

ции объекта контроля производится оператором на основе анализа соответствия реакции объекта контроля и модели. Однако при вычленении ряда факторов, определяющих выбор модели, оптимальной последовательности формирования внешних факторов, объединения процедур обработки измерительных данных и процедур анализа параметров моделей в одной программе, возможна реализация автоматического режима. В зависимости от реакции объекта контроля на тот или иной фактор подключается соответствующая модель, затем проводятся измерения для выбранной области поверхности изделия. По полученным результатам можно судить о состоянии поверхности изделия.

Например, возможен следующий алгоритм процедуры измерения. При наличии фото-ЭДС на поверхности объекта после воздействия на него подсветки выбирается модель поверхности полупроводника. Анализ разности темнового и светового значений позволяет контролировать тип обработки поверхности (природу загрязнений), определять качество обработки поверхности по степени ее однородности, а также возможна локализация загрязнений и структурных несовершенств. Нанесение заряда коронным электродом дает возможность разделить изделия без диэлектрического покрытия и с покрытием, следовательно выбрать соответствующую модель, и получить дополнительную информацию о поверхностных состояниях объекта контроля. По параметрам стекания заряда можно определить качество диэлектрика структуры окисел-полупроводник, толщину и заряд диэлектрика, его

целостность, а также время рекомбинации и генерации, длину диффузии неосновных носителей, определить концентрацию легирующей примеси в приповерхностных областях полупроводника. При обнаружении зависимости измеряемого значения компенсирующего напряжения от межэлектродного зазора вид дистанционной зависимости позволяет определить наличие неоднородности в распределении поверхностного потенциала под отсчетным электродом и характер микронеоднородности. Крутизна наблюдаемой дистанционной зависимости определяет тип пространственного распределения электрического потенциала на микроучастках и, соответственно, тип пространственного распределения структурных дефектов. Для однородной поверхности измеряемый потенциал при изменении межэлектродного зазора не изменяется.

В процессе развития знаний о процессах в приповерхностных слоях при уточнении моделей соответствующих поверхностей, совершенствовании методик контроля, а также введении новых факторов воздействия на поверхность исследуемого объекта каждую ветвь алгоритма можно дополнительно разбивать на другие ветви.

Таким образом, при контроле изделий с прецизионными поверхностями, характеризующимися близким к совершенному состоянию структуры приповерхностных слоев и ограниченным перечнем измерительных сигналов, возможно применение полунатурной схемы измерения, когда часть информации об объекте контроля заменяется его моделью.

УДК 681

### **ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСЯМИ**

**Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И., Шадурская Л.И., Яржембицкая Н.В.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Во многих применениях полупроводниковых фотоприёмников, например, технике формирования изображений с высоким контрастом, спектрофотометрии слабых навигационных звезд, метрологии слабых оптических излучений и т.д., требуется формировать измерительный сигнал в широком диапазоне яркостей в условиях существования высокяркостных помех. Высокий абсолютный контраст изображения характерен для сцен, содержащих темные объекты и встречную (контровую) засветку [1]. Использование обычных фотоприёмников с недостаточно широким динамическим диапазоном чувствительности не позволяет получить корректный отклик фотосигнала при наблюдении объектов с большими контрастами яркостей (освещенностей). Задача расширения динамического диапазона

актуальна также и для фотоприёмников, работающих в режиме накопления заряда, например, в фотоприёмных ПЗС-матрицах.

Воздействие на фотоприемник системы видения высоких уровней освещенностей приводит к выходу его передаточной характеристики на насыщение, таким образом, система видения оказывается неспособной сформировать изображение, адекватное наблюдаемой сцене или выделить сигнал слабой навигационной звезды на фоне засветки от бликов края бленды объектива и отражений от конструкций космического аппарата.

Получение высококачественных изображений объектов с резким отличием по контрасту, наблюдаемых в одном кадре, является актуальной технической задачей, которая решается раз-

личными способами: а) аппаратными; б) алгоритмическими (программными); в) аппаратно-алгоритмическими.

