

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО УСТРОЙСТВА ПОНИЖЕННОЙ РАЗМЕРНОСТИ ИЗ ДВУХ ПЛАНАРНЫХ АКТИВНЫХ ПЛЁНОК

Е. В. Тимощенко, В. А. Юревич, Ю. В. Юревич

(Учреждение образования «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова»,
кафедра математики и информатики)

Сформулирована расчетно-теоретическая модель лазера, образованного усиливающим и просветляющимся тонкими слоями, на основе которой численно проанализирована временная структура интенсивности выходного излучения.

На протекание физических процессов, обеспечивающих синхронизацию мод в лазерах, излучающих одиночные импульсы или серии импульсов существенное влияние оказывают конструктивные особенности устройств обратной связи. Для стабильного получения серий контрастных световых импульсов субпико- и пикосекундной длительности требуется применять высокотехнологичные лазерные системы [1]. Особые перспективы в миниатюризации лазеров с пассивными модуляторами добротности в устройствах передачи информации связаны с возможностью использования квантоворазмерных полупроводниковых структур в качестве материалов для модуляторов [2]. В разрабатываемых устройствах скоростной обработки информации применяются вертикально излучающие лазеры. Их усиливающий элемент имеет вид равномерно излучающего с поверхности планарного слоя, который ограничен зеркалами и может соединяться с электронной интегральной схемой [3]. В схеме обратной связи возможна замена зеркал резонансными планарными слоями, нелинейно отражающими и просветляющимися в полосе частот усиления активного элемента.

В настоящей работе предложена схема расчета динамики такого устройства в предположении, что толщина слоев значительно меньше длины волны излучения, то есть при допущении однородного светового поля в элементах лазерного устройства. Помимо того, среды слоев рассматриваются как плотные резонансные, то есть как обладающие относительно сильным нелинейным откликом на резонансное излучение. Также учтена конечность времен релаксации поляризованности и разности населенностей с динамикой, обусловленной накачкой и вынужденным излучением.

Задача аналогична рассматриваемой, например, в работе [4] ситуации с двухкомпонентными объемными активными средами. Одна из сред – инверсная, вторая – резонансно поглощающая в том же диапазоне частот. Оригинальность модели представляет именно учет относительно высокой плотности атомных дипольных центров в тонкопленочных элементах системы, образующих активные составляющие лазерной схемы, в средах которых особо значим эффект диполь-дипольного взаимодействия.

Соотношения для полей и материальные уравнения в используемой модели для анализируемой физической ситуации образуют аналог оптических уравнений Максвелла – Блоха. Формулируемая кинетическая система нелинейных дифференциальных уравнений записывается для нормированных амплитуд напряженности полей e_1, e_2 , а также вероятностных переменных материального отклика – комплексных амплитуд резонансной поляризованности ρ_1, ρ_2 и разностей населенности n_1, n_2 (индексы 1, 2 соответственно относятся к среде с инверсией и к среде с резонансным поглощением):

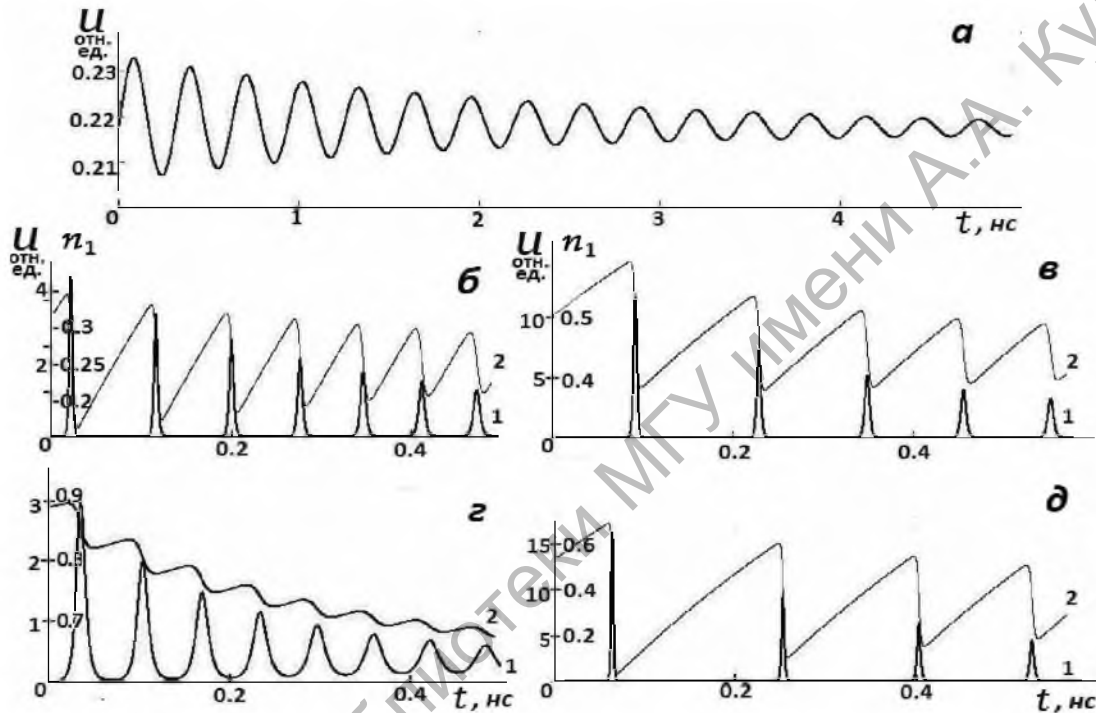
$$\begin{aligned} e_1 &= (1-r)\mu_{12}e_2 - \kappa_1\rho_1, \quad \mu_{12}e_2 = (1-r)e_1 + \kappa_2\rho_2, \\ \frac{d\rho_1}{d\tau} &= n_1e_1 - (1-i\gamma\kappa_1n_1)\rho_1, \\ \frac{dn_1}{d\tau} &= \frac{\alpha - n_1}{\tau_{21}} - \frac{1}{2}(\rho_1^*e_1 + \rho_1e_1^*), \\ \frac{d\rho_2}{d\tau} &= \mu_{12}n_2e_2 - [1 - i(\Delta\omega + \gamma\kappa_2n_2)]\rho_2, \\ \frac{dn_2}{d\tau} &= \frac{1 - n_2}{\tau_{22}} - \frac{\mu_{12}}{2}(\rho_2^*e_2 + \rho_2e_2^*). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь κ_1, κ_2 – показатели усиления и резонансного поглощения, τ_{21}, τ_{22} – относительные времена продольной релаксации в обеих средах, $\Delta\omega$ – линейная отстройка резонанса поглощения от частоты генерации, γ – нормирующий множитель в компонентах, возникающих при учете ближних полей диполей применением локальной поправки Лорентца и характеризующих автомодуляционное смещение (нелинейную отстройку) резонансов усиления и насыщаемого поглощения, μ_{12} – отношение средних дипольных мо-

