

УДК 621

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz,
85.60.Dw, 07.57.Kp

Аналитическая модель квантовой эффективности фотодиодов на основе антимонида индия

В. С. Ковшов, Н. И. Яковлева, А. В. Никонов

Исследованы спектральные характеристики фотоприемных устройств (ФПУ), детектирующих излучение в средневолновом инфракрасном (ИК) диапазоне спектра, изготовленные на основе антимонида индия, предназначенные для обнаружения, распознавания и идентификации тепловых объектов. Проведен расчет квантовой эффективности в зависимости от конструктивных параметров фотодиодов с учетом прохождения излучения через антиотражающее покрытие, а также с учетом отражения от границы раздела «р⁺-слой/омический контакт» с последующим повторным поглощением в структуре фотодиода. Разработана аналитическая модель коэффициента поглощения антимонида индия с учетом эффекта Бурштейна-Мосса и правила Урбаха. Определена оптимальная толщина базового слоя фотодиода при различных значениях времени жизни неосновных носителей заряда.

Ключевые слова: InSb, квантовая эффективность, спектральная характеристика чувствительности, фотодиод, матричные фотоприемные устройства.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-3-277-288

Ковшов Владимир Сергеевич^{1,2}, инженер.
E-mail: kovshov@phystech.etu
Яковлева Наталья Ивановна¹, гл.н.с., д.т.н.
Никонов Антон Викторович², зам. зав. кафедрой,
к.ф.-м.н.
¹ АО «НПО «Орион».
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.
² Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет).
Россия, 141701, Московская обл., г. Долгопрудный,
Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 29 апреля 2022 г.

© Ковшов В. С., Яковлева Н. И., Никонов А. В., 2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Shtrichman I., Aronov D., ben Ezra M., Barkai I., Berkowicz E., Brumer M., Fraenkel R., Glozman A., Grossman S., Jacobsohn E., Klin O., Klipstein P. C., Lukomsky I., Shkedy L., Snapi N., Yassen M., Weiss E. // *Infrared Technology and Applications XXXVIII*. SPIE. 2012. Vol. 8353. P. 1025.
2. Gershon G., Avnon E., Brumer M., Freiman W., Karni Y., Niderman T., Ofer O., Rosenstock T., Seref D., Shiloah N., Shkedy L., Tessler R., Shtrichman I. // *Infrared Technology and Applications XLIII*. SPIE. 2017. Vol. 10177. P. 101771I.
3. Razeghi M. // *The European Physical Journal-Applied Physics*. 2003. Vol. 23 (3). P. 149.
4. D'Souza A. I., Robinson E., Ionescu A. C., Okerlund D., de Lyon T. J., Rajavel R. D., Sharifi H., Dhar N. K., Wijewarnasuriya P. S., Grein C. // *Infrared Technology and Applications XXXIX*. SPIE. 2013. Vol. 8704. P. 87041V.
5. Van De Wiele F. Quantum Efficiency of Photodiode, in *Solid State Imaging*, eds. P. G. Jespers, F. Van De Wiele, and M. H. White, pp. 41–76 – Noordhoff, Leyden, The Netherlands, 1976.
6. Rogalski A. *Infrared and terahertz detectors*. – USA: CRC Press, 2019.
7. Сивухин Д. В. *Общий курс физики Т. 4: Оптика*. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.
8. Anderson W. W. // *Infrared Physics*. 1980. Vol. 20 (6). P. 363.
9. Vaillon R., Perez J. P., Lucchesi C., Cakiroglu D., Chapuis P. O., Taliercio T., Tournie E. // *Optics Express*. 2019. Vol. 27 (4). P. A11.
10. Шалимова К. В. *Физика полупроводников: учебное пособие*. – М.: Энергия, 1976.
11. Bhowmick M., Xi H., Ullrich B. // *Materials*. 2021. Vol. 14 (7). P. 1639.

