

УДК 625.315.592

Д. ф.-м. н. В. А. БОРЩАК

Украина, Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова

E-mail: borschak_va@mail.ru

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ СЕНСОРА НА БАЗЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$

Создана универсальная программа, позволяющая управлять процессом сканирования датчика изображения, производить обработку полученных данных с целью компенсации неоднородности фоточувствительности сенсора и преобразовывать файл с видеoinформацией в любой формат, доступный стандартным программам, работающим с изображениями.

Ключевые слова: сенсор изображений, неоднородность фоточувствительности, неидеальный гетеропереход.

Неидеальный гетеропереход $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$, как было установлено в [1], можно использовать в качестве эффективного сенсора оптического и рентгеновского изображений с внутренним усилением. Конструктивно сенсор представляет собой тонкопленочный гетеропереход $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$. Контакт к сульфиду кадмия служит сплошной прозрачный проводящий слой диоксида олова, нанесенный на стеклянную подложку размером 50×25 мм. Контакт к сульфиду меди представляет собой термически осажденную в вакууме медную пленку с прижатой к ней золотой сеткой. Размер фоточувствительной поверхности определяется размером слоя сульфида меди (42×25 мм). При такой конструкции запись изображения и его считывание можно производить только со стороны сульфида кадмия.

Изображение в таком сенсоре формируется неравновесным зарядом, захваченным глубокими ловушками в области пространственного заряда (ОПЗ), где имеется значительный рекомбинационный барьер, препятствующий рекомбинации захваченного заряда со свободными носителями. Установлено, что скрытое изображение даже при комнатной температуре может храниться в таком сенсоре достаточно долго [1].

Тем не менее, определяемый различными механизмами выброс неравновесного заряда из ОПЗ [2–4] имеет место, и это может вызывать значительную неоднородность фоточувствительности сенсора вдоль его поверхности.

Важным и интересным с практической точки зрения является выяснение вопроса о наличии повторного захвата носителей при их выбросе с центров захвата [5]. При термическом выбросе дырок они попадают в поле ОПЗ и быстро удаляются в узкозонный слой, поэтому повторный

захват представляется в этом случае маловероятным, хотя, в принципе, возможным.

Для экспериментальной проверки этого предположения исследовалась форма видеосигнала одной строки сенсорной матрицы сразу после прекращения возбуждения и по истечении 6 часов. Возбуждение производилось путем экспонирования разных точек сенсора точечными световыми объектами одинаковой яркости. Было установлено, что после этого заметного уширения пиков сигнала не наблюдается. Это позволяет сделать вывод о том, что повторный захват на ловушечные центры не происходит даже после длительной релаксации. Так как интенсивность возбуждения во всех точках была одинакова, предполагается, что различие уровня сигнала в различных пиках обусловлено неоднородностью фоточувствительности исследуемых образцов, что является недостатком такой структуры при использовании ее в качестве сенсора изображения. Подобная неоднородность, как показано в [6], вызвана изменением концентрации глубоких дырочных ловушек вдоль поверхности гетероперехода. Для того чтобы получать качественные изображения с помощью исследуемого сенсора, необходимо учитывать неоднородность фоточувствительности ее элементов. Целью настоящей работы было создание способа компенсации такой неоднородности при компьютерной обработке изображений.

Методика обработки изображений

Была создана универсальная программа в среде программирования C++, позволяющая управлять процессом сканирования сенсора изображения и обрабатывать полученные данные с последующим выводом изображения на мони-

тор компьютера, а также преобразовывать файл с видеоинформацией в любой формат, доступный стандартным программам, работающим с изображениями. Таким образом, для получения изображения программа управляет контроллером, производящим сканирование, и получает от него данные об интенсивности видеосигнала в каждой точке сенсора. В результате этого в память компьютера заносится матрица данных размером 128×128 или 256×256 (разрешение сканирования), соответствующая интенсивности видеосигнала на поверхности образца, который может быть сохранен в виде файла.

