

Андреева Н. А., Дружинин В. А., Зуев В. А.

Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев

## ПРИЕМНИК ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОММУНИКАЦИЙ С ВЫСОКОЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

В статье изложены результаты изучения фотодетектирования при барьерной модуляции в Au-CdP<sub>2</sub> структурах. Представлены результаты исследования спектральных и частотных характеристик фотодиода с барьером Шоттки. Показана перспективность использования прибора для оптико-волоконных систем коммуникаций. Предложена физическая эквивалентная схема фотодиода. Рассмотрена комбинация фотодиода и электрического усилителя (макет приемного оптического модуля).

**Ключевые слова:** волоконно-оптические системы, спектральные и частотные характеристики, фотодиод, барьер Шоттки.

**Andreeva N. O., Druzhinin V. A., Zuiev V. O. The detector for fiber optical communication systems with high photosensitivity.** The article presents the results of a study of photo detection in barrier modulation of the Au-CdP<sub>2</sub> structures. Results of a study of the spectral and frequency characteristics of the photodiode with Schottky barrier are provided. The spectral and frequency characteristics of the FD are studied. Photodiode (PD) Schottky-barrier based on structure of Au-CdP<sub>2</sub> are made. The effect of barrier modulation under illumination of the structure are used. The layout of the receiving optical module are designed. Prospects of device using for fiber-optic communications systems are shown. A physical equivalent circuit of a photodiode are proposed. A combination of photodiode and electrical amplifier (model receiving optical module) are considered.

The aim of the research, the results of which are presented in this work is to increase the sensitivity of photo-detectors for receiving information in optical communication systems under low light flows based on the use of new photosensitive materials and upgrading appliances. A substantial increase of photosensitivity is implemented through the use of the Schottky photodiode when a certain doping profile of a semiconductor substrate are creating.

**Key words:** fiber optical communication systems, spectrum and frequency characteristics, photodiode, Shottky barrier.

### 1. Введение

Для приема информации в системах оптической связи (ОС) (в условиях малых световых потоков) необходимо значительное повышение чувствительности фотодетекторов. Для этого важно, как использование новых фоточувствительных материалов, так и модернизация приборов, изготавливаемых на их основе [1-3].

В настоящей работе предлагается использование кристаллов CdP<sub>2</sub> и разработка на их основе фотодиода Шоттки. Наличие инварианта Лифшица, который описывает эти кристаллы со структурой D<sub>4</sub><sup>4</sup>, обуславливает флуктуационный фазовый переход и возникновение естественной сверхрешетки (СР). В свою очередь наличие СР резко повышает фоточувствительность (ФЧ) этих кристаллов [4].

Далее существенное увеличение ФЧ можно реализовать за счет использования фотодиода Шоттки при создании определенного профиля легирования полупроводниковой подложки [5].

### 2. Структура фотодиода и его характеристики

Была изготовлена структура Au-CdP<sub>2</sub> с поверхностным компенсированным слоем. Кристаллы обладали дырочной проводимостью (p-CdP<sub>2</sub>). Компенсированный слой получали с помощью имплантации на глубину 0,1...0,2 мкм. Концентрация компенсированной примеси (Nd) превышала концентрацию акцепторной примеси (Na):

$$Nd > Na \cong 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}.$$

Результатирующее распределение потенциала и объемного заряда приведено на рис. 1.

