

різною, або ж при однакових радіусах вигину в різних площинах будуть значно відрізнятися механічні навантаження на осердя, в тому числі і на оптичне волокно, як елемент осердя. Це приводить до появи підвищених або навіть недопустимих напружень при згині в одному з напрямків. Поява підвищених напружень приводить до додаткових деформацій і збільшенню мікротріщин, що являється небажаним для ОК з точки зору строку його експлуатації. При цьому змінюються як оптичні, так і механічні властивості волокна.

Природна крутка дає рівноправ'я згину в двох площинах симетрії поперечного перерізу, що поліпшує його механічні властивості. Природна крутка дозволяє уникнути надмірних навантажень на оптичні волокна, які могли б виникнути при згинах ОК в одній з площин симетрії, поліпшує гнучкість кабелю (зменшує значення допустимого радіусу вигину) при умові збереження однорідності гнучкості в усіх напрямках згину.

Література

1. Семенов Н.А. Оптические кабели связи: Теория и расчет / Н.А. Семенов. – М.: Радио и связь, 1981. – 152 с.
2. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие / О.К. Скляр. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 272 с.
3. Илюхин А.А. Пространственные задачи нелинейной теории упругих стержней. / А.А. Илюхин. – К.: Наукова думка, 1979. – 216 с.
4. Скубак О.М. Деякі аспекти механічних характеристик кабелів зв'язку, які мають осердя з природною круткою / О.М. Скубак // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т.9, №1. – С. 100-106.

УДК 621.315.592

Зуев В.О., д.ф.-м.н.; Горыня Л.М. к.ф.-м.н.; Кременецкая Я.А. к.т.н.
(Государственный университет информационно-коммуникационных технологий)

ФОТОДИОДЫ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ CdP₂

Зуев В.О., Горыня Л.М., Кременецкая Я.А. Фотодиоды с барьером Шоттки на основе CdP₂. Разработанный фотодиод с барьером Шоттки на основе CdP₂. Экспериментально спостерігалась висока фоточутливість фотодиода.

Ключові слова: БАРЬЕР ШОТТКИ, ФОТОДИОД, ПОВЕРХНЯ, РЕКОМБІНАЦІЯ

Zuev V.A., Horynia L.M., Kremenets'ka Ya.A. Fotodiody s bar'єром Шоттки на основе CdP₂. Разработан фотодиод с барьером Шоттки на основе CdP₂. Экспериментально наблюдалась высокая фоточувствительность фотодиода.

Ключевые слова: БАРЬЕР ШОТТКИ, ФОТОДИОД, ПОВЕРХНОСТЬ, РЕКОМБІНАЦІЯ

Zuev V.O., Horynia L.M., Kremenets'ka Ya.A. CdP₂ Schottky barrier photodiodes. A photodiode is created with the Schottky barrier on the basis of CdP₂. Experimentally there was a high photosensitiveness of photodiode.

Keywords: SCHOTTKY BARRIER, PHOTODIODE, SURFACE RECOMBINATION.

Введение. Для приема оптической информации в волоконно-оптических линиях связи разрабатываются фотоприемники различного типа. Перспективным представляется использование кристаллов CdP₂ и фотодиодов на их основе.

Наличие инварианта Лифшица в гамильтониане, описывающем вещества со структурой D₄⁴, обуславливает флуктуационный фазовый переход при комнатных температурах и образование естественной сверхрешетки (СР) [1, 2]. Как следует из данных по конденсаторной фото-э.д.с. [2], разрушение СР начинается лишь при T ≥ 380 К. Как отмечалось в ряде работ, наличие СР различного типа стимулирует резкое повышение чувствительности фоторезисторов. Эти обстоятельства стимулировали исследования

спектрального распределения фоточувствительности для CdP₂ в диапазоне волн возбуждающего света λ от 0,3 до 1,5 мкм.

1. Фотодиод с барьером Шоттки. Для исследований были использованы монокристаллы CdP₂ *p*-типа. Они были синтезированы из газовой фазы в двухзонных печах. Кристаллы соответствовали тетрагональной модификации. Ширина запрещенной зоны при 300 К составляла 2,06 эВ, длина диффузии неосновных носителей заряда ($L_{\text{diff}} - 5$ мкм).

