

УДК 621.383

Особенности спектральной характеристики ультрафиолетовых GaP-фотодиодов на основе барьера Шоттки

В. С. Варганова, Н. В. Кравченко, В. М. Патрин,
М. А. Тришенков, П. Е. Хакуашев, И. В. Чинарева

Исследована спектральная характеристика фотоприемного устройства (ФПУ) на основе ультрафиолетового фотодиода Шоттки из GaP. Показаны два механизма формирования спектральной характеристики: в области 0,28—0,54 мкм — собственное поглощение, в области более 0,54 мкм — поглощение на барьере Шоттки. В первой области спектральной чувствительности ФПУ может работать как пороговый фотоприемник. Во второй области спектральной чувствительности ФПУ способно работать как обнаружитель мощных оптических сигналов.

PACS: 85.60.-q

Ключевые слова: фотоприемник, барьер Шоттки, спектральная характеристика.

Введение

Основными направлениями развития ультрафиолетовых фотоприемников в настоящее время являются: разработка матриц смотрящего типа [1—4], лавинный режим работы (в т. ч. и режим счета фотонов) [5] и многоспектральность (для фотоприемников с барьером Шоттки) [6].

Исследованию спектральной характеристики фотоприемных устройств (ФПУ) на базе GaP-фотодиодов с целью использования в двух спектральных диапазонах и посвящена данная работа.

Постановка работы

Фотоприемное устройство было разработано для обнаружения слабых оптических сигналов в ближнем ультрафиолетовом диапазоне — UVA (315—400 нм). В качестве фотоприемника в этом ФПУ используется GaP-фотодиод на основе барьера Шоттки с максимумом спектральной характеристики $\lambda_m = 0,44$ мкм, левой и правой границей спектральной чувствительности $\lambda_1 = 0,28$ мкм, $\lambda_2 =$

$= 0,51$ мкм, соответственно. Для реализации UVA-диапазона в ФПУ был использован оптический фильтр УФС-6, который скорректировал спектральную характеристику к $\lambda_m = 0,37$ мкм, $\lambda_1 = 0,30$ мкм, $\lambda_2 = 0,41$ мкм (см. рис. 1). Таким образом, чувствительность ФПУ обеспечивается за счет собственного поглощения в GaP ($E_g = 2,24$ эВ), а «скрытые» возможности фотоприемника — чувствительность за счет барьера Шоттки с $E_{ш} = 1,3$ эВ (контакт GaP-Au) [7] не реализуются и даже гасится фильтром УФС-6. Исследование спектральной характеристики ФПУ с целью обнаружения чувствительности за счет барьера Шоттки и является задачей данной работы.

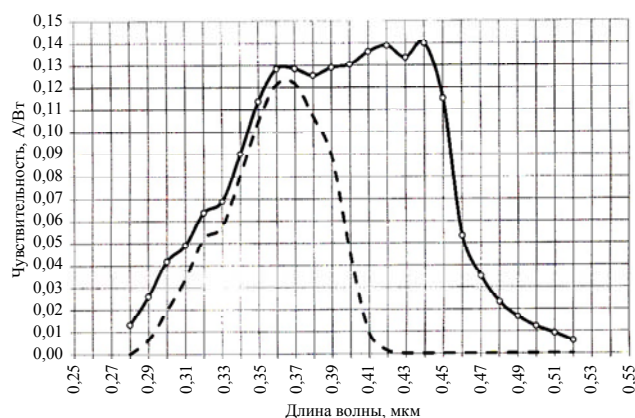


Рис. 1. Спектральные характеристики ФПУ: сплошная линия — рабочая область спектра GaP-фотодиода; пунктир — с введенным фильтром УФС-6.

Эксперимент

В качестве образцов для исследования использовались стандартные ФПУ на основе УФ-фотодиода Шоттки из GaP без входного фильтра

Варганова Виолетта Станиславовна¹, гл. специалист.
Кравченко Николай Владимирович¹, начальник ПТК.
Патрин Владимир Михайлович¹, вед. инженер-электроник.
Хакуашев Павел Евгениевич¹, зам. начальника ПТК.
Чинарева Инна Викторовна¹, вед. инженер-технолог.
Тришенков Михаил Алексеевич², профессор.