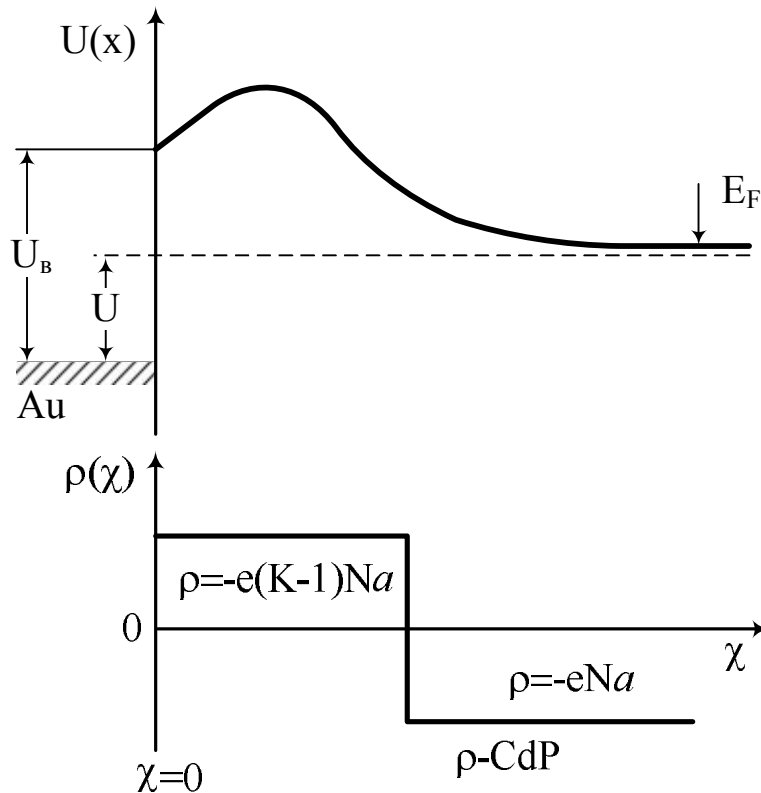


Рис. 1 Распределение потенциала и объемного заряда в системе Au-CdP<sub>2</sub>

Высота  $U_h$  образующегося потенциального «горба» может быть определена с помощью следующего выражения [5]:

$$U_h = \frac{\Phi_{ii} - \Phi_F}{K_n - 1} \frac{d^2}{l^2} \left[ K_n - \left( \frac{l^2}{d^2} + K_n \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 \quad (1)$$

где  $\Phi_{ii}$  - высота барьера Шоттки;  
 $\Phi_F$  - энергия Ферми;  
 $l$  - глубина слоя истощения;  
 $d$  - глубина компенсированного слоя;  
 $K_n = \frac{Nd}{Na}$ .

При освещении высота  $U_h$  уменьшается, что приводит к уменьшению величины  $K_n$ . В результате приложения к структуре смещения в прямом направлении происходит усиление фототока, достигающее  $10^6$ .

### 3. Характеристики прибора

Спектральная характеристика изображена на рис. 2, а частотная - на рис. 3. Пороговая чувствительность составляла  $5 \cdot 10^{11}$  фотон/см<sup>2</sup>. Время релаксации  $10^3$ с. Добротность фотоприемника достигала  $2 \cdot 10^8$  с<sup>-1</sup>, что является весьма высоким значение.

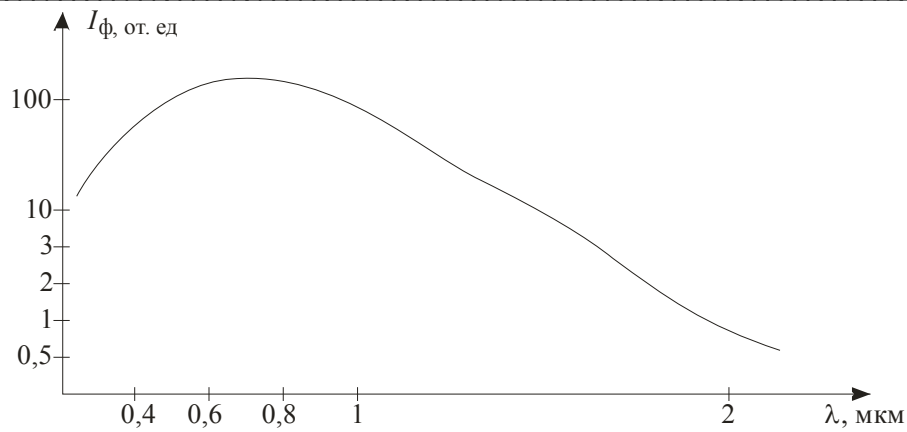


Рис. 2. Спектральная характеристика фотодиода

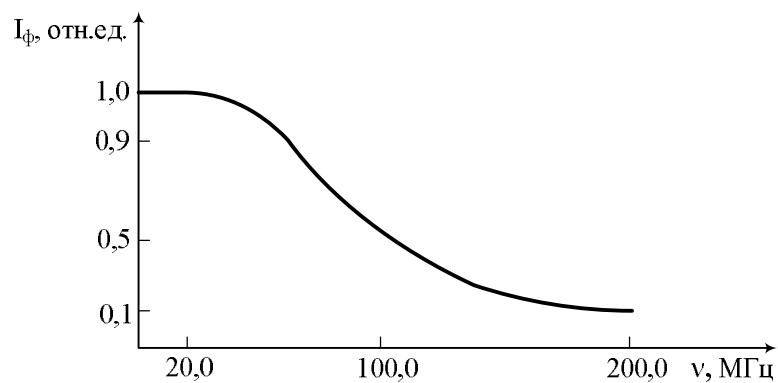


Рис. 3. Частотная характеристика фотодиода

К достоинствам прибора следует отнести малые рабочие напряжения (десятые доли вольта).

