

В. А. СМЫНТЫНА, В. А. БОРЩАК, Н. П. ЗАТОВСКАЯ, М. И. КУТАЛОВА,
Ю. Н. КАРАКИС, А. П. БАЛАБАН

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ НЕИДЕАЛЬНЫХ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕНСОРА ОПТИЧЕСКИХ И РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Наличие ряда особенностей, характерных для гетероперехода CdS—Cu₂S позволило создать сенсор нового типа для регистрации оптического и рентгеновского изображения. Сенсор может быть использован для регистрации слабых оптических и рентгеновских изображений с последующей записью их элементов в память ЭВМ. Считывание изображения производится ИК-светом. Сенсор обладает эффектом накопления и памяти.

Гетеропереход CdS—Cu₂S долгое время привлекал внимание исследователей благодаря возможности его применения в качестве фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии [1]. В то же время в этой структуре наблюдается ряд эффектов и явлений, которые характерны для неидеальных гетеропереходов [2]. Это связано с несовпадением постоянных кристаллических решеток материалов, составляющих этот гетеропереход, причем такое несовпадение обуславливает появление на границе раздела большой концентрации центров рекомбинации. Для этой структуры характерно также наличие в ОПЗ глубоких ловушечных уровней, что приводит к захвату на них неравновесного заряда при освещении. Наличие такого дополнительного заряда обеспечивает рост электрического поля на гетерогранице, что является причиной снижения темпа рекомбинации на центрах границы раздела.

Все это затрудняет работу гетероперехода CdS—Cu₂S в качестве фотоэлемента, но, в то же время, дает возможность для его нетрадиционного использования: создания эффективных оптических и рентгеновских сенсоров изображения [3—4].

Для получения базового слоя сульфида кадмия нами применялся метод электрогидродинамического распыления водного раствора хлорида кадмия и тиоочевинны с последующим пиролизом. Получаемые таким способом полупроводниковые материалы имеют большое количество дефектов. Полупроводниковые слои оказываются в значительной степени компенсированными, что сильно отличает их свойства от совершенных слоев, полученных методами газовой или молекулярно-лучевой эпитаксии. Компенсирующие центры, локализованные в переходных областях гетероперехода, способны удерживать на себе большой электрический заряд и существенно определяют ход потенциала в области пространственного заряда (ОПЗ).

Указанные особенности, характерные для гетероперехода CdS—Cu₂S, могут быть использованы для создания новых приборов, таких, например, как безвакуумные преобразователи оптического изображения в электрический сиг-

нал. Такое использование гетероперехода CdS—Cu₂S связано с эффектом влияния коротковолновой подсветки на ток короткого замыкания, генерированный ИК-светом, генерирующим носители в более узкозонном сульфиде меди. Эти носители могут быть разделены полем барьера и создать ток короткого замыкания или рекомбинировать на центрах рекомбинации, большая концентрация которых имеется на металлургической границе из-за несовпадения постоянных кристаллических решеток материалов, составляющих гетеропереход. При освещении гетероперехода светом из области собственного или примесного поглощения широкозонного сульфида кадмия, в котором сосредоточена вся ОПЗ, фотогенерированные дырки захватываются на присутствующие в ОПЗ ловушки. В результате этого уменьшается ширина этой области, изменяется форма потенциального барьера, а напряженность поля на границе раздела резко возрастает. Это приводит к резкому уменьшению на гетерогранице рекомбинационных потерь носителей, генерированных в сульфиде меди. Таким образом, с помощью коротковолновой подсветки малой интенсивности, можно управлять большим потоком носителей, генерированных более длинноволновым светом в сульфиде меди. Высокая чувствительность такой системы в области очень низких уровней освещения позволяет использовать ее для регистрации слабых световых сигналов. Кроме того, такой прибор обладает свойством накопления и памяти, т. к. положительный заряд, захваченный в ОПЗ, локализуется на глубоких ловушках, термическое опустошение которых при комнатных температурах происходит достаточно медленно.

Если создать оптическое изображение, освещая сенсор со стороны сульфида кадмия, и сканировать преобразователь длинноволновым световым зондом ($\lambda \sim 900$ нм), то ток короткого замыкания будет пропорционален освещенности той точки, куда в данный момент попадает световой зонд. Таким образом, может быть сформирован видеосигнал. Используя эффект памяти, сканирование можно производить и спустя некоторое время после непосредственного воздейст-

вия света, создающего изображение, на преобразователь.

Так как в данном устройстве считывание изображения производится не электронным лучом, а ИК-светом, то для него не требуется вакуум и высокое напряжение, применяемые для формирования электронного луча. Максимальная разрешающая способность устройства определяется дифракционным пределом фокусировки светового пятна, при помощи которого происходит считывание изображения, и составляет приблизительно 1 мкм.

Изготовленный нами преобразователь оптического изображения в электрический сигнал имел размеры 5×5 см, достаточно высокую чувствительность. Основной частью фотоприемника является гетеропереход CdS—Cu₂S, сформированный на стеклянной подложке с прозрачными контактами из оксида олова. Контакт к слою Cu₂S служила термически осажденная в вакууме сплошная медная пленка.