ментов активных центров. Время масштабируется по временному параметру поперечной релаксации в инверсном слое T_{21} .

В порядке проведения численного эксперимента, выясняющего условия генерации и ее временную структуру, на основе предложенной схемы расчета проведено компьютерное моделирование процесса вынужденного излучения в системе из пленок с различием параметров релаксации. Система (1) интегрировалась методом Рунге-Кутты для случая усиления слабого сигнала и выполнения условий генерации в усиливающем слое. Спектральные характеристики высвечиваемого поля и материальные параметры, определяющие значения коэффициентов (1), избраны для сред полупроводниковых квантоворазмерных структур.

На рисунке приведены типичные рассчитанные временные развертки нормированной интенсивности излучения $u(t) = |e_1|^2$. В данных вариантах расчета ее структура проявляет осцилляции со снижением их пиковой мощности и общим затуханием к некоторому стационарному уровню.



Зависимости нормированной интенсивности генерируемого излучения и инверсии

(кривые 2 на фрагментах б - д) от времени

$\alpha = 1.05$ (а), 1.1 (б), 1.2 (в-д), $\kappa_1 = 1.02$, $\kappa_2 = 0$ (а), $\kappa_1 = 1.08$, $\kappa_2 = 1.1$ (б-д),

$\Delta\omega = -0.5$ (а-в), 0 (в), 0.5 (д), $\tau_{12} = 1.0 \cdot 10^3$ (а, б), $\tau_{22} = 5.0 \cdot 10^3$, $\gamma = 1.17$

Решения (1) при данном соотношении параметров лазера выражают сценарий перехода к непрерывному режиму излучения-пульсации должны иметь релаксирующий характер. Существование осцилляций является результатом различия времен (вероятностей) релаксации в каналах накачки, вынужденного излучения и резонансного поглощения. В отсутствие последнего контраст осцилляций крайне слаб (рисунок, а). Амплитуда, контраст и скважность релаксационных пульсаций определяются уровнем накачки (фрагменты б, в рисунка), а также значением нормированной линейной отстройки центральной частоты спектральной линии поглощения по отношению к частоте генерации (фрагменты в - д).

Литература

1. Keller, U. Recent developments in compact ultrafast lasers / U. Keller // Nature. – 2003. – Vol. 424. – P. 831–838.
2. New role for nonlinear dynamics and chaos in integrated semiconductor laser technology / M. Yousefi [et al.] // Phys. Rev. Lett. – 2007. – Vol. 98, № 4. – P. 044101-1–044101-4.
3. Vertical-external-cavity semiconductor lasers / A. C. Tropper [et al.] // J. Phys. D. – 2004. – Vol. 37, № 9. – P. R75–R85.
4. Глазунова, Е. В. Самопульсации интенсивности вертикально излучающего лазера / Е. В. Глазунова, Д. М. Шилко, В. А. Юревич // Веснік Магілёўскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. А. Куляшова. – 2006. – № 1(23). – С. 167–173.