

А. С. Чугунов (БрГТУ, Брест)
Науч. рук. **С. В. Чугунов**, ст. преподаватель

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ P-I-N ФОТОДИОДОВ

III-нитридное соединение материалов, состоящее из InN, GaN, AlN, и их сплавы, являются полупроводниками, обладающими такими физическими свойствами как: высокая подвижность электронов; высокое значение скорости насыщения носителей; хорошая термостойкость и проводимость; прямая и перестраиваемая по ширине запрещенная зона с высоким коэффициентом оптического поглощения.

Коэффициент поглощения III-нитридных материалов составляет более 10^4 см^{-1} [1]. Значительная доля падающего света проникает в глубину на несколько сотен нанометров поглощающей области. Ширина запрещенной зоны материала $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (AlGaN) варьируется в диапазоне от 3,4 эВ до 6,2 эВ, в зависимости от пропорции x алюминия в составе соединения $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ [2, 3]. Благодаря этим физическим свойствам, III-нитридные полупроводники являются перспективными материалами для многочисленных оптоэлектронных устройств, таких как светодиоды, лазерные диоды, солнечные элементы и фотодиоды.

В данной работе представлено моделирование p-i-n-фотодиодов на основе тройного соединения AlGaN с помощью программного средства Comsol-Multiphysics.

Исследуемая структура является типичной для нитридных фотодиодов и показана на рисунке 1. Между слоями “n” и “p”, с умеренной электронной и дырочной проводимостью, помещается i-слой с собственной проводимостью, в котором происходит основное поглощение принимаемого света и преобразование его в свободные носители заряда. Данная трехслойная структура дополняется сверху и снизу слоями с высокой степенью легирования “n+” и “p+”, которые позволяют получить омические контакты с металлическими выводами, изображенными на рисунке 1, утолщенными черными линиями.

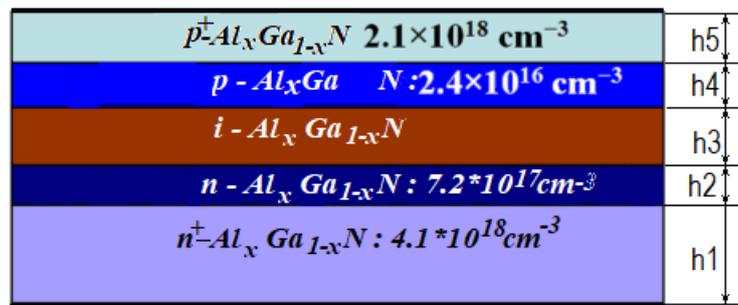


Рисунок 1 – Структура исследуемого p-i-n фотодиода

Толщины слоев, обозначенные как $h1 - h5$, являются параметрами, которые могут оперативно изменяться перед запуском модели на расчет. На практике контактная n^+ область делается шире остальной структуры и омический контакт реализуется сверху выступающей части. Однако, такая геометрия, будучи заложенной в расчет, неоправданно усложняет его, без заметного изменения результатов.

Модуль «оптоэлектроника» программного продукта Comsol-Multiphysics решает ряд основных полупроводниковых уравнений, состоящих из уравнения Пуассона, уравнения неразрывности и уравнений переноса для электронов и дырок. Кроме того, он предлагает несколько современных физических моделей взаимодействия полупроводника с электромагнитным излучением.

Численное моделирование проводилось для AlGaIn p-i-n фотодиода при температуре 293 К. Ширина диода полагалась равной 20 мкм, толщина – размер в глубину -1 м. Выбор толщины обусловлен особенностью задания абсолютной величины электромагнитной мощности, которая в двумерной задаче считается распределенной в глубину на единицу длины, т.е. на 1 м.

В виду большой ширины запрещенной зоны AlGaIn основным механизмом потери носителей в AlGaIn является рекомбинация, обусловленная дефектами. В расчетах учитываются две модели рекомбинации. Упрощенная модель рекомбинации на дефектах (ловушках) Шокли-Рида-Холла (SRH), в которой ловушкам приписывается один энергетический уровень, а другие характеристики, включая концентрацию дефектов, выражаются временами жизни электронов и дырок. Данное время взято равным 1 нс, а энергетический уровень дефектов взят вблизи середины запрещенной зоны. Второй учитываемый тип - прямая рекомбинация с параметром $C=10^{-8} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Comsol-Multiphysics предлагает несколько моделей оптической генерации и рекомбинации носителей. Была использована модель, основанная на расчете элемента переходной матрицы через время жизни

носителя при спонтанной рекомбинации, которое взято равным $\tau_{\text{spont}}=1$ нс. Элемент переходной матрицы, также очень сильно зависит от показателя преломления материала – n . Величина последнего, в свою очередь, является функцией длины волны λ .

