

Влияние безызлучательной рекомбинации на мощностные характеристики лазерных излучателей на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP

Н.В. Гультиков, М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия

[e-mail: nikita.gultickov@yandex.ru](mailto:nikita.gultickov@yandex.ru)



Введение

Мощные полупроводниковые лазерные диоды (ЛД) и линейки лазерных диодов (ЛЛД), работающие в спектральном диапазоне 750-850 нм, чрезвычайно актуальны во многих практических приложениях. Подходящими системами материалов для создания данных приборов являются полупроводниковые гетероструктуры (ГС) AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP (Al-free ГС). Настоящая работа посвящена исследованию влияния безызлучательной рекомбинации на мощностные характеристики ЛД и ЛЛД. Лазерные излучатели изготовлены на основе Al-содержащих и Al-free ГС с одной квантовой ямой на подложках арсенида галлия.

Экспериментальные образцы

Полупроводниковые гетероструктуры с одной квантовой ямой AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP были сформированы методом МОС-гидридной эпитаксии на подложках GaAs. Температура роста в реакторе варьировалась в пределах 650–720°C, а давление поддерживалось на уровне 50–70 мбар. В качестве исходных реагентов элементов III группы периодической системы использовались TMAI, TMGa и TMIIn, а в качестве источников элементов V группы – PH₃ и AsH₃. Источниками для легирующих материалов n-типа являлась смесь силана с водородом, а р-типа – DEZn. Рост гетероструктур проводился в среде высокочистого водорода.

Лазерные элементы изготавливались по стандартной технологии, кристалл монтировался на теплоотвод р-контактом вниз.

Расчет распределения температуры лазерного диода

Трехмерное стационарное уравнение теплопроводности:

$$\begin{cases} \nabla \cdot (\lambda \nabla T(\vec{x})) = -q_v(\vec{x}), & (\vec{x} \in \Omega) \\ T_b = const, \\ \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_W = 0, \\ T(t=0) = T_0, \end{cases}$$

где $\vec{x} = (x, y, z)^T$ — радиус-вектор точки,

T — температура,

λ — коэффициент теплопроводности,

q_v — объемная плотность внутренних источников тепла,

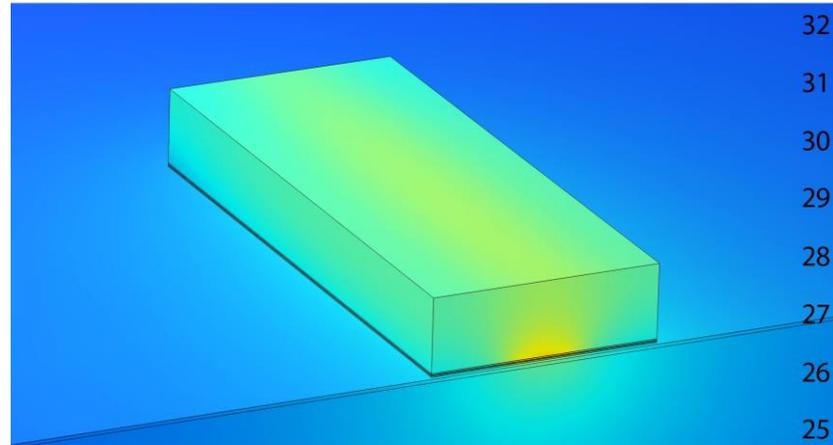
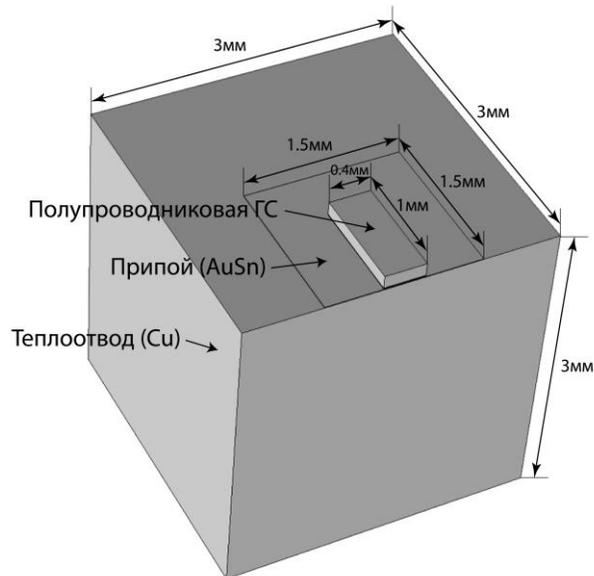
∇ — дифференциальный оператор Гамильтона,