Методика изготовления диодов Шоттки была традиционной, см. пример [3], Оптимальное полирующее травление проводилось в растворе HNO₃ + HCl в течение 10 мин. Наносились пленки Co, In, Pb, Sb, Ag, Cu, Te, Au, из которых оптимальным оказалось термическое напыление слоя золота толщиной 9 нм. При этом достигалось наибольшая величина контактного барьера ϕ_B , равного 1,2 эВ. В качестве антиотражающего покрытия использовался слой Zn S. Темновой ток не превышал 10^{-6} А/см².

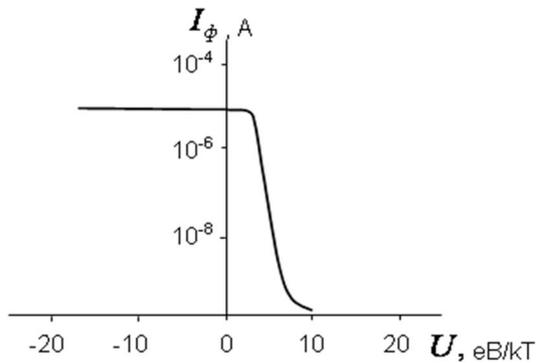


Рис. 1. Зависимость фототока от приложенного напряжения

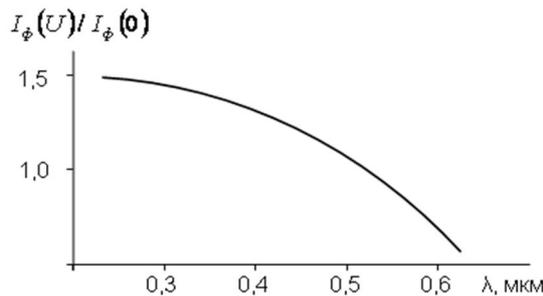


Рис. 2. Спектральное распределение фототока при обратном смещении

На рис.1. изображена зависимость фототока I_ϕ от смещения, а на рис.2. – спектральное распределение I_ϕ при обратном смещении.

Зависимость I_ϕ от смещения соответствует теории фотодиодов с барьером Шоттки [4]. При прямом смещении увеличиваются рекомбинационные потери и увеличивается эффективная скорость эмиссии неосновных носителей заряда S_e . При обратном смещении величина S_e экспоненциально возрастает (одновременно с увеличением толщины истощенного слоя Шоттки), что и приводит к увеличению I_ϕ вплоть до тока световой генерации.

Спектральную зависимость I_ϕ можно описать приближенной формулой [5]:

$$I_\phi \cong - \frac{eI \left[1 - e^{-Kl} / (1 + KL_{\text{diff}}) + L_+^K \right] S_e}{(S_e + S^* + v_{\text{онз}})(1 + L_+) + D_n / L_{\text{diff}}},$$

где e – заряд электрона; I – интенсивность света; K – коэффициент поглощения света; S^* – усредненная скорость поверхностной рекомбинации; $v_{\text{онз}}$ – эффективная скорость рекомбинации в области истощенного слоя; D_n – коэффициент диффузии электронов;

l – протяженность истощенного слоя; $L_+ = \frac{1}{L_{\text{diff}}} \int_0^l e^y dx$; $L_+^K = \frac{1}{L_{\text{diff}}} \int_0^l e^y (1 - e^{-Kx}) dx$.

Таким образом, имеет место характерное коротковолновое возрастание I_ϕ (в отличие от спада I_ϕ в классических фотодиодах с объемным *p-n*- переходом). Этот результат обусловлен тем, что поверхностная рекомбинация в наших фотодиодах не приводит к спаду I_ϕ , что связано с пространственным совмещением плоскости рекомбинации и плоскости ухода неосновных носителей заряда. В фотодиодах с объемным *p-n*-переходом эти плоскости пространственного заряда разделены, рекомбинация происходит на поверхности *p*-области, а разделение электронов и дырок – в плоскости *p-n*- перехода.

2. Модифицированный фотодиод. Для повышения фоточувствительности фотодиодов были использованы модифицированные устройства с внутренним усилением. С увеличением

интенсивности освещения приповерхностный изгиб зон в полупроводниковом материале уменьшается и может быть сведен к нулю. Использование подобного эффекта в диодах Шоттки позволяет получить существенное усиление фототока при создании соответствующего профиля легирования полупроводниковой подложки.

