

- [4] Надеждинский А.И., Степанов Е.В., Засавицкий И.И., Косичкин Ю.В., Шстов А.П. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 2.
- [5] Андреев И.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 12 (14). № 21 (11). С. 1311-1315 (986-991).
- [6] Osinskii M., Bus J. // IEEE J. Quantum Electron. 1987. V. QE-23. N 1. P. 9-28.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
28 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

06.3: 12

© 1990

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ
ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА "ИНЖЕКЦИОННЫЙ ЛАЗЕР -
ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР" НА ОСНОВЕ
ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ *AlGaAs/GaAs*

В.Б. Афанасьев, С.А. Гуревич,
А.Л. Закгейм, Ю.А. Лифшиц,
В.М. Марахонов, В.П. Хвостиков,
И.Э. Чебунина, Б.С. Явич

Одной из возможностей существенного увеличения быстродействия ЭВМ является замена электрических каналов связи между отдельными кристаллами, платами, блоками и т.д. на оптические, с помощью которых может быть достигнута очень большая скорость передачи информации. Важным звеном, осуществляющим оптические связи в ЭВМ, должны стать оптоэлектронные интегральные схемы (ОЭИС) [1], в которых электрические сигналы формируются транзисторами, а преобразование электрических сигналов в оптические и наоборот осуществляется инжекционными лазерами и фотоприемниками. Поскольку оптические каналы связи становятся эффективными при скорости передачи информации свыше 1 Гбит/с элементы ОЭИС (транзисторы, инжекционные лазеры, фотоприемники) должны иметь достаточно широкую полосу рабочих частот. Как показано в [2], на частотах выше 3-5 ПГц необходимы именно ОЭИС, так как в их гибридных аналогах наличие паразитных индуктивностей может приводить к значительному искажению формы сигналов.

В работе сообщается о создании ОЭИС, в которой низкорого-
вой инжекционный лазер (ИЛ) на основе гетероструктуры
AlGaAs/GaAs с квантоворазмерным активным слоем и быстро-

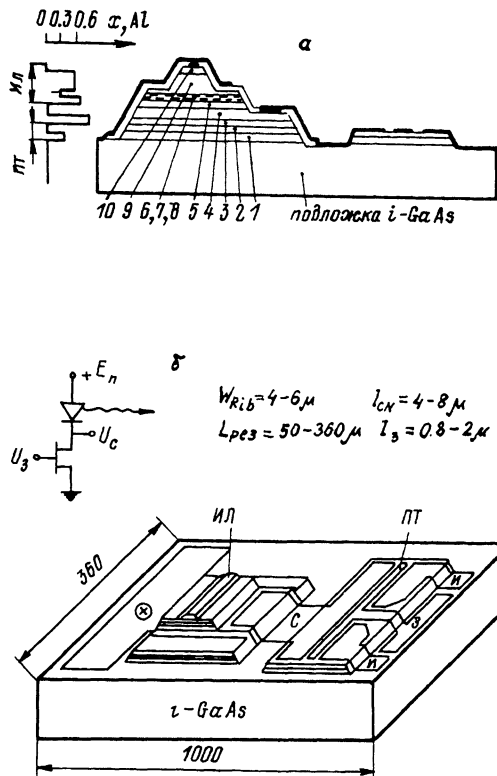


Рис. 1. Сечение (а) и общий вид (б) передающей ОЭИС „инжекционный лазер – полевой транзистор“.

действующий *GaAs* полевой транзистор с затвором Шоттки (ПТ) интегрированы на общей подложке из полужолирующего *GaAs*. Разрабатывались два варианта схемы. В первом зеркала резонатора лазера были получены обычным способом – скалыванием, при этом размер кристалла ОЭИС, на котором были расположены лазер и управляющий транзистор, составляет 360x1000 мкм (360 мкм – длина резонатора лазера) [3]. В другом случае лазер имел вид мезаструктуры: зеркала резонатора были получены с помощью микроскалывания [4], при этом на подложке можно расположить любое число транзисторов.

