

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОМODOVЫХ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ $AlGaAs$ ЛАЗЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ НЖЭ

И.И. Гуранда, А.З. Мереуцэ,
И.Б. Пузин, А.В. Сырбу,
Г.И. Суручану, М.К. Шейнкман,
Г.К. Шерварлы, В.П. Яковлев

В настоящей работе приводятся результаты исследований излучательных и электрических характеристик низкороговых одномодовых квантоворазмерных $AlGaAs$ лазеров (ОКЛ), процесс получения которых описан в [1]. Исходная гетероструктура с одиночной квантовой ямой и с разделным ограничением выращена по методу низкотемпературной жидкофазной эпитаксии (НЖЭ) с контролируемым переохлаждением раствора-расплава [2, 3]. Отметим, что ранее в работе [4] уже сообщалось о получении низкороговых ОКЛ, также выращенных методом НЖЭ.

Из этих гетероструктур были изготовлены лазерные диоды с широким полосковым электродом ($D=30$ мкм) и лазеры с гребневым волноводом шириной 4 мкм и длиной резонатора от 100 до 350 мкм. Толщина активной области составляет 15–17 нм. Пороговая плотность тока генерации диодов равна 300 А/см², а пороговый ток $I_{п}$ лазеров ($\lambda=0.83$ мкм) находится в пределах 10–22 мА. Помимо столь малых значений $I_{п}$ эти лазеры обладают хорошими излучательными и электрическими характеристиками. Так, максимальные значения мощности излучения P и дифференциальной квантовой эффективности η ватт-амперной характеристики (ВтАХ) достигают у них 50 мВт и 0.45 Вт/А соответственно. Прямые ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) лазеров имеют напряжения отсечки в пределах 1.45–1.55 В и фактор неидеальности $n \approx 2$. Для обратных ветвей ВАХ лазеров характерен резкий пробой лавинного типа в диапазоне напряжений 9–11 В. Совокупность ВтАХ, ВАХ, а также их первых и вторых производных по току I именуется в дальнейшем „рабочие характеристики“.

На рис. 1 приведены типичные рабочие характеристики одного из рассматриваемых ОКЛ (№ 14). Как известно [5–8], анализ поведения этих характеристик позволяет получить практически все важнейшие электрофизические параметры инжекционных лазеров, такие как $I_{п}$, η , n , коэффициент нелинейности ВтАХ β , последовательное сопротивление $R_{п}$ и т.д., а также судить о наличии или об отсутствии нелинейных контактов и/или шунтирующих гетеропереходов токов утечки и т.п. Все рабочие характерис-

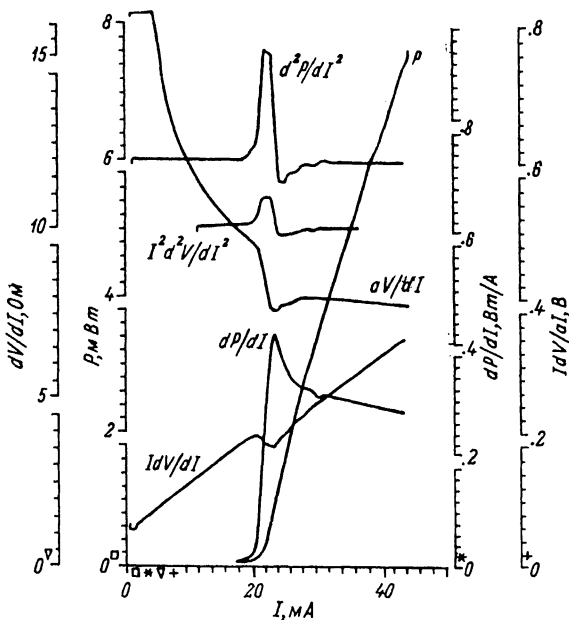


Рис. 1. Электрофизические характеристики ОКЛ № 14 при $T = 300$ К. излучательные: $P - I$, $dP/dI - I$ и $d^2P/dI^2 - I$; электрические: $dV/dI - I$, $I^2(d^2V/dI^2) - I$ и $I(dV/dI) - I$.

