показана возможность и эффективность создания беспроводных датчиков с использованием модуля беспроводной

передачи данных ESP8266 для применения в домашних сетях в пределах концепции IoT.

Такой подход делает возможным реализацию систем умного дома не прибегая к использованию специализированного оборудования, что в конечном счете, приводит к повышению уровня безопасности.

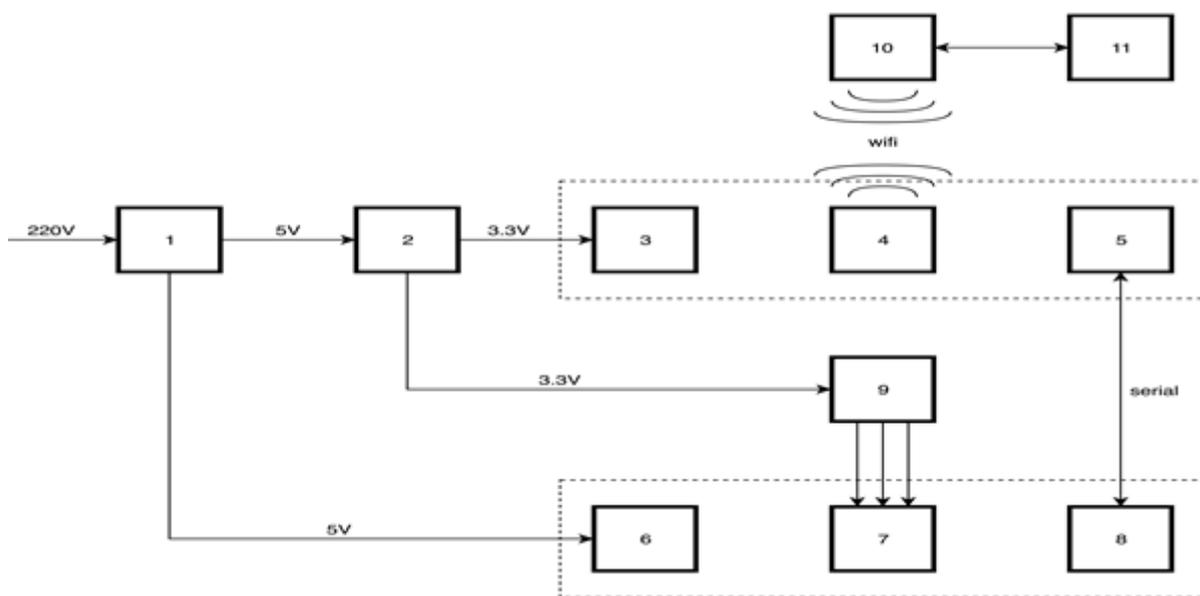


Рисунок 2 – Функциональная схема беспроводного датчика на базе модуля ESP8266

1. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php
2. Фрайден Дж. Современные датчики

[Справочник] / Дж. Фрайден. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с..

3. Arduino IDE for ESP8266 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.devacron.com/arduino-ide-for-esp8266>

УДК 621.382

СПЕКТРОСКОПИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДИАГНОСТИКЕ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сопряков В.И., Полхутенко С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Контроль статической вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводниковых нелинейных элементов и ее параметров является распространенной формой операционного контроля и контроля готовой продукции, так как он является неразрушающим и может быть реализован простыми методами и средствами. На ВАХ полупроводниковых приборов оказывают влияние химические дефекты, неоднородности распределения электрофизических параметров материала, микро- и макродефекты структуры, состояние поверхности и качество контактов. Эти факторы

определяют надежность прибора, однако их влияние на ВАХ может быть незначительным и не может быть обнаружено по ее виду.

Измерение и запись кривой второй производной ВАХ $I''(U)$ позволяет решить задачу разрешения ее тонкой структуры и определения факторов, влияющих на надежность. В зависимости от типа прибора и ветви ВАХ, в которой проводится контроль, получаемая информация может носить как качественный, так и количественный характер.