Ω — некоторая замкнутая область в трехмерном пространстве,

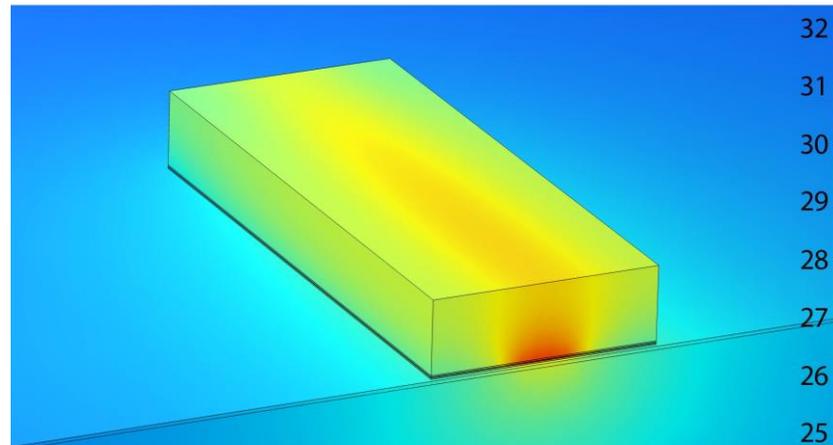
T_b — температура нижней грани теплоотвода,

n — внешняя нормаль к границе расчетной области,

W — индекс, означающий границу расчетной области.



а) ЛД на основе AlGaAs/GaAs

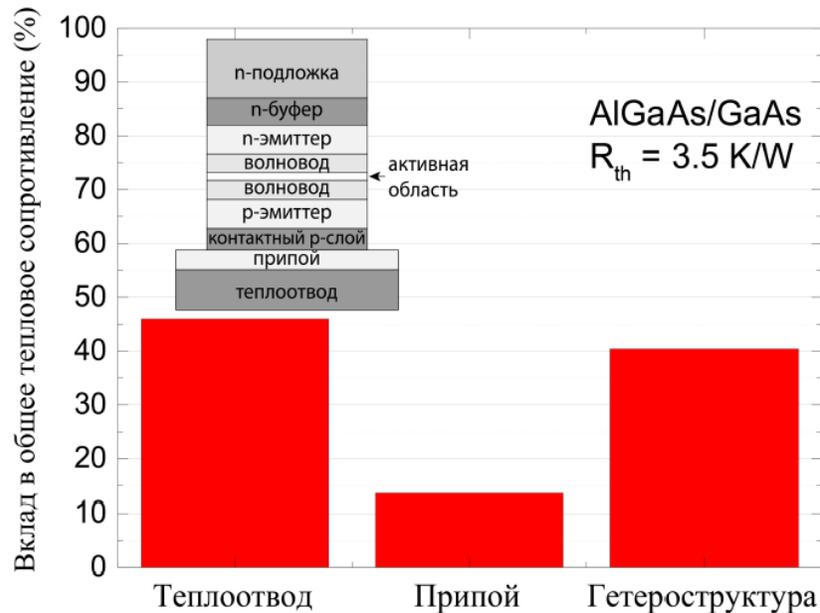


б) ЛД на основе GaAsP/GaInP

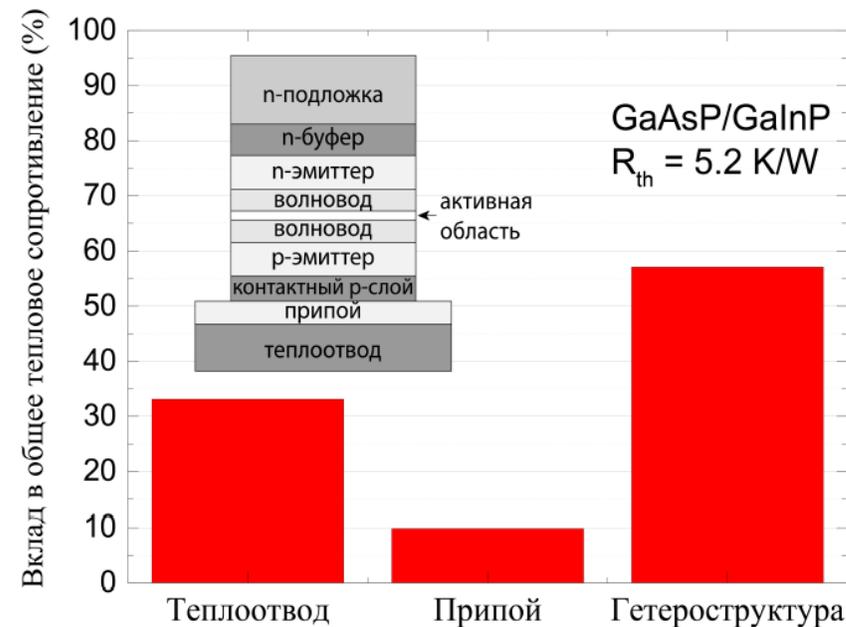
Распределения температуры для ЛД на основе (а) AlGaAs/GaAs и (б) GaAsP/GaInP гетероструктур, полученные в результате численного эксперимента при рассеиваемой тепловой мощности $P_{th} = 1$ Вт.

Результаты численных расчетов

На основании численных расчетов распределения температуры были найдены вклады в общее тепловое сопротивление теплоотвода, припоя и полупроводниковой гетероструктуры для ЛД. Полученные тепловые сопротивления исследуемых Al содержащих и Al free ГС (3.5 K/W и 5.2 K/W соответственно) отличаются примерно в 1.4 раза.



