

06.3; 12

© 1990

ЕМКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАРОШЕННЫХ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ $AlGaAs$ ЛАЗЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НЖЭ

С.Б. Нечкин, И.Б. Пузин,
М.К. Шейнкман, Г.К. Шерварлы,
В.П. Блаже, А.З. Мереуцэ,
А.В. Сырбу, В.П. Яковлев

В работе приводятся результаты исследований емкостных характеристик низкопороговых квантоворазмерных лазеров (ОКЛ) на основе $AlGaAs$. Исходная гетероструктура с одиночной квантовой ямой и с отдельным ограничением выращена низкотемпературной жидкофазной эпитаксией (НЖЭ) с контролируемым переохлаждением раствора-расплава [1-3] на подложке АГНК-2 n -типа и состоит из следующих слоев: $N(Te)-Al_{0.65}Ga_{0.35}As$; волноводная область n -типа: $Al_{0.3}Ga_{0.7}As-Al_{0.05}Ga_{0.95}As$ (толщина активной области порядка 15-17 нм) - $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$; $P(Ge)-Al_{0.65}Ga_{0.35}As$; $p(Ge)$. На рис. 1 приведено распределение концентрации свободных носителей N по толщине W гетероструктуры (профиль легирования), полученное из вольт-фарадных измерений при послойном сравнении на электрохимической ячейке фирмы Polaron.

Излучательные характеристики ОКЛ следующие: пороговый ток $I_{pr} = 10-20$ мА, генерация излучения на длине волны $\lambda = 0.83$ мкм, максимальные значения мощности излучения P в непрерывном режиме генерации и дифференциальной квантовой эффективности η достигают 50 мВт и 0.45 Вт/А соответственно. Среди ОКЛ имеются приборы как с линейными ватт-амперными характеристиками (ВАХ) вплоть до $P=50$ мВт, так и приборы, на ВАХ которых имеются слабые нелинейности. Типичная ВАХ одного из ОКЛ (№ 12), а также ее первые и вторые производные по току I , полученные посредством метода модуляционного дифференцирования на установке [4], приведены на рис. 2.

Рассматриваемые ОКЛ обладают также хорошими электрическими характеристиками. Так, прямые ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) имеют напряжение отсечки в пределах 1.45-1.55 В и фактор неидеальности $n \approx 2$. Для обратных ветвей характерен резкий пробой лавинного типа в диапазоне напряжений 9-11 В.

Одним из важнейших параметров ОКЛ является его емкость C . С технической точки зрения, чем меньше величина емкости ОКЛ, тем выше может быть частота модуляции. С научной точки зрения, по $C-V$ -зависимости (здесь V - падение напряжения на ОКЛ) можно определить распределение легирующей примеси в ак-

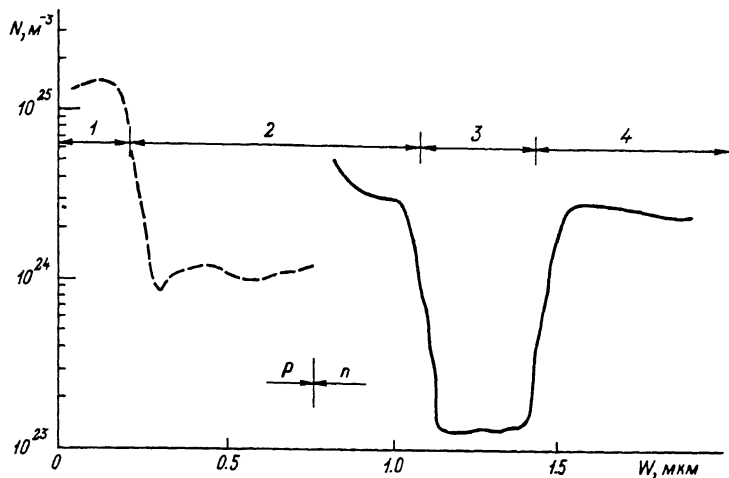


Рис. 1. Распределение концентрации свободных носителей по толщине гетероструктуры. Сплошная линия – концентрация электронов, пунктир – концентрация дырок. 1–4 – области гетероструктуры: 1 – контактный слой p^+GaAs , 2 – верхний широкозонный P -эмиттер $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$, 3 – волноводная область n -типа $Al_{0.3}Ga_{0.7}As-Al_{0.05}Ga_{0.95}As-Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, 4 – нижний широкозонный N -эмиттер $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$.

тивной области ОКЛ, а следовательно, и влияние этого распределения на условия токопрохождения, т.е. на электрические характеристики ОКЛ.

Профиль легирования реального прибора (ОКЛ № 12), а также его $C-V$ -характеристики при 300 и 77 К, приведены на рис. 3. Следует отметить, что для всех ОКЛ, полученных по технологии [1–3], характерно изменение емкости в пределах 5–10 пФ при изменении напряжения от примерно +1 В в прямом направлении до предпробойных напряжений в обратном направлении, а профиль легирования у них аналогичен приведенному на рис. 3, а.

Измерения емкости лазеров выполнялись на специально разработанной установке, собранной на основе высокочувствительного $2T$ -моста, работающего на частоте 10 МГц. Измерения, съем и обработка данных, а также отрисовка соответствующих графиков на двухкоординатном самописце осуществляется посредством микро-ЭВМ и стандартной аппаратуры КАМАК. Распределение примеси по толщине гетероструктуры определялось по методу дифференциальной емкости [6].