Первая группа методов связана с применением дорогостоящих систем охлаждения ССД матриц, мощных процессоров DSP, а также АЦП с высокой разрядностью, что требует больших затрат при несущественном увеличении диапазона чувствительности снизу. Возможно также использование составных фотоприемников, образованных двумя и более элементами, каждый из которых чувствителен в своем диапазоне плотностей мощности оптического излучения, например, в области плотностей мощности оптического излучения  $P_1$  и  $P_2$  [2], что увеличивает сложность и площадь приёмника.

Вторая группа методов подразумевает применение новых алгоритмов обработки данных. Известен способ [3], при котором получается серия изображений одного и того же объекта при разных экспозициях, включающих весь диапазон яркостей (брекетинг экспозиции). После получения серии снимков задаётся для каждого пикселя изображения рассчитывается интерполированное значение фотосигнала. Недостатком алгоритмического метода является его ограниченная применимость (только для статических изображений), большие вычислительные и временные затраты.

К третьей группе методов можно отнести режим BLC (Back Light Compensation), который реализуется в виде переключения порогов срабатывания электронного затвора ПЗС-матрицы (или диафрагмы объектива) и системы АРУ так, что они становятся на 10 - 20% выше обычного. В результате, самые яркие объекты (например, светлое окно) "зарезаются в белом", а объекты среднего уровня (лицо человека, стоящего перед окном) усиливаются и становятся хорошо видимыми [1]. В результате, режим BLC не расширяет динамический диапазон, а лишь сдвигает его с целью лучшего наблюдения более темных объектов, ценой потери ярких объектов.

Модификации режима в виде дополнительного переключения, в которых срабатывают схемы автоматического регулирования (камеры фирм Wattec, Sony и др.). При этом требуется увеличение времени экспозиции фотоприёмника. Режим "BLC" полезен в ряде случаев телевизионного наблюдения, но его нельзя использовать в автоматическом виде, так как камера "не знает", когда оператора интересует объект перед ярко освещенной поверхностью, а когда важным является изображение самой этой поверхности.

В данной работе предлагается решение проблемы расширения динамического диапазона аппаратным способом – использование широкодиапазонных фотоэлектрических преобразовате-

лей (ФЭПП) на основе полупроводников с многозарядными примесями.

Широкодиапазонный фотоприемник выполняется в одном объеме полупроводника, легированного примесью с двумя и более глубокими многозарядными уровнями. При этом конструкция фотоприёмника не усложняется, размеры элемента не увеличиваются, а характеристики ФЭПП с глубокими примесями определяются, в основном, характером рекомбинационных процессов через уровни примеси. Моделирование рекомбинационных процессов в ФЭПП с многозарядными примесями показало, что наблюдаются два диапазона линейности энергетической характеристики, зависящие от вида примеси и ее концентрации (рисунок 1) [4].

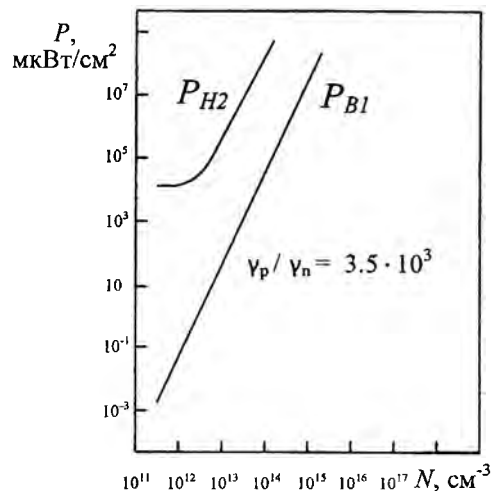


Рисунок 1 – Зависимость границ диапазона линейности энергетической характеристики от концентрации акцепторной примеси для ФЭПП Ge(Cu)

Первый диапазон соответствует линейной рекомбинации при низких плотностях мощности оптического излучения  $P$ , меньших некоторого порогового значения  $P_{B1}$  (рисунок 2), а второй диапазон линейности энергетической характеристики наблюдается при высоких плотностях мощности оптического излучения больших  $P_{H2}$ . За счет варьирования вида примеси и ее концентрации можно создавать ФЭПП, работающие в заданном диапазоне плотностей мощности оптического излучения [4], а также оптически управляемые фотоприёмники [5].