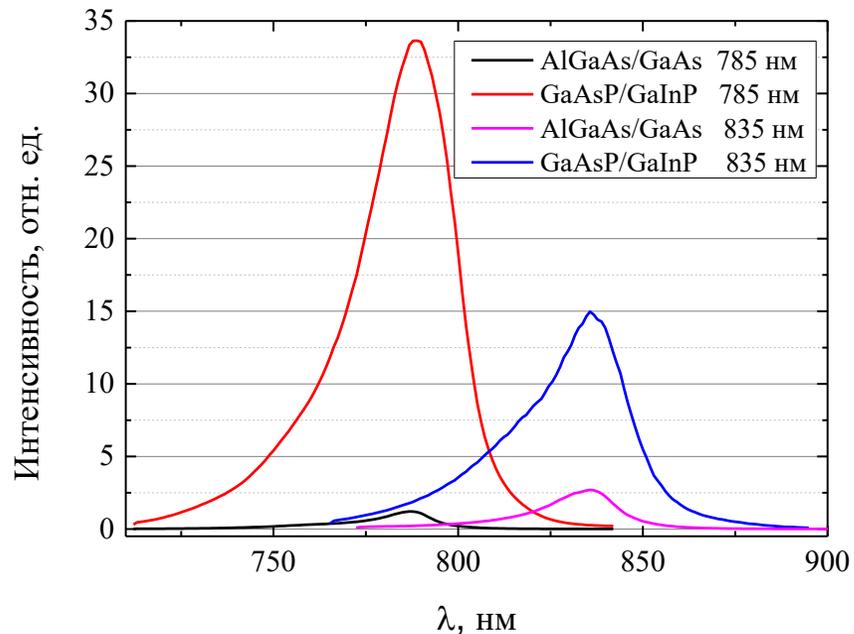
Вклады теплоотвода, припоя и полупроводниковой гетероструктуры в процентном соотношении в общее тепловое сопротивление для ЛД на основе ГС AlGaAs/GaAs.



Вклады теплоотвода, припоя и полупроводниковой гетероструктуры в процентном соотношении в общее тепловое сопротивление для ЛД на основе ГС GaAsP/GaInP.

Сравнение данных фотолюминесценции и расчетной тепловой мощности на гетерограницах и свободной поверхности ГС

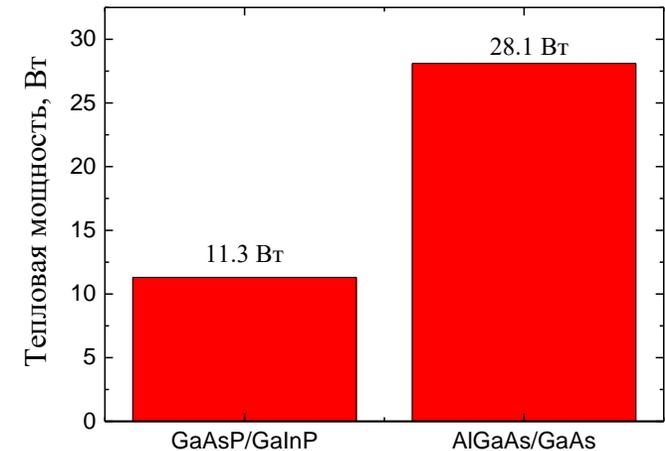
При сравнении данных фотолюминесценции ГС обнаружено, что различие в скоростях рекомбинации на гетерограницах и свободной поверхности ГС может являться основной причиной отличия мощностных параметров лазеров. Дополнительной причиной служит высокое сродство атомов Al к кислороду, что приводит к росту центров безызлучательной рекомбинации в процессе роста Al-содержащих ГС и в конечном итоге к уменьшению выходной оптической мощности лазерного излучателя.



Интенсивность фотолюминесценции квантовой ямы для AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP гетероструктур для разных длин волн.

Сравнение мощностных параметров ЛЛД на основе исследуемых материалов

Система материалов	AlGaAs/GaAs	GaAsP/GaInP
Мощность при $I_{\text{нак}} = 100 \text{ А}$	95 Вт	100 Вт
Предельная мощность, отн. ед.	1	1.4
Характеристическая температура T_0	110 К	140 К



Расчетная тепловая мощность, выделяемая на гетерограницах и свободной поверхности для ЛЛД на основе AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP

Заключение

При сравнении двух систем материалов для диапазона длин волн 750-850 нм более высокую излучательную эффективность имеют лазерные излучатели на основе GaAsP/GaInP ГС, несмотря на то, что приборы на основе AlGaAs/GaAs ГС имеют более низкое тепловое сопротивление. Данное отличие может быть связано с более низкой безызлучательной рекомбинацией на гетерограницах и на свободной поверхности GaAsP/GaInP ГС, а также отсутствием в ней атомов Al, которые имеют высокое сродство к кислороду.