

06.2;06.3;07

©1994

РЕЖИМ РЕГУЛЯРНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ В ЛАЗЕРАХ С ДВУМЯ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ

А.А.Афоненко, В.К.Кононенко, И.С.Манак

С использованием квантоворазмерных лазеров появляются новые возможности управления спектральным составом и временными характеристиками излучения. Особыми свойствами обладают лазерные структуры с квантовыми ямами разной ширины [1,2]. В лазерах с двумя квантовыми ямами наблюдается устойчивая генерация на одной или двух далеко отстоящих частотах [3]. Анализ работы таких лазеров показывает, что, подобрав параметры гетероструктуры, можно реализовать бистабильный режим включения. В данном сообщении рассмотрен еще один возможный режим их действия — генерация регулярных пульсаций излучения.

Положение уровней подзон и, соответственно, соотношение частот оптических переходов в активных слоях асимметричной лазерной структуры регулируется как составом материала в квантовых ямах и эмиттерных барьерах, так и их шириной. В структуре, зонная диаграмма которой показана на вставке к рис. 1, генерация может осуществляться на двух длинах волн λ_1 и λ_2 , связанных с излучением в разных квантовых ямах 1 и 2. При этом более коротковолновое излучение на длине волны λ_2 либо усиливается в более широкой квантовой яме 1, либо поглощается в ней в зависимости от условий накачки.

Кинетика генерации данной системы описывается стандартными скоростными уравнениями:

$$\frac{dn_i}{dt} = \frac{\eta'_i j}{e} - \frac{R_{li}}{\eta_{li}} - \sum_{j=1,2} v g_i(\lambda_j) S_j, \quad (1)$$

$$\frac{dS_j}{dt} = \sum_{i=1,2} v g_i(\lambda_j) S_j - v k_{nj} S_j + \sum_{i=1,2} \delta_j R_{li}. \quad (2)$$

Здесь n_i — поверхностная концентрация электронов в квантовой яме с номером i , S_j — поверхностная плотность фотонов для j -й генерирующей моды, j — плотность тока, η'_i — инжекционная эффективность для соответствующей активной области (причем, $\eta'_1 + \eta'_2 \leq 1$), R_{li} — поверхностная скорость спонтанной рекомбинации, η_{li} — квантовый выход

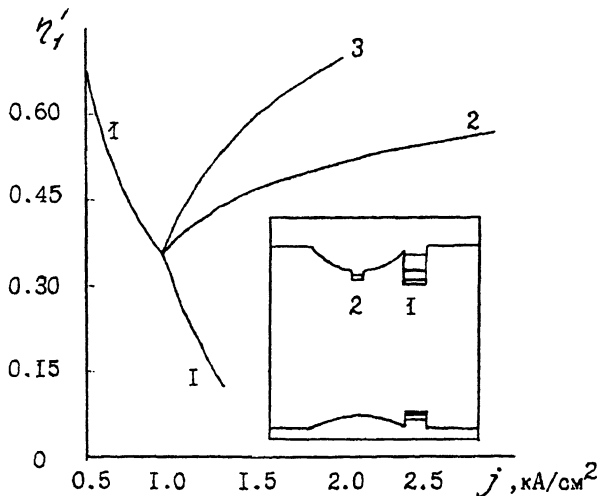


Рис. 1. Области существования различных режимов генерации в лазерах с квантовыми ямами, 1 — пороговая кривая, 2 — граница области устойчивости, 3 — граничная кривая жесткого возбуждения моды λ_2 , $K_{n1} \approx K_{n2} \approx 35 \text{ см}^{-1}$. На вставке показан энергетический спектр структуры, широкая квантовая яма 1 примыкает к эмиттеру n -типа, узкая яма 2 расположена со стороны p -типа.

люминесценции, δ_j учитывает вклад спонтанных мод в генерируемое излучение, v — скорость света. Коэффициенты усиления мод в i -й квантовой яме на длинах волн λ_j ($j = 1, 2$) представляются в виде $g_i(\lambda_j) = \Gamma_i k_i(\lambda_j)$, а коэффициент потерь полагается равным k_{nj} . Здесь дисперсия параметра оптического ограничения волновода Γ_i и коэффициент потерь k_{nj} не учитывается. Спектр усиления, описываемый коэффициентом $k_i(\lambda_j)$, рассчитывается в модели прямых переходов.

Как известно из [4], режим незатухающих пульсаций излучения получается, когда стационарное решение системы уравнений (1) и (2) неустойчиво. Проведенный анализ устойчивости решения по Ляпунову позволил установить на основании критерия Рауса-Гурвица [5] условия реализации того или иного режима.

Неустойчивый режим генераций возникает, когда в более широкой квантовой яме 1 происходит поглощение излучения на длине волны λ_2 . При этом процесс генерации носит автоколебательный характер. Кроме незатухающих колебаний, могут наблюдаться обычные релаксационные пульсации излучения. Можно реализовать также жесткий режим включения лазера.

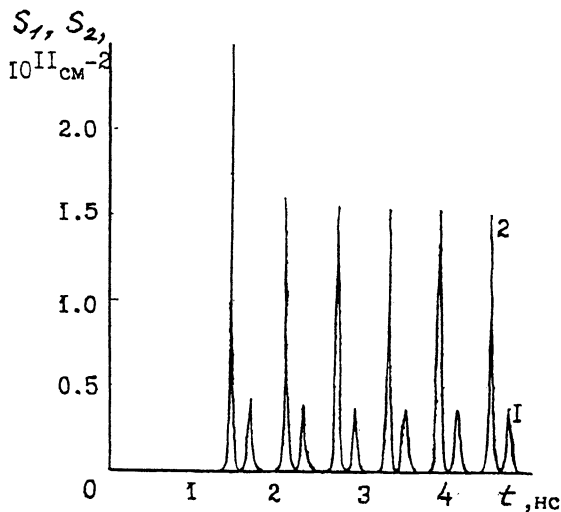


Рис. 2. Одновременная генерация на двух длинах волн λ_1 и λ_2 . $\eta'_1 = 0.2$, $j = 1.8$ кА/см², $K_{п1} \approx K_{п2} \approx 35$ см⁻¹.