¹ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111396, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.
Тел. 8 (499) 374-94-00. E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский институт радиоэлектроники и автоматики (МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, проспект Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 29 декабря 2014 г.

© Варганова В. С., Кравченко Н. В., Патрин В. М., Хакуашев П. Е., Чинарева И. В., Тришенков М. А., 2015

УФС-6. Эффективное сопротивление преобразования фоточувствительного элемента ФПУ $\sim 10^9$ Ом, частотная полоса ~ 1 кГц. Выходные сигналы регистрировались динамическим анализатором спектра HP-3561A, при слабых сигналах использовалось накопление сигнала. Спектральные характеристики измерялись с помощью двухрешеточного монохроматора МДР-6.

Результаты и обсуждение

Типичная спектральная характеристика ФПУ без оптического фильтра в диапазоне длин волн 0,28—0,88 мкм приведена на рис. 2. Видны два механизма формирования спектральной характеристики: в диапазоне 0,28—0,54 мкм — собственное поглощение, в диапазоне 0,54—0,98 мкм — некоторый другой механизм фоточувствительности. Для его выяснения воспользуемся известной формулой для спектральной зависимости барьеров Шоттки [8]:

$$S_{ш} = \frac{q}{8E_F} \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_{ш}} \right)^2 \quad (1)$$

где введены обозначения:

q — заряд электрона,

E_F — работа выхода металла,

$\lambda_{ш}$ — граничная длина волны для барьера Шоттки.

Шоттки.

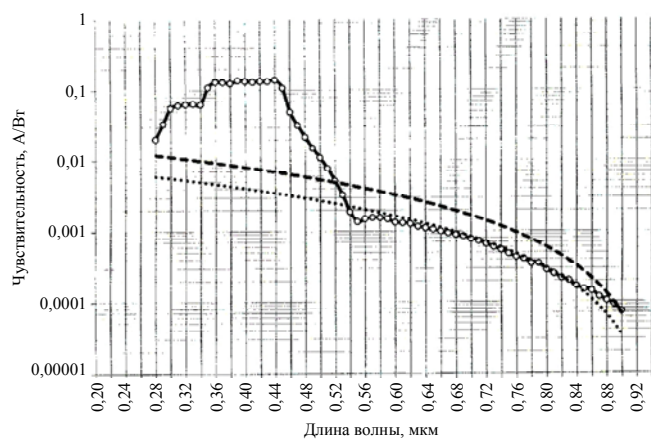


Рис. 2. Спектральные характеристики ФПУ — расширенная область спектра. Пунктир — расчет.

Для системы GaP/Au высота барьера $E_{ш} = 1,3$ эВ [1], соответственно, граничная длина волны для барьера Шоттки равна $\lambda_{ш} = 0,95$ мкм, работа выхода Au равна $E_F = 5,2$ эВ [2]. Рассчитанная для этих параметров спектральная зависимость барьера Шоттки $S_{ш}(\lambda)$ представлена на рис. 2. пунктирной линией. Видно двукратное превышение теоретических значений над экспериментальными (в области 0,54—0,98 мкм), но характер теоретических и экспериментальных зависимостей

совпадает, что видно из построенной на этом же графике зависимости $S_{ш}(\lambda)/2$.

Данное двукратное расхождение теоретических и экспериментальных значений, по нашему мнению, связано со следующим. В формуле (1) подразумевается поглощение фотонов в металле, в то время как, скорее всего, в эксперименте имеет место поглощение и на свободных носителях заряда. В работе [9] приведен спектр поглощения свободными носителями заряда в фосфиде галлия *n*-типа. В диапазоне длин волн около 1 мкм он составляет 10 см^{-1} и увеличивается на порядок при длинах волн (3—5) мкм. В пользу версии поглощения на свободных носителях заряда также свидетельствуют результаты работы [6]. В этой работе рассматривается GaN/AlGaN фотодиод, работающий на длинах волн 0,36 мкм (собственное поглощение) и 8—14 мкм (поглощение на свободных носителях и разделение «горячих» носителей на барьере гетерограницы).