Известно, что амплитуда второй гармоники (U_2) переменного тока низкой частоты в режиме малого сигнала в цепи нелинейного элемента пропорциональна $I''(U)$. Для измерения $I''(U)$ разработана установка модуляционного дифференцирования ВАХ, в которой реализован метод детектирования гармоник. Установка позволяет измерять и записывать на двухкоординатный потенциометр ВАХ и ее вторую производную в диапазонах $0 \dots 2,0$ В и $0 \dots 1000$ В. Чувствительность в режиме измерения второй гармоники составляет 1 мкВ при отношении сигнал-шум, равном трем.

Измерительная схема представляет последовательное соединение исследуемого диода и малого измерительного сопротивления. При измерении $I''(U)$ в измерительную схему подается постоянное напряжение, промодулированное малым переменным напряжением с частотой 300 Гц. Амплитуда модуляции и величина измерительного сопротивления регулируются с целью достижения оптимального разрешения и помехоустойчивости. Сигнал с измерительного сопротивления подается на режекторный фильтр, селективный усилитель, настроенный на частоту второй гармоники и синхронный детектор.

Для силовых диодов большой площади качество кремния имеет определяющее значение, так как при высоких обратных смещениях р-п перехода может возникать неоднородное распределение тока и температуры по площади и неустойчивость его протекания. Информацию о неоднородности распределения тока по площади несет структура ВАХ перед участком лавинного электрического пробоя. Ток при этом протекает в местах скопления дислокаций, включенный второй фазы, неоднородностей удельного сопротивления.

Значения напряжений возрастания $I''(U)$ соответствуют началу линейных участков ВАХ, связанных с отдельными микроплазмами. На рисунке 1 показаны $I''(U)$ в предпробойной области потенциально ненадежного силового диода. Такая техника может быть использована и для контроля стабилитронов.

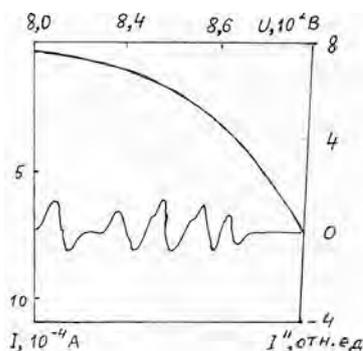


Рисунок 1

Особенности структуры ВАХ, в частности наличие линейных участков, можно описать в рамках модели суперпозиции малых максимумов тока I_t и фоновой компоненты ВАХ (штриховая линия на рисунке 2). В сильно легированных р-п переходах с концентрацией мелких примесей $10^{19} \dots 10^{21}$ см⁻³ эти максимумы связаны с избыточным туннельным током, протекающим через глубокие уровни дефектов.

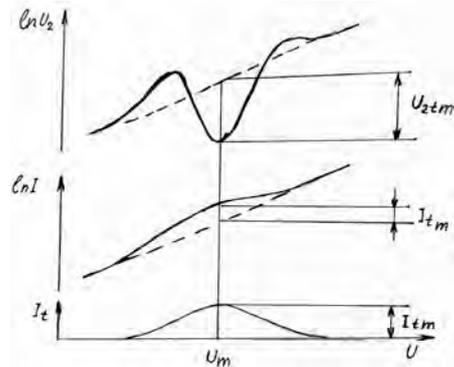


Рисунок 2

Принимая максимум избыточного тока в виде нормального распределения, получена формула для обработки экспериментальных кривых $I''(U)$

$$I_{tm} = 0,115(4U_{2tm} / U_n^2 R_n) \Delta U^2,$$

где I_{tm} – значение избыточного тока в максимуме, U_{2tm} – разность между значениями фоновой и сигнальной кривых $U_2 = f(U)$, U_n – амплитуда напряжения переменного тока на образце, R_n – значение измерительного сопротивления. Предельное разрешение максимума избыточного тока составляет $0,003 \dots 0,01$ от значения фоновой тока.

Энергетическое положение глубокого уровня однозначно связано с напряжением минимума на кривой $I''(U)$, а его концентрация пропорциональна значению I_{tm} . На рисунке 3 приведен пример разрешения структуры ВАХ методом двойного дифференцирования.

