

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 282 – 286

20 сентября 1970 г.

**ПРОТЯЖЕННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КВАНТОВЫЙ ГЕНЕРАТОР
С ИЗЛУЧАЮЩЕЙ РЕШЕТКОЙ**

О.Н.Прозоров, Л.А.Рислин, С.Д.Якубович

Один из прямых способов повышения мощности когерентного излучения инжекционного полупроводникового квантового генератора (ПКГ) состоит в увеличении площади электронно-дырочного перехода, охва-

ченной процессом стимулированного испускания, как посредством синхронизации колебаний нескольких связанных ПКГ [1–4], так и за счет увеличения длины L резонатора Фабри – Перо. В последнем случае явление насыщения усиления ограничивает L величиной порядка длины насыщения L_n . В области насыщения мощность ПКГ перестает нарастать, так как энергия стимулированного излучения почти полностью расходуется на покрытие распределенных потерь генератора, характеризуемых эффективным коэффициентом затухания α_0 .

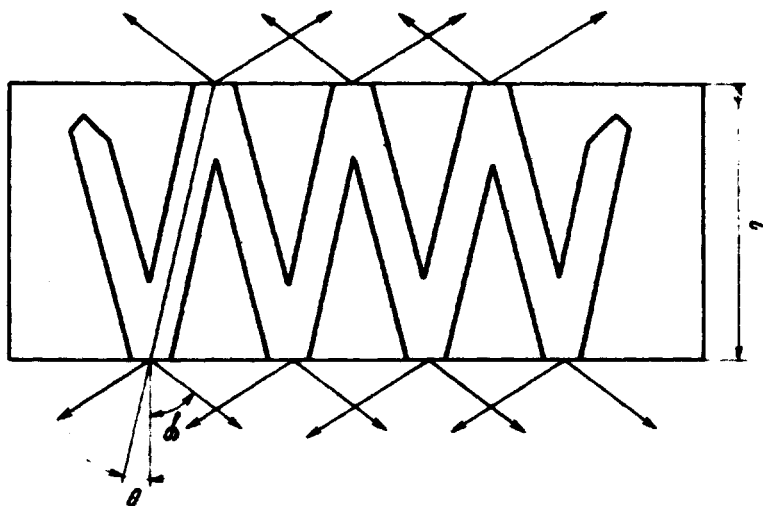


Рис. 1

Ограничение длины L , а следовательно и мощности излучения, можно согласно [5] устранить, если полезную экстракцию энергии излучения из резонатора производить также распределенным образом. При этом эффективность процесса экстракции определяется отношением

$$\eta = \frac{\alpha}{\alpha_0 + \alpha},$$

где α – эффективный коэффициент полезного затухания, вносимого распределенной экстракцией. В эксперименте нет необходимости соблюдать строгую непрерывность экстракции по длине резонатора. Достаточно осуществить в нем последовательность локальных излучающих неоднородностей с шагом $\Delta L < L_n$, а затем произвести когерентное сложение излучения вне резонатора.

Экспериментальный ПКГ из арсенида галлия (рис. 1 и 2) имеет вид зигзагообразной мезаструктуры с диффузионным электронно-дырочным переходом, лежащим в плоскости чертежа. Концы зигзагообразной плоскости шириной в 100 мкм замкнуты призмами полного внутреннего отражения [6]. На вершинах зигзага полоска ограничена отражающими поверхностями, образованными двумя сколами по плоскостям 011 монокристалла. Таким образом поток света, распространяющийся вдоль инжектируемого перехода по зигзагу, встречает на своем пути

под углом падения $\theta \approx 10^\circ 30'$ семь полупрозрачных зеркал с коэффициентами отражения $R_s(\theta) \approx 0,4$ и $R_p(\theta) \approx 0,2$ (для двух поляризаций), которые вносят затухание экстракции с эффективными коэффициентами $\alpha = -(1/\Gamma)\cos\theta \ln R(\theta)$, равными $\alpha_s \approx 10 \text{ см}^{-1}$ и $\alpha_p \approx 19,5 \text{ см}^{-1}$ ($\Delta L = \ell/\cos\theta$, $\ell \approx 800 \text{ мкм}$ — расстояние между сколами).

