

ББК 32.86

Т 29

УДК 621.383

Тезисы докладов XXVI Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – М.: АО «НПО «Орион», 2022 г. – 475 с. ISBN 978-5-7164-1173-9

Государственный научный центр Российской Федерации АО «НПО «Орион» раз в 2 года проводит Международную научно-техническую конференцию по фотоэлектронике и приборам ночного видения. В конференции принимают участие специалисты отечественных и зарубежных организаций, связанных с разработкой и производством изделий фотоэлектроники, приборов ночного видения, тепловизионной техники и смежных отраслей. Данный сборник содержит тезисы докладов, представленных на XXVI конференции, состоявшейся 25-27 мая 2022 г.

Для специалистов – инженеров и научных работников, специализирующихся в области разработки и применения изделий фотоэлектроники и оптико-электронных систем, а также для преподавателей, студентов и аспирантов соответствующих специальностей вузов.

ТЕМНОВОЙ ТОК ФОТОДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

Коханенко Андрей Павлович, Войцеховский А.В., Лозовой К.А., Духан Р.,
Дирко В.В.

Томский государственный университет. Томск. Россия.

E-mail: kokh@mail.tsu.ru

DARK CURRENT OF PHOTODETECTORS BASED ON MULTI-LAYER STRUCTURES WITH QUANTUM DOTS

Kokhanenko A.P., Voitsekhovskii A.V., Lozovoy K.A., Douhan R., Dirko V.V.
Tomsk State University. Tomsk. Russia. E-mail: kokh@mail.tsu.ru

DOI: 10.51368/978-5-7164-1173-9-2022-287

In this paper, we will describe the behavior of a multilayer photodetector with germanium quantum dots in silicon and its parameters under various operating conditions. In the present work, a theoretical model was developed, to take into account the presence of several layers of quantum dots in photodetectors, as well as the size mismatch of quantum dots. To test our model, we compared the theoretical values of the dark current with the experimental results obtained in the works of other researchers.

Полупроводниковые детекторы с рабочей температурой, близкой к комнатной, стали необходимыми в сфере оптического обнаружения (особенно в видимом и инфракрасном диапазонах спектра) в различных быстро развивающихся областях применений. В таких приложениях, как детектирование света, фотоприемники на основе кремния стали одними из ведущих представителей благодаря высокой чувствительности и короткому временному отклику, что привело к созданию усовершенствованных кремниевых фотоприемных устройств, превратившихся в массивы детекторов большого формата со встроенной электроникой. Основным преимуществом такого подхода является то, что это недорогая технология, позволяющая адаптироваться под разработку систем различного назначения на основе существующей кремниевой технологии. Согласованность коэффициентов теплового расширения материалов массива детекторов и схемы считывания также позволяет работать в широком интервале рабочих температур [1].

С момента появления метода молекулярно-лучевой эпитаксии, который расширил возможности для создания большего количества устройств на основе полупроводниковых материалов, и после большого успеха структур с квантовыми ямами для инфракрасного детектирования, квантовым системам было уделено много внимания [2]. Это стимулировало разработку структур на основе квантовых точек, способных обнаруживать инфракрасное излучение. В последние десятилетия структуры с квантовыми точками доказали свою эффективность по сравнению с другими типами полупроводников, и они стали

интересной областью для исследований из-за их высокого коэффициента фотопроводимости, низкого темнового тока и способности работать в условиях повышенных температур. Они стали предметом для изучения не только с точки зрения фундаментального понимания всей физики и новых процессов, характерных для низкоразмерных систем, но и с точки зрения их применения в инфракрасной оптоэлектронике [3]. В настоящее время можно надежно и воспроизводимо изготавливать практически бездефектные устройства на квантовых точках. На сегодняшний день инфракрасные детекторы с квантовыми точками уже использовались в ряде приложений квантовой фотоники, включая эксперименты в области квантовых коммуникаций в оптоволокне и в свободном пространстве [4].

В данной работе будет описано поведение многослойного фотодетектора с квантовыми точками германия в кремнии и его параметры при различных рабочих режимах. В представленной работе разработана теоретическая модель, описанная в [5, 6], для учета наличия в фотодетекторах нескольких слоев квантовых точек, а также рассогласования квантовых точек по размерам [7]. Для проверки нашей модели мы сравнили теоретические значения темнового тока с экспериментальными результатами, полученными в работах других исследователей [1, 8].

Проведен расчет параметров таких фотоприемников: рассчитаны темновой ток, фототок и обнаружительная способность. Выделены результаты для сравнения их с параметрами других типов фотоприемников, рассмотрена разница между ними. Показано, что многослойные фотодетекторы с квантовыми точками могут обеспечить лучшие характеристики, а именно более высокую рабочую температуру (из-за большого времени жизни носителей), низкий темновой ток и высокий коэффициент фотозлектрического усиления. В результате моделирования темновой ток, фототок и обнаружительная способность представлены в этой работе как функции числа слоев с квантовыми точками, температуры и приложенного электрического поля.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства высшего образования и науки Российской Федерации, проект № 0721-2020-0048.

1. Yakimov A.I. Ge/Si heterostructures with Ge quantum dots for mid-infrared photodetectors // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2013. – V. 49. – P. 467–475.

2. Войцеховский А.В., Кульчицкий Н.А., Мельников А.А., Несмелов С.Н., Коханенко А.П., Лозовой К.А. Технология создания структур с квантовыми точками Ge/Si молекулярно-лучевой эпитаксией // Нано- и микросистемная техника. – 2014. – № 9. – С. 20–31.

3. Siontas S., Li D., Wang H., Aravind A.V.P.S., Zaslavsky A., Pacifici D. High-performance germanium quantum dot photodetectors in the visible and near infrared // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2019. – V. 92. – P. 19–27.

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. Single-photon avalanche diode detectors based on group IV materials // *Applied Nanoscience*. – 2022. – V. 12. – P. 253–263.

5. Martyniuk P., Rogalski A. Insight into performance of quantum dot infrared photodetectors // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. – 2009. – V. 57. – P. 103–116.

6. Liu H., Zhang J. Performance investigations of quantum dot infrared photodetectors // *Infrared Physics & Technology*. – 2012. – V. 55. P. 320–325.

7. Douhan R.M.H., Kokhanenko A.P., Lozovoy K.A. Parameters of photo-sensitive structures based on Ge/Si nanoheterostructures // *Russian Physics Journal*. – 2018. – V. 61. – P. 1194–1201.

8. Wang K. L., Cha D., Liu J., Chen C. Ge/Si self-assembled quantum dots and their optoelectronic device applications // *Proceedings of the IEEE*. – 2007 – V. 95. – P. 1866–1882.