Согласно действующему ГОСТ 17772- 88 при аттестации ФЭПП предусмотрен только один динамический диапазон при невысоких плотностях мощности оптического излучения. Поэтому для испытаний ФЭПП с глубокими многозарядными примесными центрами разработана метрологическая модель и алгоритм испытаний. Измерение динамического диапазона осуществляется экспериментально по значению

критической мощности оптического излучения, соответствующей 20 % отклонению от линейного закона зависимости  $i_{\phi} = f(P)$ . На рисунке 2 приведена модель формирования динамического диапазона ФЭПП на основе германия  $n$ -типа, легированного медью.

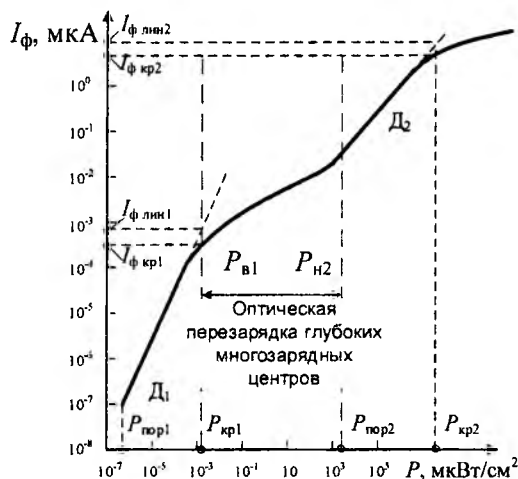


Рисунок 2 – Формирование динамического диапазона ФЭПП на основе  $n$ -Ge(Cu)

Использование полупроводников с глубокими многозарядными примесями при создании ФЭПП позволяет существенно (на несколько десятичных порядков) расширить динамический диапазон чувствительности фотоприёмника при сохранении высокого быстродействия. Выбор материала полупроводника и типа глубокой примеси, позволяют создавать ФЭПП для заданного диапазона плотностей мощности излучения,

спектрального диапазона и функциональности [4, 5], формировать качественный фотосигнал и вести наблюдение объектов в сложных условиях высококонтрастного освещения.

1. Гвоздек Михаэль. Справочник по технике для видеонаблюдения. Планирование, проектирование, монтаж – Техносфера, 2010. – 552 с.
2. Revolutionary sensor blazes the way to a new era of high image quality – “Super CCD EXR” [электронный ресурс] – [www.fujifilm.com/photokina2008/pdf/release/super\\_ccd\\_exr\\_e.pdf](http://www.fujifilm.com/photokina2008/pdf/release/super_ccd_exr_e.pdf) - Sep. 22, 2008 – дата доступа 19.07.2011 г.
3. Способ получения цифрового изображения с большим динамическим диапазоном: патент 2470366 России, МПК G06T 5/50 / Колобродов В.Г., Пивторак Д.А., Подолян А.П.; заявка № 2011147227/08; заявл. 21.11.2010; опубл. 20.12.2012; бюл. №35
4. 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, №1. – 2011, с. 19.
5. Фотоприемное устройство, управляемое подсветкой: патент № 15840 РБ, МПК H 01L 31/16 / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая; заявл. 03. 30. 2010; зарегистр. 26. 01. 2012

УДК 53.082.722.4:53.083.9

### КОНТРОЛЬ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Современные функциональные материалы, в большинстве случаев характеризуются сложной композитной структурой и особым характером свойств поверхности. В классической схеме полунатурного контроля [1], когда часть информации об объекте контроля заменяется его моделью, предполагается, что действительные параметры изделия соответствуют параметрам, сгенерированным моделью. Для функциональных материалов из-за различий физических свойств приповерхностных слоев различных образцов или даже их частей, необходимо ис-

пользовать несколько моделей, соответствующих своим типам поверхности. В условиях недостаточности информации о типе поверхности контроль свойств образца может быть реализован на основе модифицированного алгоритма измерений, использующего принцип многопараметрических измерений применительно к односигнальной измерительной модели [2]. В соответствии с этим алгоритмом, вначале выполняется пробное измерение в выбранной точке поверхности изделия при одном из нескольких возможных факторов воздействия, что вызывает