

Моделирование вертикального транспорта электронов в устройствах с последовательным туннелированием

Абрамов И. И., Коломейцева Н. В., Лабунов В. А., Щербакова И. Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь
nanodev@bsuir.edu.by

Аннотация: В работе рассмотрено моделирование вольт-амперных характеристик (ВАХ) резонансно-туннельных диодов (РТД) с вертикальным транспортом, а также возможность моделирования устройств с последовательным туннелированием. Расчеты проводились с использованием разработанной комбинированной модели, основанной на численном решении уравнений Шредингера и Пуассона в активной области прибора.

1. Введение

Такие оптоэлектронные приборы, как квантовые каскадные лазеры и инфракрасные фотодетекторы с квантовыми ямами, как правило, изготавливаются на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs или InGaAs/InAlAs. Однако, у этих материалов есть ряд ограничений, например относительно низкая энергия LO-фононов, равная 36 мэВ в GaAs, или необходимость серьезного охлаждения. В то же время альтернативная система материалов AlGaN/GaN обладает не только более высокой энергией LO-фононов (92 мэВ для GaN), но и большим разрывом зоны проводимости (1,75 эВ в сравнении с 1 эВ в AlGaAs/GaAs), что существенно уменьшает токи утечки и таким образом обеспечивает возможность работы прибора при более высоких температурах. Поэтому существует необходимость разработки адекватных численных моделей для расчета ВАХ упомянутых приборов.

2. Теория

В докладе рассмотрены рассчитанные с помощью разработанной комбинированной физико-математической модели, позволяющей описывать работу РТД с вертикальным транспортом, основанной на моделях [1, 2], электрические характеристики гетероструктуры для устройства с последовательным туннелированием. Было проведено моделирование работы РТД с вертикальным транспортом и прибора, состоящего из нескольких повторяющихся периодов трехбарьерной структуры AlGaN/GaN.

Используемая модель сочетает в себе полуклассический и квантовомеханический подходы [3, 4] для учета влияния протяженных приконтактных (пассивных) областей приборов. Для нахождения самосогласованного потенциала в модели решается система уравнений Шредингера и Пуассона с помощью разработанного системного метода последовательной концепции. При этом уравнение Пуассона решается во всей области приборной структуры между контактами, а уравнение Шредингера в заданной области, включающей активную. На последнем этапе решается только уравнение Шредингера для зоны проводимости и находятся волновые функции. После этого рассчитываются коэффициенты прохождения и плотности токов в квантово-размерных гетероструктурах. Проведены расчеты плотности тока РТД и устройства с последовательным туннелированием.

3. Заключение

В работе представлены результаты моделирования вертикального транспорта в различных видах AlGaN/GaN гетероструктур. Проведено исследование возможности применения разработанной комбинированной модели для расчетов характеристик квантовых каскадных лазеров на основе нитридов III группы, как варианта усовершенствования электронных и оптоэлектронных приборов.

Список литературы

1. Абрамов И. И., Гончаренко И. А., Коломейцева Н. В. Комбинированная двухзонная модель резонансно-туннельного диода // Физика и техника полупроводников. 2007. Т. 41, № 11. С. 1395–1400.
2. Abramov I. I., Labunov V. A., Kalameitsava N. V., Romanova I. A., Shcherbakova I. Y. Simulation of various nanoelectronic devices based on 2D materials // Proc. of SPIE. 2022. Vol. 12157. P. 121570U-1-9.
3. Абрамов И. И. Проблемы и принципы физики и моделирования приборных структур микро- и наноэлектроники. Часть I. Основные положения // Нано-и микросистемная техника. 2006. №8. С. 34–37.
4. Абрамов И. И. Основы моделирования элементов микро- и наноэлектроники. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 444 с.