#### 4. Эквивалентная схема фотодиода и макет приемного модуля

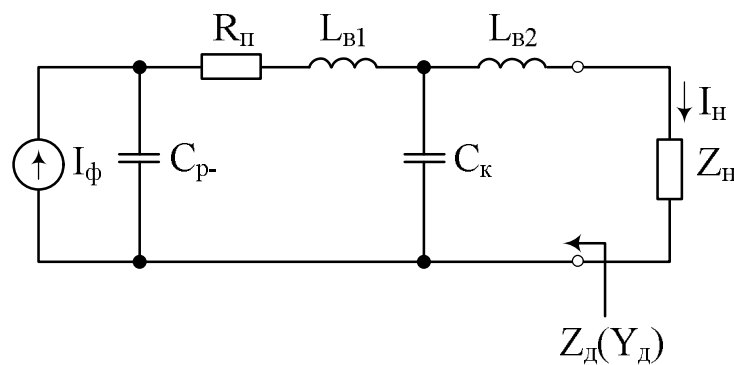


Рис. 4. Эквивалентная схема фотодиода

На рис. 4 приняты следующие обозначения:

$C_{p-n}$  – емкость р-п перехода;  $R_{II}$  – сопротивление потерь фотодиода;

$L_{B1}$  – индуктивность выводов;  $C_K$  – емкость пакетного корпуса;

$L_{B2}$  – индуктивность внешних выводов;  $Z_d$  – полное сопротивление структуры;

$Y_d$  – проводимость на клеммах диода;  $Z_H$  – сопротивление нагрузки;

$I_\phi$  – фототок;  $I_H$  – ток в нагрузке.

**5. Выводы**

Изготовлен фотодиод (ФД) с барьером Шоттки на основе структуры Au-CdP<sub>2</sub>. Использован эффект барьерной модуляции при освещении структуры. ФД обладает повышенной фото чувствительностью. Изучены спектральные и частотные характеристики ФД. Предложена физическая эквивалентная схема ФД. Разработан макет приемного оптического модуля.

**Список использованной литературы**

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман ; пер. с англ. под редакцией Н. Н. Слепова. – Москва : Техносфера, 2006. – 496 с.
2. Андреева Н. А. Частотные характеристики лавинного кремниевого фотодиода с барьером Шоттки / Н. А. Андреева, Е. И. Зингаева, В. А. Зуев, В. М. Муравьев // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №3. – С. 61-65.
3. Foss N. A. Large – area metal – oxide – semiconductor avalanche photodiodes / N. A. Foss, A. Ward // J. Appl. Phys. – 1973. – Vol. 44, №2. – P. 728-731.
4. Зуев В. А. Лавинный фотодиод на основе CdP<sub>2</sub> / В. А. Зуев, Л. М. Горыня // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2011. – Т.9, №1. – С. 106-109.
5. Bucher H.K., Burkey B.C. Photo detection in by barrier modulation in Cu diffused Au-Cd S junctions. -Apple. Plays. Lett. - 1973. Vol. 23, №11. - P. 617-619.

**Reference**

1. Friman R. Fiber-optical communication systems. Per. s angl. pod redakciei N.N. Slepova. – M.: Tehnosfera, 2006. – 496 p.
2. Andreeva N.A. The frequency characteristics of the avalanche silicon photodiode with Shottki barrier./ N.A. Andreeva, E.I. Zingaeva, V.A. Zuev, V.M. Murav'ov // Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnologii. – 2016. – №3. – P. 61-65.
3. Foss N.A. Large – area metal – oxide – semiconductor avalanche photodiodes / N.A. Foss, A. Ward // J. Appl. Phys. - 1973. - Vol. 44, №2. – P. 728-731
4. Zuev V.A., Gory'nia L.M. Avalanche photodiode based on the CdP<sub>2</sub>. – Kiev: Visny'k DUKIT, t.9 №1- 2011. S. 106 – 109.
5. Bucher H.K., Burkey B.C. Photo detection in by barrier modulation in Cu diffused Au-Cd S junctions. -Apple. Plays. Lett. - 1973. Vol. 23, №11. - P. 617-619.

**Автори статті**

**Андреева Наталія Олексіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (67) 946 54 30. E-mail: natalii-andreeva@inbox.ru

**Дружинін Володимир Анатолійович** – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (044) 440 31 86. E-mail: druzhinin@mail.ua

**Зуєв Володимир Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (44) 440 31 86. E-mail: volodya.zyev2015@yandex.ru

**Authors of the article**

**Andreeva Nataliia Oleksiivna** – candidate of sciences (technical), associate professor of physics department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: +380 (67) 946 54 30. E-mail: natalii-andreeva@inbox.ru

**Druzhynin Volodymyr Anatoliiovych** – doctor of sciences (technical), professor of telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: + 380 (044) 440 31 86. E-mail: druzhinin@mail.ua

**Zuiev Volodymyr Oleksiiovych** – doctor of sciences (technical), professor of telecommunication technologies department, State University of Telecommunications, Kyiv, Tel.: +380 (44) 440 31 86. E-mail: volodya.zyev2015@yandex.ru

Дата надходження  
в редакцію: 12.04.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор В. Г. Сайко  
Державний університет телекомунікацій, Київ