По отношению к внешнему пространству зеркала образуют в плоскости электронно-дырочного перехода две излучающих решетки с шагом $d = 2\ell \text{ tg } \theta \approx 300 \text{ мкм}$, четыре главных максимума излучения которых лежат под углами к нормали $\phi_k = \pm\phi_0 + \pi k$ ($k = 0, 1$), $\phi_0 = \text{arc sin}(n \sin \theta) \approx 40^\circ 30'$ ($n \approx 3,58$ — показатель преломления арсенида галлия).

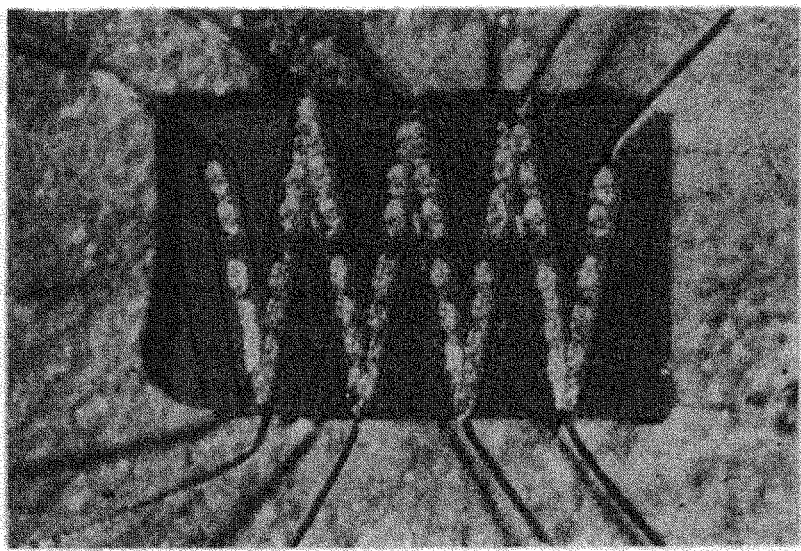


Рис. 2

На рис.3,а представлена полярная диаграмма излучения ПКГ с полушириной около 6° в каждом лепестке, снятая при температуре жидкого азота. Как известно, даже ПКГ с обычным резонатором Фабри — Перо отнюдь не образует регулярной дифракционной картины, а его расходимость в плоскости перехода намного превышает дифракционные пределы. Поэтому, учитывая, что в рассматриваемом эксперименте неоднородности материала и инжекции, неточности изготовления и т.п. могут вносить заметные фазовые искажения, трудно было бы ожидать четкую интерференционную картину с числом максимумов, соответствующим числу периодов решетки. Тем не менее налицо заметное сужение диаграммы направленности по сравнению с контрольными ПКГ, обычной конфигурации, изготовленными в едином технологическом цикле из той же пластины арсенида галлия.

Следует заметить, что с помощью элементарных приемов можно свести все четыре луча ПКГ вместе. Можно также сделать отражающее покрытие с $R = 1$ на одном из сколов ПКГ.

Зависимость интенсивности излучения от плотности тока инжекции (рис.3,б) носит четко выраженный пороговый характер и аналогична той же зависимости для контрольного ПКГ (пунктир). Полная мощность излучения во всех четырех лепестках превосходит мощность излучения контрольного ПКГ при равных плотностях тока инжекции более, чем в отношении инжектируемых площадей переходов (в данном случае приблизительно впятеро). Наибольшая зарегистрированная мощность превышала 10 вт в импульсе, что несомненно не является пределом.

