

Как видно из рисунка 6 при увеличении концентрации ионов иттербия цвет АК люминесценции смещается в желтую область спектра.

Таким образом, в данной работе установлена схема переноса энергии возбуждения от ионов

Yb^{3+} к ионам Ho^{3+} во фторфосфатных стеклах, активированных этими ионами, и установлена зависимость цвета АК люминесценции от концентрации ионов иттербия.

УДК 621.382.233

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ P-N-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ GAAS

Лагунович Н. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Разработана одномерная модель p-n-структуры на основе GaAs, с помощью которой выполнено приборное моделирование указанного светоизлучающего перехода и исследованы его электрофизические свойства. Моделирование выполнено с помощью разработанной автором программы MOD-1D, которая дала возможность рассчитать и построить зависимости интенсивности излучения рассматриваемой диодной структуры от координаты и определить, как положение максимума интенсивности его излучения $I_{\max}$ зависит от напряжения, прикладываемого к p-n-переходу. Установлено, что при низких уровнях инжекции смещение $I_{\max}$ по глубине GaAs-структур отсутствует; в условиях высоких уровней инжекции наблюдается смещение положения $I_{\max}$ в область с более высоким уровнем концентрации легирующей примеси.

Ключевые слова: p-n-переход, полупроводниковая светоизлучающая структура, приборное моделирование, прямое падение напряжения, интенсивность излучения.

THE SIMULATION OF LIGHT-EMITTING GAAS-BASED P-N STRUCTURES

Lagunovich N. L.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The one-dimensional model of structure with p-n-junction received on basis of GaAs was designed and the research of structure electrophysical parameters and its radiative characteristics were carried out by means of simulation. Such model are in the composition of program MOD-1D developed by the author also and the device modeling investigated diode structure was performed by means of this program. MOD-1D gives the possibility to calculate and construct dependence of such structure emission intensity on the coordinate and to receive the dependence of its radiation intensity maximum $I_{\max}$ position on the voltage applied to the p-n-junction.

Keywords: p-n-junction, semiconductor light-emitting structure, device simulation, forward voltage drop, radiation intensity.

*Адрес для переписки: Лагунович Н. Л., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: natlag@bntu.by*

Введение. В настоящее время разработаны и широко применяются как в качестве дискретных приборов, так и в составе интегральных микросхем различного назначения различные типы структур с p-n-переходом [1] (диоды, светодиоды [2; 3], стабилитроны [4], биполярные транзисторы [1] и т. д.). Моделирование [5] полупроводниковых гомо- и гетероструктур занимает важное место при разработке и оптимизации новых изделий электронной техники, так как позволяет снизить количество натурных экспериментов. При работе светоизлучающих полупроводниковых приборов [2; 3] помимо основных параметров их вольт-амперных характеристик особый интерес представляют также их излучательные свойства. Целью данной работы было разработать одномерную модель GaAs полупроводниковой p-n-структуры, выполнить ее приборное моделирование и определить, как изменится положение максимума интенсивности ее излучения по глубине с ростом напряжения смещения, прикладываемого к p-n-переходу. Для осуществления приборного

моделирования указанного диода была использована созданная автором программа для одномерного проектирования MOD-1D [6], в основе которой заложены разработанные автором модели ряда полупроводниковых структур.

Модель светоизлучающей GaAs-диодной структуры. С целью получения электрофизических параметров и характеристик рассматриваемой GaAs-диодной структуры было выполнено ее приборное моделирование с помощью программы MOD-1D [6]. В ней применена модель, основу которой составила фундаментальная система уравнений полупроводника (ФСУ) в диффузионно-дрейфовом приближении и в предположении справедливости статистики Больцмана.

В состав ФСУ в диффузионно-дрейфовом приближении входят уравнение Пуассона и два уравнения непрерывности для электронов и дырок. Предполагается, что основным механизмом рекомбинации в прямозонных полупроводниковых соединениях типа GaAs, легированных мелкими донорами и акцепторами, является излучательная

рекомбинация, которая осуществляется преимущественно за счет прямых излучательных переходов зона – зона и зона – мелкая примесь. Полное число излучательных переходов в единице объема при межзонной рекомбинации R пропорционально концентрациям свободных электронов и дырок:

$$R = B \cdot n \cdot p, \quad (1)$$

где B – коэффициент излучательной рекомбинации, n, p – концентрации электронов и дырок в полупроводнике, соответственно.

