

Письма в ЖЭТФ, том 9, стр.516-520

5 мая 1969 г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ИНЖЕКЦИОННОГО
ЛАЗЕРА НА GaAs В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ**

В.В.Никитин, А.С.Семенов, В.П.Страхов

Исследование динамики излучения полупроводниковых лазеров на Ga As, работающих в импульсном режиме генерации, показало, что излучение диодов состоит из последовательности коротких световых импульсов с периодом и длительностью $\sim 10^{-9} - 10^{-11}$ сек [1-4].

Наличие пульсаций интенсивности в излучении лазерных диодов, работающих в непрерывном режиме [5], доказывает, что пиковый режим излучения устанавливается вследствие нелинейного поглощения излучения в активной области диода, а не за счет нестационарности импульса инжектируемого тока.

Нами была исследована динамика излучения ряда диодов с пороговой плотностью $600-800 \text{ а/см}^2$ при охлаждении их жидким азотом. Временная структура излучения исследовалась при помощи электронно-оптического преобразователя (ЭОП) с временной разверткой [6]. Временное разрешение прибора составляло $\approx 3 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$. Увеличенное изображение диода фокусировалось на катод ЭОП, таким образом на экране прибора можно было различать отдельные области $p-n$ -перехода, размерами порядка 40 мк . Наблюдение ближнего поля излучения диодов показывает, что лазеры излучают отдельными областями.

Наиболее характерной картиной развития генерации в диодах, работающих в непрерывном режиме, является отсутствие пульсаций интенсивности в излучении каналов, имеющих самый низкий порог генерации, даже при значительном превышении порога. Вместе с тем наблюдается появление пиков в излучении каналов, порог генерации которых существенно (в 1,5–2 раза) выше порога генерации диода. Таким образом, наличие потерь излучения в каналах приводит к заметному повышению порога генерации в них и установлению пульсирующего режима излучения. Пички, излучаемые каналами с высоким порогом, в основном регулярны и похожи на пички, излучаемые двойными диодами при неоднородном возбуждении. На рис. 1 представлена осциллограмма излучения диода в непрерывном режиме, сфотографированная с экрана ЭОП. а. Превышение тока инжекции над пороговым значением равно 1,9.

Следует отметить, что иногда наблюдаются пульсации излучения, возникающие уже при небольшом (5–10%) превышении порога. Такие пички нерегулярны, при увеличении тока инжекции их средний период и длительность сокращаются. Зависимость среднего периода этих пульсаций от тока аналогична зависимости, определенной в [4] для одинарных диодов, работающих в импульсном режиме.

Спектральные исследования излучения лазерных диодов, работающих в непрерывном режиме, проводились при помощи спектрометра с разрешением $\approx 0,5 \text{ \AA}$. При небольшом превышении порога, когда излучение диодов стационарно во времени, полуширина спектра излучения составляет $2-5 \text{ \AA}$, причем дискретных линий в спектре, соответствующих модам резонатора лазера, не наблюдается. Режиму излучения регулярных пульсаций соответствует начало генерации нового лазерного канала, излучающего спектральную линию, смещенную на $10-15 \text{ \AA}$ в сторону коротких длин волн относительно прежнего спектра. Полуширина спектра излучения нового канала составляет также несколько ангстрем. Излучение каналами, работающими в режиме генерации регулярных пульсаций, более коротковолнового спектра свидетельствует в пользу того, что такие каналы имеют значительные поглощающие области.