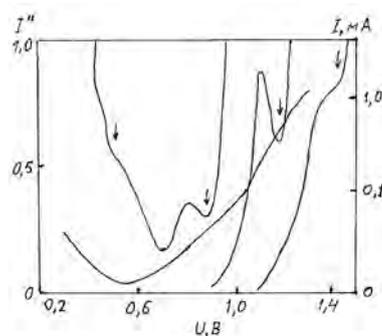


Рисунок 3 – ВАХ и $I''(U)$ диода на основе сильно легированного GaAs при $T = 77$ К

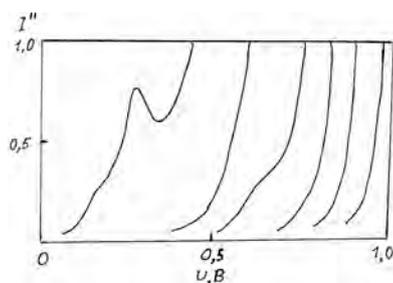


Рисунок 4 – Вторые производные ВАХ кремниевого диода с концентрацией мелкой примеси 10^{17} см^{-3} и глубокой примесью золота ($T = 77 \text{ К}$)

Нелинейности ВАХ р–n-переходов с концентрацией мелких примесей $10^{16} \dots 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и менее могут отражать наличие глубоких примесей (рисунок 4), либо особенности технологии, вносящей высокие концентрации структурных дефектов, например ионной имплантации, которая для бракованных элементов дает картину, сходную с рисунком 4.

УДК 681.723.078, 681.775.078, 681.777.078

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ ФОНОВОГО СИГНАЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОЭП

Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с совершенствованием технологии создания фотоприёмников, в схемах работы оптико-электронных приборов (ОЭП), таких как цифровые автоколлиматоры [1], микроскопы, системы астроориентации [2], пеленгаторы [3], фотоприёмник выступает не только в виде регистрирующего устройства, но и в качестве отсчётного, поскольку его элементы – пиксели – имеют высокую точность пространственной периодичности. Таким образом, точность работы данных ОЭП зависит от точности определения координат энергетического центра тяжести изображения, формируемого на фотоприёмнике ОЭП [4]. Одним из факторов, оказывающим существенное влияние на выходные параметры системы, являются шумы электронного тракта ОЭП.

Для ПЗС матриц работающих в видимом спектральном диапазоне на точность регистрации измерительного сигнала значительное влияние (по уровню значимости), оказывают: дробовый шум темнового тока, шум считывания, фотонный (дробовый) шум. В КМОП матрицах дополнительно присутствует геометрический шум. Носители заряда в фотоприёмнике могут иметь свободную генерацию и в отсутствие внешней засветки. Поэтому различают две составляющие дробового шума: шум, создаваемый фотогенерированными зарядами (фотонный), и шум темнового сигнала [5].

Часто на фотоприёмник поступает не только основной измерительный сигнал, но и фоновый, который в свою очередь приводит к появлению дополнительных шумов, которые способствуют увеличению погрешности определения координат энергетического центра тяжести

измерительного сигнала.

Для экспериментального определения степени влияния шумов электронного тракта на точность определения координат энергетического центра тяжести изображения тест-объекта, использовались две модели цифровых видеокамер:

- CV-M2CL, JAI, в качестве фотоприёмника используется ПЗС матрица Kodak KAI-2020;
- Genie HM1400 XDR CR-GM01-H1400, в качестве фотоприёмника используется Teledyne DALSA КМОП матрица.

Схема эксперимента заключалась в проецировании круглого тест-объекта, подсвечиваемого осветителем со светодиодом LXML-PL01-0030, на фотоприёмник. Величина сигнала в изображении тест-объекта была такой, что генерировала 70% электронов от величины потенциальной ямы в пикселе фотоприёмника. За счёт случайных составляющих, в основном шумов фотоприёмника и электронного тракта, изображение тест-объекта на фотоприёмнике не было статичным. Влияние температурного дрейфа пикселей фотоприёмника сводилось к минимуму за счёт его термостабилизации (предварительный прогрев в течение 1,5 – 2 часов), которая позволила на 13,5135 пикселя уменьшить полученные значения; а во время съёмки – за счёт введения калибровочного коэффициента, в значения координат энергетического центра тяжести изображения тест-объекта.

Съёмка проводилась с кадровой частотой 0,83 кадров/секунду (100 снимков в течение 2 минут). Кадры снимались через равные промежутки времени. По каждому кадру определялись координаты энергетического центра тяжести