Для учета неоднородности сенсора необходимо получить дополнительную информацию, характеризующую значения темнового тока и фоточувствительности в каждой точке поверхности преобразователя. С этой целью в первую очередь производится сканирование сенсора в равновесном (темновом) состоянии, в результате чего программа создает файл данных `black.img`, записывает его на диск и сохраняет в постоянной памяти компьютера в специальном формате, удобном для использования. Следующий этап — сканирование сенсора, освещенного однородным белым светом, в результате чего создается файл данных `white.img`. Приведя сенсор в равновесное состояние, можно произвести экспонирование его поверхности каким-либо изображением и после сканирования получить данные об уровне видеосигнала в каждой его точке (файл `initial.img`). Таким образом получают все необходимые данные для последующей обработки изображения. Следует иметь в виду, что файлы `black.img` и `white.img` являются индивидуальной характеристикой конкретного сенсора и могут использоваться при обработке изображений, получаемых только с его помощью.

Разработанная программа имеет два режима обработки изображения:

1. Вычитание из исходного изображения уровня «черного» (значения видеосигнала в каждой точке для равновесного состояния сенсора).

2. Дополнительный учет неоднородности фоточувствительности сенсора.

Первый режим применяется для учета неоднородности чувствительности преобразователя, приведенного в равновесное состояние, которая может быть вызвана различием значений концентрации донорных центров и концентрации центров рекомбинации на металлургической границе в различных точках. В процессе этой обработки также производится вычитание в каждой точке минимального значения сигнала, что позволяет устранить влияние на изображение пола аппарата нуля усилителя.

Второй режим обработки включает в себя несколько операций, позволяющих учесть также неоднородность, являющуюся следствием различия значений концентрации центров захвата неравновесных носителей в области пространствен-

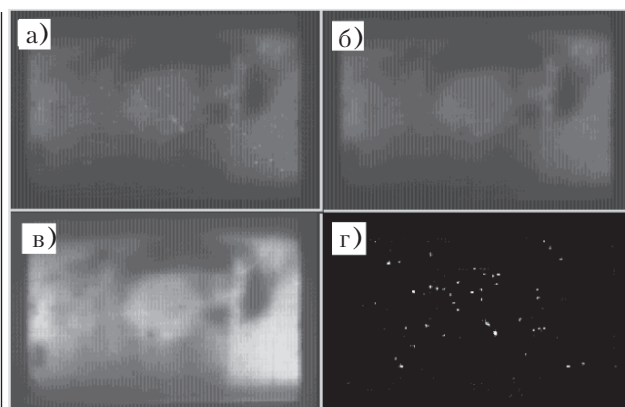


Рис. 1. Примеры визуализации файлов данных: *a* — исходное необработанное изображение (`initial.img`); *б* — равновесное состояние (`black.img`); *в* — неравновесное состояние после воздействия однородным белым светом (`white.img`); *г* — результат обработки изображения (`result.img`)

ного заряда. Во-первых, производится, как и в первом режиме, вычитание уровня «черного» для получения промежуточного массива данных. Такая же операция производится со значениями файла `white.img`, что позволяет получить коэффициенты, характеризующие чувствительность сенсора в каждой точке. Используя эти коэффициенты для обработки промежуточного массива, получаем конечный файл изображения (`result.img`), в котором устранены все неоднородности сенсора. Для удобного представления результатов выходные данные нормируются к 255.

Графически результаты с помощью программы могут быть представлены в двух видах:

- изображение объекта на экране дисплея (позитив-негатив);
- график зависимости уровня видеосигнала от координаты.

Визуализация возможна как для окончательно обработанного изображения (файл `result.img`), так и для первоначально полученных данных (файлы `black.img`, `initial.img`, `white.img`). Для удобства дальнейшей работы с изображениями программа позволяет преобразовывать их в стандартный графический формат РСХ, который затем может быть преобразован в любой другой.

На **рис. 1** представлены результаты работы модуля визуализации разработанной программы на различных этапах обработки данных. Исходное изображение звездного неба (рис. 1, *a*) получено при экспонировании сенсора на телескопе (рефракторе) астрономической обсерватории Одесского национального университета им. И. И. Мечникова.