12. Борн М., Вольф Э. Основы оптики / Пер. с англ. / под ред. Мотулевич Г.П. – М.: Наука, 1970.

13. Golovashkin A. I., Levchenko I. S., Motulevich G. P., Shubin A. A. // Soviet Physics JETP. 1967. Vol. 24 (6). P. 1093.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 85.60.Dw, 07.57.Kp

Analytical model of quantum efficiency of photodiodes based on indium antimonide

V. S. Kovshov^{1,2}, N. I. Yakovleva¹, and A. V. Nikonov²

¹ Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia
E-mail: kovshov@phystech.etu

² Moscow Institute of Physics and Technology
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia

Received April 29, 2022

Spectral photoresponse of photodetectors based on indium antimonide, intended for detection, recognition and identification of thermal objects in the middle wavelength infrared (MWIR) has been investigated. Quantum efficiency depending on design parameters of photodiodes has been calculated taking into account the radiation transmission through the antireflection coating, and its reflection from the interface «p⁺-layer/ohmic contact» with subsequent reabsorption in the photodiode structure. An analytical model of the indium antimonide absorption coefficient has been developed taking into account the Burstein-Moss effect and the Urbach rule. The optimal thickness of the photodiode base layer has been determined for the various values of minority lifetime.

Keywords: InSb, quantum efficiency, spectral sensitivity, photodiode, FPA.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-3-277-288

REFERENCES

1. I. Shtrichman, D. Aronov, M. ben Ezra, I. Barkai, E. Berkowicz, M. Brumer, R. Fraenkel, A. Glozman, S. Grossman, E. Jacobsohn, O. Klin, P.C. Klipstein, I. Lukomsky, L. Shkedy, N. Snapi, M. Yassen, and E. Weiss, *Infrared Technology and Applications XXXVIII*. SPIE **8353**, 1025 (2012).
2. G. Gershon, E. Avnon, M. Brumer, W. Freiman, Y. Karni, T. Niderman, O. Ofer, T. Rosenstock, D. Seref, N. Shiloah, L. Shkedy, R. Tessler, and I. Shtrichman, *Infrared Technology and Applications XLIII*. SPIE. **10177** 101771I (2017).
3. M. Razeghi, *The European Physical Journal-Applied Physics* **23** (3), 149 (2003).
4. A. I. D'Souza, E. Robinson, A. C. Ionescu, D. Okerlund, T. J. de Lyon, R. D. Rajavel, H. Sharifi, N. K. Dhar, P. S. Wijewarnasuriya, and C. Grein, *Infrared Technology and Applications XXXIX*. SPIE **8704**, 87041V (2013).
5. F. Van De Wiele, *Quantum Efficiency of Photodiode*, in Book: *Solid State Imaging*, eds. P. G. Jespers, F. Van De Wiele, and M. H. White, (Noordhoff, Leyden, The Netherlands, 1976).
6. A. Rogalski, *Infrared and terahertz detectors* (CRC Press, USA, 2019).
7. D. V. Sivuchin, *Obshij kurs fiziki V. 4: Optika* (Moscow, FIZMATLIT, 2013).
8. W. W. Anderson, *Infrared Physics* **20** (6), 363 (1980).
9. R. Vaillon, J. P. Perez, C. Lucchesi, D. Cakiroglu, P. O. Chapuis, T. Taliercio, and E. Tournie, *Optics Express* **27** (4), A11 (2019).
10. K. V. Shalimova, *Fizika poluprovodnikov: uchebnoe posobie* (Moscow, Energiya, 1976).
11. M. Bhowmick, H. Xi, and B. Ullrich, *Materials* **14** (7), 1639 (2021).
12. M. Born and E. Wolf, *Osnovy optiki*. edited by G. P. Motulevich (Moscow, Nauka, 1970).
13. A. I. Golovashkin, I. S. Levchenko, G. P. Motulevich, and A. A. Shubin, *Soviet Physics JETP* **24** (6), 1093 (1967).