

ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕРКАЛЬНЫХ ГРАНЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ,
РАБОТАЮЩИХ В ТЕЧЕНИЕ 10 ТЫС. ЧАСОВ

С. А. Алавердян, П. Г. Елисеев, Н. Д. Жуков, А. И. Попов

УДК 621.378.35:621.019

Проведены ресурсные испытания при комнатной температуре непрерывных гетеролазеров на основе $(Al,Ga)As$ в течение 10^4 час. Показано, что в долговечных диодах, незащищенных от действия атмосферы, происходит локальное потемнение торцевых зеркал в месте выхода лазерного потока. Анализ изменений выходной характеристики свидетельствует о росте оптических потерь на зеркале.

Опыт испытаний на долговечность непрерывных гетеролазеров на основе $(Al,Ga)As$ показывает, что по мере устранения очагов объемной деградации активной среды возрастает роль фактора поверхностной деградации. В лазерах, выходящих из строя в течение менее чем 10^3 час, характерной причиной деградации является рост дефектов темных линий, стимулируемый в присутствии исходных дефектов механическими напряжениями, локальным перегревом, интенсивной безизлучательной рекомбинацией, различного рода перегрузками. Минимизация этих факторов ведет к увеличению ресурса до 10^4 час. и более. Обнаружено, что в этом диапазоне сроков испытаний большое значение имеет защита зеркальных граней поверхностными покрытиями /1/. Кроме того, недавно установлено, что приповерхностный слой полупроводника после испытаний гетеролазера обогащается примесью кислорода /2/. Представляет интерес изучение этого явления, препятствующего увеличению ресурса гетеролазеров до $10^5 - 10^6$ час (что можно ожидать на основании экстраполяции результатов испытаний при повышенной температуре /3,4/). В настоящей работе анализируются результаты испытаний гетеролазеров непрерывного действия при комнатной температуре в течение 10^4 час с точки зрения выяв-

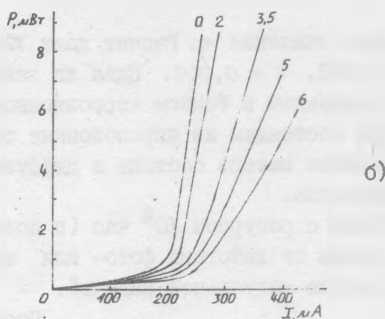
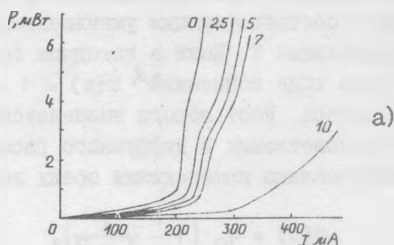
ления фактора поверхностной деградации.

Исследованы гетеролазеры на двухсторонней гетероструктуре $n\text{AlGaAs} - \text{GaAs} - p\text{AlGaAs} - p^+\text{GaAs}$ с толщиной активного слоя 0,2 - 0,6 мкм и пассивных р-слоев не более 3 мкм. Плотность дислокационных ямок травления в подложке составляла около $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$. Образцы гетеролазеров имели полосковую геометрию, полученную путем фотолитографического травления изолирующего слоя SiO_2 . Ширина полоскового контакта составляла 15 - 20 мкм. Контактные поверхности диода металлизировались напылением Ag, Sn, In с n-стороны и Ag, Cr, In с р-стороны. Пайка на полированный медный тепловод (в некоторых случаях предварительно покрытый электролитически пленкой Ni) производилась на воздухе путем кратковременного нагрева до 180 °C. Типичная длина резонатора 200-250 мкм. Образцы, отобранные для испытаний, имели пороговую плотность тока в непрерывном режиме 2,5 - 4,5 кА/см²; непрерывный режим прослежен до 90 °C. Испытания проводились при комнатной температуре 20-25 °C (температура активной среды 30-40 °C). Исходная мощность излучения - 10 мВт.