Рис.1. Оциллограмма излучения диода в непрерывном режиме, сфотографированная с экрана электронно-оптического преобразователя. Превышение тока инжекции над пороговым значением ($I/I_{\text{пор}}$) равно 1,9. Длительность развертки 10 нсек

Одновременная генерация пиков с небольшим временным запаздыванием из соседних близкорасположенных каналов может приводить, по-видимому, к появлению на оциллограммах сверхкоротких пиков с периодом $0,05 \div 0,1 \text{ нсек}$, наблюдавшихся ранее в работе [4]. Режим излучения сверхкоротких пиков иногда предшествует появлению регулярных пульсаций. На рис. 2 представлены оциллограммы излучения диода при различных токах инжекции, иллюстрирующие возникновение сверхкоротких пульсаций. На оциллограмме *a* показано стационарное излучение диода при превышении порога генерации в 1,6 раза. Оциллограмма *б* соответствует режиму генерации сверхкоротких пиков при превышении порога генерации в 2 раза. При дальнейшем увели-

чении тока накачки за счет большего взаимодействия между соседними каналами происходит синхронизация излучения каналов [7] и устанавливается режим одновременной генерации пиков, период которых в несколько раз больше периода сверхкоротких пиков (осциллограмма *в*, превышение тока инжекции над пороговым значением равно 2,2). Уширенный спектр излучения исследованных диодов свидетельствует о том, что сверхкороткие пики могут генерироваться соседними взаимодействующими каналами, расположенными в одной излучающей области, спектральные линии которых перекрываются.

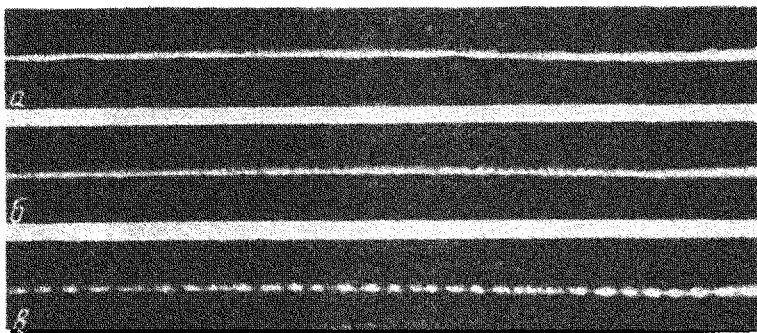


Рис.2. Осциллограммы, иллюстрирующие различные режимы работы диода: *а* – стационарное излучение диода, $I/I_{\text{пор}} = 1,6$; *б* – режим генерации сверхкоротких пиков, $I/I_{\text{пор}} = 2$; *в* – режим генерации регулярных пиков, $I/I_{\text{пор}} = 2,2$. Длительность развертки 10 нсек

Временная структура и спектральный состав излучения исследованных диодов мало отличаются при работе в непрерывном режиме генерации от характеристик излучения в импульсном режиме. В обоих режимах работы регулярные пульсации появляются при установлении генерации в канале излучения с высоким порогом генерации.

Таким образом, исследования динамики излучения диодов, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах, показывают, что основным механизмом, определяющим появление пульсаций, является нелинейное поглощение излучения участками в активной области диода, возникающими вследствие неравномерности распределения тока инжекции или оптической неоднородности самого *p-n* перехода.

Авторы выражают благодарность В.Н.Морозову за обсуждение полученных результатов.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 марта 1969 г.

Литература

- [1] В.Д.Курносков, В.И.Магальяс, А.А.Плешков и др. Письма в ЖЭТФ, 4, 449, 1966.
 - [2] Ю.А.Дрожбин, Ю.П.Захаров, В.В.Никитин и др. Письма в ЖЭТФ, 5, 180, 1967.
 - [3] Н.Г.Басов, В.Н.Морозов, В.В.Никитин, А.С.Семенов. ФТП, 1, 1570, 1967.
 - [4] Ю.П. Захаров, И.Н.Компанец, В.В.Никитин, А.С.Семенов, ФТП, 3, № 6, 1969.
 - [5] L.A.D'Asaro, J.M.Chervov, T.L.Paoli. IEEE J. of Quant. Elec., QE-4, 164, 1968.
 - [6] Ю.А.Дрожбин, В.В.Никитин, А.С.Семенов и др. Измерительная техника, 11, 92, 1966.
 - [7] Von Ch.Deutsch. J.Hatz. Z. angew. Math. Phys., 18, 599, 1967.
-