

06.2
©1993

РАЗОГРЕВ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ GaInAsSb

Н.М.Колчанова, А.А.Попов, А.Б.Богословская, Г.А.Сукач

Полупроводниковые лазерные и светодиодные гетероструктуры на основе четырехкомпонентных соединений GaInAsSb, излучающие на длинах волн 1.7–2.4 мкм, используются в многочисленных приборных приложениях, в частности, для детектирования молекул экологически вредных газов [1]. При работе в режиме непрерывной накачки носителей постоянным током, а также при больших значениях тока в импульсном режиме, в активной области (АО) гетероструктур могут возникнуть отклонения неравновесного состояния образующейся электронно-дырочной плазмы (ЭДП) от исходного равновесного теплового состояния [2,3]. Эти отклонения приводят к нежелательному изменению электрических, люминесцентных, пороговых и других характеристик прибора [4,5].

В данном сообщении приводятся результаты исследования величины перегрева в активной области одиночных (ОГС) и двойных (ДГС) гетероструктур на основе твердого раствора GaInAsSb.

1. Измерения были выполнены на гетероструктурах двух типов: ОГС $N\text{-GaSb}/n\text{-GaInAsSb}/P^+\text{-GaAlAsSb}$ (тип I) и ДГС $N\text{-GaSb}/N\text{-GaAlAsSb}/n\text{-GaInAsSb}/P^+\text{-GaAlAsSb}$ (тип II). Толщина узкозонной АО $n\text{-GaIn}_{0.21}\text{As}_{0.19}\text{Sb}$ ($n = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) составляла 1.5 мкм, а эмиттера $P^+\text{-GaAl}_{0.34}\text{As}_{0.02}\text{Sb:Ge}$ ($p = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $E_g^{300 \text{ K}} = 1.27 \text{ эВ}$) — 2.5 мкм. Обе структуры создавались методом жидкофазной эпитаксии при температуре $T = 870 \text{ K}$ на подложке $N\text{-GaSb:Te}(100)$ ($n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Излучение выводилось через широкозонный P -эмиттер. Структуры отличались тем, что в ДГС (тип II) между подложкой $N\text{-GaSb}$ и АО выращивался слой $N\text{-GaAl}_{0.34}\text{As}_{0.02}\text{Sb}$ толщиной 2 мкм. Расогласование постоянных решеток слоев структур контролировалось методами рентгеновской дифрактометрии и не превышало $5 \cdot 10^{-4}$. После ЖФЭ подложка сошлифовывалась до толщины 200 мкм. Исследовались мезасветодиоды диаметром 300 мкм со сплошным омическим контактом к $N\text{-GaSb}$ (Au+5% Te) и точечным контактом (Au+5% Ge) диаметром 40 мкм к $P\text{-GaAlAsSb}$, полученные из выращен-

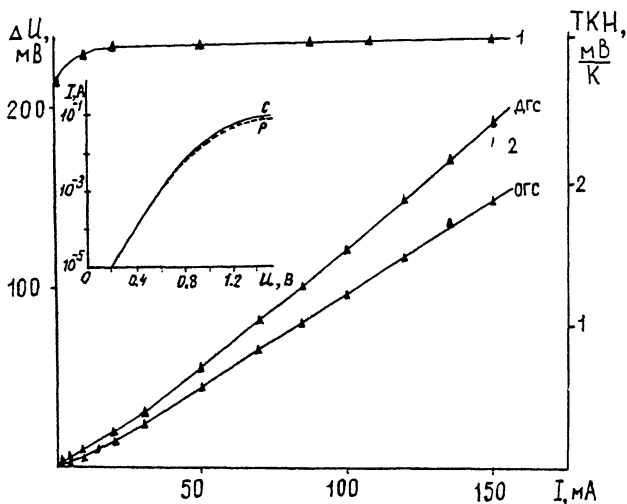


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента напряжения (1) и избыточного напряжения (2) на исследуемых ОГС и ДГС структурах от величины инжекционного тока. На вставке приведена типичная прямая ветвь ВАХ при импульсном (P) и непрерывном (C) режимах питания.

ной гетероструктуры методом фотолитографии и собранные на стандартном корпусе ГО-18.

Исследовались вольт-амперные характеристики (ВАХ) при комнатной температуре при стационарном и импульсном режимах питания в диапазоне токов 0.1–150 мА. С целью обеспечения негреющего режима работы СИД (сохраняющего равновесное тепловое состояние ЭДП с решеткой АО) в области токов питания менее 200 мА был выбран импульсный режим с длительностью импульса 1 мкс и частотой следования 1 кГц. Снятые при импульсном режиме питания ВАХ измерялись при фиксированных температурах в криостате через 10–15 К в области 300–400 К и являлись эталонными для определения величины разогрева. Типичная прямая ветвь ВАХ СИД, полученная при постоянном (кривая C) и импульсном режимах (кривая P) питания приведена на вставке к рис. 1 (во избежание загромождения рисунка приводятся зависимости ВАХ для одного из образцов). При обоих режимах питания ВАХ состоят из экспоненциального и следующего за ним степенного участка. Переход к степенному участку происходит при токах порядка $I = 1$ мА для обоих типов структур.