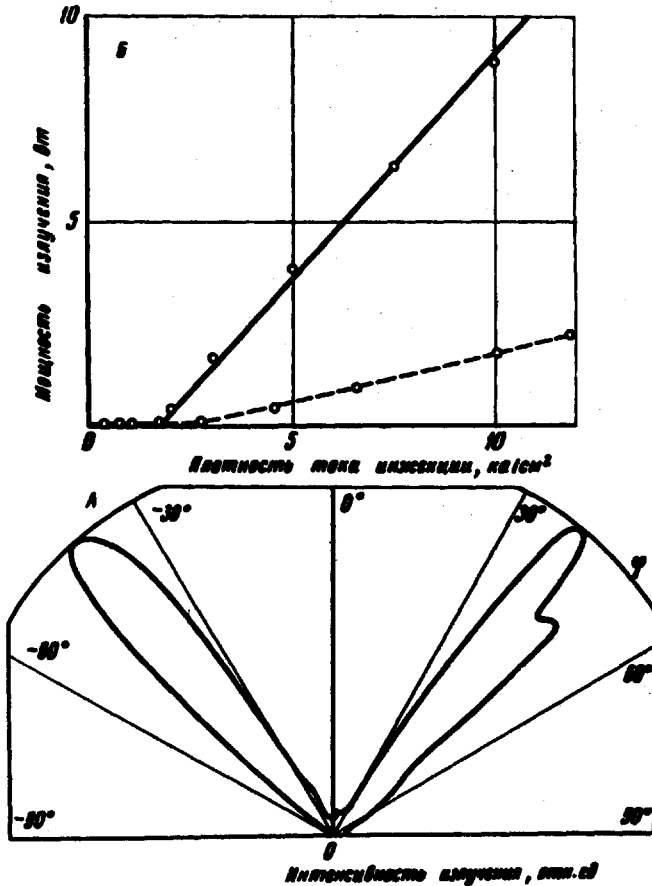


Рис. 3

Полная длина резонатора между концевыми призмами $L \approx 6000$ мм достаточно велика для превращения дискретного спектра продольных мод в континуальный в силу условия

$$L > [2n(a_0 + a)]^{-1} = \frac{\eta}{2na}$$

Поэтому спектр излучения не имеет обычной модовой структуры, а центральная частота линии определяется положением максимума коэффициента отрицательного поглощения, как в лазере с нерезонансной

обратной связью [7]. Полуширина линии излучения, измеренная с помощью спектрофотометра ДФС-12 при плотности тока 4000 а/см^2 , составляет около 5 А. Спектры всех излучающих площадок идентичны.

Распределенный характер экстракции излучения из резонатора открывает возможность дальнейшего увеличения числа периодов излучающей решетки и соответствующего повышения мощности когерентного излучения, сужения его спектра и диаграммы направленности без увеличения плотности тока инжекции, а также тепловых и радиационных нагрузок на кристалл. На этом пути в настоящее время усматриваются, по-видимому, только технологические, но не физические ограничения.

Поступила в редакцию
27 июля 1970 г.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, Э.М.Беленов, В.С.Летохов. ФТТ, 7, 337, 1965.
 - [2] W.F.Kosonocky et al. IEEE J Quant. Electron., QE-4, 176, 1968.
 - [3] J.W.Crowe, W.E.Ahearn. IEEE J. Quant. Electron. QE-4, 169, 1968.
 - [4] R.Vuilleumier et al. Proc. IEEE, 55, 1420, 1967.
 - [5] Л.А.Ривлин. Электронная техника. Электроника СВЧ, серия 1, № 6, 93, 1967.
 - [6] А.С.Добкин и др. ФТТ, 4, 613, 1970.
 - [7] Р.В.Амбарцумян, Н.Г.Басов, П.Г.Крюков, В.С.Летохов. Письма в ЖЭТФ, 3, 261, 1966; ЖЭТФ, 51, 724, 1966.
-