В процессе изготовления структуры граница раздела Au-CdP₂ отделяется от объема полупроводника слоем отрицательного объемного заряда с концентрацией компенсирующей примеси $N_a > N_d \approx 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Компенсированный слой получают диффузией меди на глубину 0,1... 0,2 мкм. Результирующее распределение потенциала и объемного заряда

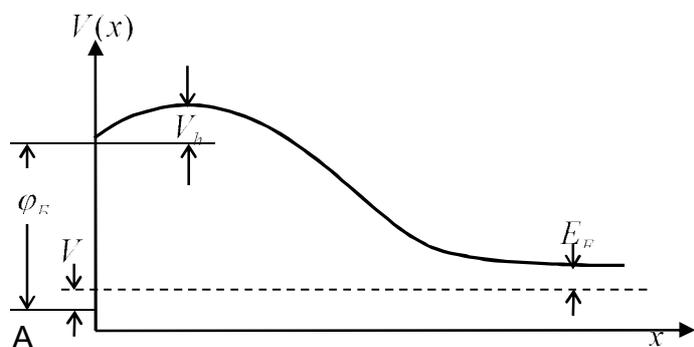


Рис.3. Распределение потенциала в диоде Шоттки

приведено на рис. 3.

Высота образующегося потенциального “горба” может быть определена по следующему упрощенному выражению [6]:

$$V_h = \frac{\phi_B - E_F}{K_n - 1} \frac{d^2}{l(0)^2} \left[K_n - \left(\frac{l^2}{d^2} - K_n \right)^{1/2} \right]^2,$$

где $K_n = N_a/N_d$; l – глубина слоя истощения; d – глубина компенсирующего слоя; ϵ_0, ϵ_n – диэлектрическая проницаемости

вакуума и полупроводника, соответственно; $l_2 = 2\epsilon_0\epsilon_n(\phi_B - E_F - V)/eN_d$.

При освещении высота V_h уменьшается ввиду захвата фотодырок ионизированными атомами меди либо фотовозбуждения в них электронов, что приводит к уменьшению K_n . При приложении к структуре смещения в прямом направлении наблюдается, таким образом, усиление фототока, достигающее 10^7 . Пороговая чувствительность составляла не менее 10^{10} фотон \times см⁻². Добротность фотоприемника достигала 10^8 с^{-1} .

Выводы. Изготовлен фотодиод с барьером Шоттки на основе структуры Au-CdP₂. Проведена модификация указанной структуры с помощью легирования приповерхностной области CdP₂. В результате удалось реализовать усиление фототока до 10^7 и добиться пороговой фоточувствительности 10^{10} фотон \times см⁻². Фотодиоды могут быть использованы для приема сигнала в волоконно-оптических линиях связи.

Литература

1. Чуйко Г.П. Специфика электронных спектров пространственно-модулированных фаз кристаллов класса 422/D₄ / Г.П. Чуйко // Український фізичний журнал. – 1989. – Т.34, №2. – С. 271-276.
2. Проявление фазового перехода в конденсаторной фото-э.д.с. [Л.М. Горыня, В.А. Зуев, В.Г. Федотов и др.] // Український фізичний журнал. – 1989. – Т.34, №5. –С.746-747.
3. Зуев В.А. Фотоэлектрические МДП-приборы / В.А. Зуев, В.Г. Попов. – М.: Радио и связь, 1983. – 158 с.
4. Зуев В.А. Неравновесные приповерхностные процессы в полупроводниках и полупроводниковых приборах / В.А. Зуев, В.В. Саченко, К.Б. Толпыго. – М.: Сов. радио. – 1977. – 256 с.
5. Саченко А.В. Вольтамперные характеристики туннельных МДП-структур при наличии освещения / А.В. Саченко, И.В. Крупнова // Физика и техника полупроводников. –1981. – Вып. 1. – С.73-82.
6. Bucher Н.К. Photodetection by barrier modulation in Cu diffused Au/CdS junctions/ Н.К. Bucher, В.Р. Burkey // Sol. St. Efect. – 1974. – V.17, № 11. – P. 1155-1161.