Величину отклонения теплового состояния ЭДП от равновесного охарактеризуем величиной перегрева $\Delta T = T_e -$

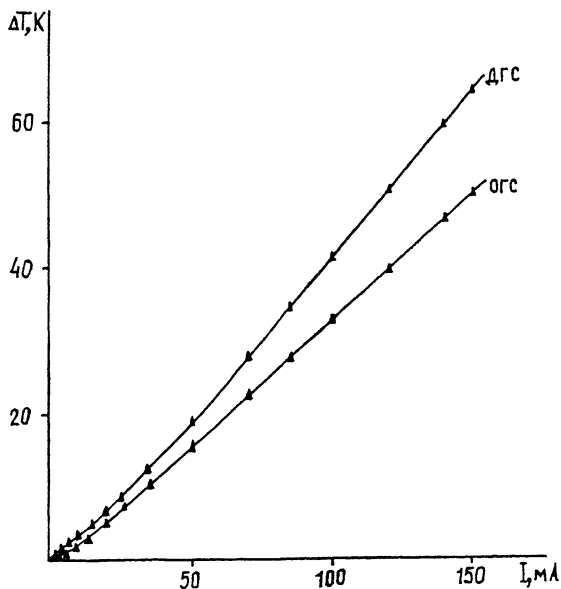


Рис. 2. Перегрев активной области исследуемых гетероструктур в зависимости от величины инжекционного тока

— T_0 , где T_e — температура ЭДП при определенном токе накачки, а T_0 — температура окружающей среды. Сравнение рабочих и эталонных ВАХ позволяет определить при заданном значении тока величину избыточного напряжения $\Delta U_i = \Delta U_i(T)$ (рис. 1). В интервале температур 300 – 400 К (т.е. для $\Delta T = 0 - 100$ К) из эталонных ВАХ находилось значение температурного коэффициента напряжения (ТКН) $\gamma_i = \Delta U_i / \Delta T_i$ (рис. 1). Сопоставление ВАХ, снятых в условиях разогрева и при его отсутствии, позволяет определить температуру перегрева в АО $\Delta T = \Delta U / \gamma$ при каждом значении тока (рис. 2). Зависимость ΔT от тока I (рис. 2) можно представить в виде двух степенных участков $\Delta T \sim I^k$, зависящих от тока инжекции и типа гетероструктуры: для ОГС $k = 0.7$ при малых значениях тока ($I \leq 20$ мА) и $k = 1 - 1.1$ ($I > 20$ мА). Большой показатель степени ($k = 1.1$) имеет ДГС. Обращают на себя внимание нелинейность зависимости ΔT от величины инжекционного тока и большая величина перегрева (десятки градусов) в рабочем диапазоне токов. Видно, что перегрев ΔT зависит от типа структуры и величины разрыва зон на гетерогранице, причем в ДГС температура перегрева выше во всем диапазоне токов, чем в ОГС.

В исследуемых гетероструктурах возникающая избыточная энергия передается системе электронного газа, т.к. при $T = 300$ К и $n = 1 \cdot 10^{17}$ см⁻³ $\tau_{opt} \sim 1 \cdot 10^{-13}$ с и

$\tau_{ce} \sim 5 \cdot 10^{-14}$ с [6]. При малых токах накачки электронная система взаимодействует, в основном, с длинноволновыми фононами, что не приводит к разогреву решетки, которая сохраняет температуру T_0 . По мере увеличения тока величина разогрева увеличивается и электронная система взаимодействует со всей системой фононов, что вызывает разогрев решетки. Поэтому переход от одного наклона к другому в зависимости $\Delta T = f(I)$ соответствует изменению характера (рис. 2) взаимодействия электронной и фононной систем. При увеличении температуры электронного газа активной области изменяется соотношение между излучательным и безызлучательным каналами рекомбинации. Оценки вероятности Оже-процессов в GaInAsSb [7] при увеличении температуры показывают, что при нагреве АО на 50 К скорость СНСС Оже-процесса увеличивается на порядок. Поэтому не исключен вклад в разогрев компоненты, связанной с Оже-процессами. Если при $T = 300$ К время безызлучательного и излучательного каналов рекомбинации сравнимо [8], то при $T = 350$ К безызлучательная рекомбинация существенно усиливается. Разница в степенной зависимости ОГС и ДГС, по-видимому, объясняется величинами разрывов зон на гетерогранице. Большой перегрев наблюдается в ДГС, где разрывы зон слева и справа превышают ширину запрещенной зоны E_g АО. Высокоэнергетичные носители в АО не могут быть выброшены ни в один из эмиттеров и отдадут весь избыток энергии на нагрев электронного газа АО.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о существенном перегреве АО излучающих p/n гетероструктур на основе четырехкомпонентных твердых растворов GaInAsSb. Усиление разогрева в ДГС, являющихся основой инжекционных лазеров, по сравнению с ОГС, делает рассматриваемый вопрос актуальным для режима работы лазерных диодов, т.к. может привести к сильному перегреву их активной области, и как следствие этого — к росту значения порогового тока и срыву генерации в непрерывном режиме работы.

Список литературы

- [1] Baranov A.N., Imenkov A.N., Mikhailova M.P., Yakovlev Yu.P. // Proc. SPIE. 1992. V. 1724. P. 78–82.
- [2] Басс Ф.Г., Гуревич Ю.Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. М: Наука, 1975.
- [3] Wada O., Yamakoshi S., Sakurai T. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41. N 10. P. 981–983.
- [4] Лубашевский И.А., Рыжый В.И. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 11. С. 2031–2034.

- [5] Лубашевский И.А., Рыжий В.И., Сурис М.А. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 1. С. 36-38.
- [6] Денис В., Пожела Ю. Горячие электроны. Вильнюс: Минтис, 1971.
- [7] Гельмонт Б.Л., Соколова З.Н. // ФТП. 1982. Т. 16. В. 9. С. 1670-1672.
- [8] Андаспаева А.А., Баранов А.Н., Гусейнов А.А. и др. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 10. С. 1708-1714.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
11 июня 1993 г.