На рис. 1, а, б показаны сечение с распределением состава по слоям *AlGaAs/GaAs* гетероструктуры и общий вид ОЭИС. Структуры выращивались методами жидкофазной или МОС-гидридной эпитаксии на подложках из полужолирующего *GaAs*. Первыми от под-

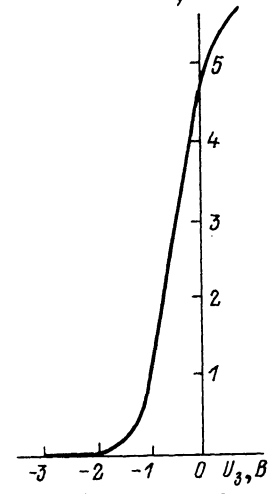
$P, \text{ мВт}$ 

Рис. 2. Зависимость выходной оптической мощности ИЛ от управляющего напряжения U_3 на затворе ПТ.

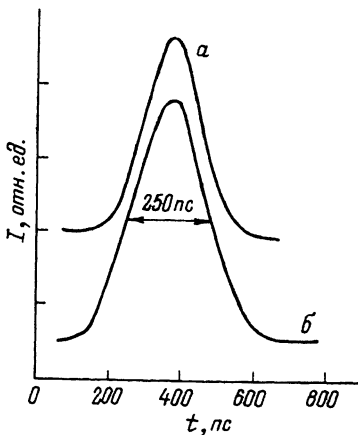
ложки выращивались буферный 1 ($Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, $n \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\sim 0.4 \text{ мкм}$) и рабочий 2 ($GaAs$, $n = (1-2) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $\sim 0.2 \text{ мкм}$) слои ПТ. Последние шесть слоев 5-10 образуют известную структуру ИЛ с отдельным электронным и оптическим ограничением [5]. В структуре ИЛ наряду со слоями широкозонных эмиттеров 5 и 9, ($n, p - Al_{0.6}Ga_{0.4}As$) имеется оптический волновод - слои 6 и 8 ($Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ нелегирован, суммарная толщина 0.25-0.4 мкм). Между этими слоями заключен тонкий квантоворазмерный активный слой 7 ($GaAs$, нелегирован, $d \approx 100$ -150 Å). Слой 10 p^+ - $GaAs$ обеспечивает верхний контакт к ИЛ

В рассматриваемой гетероструктуре ОЭИС имеются два дополнительных слоя: разделительный "стоп-слой" 3 ($Al_{0.6}Ga_{0.4}As$, $n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, 1 мкм) и слой 4 ($GaAs$, $n^+ = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, 1 мкм), обеспечивающий нижний контакт и подвод тока к ИЛ. Слои 3 и 4 играют ключевую роль в процессе изготовления схемы, обеспечивая прецизионный выход на соответствующие уровни в структуре и формирование мезаструктур ИЛ и ПТ с помощью селективного травления.

При изготовлении ОЭИС (рис. 1) на первом этапе формировалась мезаструктура ИЛ. Травление велось сначала до слоя 4, затем этот слой стравливался селективно и по нему осуществлялось затравливание под лазерную структуру на 10-15 мкм для образования нависающих козырьков [4]. Затем на поверхности лазерной мезаструктуры вытравливался гребневый канал [6] шириной 4 мкм. После этого формировалась контактная площадка на слое 4 и, наконец, мезаструктура ПТ. Поверхность рабочего слоя ПТ обнажалась селективным стравливанием "стоп-слоя" 3. На завершающем этапе проводились операции маскирования диэлектриком, нанесение омических ($Ti-Au$, $Ge-Au$) и барьерного (Al) контактов; последней операцией было скалывание козырьков для образования зеркал резонатора ИЛ. Длина резонатора ИЛ обычно составляла 100 мкм. ПТ имел длину затвора 0.8-2 мкм, ширина канала составляла 250 мкм.

Исследовались статические и динамические характеристики как отдельных элементов ОЭИС, так и схемы в целом. Пороговые токи ИЛ лежали в диапазоне 10-20 мА, что не хуже значений для контрольных ИЛ, выращенных на n^+ - $GaAs$ подложке и имеющих обычные зеркала, полученные скалыванием. Величина последовательного сопротивления лазеров составляла 40-50 Ом, емкость ≈ 3 пФ. ПТ имели следующие характерные параметры: напряжение отсечки $V_p = -(3-3.5) \text{ В}$, ток насыщения $I_p^{sat} \approx 50 \text{ мА}$, малосигнальная

Рис. 3. Осциллограммы импульсов управляющего напряжения (а) и оптического сигнала ОЭИС (б).