Для записи оптического изображения на указанный выше фотоприемник использовался широкоформатный фотоаппарат. Кассета с фотоприемником помещалась в фотоаппарат и производилось экспонирование. После этого кассета устанавливалась на сканирующее устройство для считывания информации. Образец сканировался ИК-светом через оптическую систему, установленную на двухкоординатном потенциометре. Количество элементов разложения изображения в данном случае определялось по максимальной разрешающей способности устройства, и возможностью имеющейся вычислительной техники. В данном случае было задействовано в каждой из 256 строк 256 точек. Контроллер вырабатывает сигнал, который через формирователь тока включает ИК-светодиод. При этом происходит считывание информации с заданной точки образца. Аналоговый сигнал от формирователя сигнала изображения (ФСИ) поступает на вход предварительного усилителя. Затем видеосигнал преобразуется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) в цифровой код и записывается в контроллер. Контроллер осуществляет перемещение оптической системы в следующую точку образца. При этом используются два цифроаналоговых преобразователя, преобразующие коды, выработанные контроллером в управляющее напряжение для перемещения по оси X и Y считывающей оптической системы, установленной вместо пера двухкоординатного потенциометра. Таким образом, происходит построение сканирование образца. По окончании считывания, накопленная в контроллере информация поступает в вычислительную машину. После обработки можно наблюдать сфотографированную картинку на экране монитора.

Характерной особенностью исследуемого фотоприемника является отсутствие расплывания изображения. Эта особенность объясняется тем, что изображение формируется зарядом, захваченным на ловушках. При термическом выбросе носителя с центра он удаляется из ОПЗ полем и повторного захвата не происходит, что и обус-

ловливает отсутствие растекания заряда, формирующего изображение [2].

Полученное изображение может быть удалено путем подачи на фотоприемник положительного смещения порядка 1 В, (при этом происходит рекомбинация захваченного заряда). Стирание изображения можно осуществить также кратковременной засветкой гетероперехода мощным импульсом ИК-света, который выбрасывает дырки, запасенные на ловушках в валентную зону (при этом они удаляются полем из ОПЗ и потенциальный барьер приходит к темновой форме). С использованием эффекта накопления дырок на ловушечных центрах в ОПЗ прибор может регистрировать изображение при очень слабой интегральной освещенности (10⁻⁵ люкс).

Исследовалась также возможность получения оптического изображения в рентгеновских лучах. Известно, что действие рентгеновских лучей, подобно видимым, приводит к появлению неравновесных носителей, что может быть также использовано для получения изображений в рентгеновских лучах. В этом случае, как и ранее, изображение фактически формируется неравновесным положительным зарядом, захваченным на дырочных ловушках в ОПЗ сульфида кадмия. Поэтому есть основания предполагать, что оно будет иметь такие же свойства, как и изображения, получаемые в видимом диапазоне спектра. Вместе с тем известно, что действующие датчики рентгеновского излучения имеют толщину чувствительного поглощающего слоя не менее 100 мкм. В то же время следует иметь в виду, что элемент кадмий эффективно поглощает рентгеновские лучи. Однако, толщина слоя сульфида кадмия, полученного методом электрогидродинамического распыления, составляет не более 10 мкм, поэтому вопрос об использовании данного преобразователя в рентгеновском диапазоне оставался открытым. Для выяснения этого вопроса в качестве источника излучения использовалась медицинская установка, дающая мягкое рентгеновское излучение. Доза, получаемая при помощи такой установки, составляет не более 100 миллирентген. В качестве тест-объекта, частично экранирующего рентгеновское излучение, мы использовали поглощающий клин, составленный из тонких алюминиевых пластинок, толщиной 100 мкм каждая. После экспозиции образец был подвергнут сканированию, причем на полученном изображении была четко видна тень от клина с возрастающей плотностью, что свидетельствует о принципиальной возможности регистрации рентгеновских изображений.

Параметры разработанного нами преобразователя не являются теоретически предельными и определяются достигнутым уровнем технологических разработок, а также используемого экспериментального оборудования.

По своему назначению разработанный нами преобразователь является аналогом ПЗС матриц, однако отличается от последних низкой потенциальной стоимостью, большой площадью рабочей поверхности и рядом других преимуществ, обусловленных его нематричной структурой.

Устройство может быть использовано для регистрации слабых оптических и рентгеновских изображений с последующей записью их элементов в память ЭВМ и возможной коррекцией неоднородности по фоточувствительности преобразователя. Вероятной областью применения такого устройства может быть регистрация изображений, создаваемых крупными телескопами при астрономических наблюдениях. Возможность использования разработанного сенсора в качестве датчика рентгеновского излучения открывает перспективы его внедрения в разных областях медицинской практики.

Литература

1. Василевский Д. Л. Перспективность CdS—Cu₂S фотопреобразователей при больших уровнях возбуждения // Фотозлектроника. — 1990. — № 3. — С. 3.
2. Василевский Д. Л. Фотоэлектрические свойства неидеальных гетеропереходов // Фотозлектроника. — 1996. — № 6. — С. 22.
3. Vassilevski D. L., Vinogradov M. S., Borschak V. A. Photon induced modulation of surface barrier: investigation and application a new image sensor // Applied Surface Science 103 (1996) 383—387.
4. Vassilevski D. L., Borschak V. A., Vinogradov M. S. Influence of tunnel effects on the kinetics of the photocapacitance in nonideal heterojunctions // Solid-State Electronics. — Vol. 37, No. 9. — pp. 1680—1682. — 1994.

Наукова бібліотека ОНУ імені І.І. Мечнікова