Разумеется, полученная в работе низкая чувствительность ($\sim 0,001$ от максимума) в районе 1 мкм не представляет интерес для пороговых фотоприемников. Более того, не очень интересен и диапазон 1 мкм — он для основного применения является паразитным фоном. Однако для некоторых применений регистрация значительной энергии лазерного излучения в указанном диапазоне может представлять практический интерес. Более того, если уменьшить высоту барьера до 0,25 эВ, то можно переместиться в более интересный диапазон 3—5 мкм. В этом диапазоне, как отмечалось выше, можно даже на порядок поднять чувствительность за счет поглощения на свободных носителях. Известны также и способы уменьшения высоты барьера [7, 10], в частности, подлегирование полупроводника в области контакта и вариации отжига контакта.

Заключение

Показана возможность работы ФПУ в двух спектральных диапазонах. В первом (основном) чувствительность обеспечивается за счет собственного поглощения, и ФПУ работает как пороговый фотоприемник в ультрафиолетовом диапазоне. Во втором (вспомогательном диапазоне) чувствительность может обеспечиваться за счет поглощения на свободных заряда и разделении «горячих» носителей на дополнительном барьере Шоттки (с более низкой высотой барьера), т. е. ФПУ может работать как обнаружитель мощных оптических сигналов в инфракрасном диапазоне. Однако если параметры ФПУ в первом спектральном диапазоне находятся на высоком техническом уровне, то для использования этого ФПУ во вто-

ром спектральном диапазоне необходимо решить ряд технологических задач по оптимальному уменьшению высоты барьера и оптимизации технологии изготовления такого «гибридного» ФПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Littonetal C. W. // Proc. SPIE. 2008. 7055.
2. Болтарь К. О., Чинарева И. В., Седнев М. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 4. С. 488.
3. Болтарь К. О., Бурлаков И. Д., Седнев М. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 2. С. 200.
4. Яковлева Н. И., Кравченко Н. В., Седнев М. В. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 344.
5. Xiaogang Bai et al. // Proc. SPIE. 2008. 7055.
6. Зу С. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Мир, 1984.
7. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная электроника. Фотодиоды. — М.: Физматкнига, 2011.
8. Справочник по электротехническим материалам. Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. Том. 3. — Л.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Ariyawansa G. et al. // Applied Physics Letters. 2006. V. 89. P. 091113-1
10. Анисимова И. Д. и др. Полупроводниковые фотоприемники. Ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. — М.: Радио и связь, 1984.

Features of spectral characteristics of ultraviolet GaP photodiodes using Schottky barrier

V. S. Varganova¹, N. V. Kravchenko¹, V. M. Patryn¹,
M. A. Trishenkov², P. E. Khakuashev¹, and I. V. Chinareva¹

¹Orion R&P Association Inc.

46/2 Entuziastov highway, 111123, Moscow, Russia

E-mail: orion@orion-ir.ru

²Moscow State Technical University of Radio Engineering, Electronics and Automation
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received December 29, 2014

The article concerns investigation of photodetector spectral characteristic. The two mechanisms of spectral characteristic forming are shown: in the wavelength range 0.28—0.54 μm — band-gap absorption, in the range of wavelengths exceeding 0.54 — Schottky barrier absorption. Within the first spectral sensitivity range, the photodetector may function as a threshold photodetector. In the second spectral sensitivity range, the photodetector may function as a power optical signals detector.

PACS: 85.60.-q

Keywords: Schottky barrier, photodetector, spectral characteristics.

REFERENCES

1. C. W. Littonetal, Proc. SPIE. 7055 (2008).
2. K. O. Boltar, I. V. Chinareva, M. V. Sednev, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki. **1**, 488 (2013).
3. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, M. V. Sednev, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki. **1**, 200 (2013).
4. N. I. Iakovleva, N. V. Kravchenko, M. V. Sednev, et al., Uspekhi Prikladnoi Fiziki. **1**, 344 (2013).
5. Bai Xiaogang et al., Proc. SPIE 7055 (2008).
6. S. M. Sze and K. Ng Kwok, *Physics of Semiconductors Devices*. - Wiley, 2007.
7. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes*. (Fizmatkniга, Moscow, 2011) [in Russian].
8. *Handbook on Electric Materials*. Ed. by Yu. V. Koritsky, V. V. Pasyonkov, and B. M. Tareev. (Energoatomizdat, Leningrad, 1988) [in Russian].
9. G. Ariyawansa et al., Applied Physics Letters **89**, 091113-1 (2006).
10. I. D. Anisimova et al., *Semiconductor Photodetectors* (Radio Svyaz', Moscow, 1984) [in Russian].