Сравним поведение профилей легирования, полученных при послойном травлении на гетероструктуре (рис. 1) и по методу дифференциальной емкости (неразрушающему) на ОКЛ № 12 (рис. 3, а; $T=300$ К). Судя по исходным концентрациям дырок в P -эмиттере и электронов в волноводной n -области, слой объ-

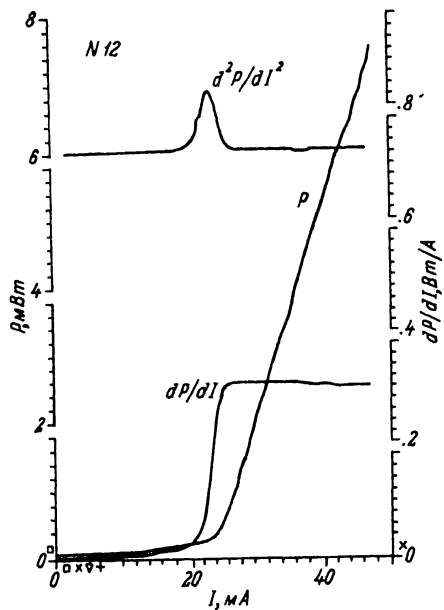


Рис. 2. Ватт-амперная характеристика ОКЛ № 12, а также ее первая и вторая производные по току.

емного заряда (СОЗ) в лазере расположен, главным образом, в N -слое. Из сопоставления данных, приведенных на рис. 1 и рис. 3, а, видно следующее: р-р-переход расположен на расстоянии ~ 0.75 мкм от поверхности контактного p^+ -слоя (рис. 1), а СОЗ в ОКЛ при обратном смещении распространяется от Р-р-перехода в N -слой (рис. 3, а). Расстояние в ~ 0.7 мкм, с которого возможно измерение концентрации в ОКЛ, находится примерно на середине „концен-

трационной ямы” (рис. 1, $W < 1.25$ мкм). Судя по всему, одиночная квантовая яма находится в ОКЛ на расстоянии $W < 0.7$ мкм, и на рис. 3, а мы ее не видим (разрешение метода дифференциальной емкости порядка длины экранирования Дебая и позволяет увидеть квантовую яму). Резкое возрастание концентрации на рис. 3, а соответствует переходу из волноводной области 3 гетероструктуры в широкозонный N -эмиттер – область 4 (см. рис. 1). Некоторая неувязка в абсолютных значениях концентраций в исходной гетероструктуре и ОКЛ может быть обусловлена погрешностью в определении площади S ОКЛ (т.к. $N = c^3 / q \cdot \epsilon \epsilon_0 (dc/dV) \cdot S^2$), хотя последняя и определялась с помощью микроскопа. Относительное же изменение концентрации в обоих случаях примерно одинаково.

Значительное относительное уменьшение емкости и концентрации (примерно на порядок) при 77 К (см. рис. 3) обусловлено вымораживанием электронов на глубоких центрах, в роли которых, судя по предварительным результатам, выступают D X-центры [7].

Таким образом, приведенные экспериментальные данные подтверждают как высокое качество гетероструктур, выращенных методом НЖЭ [1–3], так и хорошие излучательные и электрические характеристики изготовленных из них лазеров, т.е. свидетельствуют о больших потенциальных возможностях метода НЖЭ.

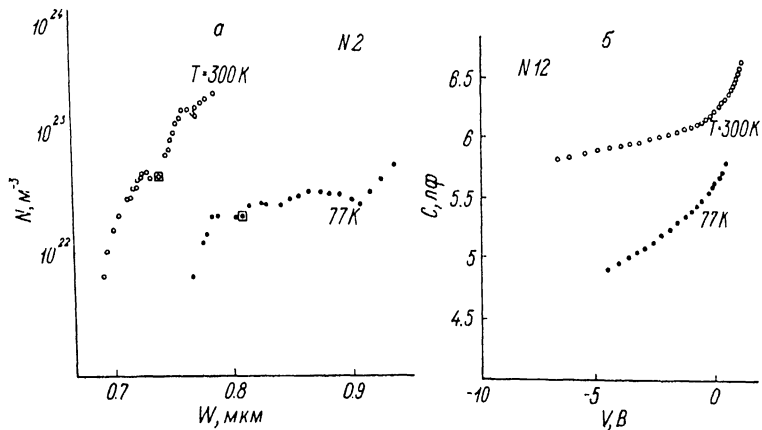


Рис.3. Профиль легирования (а) и $C-V$ -характеристики (б) ОКЛ № 12 при 300 и 77 К. Квадрат (а) соответствует нулевому напряжению на ОКЛ. Приложение к ОКЛ обратного смещения увеличивает ширину W слоя объемного заряда.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М е р е у ц э А.З., Я к о в л е в В.П., С ы р б у А.В. и др. Тез. докл. Всес. конф. „Физика полупроводниковых лазеров“. Вильнюс, Вильнюсский университет, 1989. С. 13-14.
- [2] М е р е у ц э А.З., П е т р о в А.И., П о л т о р а ц к и й В.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 50-54.
- [3] М е р е у ц э А.З., С ы р б у А.В., Я к о в л е в В.П. Тр. координац. совещания социалистич. стран по физич. проблемам оптоэлектроники „Оптоэлектроника-89“. Баку, 1989. С. 56.
- [4] П у з и н И.Б., Ш е р в а р л ы Г.К. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1990. № 19.
- [5] П у з и н И.Б. // ПТЭ. 1983. № 4. С. 155-157.
- [6] M e j e r N.I., G u l d b r a n d s e n T. // P. oc. IEEE. 1963. V. 51. N11. P. 1631-1637.
- [7] L a n g D.V., L o g a n R.A., J a r o s M. // Phys. Rev. B, V. 19. N 2. P. 1015-1030.

Поступило в Редакцию
10 апреля 1990 г.