

5. Дмитриев С.Г. Макроскопические ионные ловушки на границе раздела кремний-окисел // Физика и техника полупроводников. 1998. Т.32. № 12. С.1439–1444.
6. Челядинский А. Р., Комаров Ф. Ф. Дефектно-примесная инженерия в имплантированном кремнии // УФН. 2003. Т.173, № 8. С. 813–846.

ФОТОПРИЕМНИКИ С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С МНОГОЗАРЯДНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

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

Белорусский национальный технический университет, nil_pt@bntu.by

Использование обычных фотоприёмников с динамическим диапазоном чувствительности 40–50 дБ не позволяет получить корректный отклик фотосигнала при наблюдении объектов с большими контрастами яркостей (освещенностей) [1, 2]. При решении проблемы недостаточности динамического диапазона фотоприемника основное внимание уделяется задаче расширения диапазона преобразования «снизу», за счёт снижения уровня шума. Гораздо меньше внимания уделяется проблеме расширения динамического диапазона при больших интенсивностях освещения – «сверху». Воздействие на фотоприемник высоких уровней освещенностей приводит к выходу его передаточной характеристики на насыщение, таким образом, система видения оказывается неспособной сформировать изображение, адекватное наблюдаемой сцене. Существующие методы решения проблемы недостаточно широкого динамического диапазона фотоприемников можно разделить на три категории: а) аппаратные; б) алгоритмические (программные); в) аппаратно-алгоритмические.

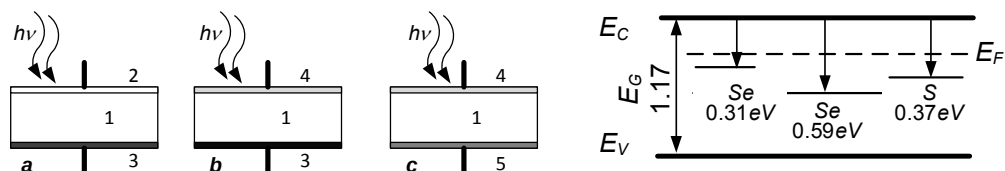
Первая группа методов связана с необходимостью существенного изменения конструкции и применения новых материалов [3]. Возможно также использование составных фотоприемников, образованных двумя и более элементами, каждый из которых чувствителен в своем диапазоне плотностей мощности оптического излучения [4], что увеличивает сложность и площадь приёмника.

Вторая группа методов подразумевает применение новых алгоритмов обработки данных. Известен способ [5], при котором последовательно получается серия изображений одного и того же объекта при разных экспозициях, включающих весь диапазон яркостей (брекетинг экспозиции). Затем рассчитывается интерполированное значение фотосигнала. Недостатком алгоритмического метода является снижение быстродействия, большие вычислительные и временные затраты при получении интерполированного изображения и возможность получения артефактов.

К третьей группе можно отнести режим BLC (Back Light Compensation), который реализуется в виде переключения порогов срабатывания электронного затвора ПЗС-матрицы (или диафрагмы объектива) и системы АРУ выше обычного [1]. В результате, режим BLC не расширяет динамический диапазон, а лишь сдвигает его с целью лучшего наблюдения более темных объектов за счет потери информации от ярких.

Таким образом, аппаратные методы имеют преимущества перед программными и комбинированными методами, т.к. использование аппаратных методов не приво-

дит к ухудшению быстродействия системы и в ряде случаев позволяет получить новые функциональные свойства. В качестве основы для формирования приборных структур предлагается использовать полупроводники с собственной проводимостью, легированные глубокой многозарядной примесью. Выбор такого типа фотоприемника обусловлен следующими соображениями. Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) изготавливают либо на основе полупроводников с примесной (с концентрацией до 10^{19} см^{-3}) проводимостью, либо полупроводников с собственной проводимостью. В первом случае достигается высокая чувствительность, но уже при малой плотности мощности наблюдается насыщение передаточной характеристики. Во втором случае насыщения не происходит и при высоких плотностях мощности оптического излучения, но чувствительность фотоприемника существенно ниже [6]. В одноэлементных фотоприемниках на основе полупроводников с собственной проводимостью (рис. 1), содержащих невысокую концентрацию многозарядной примеси, возможно продление линейности энергетической характеристики до плотностей мощности излучения, превышающих порог насыщения характеристик собственных и примесных ФЭП за счет использования механизмов управления зарядовым состоянием глубоких примесных центров.



1 – полупроводник с глубокой многозарядной примесью; 2 – полупрозрачный омический контакт; 3 – омический контакт; 4 – полупрозрачный барьер Шоттки; 5 – барьер Шоттки

Рисунок 1. – Фотоэлектрические преобразователи с собственной фотопроводимостью на основе полупроводников с глубокой многозарядной примесью и энергетическая диаграмма ФЭП Si(Se, S)

При этом характеристики ФЭП с глубокой примесью определяются характером рекомбинационных процессов через уровни примеси, находящихся в различных зарядовых состояниях. Результаты моделирования таких ФЭП показывают, что на зависимости времени жизни основных и неосновных носителей заряда от плотности мощности оптического излучения существуют две области линейной рекомбинации, разделенной областью нелинейной рекомбинации [7]. Автоматическая перезарядка уровней примеси в разных зарядовых состояниях глубокой многозарядной примеси (Cu, Au и др. в Ge; Ni, Fe и др. в Si) при увеличении плотности мощности оптического сигнала приводит к формированию двух поддиапазонов I и II энергетической характеристики фотоприемника (рис. 2). Линия 1 на рис. 2 соответствует ФЭП типа *Ge(Ni)*. Изменяя интенсивность излучения из области собственного поглощения можно управлять концентрацией примеси в различных зарядовых состояниях с разными уровнями энергии ионизации. В зависимости от плотности мощности оптического сигнала реализуются различные зарядовые состояния примеси и, соответственно, спектральные характеристики с максимумами на разных длинах волн, переключаемые под воздействием управляющего излучения [8].