Различные области работы квантоворазмерных лазеров с асимметричной структурой иллюстрируются на рис. 1. Если порог генерации излучения на длине волны λ_1 не достигается, лазер работает на одной моде с длиной волны λ_2 . В этом случае для широкого набора величин η'_1 и j выполняются условия стационарной генерации. Однако суммарное усиление моды $g_1(\lambda_2) + g_2(\lambda_2)$ немонотонно зависит от плотности фотонов S_2 . В результате включение лазера осуществляется в жестком режиме. С уменьшением тока срыв генерации происходит при меньших, чем порог, токах. Поэтому возникает гистерезис на ватт-аперной характеристике.

Область регулярных пульсаций охватывает значительный интервал значений η'_1 и j при достаточно высокой добротности резонатора, когда возникает генерация на длине волны λ_1 . На рис. 1 эта область расположена между нижней ветвью пороговой кривой 1 и границей устойчивости генерации 2. Между верхней ветвью пороговой кривой 1 и кривой 3 лазер работает на одной моде λ_1 , а при пересечении кривой 3 с увеличением тока накачки реализуется жесткое возбуждение моды λ_2 . Это связано с тем, что квантовая яма 1 служит нелинейным поглотителем излучения на длине волны λ_2 .

При одновременной генерации двух мод поглощение в квантовой яме 1 излучения более интенсивной моды λ_2 конкурирует с процессом сброса населенности из-за генерации моды λ_1 . Это приводит к сдвигу по времени пульсаций из-

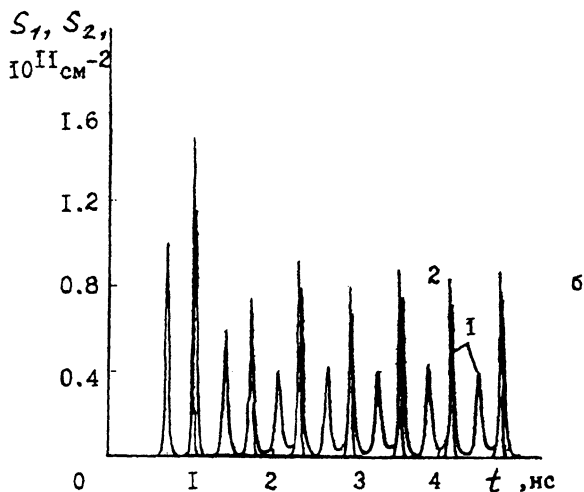
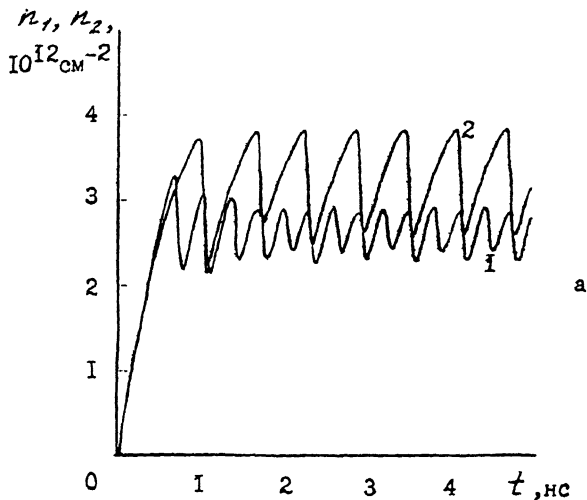


Рис. 3. Модулированные колебания населенностей в квантовых ямах 1 и 2 (а) и соответствующие пульсации излучения на двух длинах волн (б), $\eta_1 = 0.5$, $j = 2.0$ кА/см², $K_{п1} \approx K_{п2} \approx 35$ см⁻¹.

лучения на этих модах (рис. 2). Кроме того, периоды следования импульсов излучения мод могут заметно отличаться друг от друга, и наблюдается модуляция населенностей в ямах (рис. 3, а) и интенсивности пульсаций (рис. 3, б).

Таким образом, нелинейное взаимодействие генерируемого излучения с квантовыми ямами разной ширины в условиях неравномерной инжекции приводит к характерным ре-

жизим генерации. Кроме обычного релаксационного установления генерации, возможен бистабильный жесткий режим включения лазера, режим регулярных незатухающих пульсаций на двух длинах волн, а также генерация импульсов с модулированной интенсивностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Фундаментальных исследований Республики Беларусь (проект № 301).

Список литературы

- [1] *Копоненко В.К.* // Тез. докл. III Междунар. конф. "Физические проблемы оптической связи и обработки информации". Севастополь, 1992. С. 53.
- [2] *Копоненко В.К.* // Proc. SPIE. 1992. V. 1724. P. 89-101.
- [3] *Ikeda S., Shimizu A.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. N 5. P. 504-506.
- [4] *Ханин Я.И.* Динамика квантовых генераторов: Квантовая радиофизика. Т. 2. М., 1975.
- [5] *Андреев В.С.* Теория нелинейных электрических цепей. М., 1982.

Институт физики
им. Б.И. Степанова
АН Беларуси, Минск

Поступило в редакцию
21 сентября 1993 г.