На основе построенной модели получены зависимости основных характеристик диодов от таких параметров, как мольная доля алюминия (x) и толщина слоя с собственной проводимостью (i -слоя). Так, на рисунке 2 представлен график зависимости величины фототока от длины световой волны и мольной доли алюминия в составе i -слоя (x) при падающей световой мощности 1 Вт.

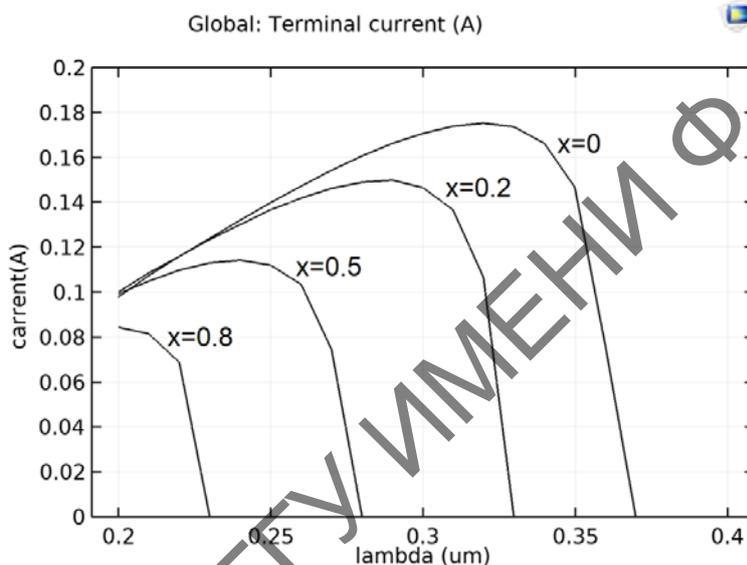


Рисунок 2 – Графики зависимости величины фототока (current) от длины световой волны (lambda) и мольной доли алюминия в составе i -слоя (x) при падающей световой мощности 1 Вт

Также, диод был изучен в отношении вольт-амперных характеристик, спектральной чувствительности, темнового тока с помощью симулятора Comsol-Multiphysics.

Результаты моделирования, представленные в этой работе, могут быть использованы для оптимизации фотоприемников AlGaIn/GaN и разработки оптоэлектронных устройств нового поколения.

Литература

1. Заяц, Н.С. Оптические свойства пленок GaN/Al₂O₃, легированных кремнием / Н.С. Заяц, П.А. Генцарь, В.Г. Бойко, О.С. Литвин // Физика и техника полупроводников. – 2009.– Том 43, вып. 5. – С. 617-620.

2. Mohammad, S.N. Progress and prospects of group-III nitride semiconductors / S.N. Mohammad, Y.H. Morkos // Prog. Quant. Electr. – 1996. – Vol. 20. – P. 361-525.

3. Ambacher, O. Growth and applications of Group III-nitrides / O. Ambacher // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1998. – Vol. 31. – P. 2653.

В. С. Шарай (МГПУ имени И.П. Шамякина, Мозырь)
Науч. рук. **В. В. Давыдовская**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА РАСШИРЕНИЯ SIMULINK СРЕДЫ MATLAB

В настоящее время во всех современных системах автоматизации и управления широко используются средства обработки данных, в основе таких средств находятся цифровые элементы и устройства.

К современным цифровым устройствам можно отнести персональные компьютеры, ноутбуки, мобильные телефоны, видеопроекторы, устройства беспроводной передачи данных и др.

Каждое из таких цифровых устройств выполнено на основе функционально и конструктивно законченных элементов и устройств, выпускаемых промышленностью в виде цифровых интегральных схем, которые выполняют определённые сложные функции. Однако для выполнения одной сложной функции необходимо выполнить несколько простейших функций. Например, сложение двух двоичных чисел, поэтому исследование базовых логических элементов, таких как сумматор, регистр сдвига и т.д. [1].

Студенты ВУЗов физических специальностей при изучении ряда учебных дисциплин должны овладеть знаниями о принципах функционирования и методах создания различного рода электронных приборов, интегральных схем, устройств и систем для всех направлений современной электроники.

Изучение цифровой техники необходимо начинать с исследования принципов работы базовых элементов, на основе которых строятся цифровые схемы, а уже затем реализовывать на основе этих простейших элементов цифровые устройства любой сложности.

В настоящее время пользователям предложено огромное разнообразие средств анализа и моделирования цифровых логических