тики сняты на установке, подробно описанной в работах [9, 10], причем первые и вторые производные от ВтАХ и ВАХ по току получены посредством метода модуляционного дифференцирования.

Проведем анализ приведенных на рис. 1 характеристик с учетом результатов работ [5-8]. Излучательные характеристики: пороговый ток I_n ОКЛ № 14 равен 21,5 мА (судя как по положению максимума на зависимости $d^2P/dI^2 - I$, так и по отсечке на оси токов, получаемой экстраполяцией начального участка ВтАХ в области генерации; видимая глазом нелинейность ВтАХ четко проявляется на поведении зависимости $dP/dI - I$ в виде спада после максимума в области I_n ; значение η ОКЛ № 14, определяемое по положению этого максимума относительно оси dP/dI , равно 0.42 Вт/А с каждой грани. Электрические характеристики: величина отсечки на оси $I(dV/dI)$, получаемая экстраполяцией допороговой части зависимости $I(dV/dI) - I$, равна nkT/q , т.е. 50 мВ при $T = 300$ К [7, 8]; зная nkT/q , можно определить фактор μ , который у ОКЛ № 14 при $T = 300$ К равен 2; такое же значение μ получено и по наклону зависимости $\lg I - V$ (здесь не приводятся ни прямые,

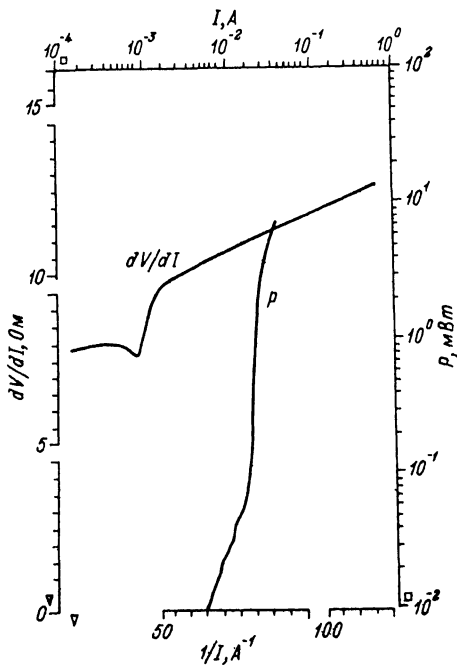


Рис. 2. Ватт-амперная характеристика ОКЛ № 14 в двойном логарифмическом масштабе и $dV/dI-1/I$ характеристика при $T = 300$ К.

ни обратные ветви ВАХ); то, что величина $nkT/q = 50$ мВ, свидетельствует об отсутствии нелинейности, обусловленной контактами, т.е. об их омичности [7, 8]; об этом же свидетельствует величина отсечки $nkT/q = 0$, полученная экстраполяцией послепороговой части зависимости $I(dV/dI) - I$ до пересечения с осью $I(dV/dI)$ [7, 8]; наличие как характерного ярко выраженного скачка на зависимостях dV/dI и $I(dV/dI)$ от I в области порога, так и полочки на зависимости dV/dI , свидетельствуют о наличии эффекта насыщения напряжения на р-п-переходе, предсказанного в работе [5], что является признаком однородного характера насыщения усиления в полупроводниковых инжекционных лазерах. Напряжение отсечки прямой ветви ВАХ ОКЛ № 14 равно 1.5 В, а на обратной ветви ВАХ наблюдается резкий лавинный пробой хорошей формы с $V_{\text{проб}} = 9.5$ В.

На рис. 2 приведены зависимости $dV/dI-1/I$ и $\lg P - \lg I$. Как известно [5], скачок на зависимости $dV/dI-1/I$ свидетельствует о возникновении генерации; по его положению относительно

оси токов определяется I_{Π} , а по положению полочки относительно оси dV/dI (на рис. 2 она несколько искривлена) определяется R_{Π} . Здесь $R_{\Pi} \approx 7.8$ Ом. Представление ВтАХ в виде $IqP - IqI$ удобно тем, что позволяет более детально проследить за поведением спонтанной части излучения, не наблюдаемой на обычной ВтАХ (см. рис. 1).

