

УДК 535.375

В.А. Борщак, Н.П. Затовська, М.І. Куталова, Ю.М. Каракіс, А.П. Балабан
**Застосування тонкоплівкових неідеальних
гетеропереходів для створення
сенсора оптичних і рентгенівських зображень**

*Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова
65026, Україна, Одеса, вул. Дворянська, 2,
тел. (0482)-23-24-61*

Наявність ряду особливостей, характерних для гетероперехода CdS-Cu₂S дозволило створити сенсор нового типу для реєстрації оптичного і рентгенівського зображення. Сенсор може бути використаний для реєстрації слабких оптичних і рентгенівських зображень із наступним записом їх елементів у пам'ять ЕОМ. Зчитування зображення робиться ІЧ-світлом. Сенсор має ефект накопичення і пам'яттю.

Ключові слова: гетероперехід, сенсор, оптичні та рентгенівські зображення.

Стаття поступила до редакції 12.09.2001; прийнята до друку 12.03.2002.

Гетероперехід CdS-Cu₂S довгий час привертав увагу дослідників завдяки можливості його застосування в якості фотоелектричного перетворювача сонячної енергії. У той же час у цій структурі спостерігається ряд ефектів і явищ, що характерні для неідеальних гетеропереходів [1]. Це зв'язано з розбіжністю постійних кристалевих ґраток матеріалів, що складають цей гетероперехід, причому така розбіжність обумовлює появу на межі поділу великої концентрації центрів рекомбінації. Для цієї структури характерно також наявність в ОПЗ глибоких пасткових рівнів, що призводить до захоплення на них нерівновісного заряду при освітленні. Наявність такого додаткового заряду забезпечує зростання електричного поля на гетерограниці, що є причиною зниження темпу рекомбінації на центрах межі поділу.

Все це утрудняє роботу гетеропереходу CdS-Cu₂S у якості фотоелемента, але, у той

же час, дає можливість для його нетрадиційного використання: створення ефективних оптичних і рентгенівських сенсорів зображення [2-4].

Для одержання базового шару сульфиду кадмію нами застосовувався метод електрогідродинамічного розпилення водяного розчину хлориду кадмію і тіомочевини з наступним піролізом. Одержувані таким способом напівпровідникові матеріали мають велику кількість дефектів. Напівпровідникові шари виявляються в значній мірі компенсованими, що сильно відрізняє їхньої властивості від шарів, отриманих методами газової або молекулярно-променевої епітаксії. Центри, що компенсують, локалізовані в перехідних областях гетеропереходу, здатні утримувати на собі великий електричний заряд і істотно визначають хід потенціалу в області просторового заряду (ОПЗ).

Зазначені особливості, характерні для

гетероперехода $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$, можуть бути використані для створення нових приладів, таких, наприклад, як безвакуумні перетворювачі оптичного зображення в електричний сигнал. Таке використання гетеропереходу $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$ пов'язано з ефектом впливу короткохвильового підсвічування на струм короткого замикання, генерований ІЧ-світлом, що генерують носії в більш вузькозонном сульфіді міді. Ці носії можуть бути розділені полем бар'єра і створити струм короткого замикання або рекомбінувати на центрах рекомбінації, велика концентрація яких є на металургійній границі через розбіжність постійних кристалічних ґраток матеріалів, що складають гетероперехід. При освітленні гетеропереходу світлом з області власного або домішкового поглинання широкозонного сульфиду кадмію, у якому зосереджена вся ОПЗ, фотогенеровані дірки захоплюються на присутні в ОПЗ пастки. У результаті цього зменшується ширина цієї області, змінюється форма потенційного бар'єра, а напруженість поля на границі розподілу різко зростає. Це призводить до різкого зменшення на гетерограниці рекомбінаційних втрат носіїв, генерованих у сульфіді міді. Таким чином, за допомогою короткохвильового підсвічування малої інтенсивності, можна управляти великим потоком носіїв, генерованих більш довгохвильовим світлом у сульфіді міді. Висока чутливість такої системи в області дуже низьких рівнів освітлення дозволяє використовувати її для реєстрації слабких світлових сигналів. Крім того, такий прилад має властивість накопичення і пам'яті, тому що позитивний заряд, захоплений в ОПЗ, локалізується на глибоких пастках, термічне спустошення яких при кімнатних температурах відбувається досить повільно.

Якщо створити оптичне зображення, освітлюючи сенсор з боку сульфиду кадмію, і сканувати перетворювач довгохвильовим світловим зондом ($\lambda \sim 900 \text{ нм}$), то струм короткого замикання буде пропорційний освітленості тієї точки, куди в даний момент потрапляє світловий

зонд. Таким чином, може бути сформований відеосигнал. Використовуючи ефект пам'яті, сканування можна робити і через деякий час після безпосереднього впливу світла, що створює зображення, на перетворювач.