При построении использованной в данной работе численной модели предполагалось, что распределение интенсивности излучения определяется уравнением, которое может быть записано в виде

$$I(x) = C \cdot n(x) \cdot p(x), \quad (2)$$

где C – нормирующий коэффициент; $n(x), p(x)$ – распределения электронов и дырок по структуре, соответственно.

Результаты моделирования и их обсуждение. Распределения интенсивности излучения по глубине $I(x)$ исследуемой структуры были рассчитаны и построены с применением упомянутой выше программы MOD-1D. Результаты расчета $I(x)$ в относительных единицах приведены на рисунке 1, из которого видно, как меняется распределение интенсивности излучения светодиода с изменением, прикладываемого к структуре прямого напряжения смещения. Расчеты выполнялись для случая, когда общая длина исследуемой структуры в направлении моделирования x составляла 2 мкм, а глубина залегания р-п-перехода была равна 1 мкм.

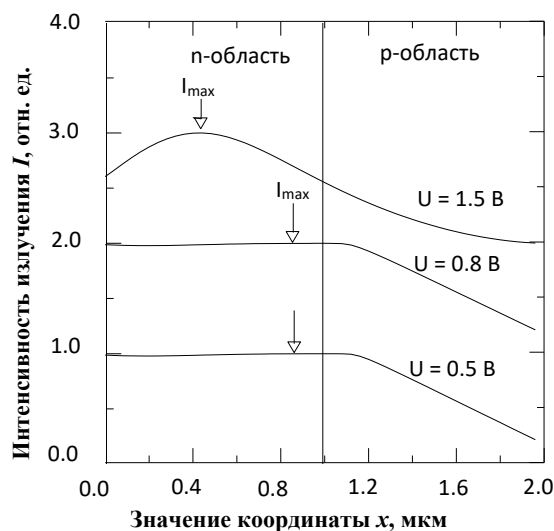


Рисунок 1 – Зависимости интенсивности излучения светодиодных структур на основе GaAs от координаты x вдоль структуры, полученные с применением программы MOD-1D

На рисунке 1 приведены зависимости $I(x)$ при напряжениях U равных 0,5 В, 0,8 В и 1,5 В. Максимальное смещение $I_{\max}$ по глубине светодиода (0,38 мкм) наблюдалось при величине $U = 1,5$ В. Из рисунка 1 также видно, что разница в смещении положения $I_{\max}$, полученного при $U = 0,5$ В и $U = 0,8$ В, почти отсутствует и близка к нулю.

Таким образом, для светоизлучающих диодов на основе GaAs имеет место пространственное изменение положения области с максимумом светимости при изменении тока инжекции. Оказалось, что данный эффект зависит не только от уровней инжекции и свойств материала, но и от градиентов концентраций легирующей примеси, и от ее рекомбинационных свойств. Чем больше градиент концентраций легирующих примесей в n - и p -областях, тем на большую величину смещается максимум интенсивности излучения структуры от границы p - n -перехода.

Заключение. Применение разработанной автором одномерной модели, исследуемой в работе светодиодной структуры на основе GaAs с целью выполнения ее приборного моделирования с помощью программы MOD-1D (также разработанной автором) позволило снизить затраты машинного времени в 2–3 раза по сравнению с затратами необходимыми для случая двумерного моделирования. Были определены тенденции изменения положения $I_{\max}$ прибора для различных уровней инжекции и значений концентраций легирующих примесей в p - и n -областях. Установлено, что при низких уровнях инжекции смещение $I_{\max}$ по глубине структур отсутствует; в условиях высоких уровней инжекции наблюдается смещение положения $I_{\max}$ в область с более высоким уровнем концентрации легирующей примеси.

Литература

1. Маллер, Р. Элементы интегральных схем / Р. Маллер, Т. Кейминс. – М.: Мир, 1989. – 630 с.
2. Коган, Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды / Л. М. Коган. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
3. Берг, А. Светодиоды / А. Берг, П. Дин. – М.: Мир, 1979. – 686 с.
4. Зайцев, Ю. В. Полупроводниковые стабилитроны / Ю. В. Зайцев. – М.: Энергия, 1969. – 41 с.
5. Королев, М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 397 с.
6. Компьютерная программа MOD-1D: св. о рег. комп. прогр. 742 Респ. Беларусь / Н. Л. Лагунович; заявитель ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ». – № т 20140041; зарег. 10.03.2015.