В процессе работы на зеркалах лазерных диодов, испытываемых в открытой атмосфере без защитных покрытий, наблюдается постепенное потемнение, наиболее интенсивное в области выхода лазерного излучения. Замечено, однако, что потемнение имеет место в меньшей степени вдоль всего выхода узкозонного GaAs-слоя на торцевые зеркала. Остальные области зеркала остаются незатронутыми. Значительное потемнение зеркала, обусловленное возникновением пленки окислов характерно для диодов, прошедших испытание в течение 5-10 тыс. час. Рассмотрим ход деградации выходных характеристик гетеролазеров в течение таких сроков испытаний, показанный на рис. 1 для двух типичных образцов с различными закономерностями. Более распространенный тип поведения представлен на рис. 1а, где видно появление в ходе старения диода перегиба выходной характеристики при мощности $P = 3-4$ мВт. Наличие перегибов этого рода свидетельствует об изменении конфигурации лазерного канала под полосковым контактом. Таким образом, в ходе старения при $P > 3$ мВт происходит существенная модификация распределения электромагнитного поля в активной среде. К числу причин такого изменения, помимо очагов повышенного поглощения в объеме (темных линий и пятен), должны быть привлечены и локальные изменения отражательной

способностей зеркал на торцах диода.

Во втором случае (рис. 1б) имеется более регулярное поведение с монотонным снижением дифференциальной эффективности η лазера и ростом порогового тока I_t (без появления перегибов). Так,



Р и с. 1. Изменение формы выходной (ватт-амперной) характеристики гетеролазера № 1(а) и № 2(б) в ходе испытаний в непрерывном режиме при комнатной температуре; время испытания в тыс. час приведено на рисунке

за 5 тыс. час работы прирост порога составил 20%, а снижение η произошло до 30% исходного значения. Это последнее могло бы произойти вследствие роста распределенных в объеме оптических потерь. Однако согласно проведенной оценке при типичных параметрах активной среды в этом случае должно было бы иметь место увеличение порога примерно в 3 раза, что не подтверждается на опыте. Таким образом, объяснение наблюдаемых изменений следует искать в предположении локального роста потерь. Известно, что рост тем-

ных областей в объеме лазера происходит обычно с характерными временами 10-100 час, тогда как в обсуждаемом случае процесс происходит существенно медленнее. Учитывая явную деградацию торцевых зеркал диода, сведем описание процесса к росту оптических потерь на зеркалах с соответствующим уменьшением коэффициентов отражения R и пропускания T . Если в исходном состоянии $T_0 = 1 - R_0$ ($R_0 = 0,32$), то в ходе испытаний $T(t) = 1 - R(t) - A(t)$, где A - коэффициент потерь. Рост порога вызывается уменьшением R за счет эффекта просветления и диффузного рассеяния. Уменьшение эффективности обусловлено изменениями обеих величин R и A :

$$\eta(t) = \eta_0 \left(1 - \frac{A}{1-R} \right), \quad (I)$$

где η_0 - исходное значение η . Расчет дает для $t = 5$ тыс. час, $A = 0,569$, $T = 0,222$, $R = 0,209$. Едва ли значение $A \approx 0,57$ может быть вызвано поглощением в тонком коррозионном слое на зеркале (предположительно состоящем из широкозонных окислов). По-видимому, основной источник потерь состоит в диффузном рассеянии излучения внутрь кристалла.

В гетеролазерах с ресурсом 10^4 час (и более) эффективная защита торцевых зеркал от действия фото- или электрохимической коррозии является весьма актуальной задачей.

Поступила в редакцию
19 декабря 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Y. Shima, N. Chinone, R. Ito, Appl. Phys. Lett., 31, 625(1977).
2. T. Yuasa, M. Ogawa, K. Endo, H. Yonezu, Appl. Phys. Lett., 32, 119 (1978).
3. R. L. Hartman, R. W. Dixon, Appl. Phys. Lett., 26, 239(1975).
4. W. B. Joyce, R. W. Dixon, R. L. Hartman, Appl. Phys. Lett., 28, 684 (1976).