Через те, що в даному пристрої зчитування зображення робиться не електронним променем, а ІЧ-світлом, то для нього не потрібен вакуум і висока напруга, які використовуються для формування електронного променя. Максимальна спроможність пристрою, що дозволяє, визначається дифракційною межею фокусування світлової плями, за допомогою якого відбувається зчитування зображення, і складає приблизно 1 мкм.

Виготовлений нами перетворювач оптичного зображення в електричний сигнал мав розміри $5 \times 5 \text{ см}$, досить високу чутливість. Основною частиною фотоприймача є гетероперехід $\text{CdS-Cu}_2\text{S}$, сформований на скляній підкладці з прозорими контактами з оксиду олова. Контакт до шару Cu_2S служила термічно напилена у вакуумі суцільна мідна плівка.

Для запису оптичного зображення на зазначений вище фотоприймач використовувався широкоформатний фотоапарат. Касета з фотоприймачем містилася у фотоапарат і робилося експонування. Після цього касета встановлювалася на пристрій, що сканує, для зчитування інформації. Зразок сканувався ІЧ-світлом через оптичну систему, встановлену на двокординатному потенціометрі. Кількість елементів розкладання зображення в даному випадку визначалася по максимальній спроможності пристрою, і можливістю наявної обчислювальної техніки. У даному випадку було задіяно в кожній із 256 рядків 256 точок. Контролер виробляє сигнал, що через формувач струму включає ІЧ-світлодіод. При цьому відбувається зчитування інформації з заданої точки зразка. Аналоговий сигнал від формувача сигналу зображення (ФСЗ) надходить на вхід попереднього підсилювача. Потім відеосигнал перетворюється в аналого-цифровому перетворювачі

(АЦП) у цифровий код і записується в контролер. Контролер здійснює переміщення оптичної системи в наступну точку зразка. При цьому використовуються два цифроаналогових перетворювача, що перетворюють коди, вироблені контролером у керуючу напругу для переміщення по осі X и Y оптичної системи, що зчитує, встановленої замість ручки двокоординатного потенціометра. Таким чином, відбувається построчне сканування зразка. По закінченню зчитування, накопичена в контролері інформація надходить в обчислювальну машину. Після опрацювання можна спостерігати сфотографовану картинку на екрані монітора (рис. 1).

Характерною рисою досліджуваного фотоприймача є відсутність распливання зображення. Ця особливість пояснюється тим, що зображення формується зарядом, захопленим на пастках. При термічному викиді носія з центру він видаляється з ОПЗ полем і повторного захоплення не відбувається, що й обумовлює відсутність розтікання заряду, що формує зображення [2].

Отримане зображення може бути віддалене шляхом подачі на фотоприймач позитивного зсуву порядку 1 В, (при цьому відбувається рекомбінація захопленого заряду). Витирання зображення можна здійснити також короткочасною засвіткою гетероперехода потужним імпульсом ПЧ-

світла, що викидає дірки, запасені на пастках у валентну зону (при цьому вони віддаляться полем з ОПЗ і потенційний бар'єр приходить до темної форми). З використанням ефекту накопичення дірок на пасткових центрах в ОПЗ прилад може реєструвати зображення при дуже слабкій інтегральній освітленості (10^{-5} люкс).

Досліджувалася також можливість одержання оптичного зображення в рентгенівських променях. Відомо, що дія рентгенівських променів, подібно видимим, призводить до появи нерівноважних носіїв, що може бути також використане для одержання зображень у рентгенівських променях. У цьому випадку, як і раніше, зображення фактично формується нерівноважним позитивним зарядом, захопленим на діркові пастки в ОПЗ сульфїду кадмію. Тому є підстави припускати, що воно буде мати такі ж властивості, як і зображення, одержувані у видимому діапазоні спектра. Водночас відомо, що діючі датчики рентгенівського випромінювання мають товщину дошкульного шару, що поглинає, не менше 100 мкм. У той же час варто мати на увазі, що елемент кадмій ефективно поглинає рентгенівські промені. Однак, товщина шару сульфїду кадмію, отриманого методом електрогідродинамічного розпилення, складає не більш 10 мкм, тому питання про використання даного

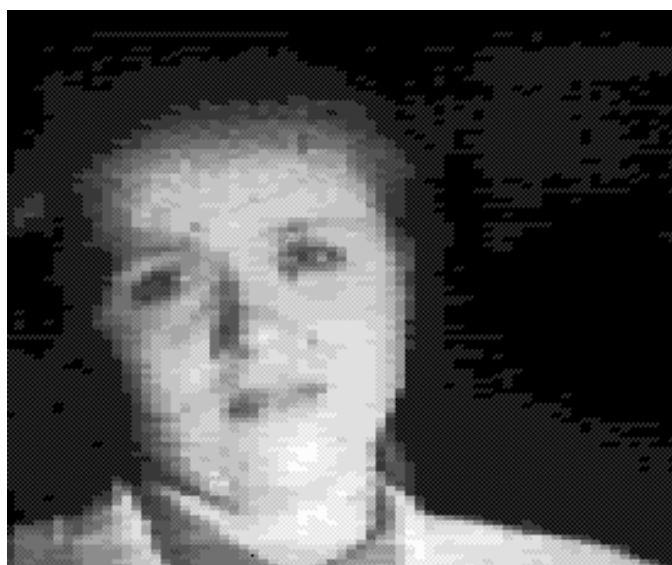


Рис. 1. Оброблене оптичне зображення.

