

УДК 621.31:535.215

PACS: 85.60.Gz; 68.65.Hb; 81.10.Aj

Темновой ток фотодетекторов на основе многослойных структур с квантовыми точками

*А. П. Коханенко, А. В. Войцеховский, К. А. Лозовой, Р. Духан,
В. В. Дирко, Н. Ю. Акименко*

Описывается поведение многослойного фотодетектора с квантовыми точками германия в кремнии и его параметры при различных рабочих режимах. Рассматриваются вопросы оптимизации условий роста в методе молекулярно-лучевой эпитаксии для повышения эффективности инфракрасных фотоприемников с квантовыми точками. В качестве модельной материальной системы для теоретических исследований выбраны многослойные гетероструктуры с квантовыми точками германия на поверхности кремния. В представленной работе разработана теоретическая модель для учета наличия в фотодетекторах нескольких слоев квантовых точек, а также рассогласования квантовых точек по размерам. Проведены расчеты шумовых и сигнальных характеристик инфракрасных фотоприемников на основе гетероструктур с квантовыми точками германия на кремнии. Оценены темновые токи в таких структурах, вызванные тепловой эмиссией и барьерным туннелированием носителей. Для проверки модели мы сравнили теоретические значения темнового тока с экспериментальными результатами, полученными в работах других исследователей.

Ключевые слова: инфракрасные фотодетекторы, темновой ток, шумовые характеристики, наногетероструктуры, молекулярно-лучевая эпитаксия, квантовые точки.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-42-48

Коханенко Андрей Павлович¹, профессор, д.ф.-м.н.

E-mail: kokh@mail.tsu.ru

Войцеховский Александр Васильевич¹, профессор, д.ф.-м.н.

E-mail: vav43@mail.tsu.ru

Лозовой Кирилл Александрович¹, доцент, к.ф.-м.н.

E-mail: lka@sibmail.com

Духан Рахаф¹, аспирант.

E-mail: rd_dh_k_h_r@hotmail.com

Дирко Владимир Владиславович¹, аспирант.

E-mail: vovenmir@gmail.com

Акименко Наталья Юрьевна², доцент, к.т.н.

E-mail: n_akimenko@inbox.ru

¹ Томский государственный университет.

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

² Тихоокеанский государственный университет.

Россия, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Статья поступила в редакцию 25 мая 2022 г.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSWM-2020-0048.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yakimov A. I. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2013. Vol. 49. P. 467.
2. Войцеховский А. В., Кульчицкий Н. А., Мельников А. А., Несмелов С. Н., Коханенко А. П., Лозовой К. А. // Нано- и микросистемная техника. 2014. № 9. С. 20.

3. Siontas S., Li D., Wang H., Aravind A. V. P. S., Zaslavsky A., Pacifici D. // *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2019. Vol. 92. P. 19.

4. Izhnin I. I., Lozovoy K. A., Kokhanenko A. P., Khomyakova K. I., Douhan R. M. H., Dirko V. V., Voitsekhovskii A. V., Fitsych O. I., Akimenko N. Yu. // *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. P. 253.

5. Martyniuk P., Rogalski A. // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2009. Vol. 57. P. 103.

6. Liu H., Zhang J. // *Infrared Physics & Technology*. 2012. Vol. 55. P. 320.

7. Духан П. М. Х., Коханенко А. П., Лозовой К. А. // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2018. Т. 61. № 7. С. 8.

8. Wang K. L., Cha D., Liu J., Chen C. // *Proceedings of the IEEE*. 2007. Vol. 95. P. 1866.

9. Mahmoodi A., Jahromi H. D., Sheikhi M. H. // *IEEE Sensors Journal*. 2015. Vol. 15. P. 5504.

10. Lin L., Zhen H. L., Li N., Lu W., Weng Q. C., Xiong D. Y., Liu F. Q. // *Appl. Phys. Lett.* 2010. Vol. 97. P. 193511.

11. Войцеховский А. В., Коханенко А. П., Лозовой К. А. // *Прикладная физика*. 2016. № 6. С. 42.

PACS: 85.60.Gz; 68.65.Hb; 81.10.Aj

Dark current of photodetectors based on multilayer structures with quantum dots

A. P. Kokhanenko¹, A. V. Voitsekhovskii¹, K. A. Lozovoy¹, R. Douhan¹, V. V. Dirko¹, and N. Yu. Akimenko²

¹ Tomsk State University
36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: kokh@mail.tsu.ru

² Pacific National University
136 Tikhookeanskaya st. Khabarovsk, 680035, Russia

Received May 25, 2022

This paper describes the behavior of a multilayer photodetector with germanium quantum dots in silicon and its parameters under various operating conditions. The issues of optimizing the growth conditions in the method of molecular beam epitaxy to increase the efficiency of infrared photodetectors with quantum dots are considered. Multilayer heterostructures with germanium quantum dots on the silicon surface were chosen as a model material system for theoretical studies. In the present work, a theoretical model has been developed to take into account the presence of several layers of quantum dots in photodetectors, as well as the mismatch of quantum dots in size. The noise and signal characteristics of infrared photodetectors based on heterostructures with germanium quantum dots on silicon are calculated. The dark currents in such structures caused by thermal emission and barrier tunneling of carriers are estimated. To test the model, we compared the theoretical values of the dark current with the experimental results obtained in the works of other researchers.

Keywords: Infrared photodetectors, dark current, noise characteristics, nanoheterostructures, molecular beam epitaxy, quantum dots.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-42-48

REFERENCES

1. A. I. Yakimov, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing* **49**, 467 (2013).
2. A. V. Voitsekhovskii, N. A. Kulchitskii, A. A. Melnikov, S. N. Nesmelov, A. P. Kokhanenko, and K. A. Lozovoy, *Nano- and microsystem technology*, No. 9, 20 (2014) [in Russian].
3. S. Siontas, D. Li, H. Wang, A. V. P. S. Aravind, A. Zaslavsky, and D. Pacifici, *Materials Science in Semiconductor Processing* **92**, 19 (2019).
4. I. I. Izhnin, K. A. Lozovoy, A. P. Kokhanenko, K. I. Khomyakova, R. M. H. Douhan, V. V. Dirko, A. V. Voitsekhovskii, O. I. Fitsych, and N. Yu. Akimenko, *Applied Nanoscience* **12**, 253 (2022).
5. P. Martyniuk and A. Rogalski, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences* **57**, 103 (2009).
6. H. Liu and J. Zhang, *Infrared Physics & Technology* **55**, 320 (2012).
7. R. M. H. Douhan, A. P. Kokhanenko, and K. A. Lozovoy, *Russian Physics Journal* **61**, 1194 (2018).
8. K. L. Wang, D. Cha, J. Liu, and C. Chen, *Proceedings of the IEEE* **95**, 1866 (2007).
9. A. Mahmoodi, H. D. Jahromi, and M. H. Sheikhi, *IEEE Sensors Journal* **15**, 5504 (2015).
10. L. Lin, H. L. Zhen, N. Li, W. Lu, Q. C. Weng, D. Y. Xiong, and F. Q. Liu, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 193511 (2010).
11. A. V. Voitsekhovskii, A. P. Kokhanenko, and K. A. Lozovoy, *Applied Physics*, No. 6, 42 (2016) [in Russian].