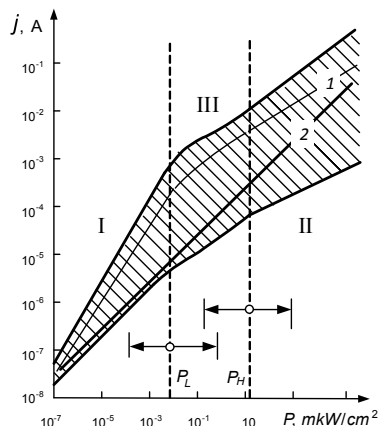


Рисунок 2. – Обобщенные энергетические характеристики одноэлементного ФЭП

Границы двух линейных поддиапазонов P_L и P_H энергетической характеристики ФЭП с акцепторной глубокой примесью, параметры быстродействия ФЭП в каждом из поддиапазонов, мощность оптического излучения, при которой происходит переключение спектральных характеристик ФЭП позволяет определить численное моделирование процессов рекомбинации в собственных полупроводниках с многозарядными примесями. Разработанная модель [7] позволяет определять характеристики проектируемых ФЭП для различных примесей, формирующих произвольное число уровней с различными зарядовыми состояниями. При введении в собственный полупроводник донорной глубокой примеси, например, Si(Se) [9], когда уровень Ферми расположен выше уровня примеси (рис. 1) оптическая перезарядка центров в различных зарядовых состояниях не происходит. Примесный центр заполнен электронами как при низком, так и при высоком уровне инжекции, равновесная функция Ферми-Дирака близка к 1 и изменяется с ростом уровня возбуждения не более, чем на 10^{-3} , а значит τ_n и τ_p также практически не будут зависеть от уровня инжекции, теряется возможность переключения спектральных характеристик чувствительности. На энергетической характеристике реализуется зависимость типа 2 (рис. 2) и нелинейность между уровнями мощности P_L и P_H отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздек Михаэль. Справочник по технике для видеонаблюдения. Планирование, проектирование, монтаж. / М. Гвоздек. – М.: Техносфера, 2010. – 552 с.
2. Формозов Б.Н. Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасном диапазонах. / Б.Н. Формозов. – СПб.: СПбГУАП. 2002. – 120 с.
3. Каримов А.В. [и др.]. Особенности фотозлектрических характеристик фотозлектропреобразовательных структур. / А.В. Каримов [и др.] // Функциональная микро- и наноэлектроника, – 2007. № 4. – С. 23-28.
4. 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 - Sep. 22, 2008 – дата доступа 19.07.2011 г.

5. 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.
6. Твердотельная фотоэлектроника. / А.Н. Филачев, [и др.]. – Москва. Физматкнига. 2011. – 196 с.
7. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями. / О.К. Гусев [и др.] // Датчики и системы. – 2011. № 1. – С. 22–24.
8. Гусев О.К. [и др.]. Фотоприемное устройство, управляемое подсветкой. / Патент № 15840 РБ, МПК H 01L 31/16.
9. Impurities and Defects in Group IV elements and III-V Compounds. Part a: Group IV Elements // Landolt- Börnstein- Group III Condensed Matter – Volume 41 A2a, 2002, – pp. 1–11.

СТРУКТУРА И ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОКСИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$

Ю. С. Гайдук, А. А. Савицкий

Белорусский государственный университет, j_hajduk@tut.by

Оксид индия In_2O_3 является важным прозрачным полупроводником *n*-типа с широкой запрещённой зоной (0,5 эВ при 300 К) и широко применяется в оптоэлектронных устройствах (УФ–лазерах, солнечных батареях, плоских дисплеях и т.д.) [1 – 3]. Он также обладает газочувствительностью и пригоден для детектирования, как газов-окислителей, так и газов-восстановителей [4].

К настоящему времени исследована газочувствительность толстых плёнок композиции $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ с содержанием In_2O_3 1,5–5% мас. (оксид вольфрама представлял собой смесь моноклинных фаз JCPDS 83–0950, JCPDS 87-2386) к NO_2 , CO, NH_3 и $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Максимальная чувствительность чистого WO_3 к NO_2 наблюдалась при 100 °С. Датчики $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ были селективными по отношению к NO_2 и CO при 200 и 300 °С, соответственно [5]. Также ранее исследована чувствительность к NO композиции $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ с различным соотношением компонентов [6].

В нашей работе изучены особенности формирования золь-гель методом In_2O_3 , WO_3 , смешанной композиции $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$, изучение влияния температуры отжига на структурные, электрические и газочувствительные свойства.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Оксид вольфрама получали из 1,23 М водного раствора $\text{Na}_2\text{WO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$ путем капельного вливания в 12 М раствор HNO_3 при постоянном перемешивании, выдерживали 6 ч в маточном растворе и отмывали от примесей электролитов. Аналогичным образом оксид кобальта In_2O_3 получали из 0,78 М водных растворов $\text{InNO}_3 \times 4,5\text{H}_2\text{O}$ путем добавления 9,24 М водного раствора аммиака. Образцы $\text{WO}_3\text{--In}_2\text{O}_3$ готовили смешением соответствующих навесок гелей с предварительно определённым сухим остатком (прокаливание 1 ч при 300 °С).

Рентгенографические исследования проводили с использованием дифрактометра ДРОН–3 (Cu–K α -излучение). Порядок подготовки образцов и методики физико-химических исследований описаны в работе [7]. Исследовалась чувствительность двухэлектродных газовых датчиков (пр-во ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»)