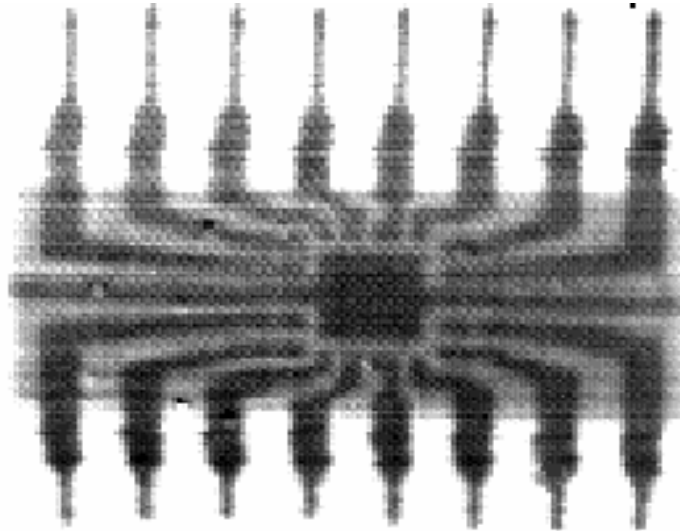


Рис. 2. Зображення мікрочіпу у рентгенівському промінні.

перетворювача в рентгенівському діапазоні залишався відкритим. Для з'ясування цього питання в якості джерела випромінювання використовувалася медична установка, що дає м'яке рентгенівське випромінювання. Доза, одержувана за допомогою такої установки, складає не більш 100 мілірентген. У якості тест-об'єкта, що частково екранує рентгенівське випромінювання, ми використовували поглинаючий клин, складений із тонких алюмінієвих платівок, товщиною 100 мкм кожна. Після експозиції зразок був підданий скануванню, причому на отриманому зображенні була чітко видна тінь від клина зі зростаючою щільністю, що свідчить про можливість реєстрації рентгенівських зображень. Приклад обробки отриманого зображення демонструє рис. 2.

Параметри розробленого нами перетворювача не є теоретично граничними і визначаються досягнутим рівнем технологічних розробок, а також

використовуваного експериментального устаткування.

По своєму призначенню розроблений нами перетворювач є аналогом ПЗС матриць, однак відрізняється від останніх низькою потенційною вартістю, великою площею робочої поверхні і рядом інших переваг, обумовлених його нематричною структурою.

Пристрій може бути використаний для реєстрації слабких оптичних і рентгенівських зображень із наступним записом їх елементів у пам'ять ЕОМ і можливою корекцією неоднорідності по fotocутливості перетворювача. Ймовірною областю застосування такого пристрою може бути реєстрація зображень, створюваних великими телескопами при астрономічних спостереженнях. Можливість використання розробленого сенсора в якості датчика рентгенівського випромінювання відчиняє перспективи його впровадження в різних областях медичної практики.

- [1] Д.Л. Василевский. Фотоэлектрические свойства неидеальных гетеропереходов // *Фотоника*, **6**, с. 22. (1996)
- [2] D.L. Vassilevski, M.S Vinogradov, V.A. Borschak. Photon induced modulation of surface barrier: investigation and application a new image sensor // *Applied Surface Science*, **103**, pp. 383-387 (1996).
- [3] D.L. Vassilevski, V.A. Borschak, M.S. Vinogradov. Influence of tunnel effects on the kinetics of the photocapacitance in nonideal heterojunctions // *Solid-State Electronics* **37(9)**, pp. 1680-1682 (1994).

- [4] В.А. Смынтына, М.И. Куталова, Н.П. Затовская, В.А. Борщак, Ю.Н. Каракис. Исследование процессов токопереноса на границах раздела и в объёме полупроводниковых барьерных структур с целью создания эффективных оптических и рентгеновских сенсоров изображения // *Фотозлектроника*, **9**, сс. 8-12 (2000).

V. Borahchak, N. Zatovskaya, M. Kutalova, Yu Karakis, A. Balaban

Application of Thin-Film Imperfect Heterojunctions for Creation of Optical and X-Ray Image Sensor

*Odessa Mechnikov National University
2, Dvorjanska St., Odessa, 65026, Ukraine, tel. (0482) 23-24-61*

The availability of a number of features, which is character for heterojunction CdS-Cu₂S, has allowed creating the sensor of a new type for registration of an optical and X-ray image. The sensor can be used for registration of weak optical and X-ray images with next recording of their elements to a computer memory. The reading of an image is done by IR -light. The sensor has effect of accumulation and memory.