крутизна $S \approx 20$ мА/В. На рис. 2 приведена статическая рабочая характеристика ОЭИС. Как видно из рисунка, изменению входного напряжения на затворе ПТ от $V_3 = -1.5$ В до $V_3 = 0$ В соответствует изменение мощности излучения лазера от 0 до 5 мВт. В этих пределах наблюдается линейная зависимость мощности излучения

от управляющего напряжения с коэффициентом преобразования ~ 3.3 мВт/В. Отметим, что используя контактную площадку, расположенную между ИЛ и ПТ (см. рис. 1,б), на ИЛ можно было независимо подавать постоянное смещение V_c , выбирая тем самым рабочую точку лазера.

Для исследования динамических характеристик ОЭИС монтировалась в копланарную полосковую схему, топология которой обеспечивала независимое проведение к ИЛ сравнительно длинного импульса смещения V_c ($\tau_c \approx 100$ нс), выводящего лазер в надпороговый режим, и задержанного относительно его начала короткого импульса модуляции ($\tau \sim 200$ пс, $\tau_{pp} \leq 100$ пс), подаваемого на затвор ПТ. Излучение ИЛ регистрировалось с помощью p - i - n -гетерофотодиода [7] и осциллографа С1-91/4 с временным разрешением не хуже 40 пс. На рис. 3 приведены осциллограммы импульса управляющего напряжения и оптического сигнала ОЭИС. Видно, что форма оптического сигнала практически совпадает с формой входного импульса, а длительность его не превосходит ~ 250 пс. Таким образом, полученная ОЭИС позволяет обеспечить скорость передачи информации не менее 2 Гбит/с.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] W a d a O., S a k u r a i T., N a k a g a m i T. // IEEE J. of Quant. Electron. 1986. V. QE-22. N 6. P. 805-821.
- [2] N a k a m u r a M., S u u z u k i N., O z i k i P. // IEEE J of Quant. Electron. 1986. V. QE-22. N 6. P. 822-826.
- [3] Винокуров Д.А., Гуревич С.А., Загейм А.Л., Ларионов В.Р., Лифшиц Ю.М., Марахонов В.М., Хвостиков В.П., Чебунина И.Э.,

Я в и ч Б.С. Тез. докл. 1 Всес. конф. „Физические основы твердотельной электроники“. Л., 1989. Т. А. С. 4–5.

- [4] Гуревич С.А., Портной Е.Л., Прокин Н.В., Скопина В.И. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 4. С. 193–197.
- [5] Tsang W.T. // Appl. Phys. Lett. 1982. Т. 40. N 3. P. 217–219.
- [6] Гуревич С.А., Закгейм А.Л., Марахоннов В.М., Нестеров С.И., Портной Е.Л., Тимофеев Ф.Н., Хвостиков В.П., Чебунина И.Э. Тез. докл. 1 Всес. конф. „Физические основы твердотельной электроники“. Л., 1989. Т. А. С. 58–59.
- [7] Бутусов Д.М., Гоцадзе Г.Г., Ларионов В.Р., Рывкин Б.С., Танклевская Е.М., Тимофеев Ф.Н. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 88–94.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
28 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 14

26 июля 1990 г.

11

© 1990

ФОТОСТИМУЛИРОВАННАЯ ЭПИТАКСИЯ ИЗ ПАРОВОЙ ФАЗЫ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ ПЛЕНОК $ZnSe$ НА (100) Si

П.П. Сидоров, С.Н. Максимовский,
С.Р. Октябрьский, А.П. Шотов

Полупроводниковое соединение $ZnSe$ является наиболее перспективным материалом для создания светоизлучающих диодов и лазеров голубого диапазона спектра [1, 2]. Наиболее совершенные пленки $ZnSe$ на подложках $GaAs$ и Si получены методами молекулярно-лучевой эпитаксии [3, 4] и металл-органической эпитаксии из паровой фазы [5, 6]. Однако метод прямой эпитаксии из паровой фазы, который основан на переносе соединения $ZnSe$ в потоке водорода в поле температурного градиента [7], является наиболее простым и дешевым. Этот метод может стать основой промышленного производства структур на основе $ZnSe$, если удастся добиться качества пленок, сравнимого с тем, которого добиваются в методе МЛЭ.

В работе [7] говорилось об удачной попытке получения люминесцентных слоев $ZnSe$ на подложках $GaAs$ с относительным расхождением параметров решеток, равным 0.26 % при 300 К. Однако