

Неустойчивость излучения в квантоворазмерных структурах из квантовых точек при учете ближних дипольных взаимодействий

Е. В. Тимощенко^а, В. А. Юревич^б, Ю. В. Юревич^б

^а УО «МГУ им. А.А. Кулешова», Могилев, Беларусь

^б УО «МГУП», Могилев, Беларусь; e-mail: mgup@mogilev.by

Проведен численный анализ динамики генерации в квантоворазмерных структурах с учетом фазового эффекта, обусловленного влиянием ближних полей дипольных частиц. Указано на возможность развития автомодуляционного режима излучения в виде серии регулярных контрастных импульсов.

Ключевые слова: резонансная нелинейность, диполь-дипольное взаимодействие, автоколебания.

Введение

Благодаря формированию экситонных зон энергии полупроводниковые образования, представляемые структурой из квантовых точек, могут обладать сильной резонансной нелинейностью, которая проявляется в возможности наблюдения когерентных оптических эффектов [1, 2]. Полупроводниковые наноструктуры обладают связанными с экситонными переходами большими дипольными моментами: их величина составляет несколько десятков Дебай [2], поэтому в системах квантовых точек следствия ближнего дипольного взаимодействия могут быть значительными [3]. В предлагаемом сообщении приведены результаты анализа его влияния на динамику генерации излучения в подобных системах.

1. Модель и основные уравнения

Динамическая модель полупроводникового лазера, в рамках которой может быть описан энергообмен между квазирезонансным излучением и средой, представленной структурой из квантовых точек, основана на сосредоточенной балансной схеме. В этой схеме действующее на активные центры и определяющее нелинейный отклик среды плосковолновое световое поле включает характерную при учете влияния ближних полей диполей лоренцовскую поправку. Представление резонансной поляризованности помимо прямой резонансной компоненты содержит квазирезонансную — ее присутствием учтено различие поляризуемости на уровнях перехода, что дает возможность ввести в рассмотрение резонансную нелинейную рефракцию. Изменение эффективного показателя преломления структуры, вызывающее сдвиг частоты, тогда зависит от резонансной вариации инверсии с коэффициентом, пропорциональным фактору Хенри. В результате адиабатического исключения резонансной поляризованности формулируются скоростные уравнения, записанные для усредненных переменных комплексной амплитуды $A(\tau)$ и инверсии $n(\tau)$ (амплитуда $A(\tau)$ нормирована по амплитуде действующего поля, соответствующей насыщению, время τ — по времени жизни экситонов):

$$\frac{dA}{d\tau} = \frac{1}{\tau_\phi [1 + \beta c(n - n_0)/3\omega]} \left\{ \frac{\kappa n}{1 + \Delta^2} - \frac{\beta}{3} \frac{dn}{d\tau} - \rho + i \left[\frac{\kappa \Delta n}{1 + \Delta^2} + \beta(n - n_0) \right] \right\} A, \quad (1)$$
$$\frac{dn}{d\tau} = \alpha - n - \frac{n |A|^2}{1 + \Delta^2}, \quad \Delta = (\omega - \omega_0)/\gamma.$$

Здесь τ_ϕ — нормированное время жизни фотонов, ω — несущая частота поля, κ — ненасыщенный коэффициент усиления, β — параметр нелинейной рефракции, ρ —

коэффициент нерезонансных потерь, α – параметр скорости накачки (по отношению к пороговому уровню), n_0 – начальная инверсия, Δ – нормированная по ширине линии генерации γ отстройка частоты от центра линии ω_0 . Отметим, что в отличие от известных кинетических систем изменение действительной части амплитуды в (1) зависит от скорости изменения инверсии – соответствующая компонента возникает при учете ближних полей диполей и квазирезонансной поляризуемости активных центров.

2. Результаты численного моделирования

Были проведены многократные расчеты динамики генерации для параметров системы (1), перекрывающихся с характеристиками реальных лазерных устройств (см., например, [1, 2]). Начальные условия для $n(\tau)$ и $A(\tau)$ соответствовали выполнению пороговых условий генерации при крайне низких (ненулевых) значениях интенсивности.

Характерные варианты расчета временной развертки решений (1) для нормированной интенсивности $S = |A(\tau)|^2$ приведены на рис. 1. Довольно типичная картина пульсаций (рис. 1, а), быстро затухающих к стационарному уровню интенсивности, выше определенного уровня накачки сменяется автоколебательной структурой (в наносекундном диапазоне) в виде серии контрастных незатухающих импульсов (рис. 1, б), свидетельствующей о возможности автомодуляционной роли ближних полей.

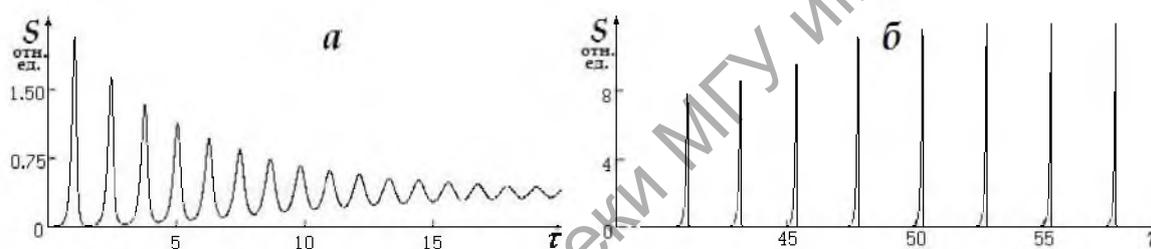


Рис. 1. – Зависимость интенсивности действующего поля от времени:
 $\alpha = 1.62$ (а), 1.78 (б), $\kappa/\tau_\phi = 120$, $\beta/\kappa = 2.0$, $\Delta = 0.5$ (диапазон $\tau \approx$ в наносекундах)

Литература

1. G. Panzarini, U. Hohenester, E. Molinari. Self-induced transparency in semiconductor quantum dots. Phys. Rev. B. 2002. Vol. 65, No. 16. P. 165322-1–165322-6.
2. P. Borri [et al.]. Rabi oscillations in the excitonic ground-state transition of InGaAs quantum dots. Phys. Rev. B. 2002. Vol. 66, No. 8. P. 081306-1–081306-4.
3. А.Е. Каплан, С.Н. Волков. Поведение локальных полей в нанорешетках из сильно взаимодействующих атомов: наностраты, гигантские резонансы, «магические» числа и оптическая бистабильность. УФН. 2009. Т. 179, № 5. С. 539–547.

Instability of radiation in quantum-well structures formed by quantum dots at the account near dipole interactions

E. V. Timoschenko^a, V. A. Yurevich^b, Yu. V. Yurevich^b

^a Mogilev State University, Mogilev, Belarus

^b Mogilev State University of Food, Mogilev, Belarus; e-mail: mgup@mogilev.by

The computing modeling of generation dynamics in quantum-well laser structures with taking into account the phase effect caused by influence of near fields of dipole particles is conducted. It is specified a possibility of automodulation mode arising on radiation in the form of regular series of self-sustained pulses.

Keywords: resonant nonlinearity, dipole-dipole interaction, intensity self-pulsations.