Таким образом, из анализа рабочих характеристик ОКЛ № 14 следует, что единственным его недостатком является сравнительно большое последовательное сопротивление R_{Π} , равное 7.8 Ом (судя также по наклону до- и послепорогового участков на зависимости $I(dV/dI) - I$, а также по положению полочки на зависимости $dV/dI - I$ относительно оси dV/dI). Столь большое значение R_{Π} и является, по-видимому, причиной наблюдаемой у ОКЛ № 14 нелинейности ВтАХ, т.к. приводит к излишнему его перегреву. Следует отметить, что не смотря на высокие значения R_{Π} (у ОКЛ из этой партии R_{Π} находятся в диапазоне 5-20 Ом) многие ОКЛ имеют линейные ВтАХ вплоть до $P = 50$ мВт.

Из изложенного ясно, что описанная в работе [1] технология позволяет получать ОКЛ с высокими излучательными и электрическими характеристиками, причем электрофизические параметры ОКЛ могут быть значительно улучшены в результате устранения причин, приводящих к большим значениям R_{Π} .

Авторы благодарят А.И. Петрова, В.П. Полторацкого и М.И. Свердлова за помощь, оказанную при выполнении настоящей работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] М е р е у ц е 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 е А.З., П е т р о в А.И., П о л т о р а ц к и й В.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 9. С. 50-54.
- [3] М е р е у ц е А.З., С ы р б у А.В., Я к о в л е в В.П. Труды координационного совещания социалистич. стран по физическим проблемам оптоэлектроники, "Оптоэлектроника-89". Баку. 1989. С. 56.
- [4] А л ф е р о в Ж.И., А н д р е е в В.М., А к с е н о в В.Ю. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1537-1540.
- [5] Е л и с е е в П.Г., К р а с и л ь н и к о в А.И., М а н ь к о М.А. и др. В сб.: Физика электронно-дырочных переходов и полупроводниковых приборов /Под ред. С.М. Рывкина, Ю.В. Шмарцева. Л.: Наука, 1969. С. 131-141.
- [6] B a r n e s P.A., P a o l i T.L. // IEEE J. Quant. Electron. 1976. V. QE-12. N 10. P. 633-639.
- [7] W r i g h t P.D., J o y c e B., C r a f t D.C. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 3. P. 1364-1372.

- [8] Wright P.D. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 1. P. 1720-1724.
- [9] Пузин И.Б., Шерварлы Г.К. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1990. № 19.
- [10] Пузин И.Б., Шерварлы Г.К. // ЭТ, серия 11, Лазерная техника и оптоэлектроника. 1990 (в печати).

Институт полупроводников
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию
10 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

© 1990

12

ПРИМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУР И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК ПРИ СОЗДАНИИ АНОДА ИСТОЧНИКА МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.М. Прохоров, И.Н. Сисакян,
В.Ю. Хомич

Современный уровень микроэлектроники во многом связан с развитием способов субмикронной размерной обработки материалов, один из которых – метод рентгеновской литографии [1, 2].

Разработка и создание высокомошных охлаждаемых анодов, способных длительное время находиться в эксплуатации в условиях интенсивного теплового нагружения, надежных и технологичных в изготовлении, является одной из актуальных проблем рентгенолитографии.

Вопрос тепловой устойчивости анода пытались решить путем создания вращающихся конструкций [1, 3], однако их недостатками являются большие габариты и сложность в изготовлении.

Известны стационарные аноды [4, 5], в которых облучаемая электронным пучком мишень охлаждается проточным теплоносителем, но из-за недостаточно эффективных систем отвода тепла максимально допустимые нагрузки малы и не удовлетворяют современным требованиям.

Помимо системы охлаждения, вторым важным вопросом, стоящим при создании анода, является выбор материала мишени. В работе [5] было предложено изготавливать мишень из алмаза типа „Па“, генерирующего характеристическое излучение на длине волны 44.7 Å (линия K_{α} углерода), к которой высокочувствительны существующие в настоящее время резисты. Однако такие аноды имеют