Несмотря на достаточно высокую неоднородность исследуемого сенсора (рис. 1, *в*), разработанные алгоритмы обработки данных позволяют компенсировать ее и значительно улучшить качество изображения (рис. 1, *г*). Это подтверждает и **рис. 2**, на котором приведено обработанное изображение, записанное при освещении



Рис. 2. Полутонное изображение, полученное при помощи сенсора на основе неидеального гетероперехода с разрешением 250×250

обычной лампой накаливания, которая давала освещенность на объекте порядка 100 люкс, и с экспозицией 1/8 с.

Таким образом, созданная универсальная программа позволяет управлять процессом сканирования датчика изображения и проводить обработку полученных данных с последующим выводом изображения на монитор компьютера, а также преобразовывать файлы с видеoinформацией в любой формат, доступный стандартным программам, работающим с изображениями.

Разработанная и изготовленная установка для записи, считывания и визуализации изображений, полученных при помощи сенсора на основе неидеального гетероперехода, позволяет проводить исследования с целью совершенствования сенсоров прежде всего за счет уменьшения их неоднородности и повышения стабильности. Программа в сочетании с разработанным сенсором может служить прототипом датчика изображений, который может применяться в области медицины или при астрономических исследованиях. В дальнейшем будут исследованы возможности применения такого сенсора для получения изображений микроэлектронных устройств.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Vassilevski D. L. Physical principles of graphic data registration by non-ideal heterojunction // Sensors and Actuators. A: Physical. — 1996. — Vol. 55, N 2–3. — P. 167–172.
2. Smyntyna V. A., Borschak V. A., Kutalova M. I. et al. Application of notions of sensitometry to the solid-state image sensor based on nonideal heterojunction // Proc. of the Conf. XXII EUROSENSORS. — Germany, Dresden. — 2008. — P. 58.
3. Borschak V. A. Nonequilibrium charge relaxation processes in the barrier zone of nonideal heterojunction // Functional Materials. — 2003. — Vol. 10, N 2. — P. 306–309.

4. Балабан А. П., Борщак В., Бритавский Е. В., Смынтна В. А. Релаксация сигнала оптического сенсора на основе неидеального гетероперехода // Тр. III Междунар. науч. конфер. «Функциональная компонентная база микро-, опто- и наноэлектроники». — Украина, Харьков, Кацивели. — 2010. — С. 49–51. [Balaban A. P., Borshchak V., Britavskii E. V., Smyntyna V. A. Relaksatsiya signala opticheskogo sensora na osnove neideal'nogo geteroperekhoda // Tr. III Mezhdunar. nauch. konfer. «Funktional'naya komponentnaya baza mikro-, opto- i nanelektroniki». Ukraine, Kharkov, Katsiveli. 2010. P. 49]

5. Vassilevski D. L., Borschak V. A., Victor P. A. A novel heterojunction based low illumination image sensor with applications to astronomy // Sensors and Actuators. A: Physical. — 1994. — Vol. 45. — P. 191–193.

6. Борщак В. А. Процессы релаксации неравновесного заряда в барьерной области неидеальных гетеропереходов и свойства сенсоров оптических изображений на основе таких структур // Фотоэлектроника. — 2002. — Вып. 11. — С. 92–95. [Borshchak V. A. // Fotoelektronika. 2002. Iss. 11. P. 92]

Дата поступления рукописи
в редакцию 27.02 2012 г.

Borschak V. A. **Computer processing of the images obtained by a sensor based on the CdS—Cu₂S heterojunction.**

Keywords: image sensor, inhomogeneity of photosensitivity, non-ideal heterojunction.

There has been created a multipurpose program that allows to manage the image sensor scanning, to process data to compensate for the heterogeneity of the sensor photosensitivity and convert the video data file into any format, accessible to standard programs, which process images.

Ukraine, I. I. Mechnikov Odessa National University.

Борщак В. А. **Комп'ютерна обробка зображень, отриманих за допомогою сенсора на базі гетеропереходу CdS—Cu₂S.**

Ключові слова: сенсор зображень, неоднорідність фоточутливості, неідеальний гетероперехід.

Створено універсальну програму, що дозволяє управляти процесом сканування датчика зображення, проводити обробку отриманих даних з метою компенсації неоднорідності фоточутливості сенсора та перетворювати файл з відео в будь-який формат, доступний стандартним програмам, що працюють із зображеннями.

Україна, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова.