

СТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ СВЕТОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С КВАДРАТИЧНОЙ ФАЗОВОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Марченко И. В., Юревич В. А., Юревич Ю. В. (Учреждение образования «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова»,
кафедра математики и информатики)

Аннотация. Получена формулировка условия бистабильности и гистерезиса в зависимости от характеристик равновесного состояния светодинамической системы с учетом квадратичного Штарк-эффекта.

1. Нелинейные светодинамические системы могут быть образованы уравнениями Блоха для вероятностных переменных, которые характеризуют резонансный отклик атома – резонансную поляризованность и разность населенностей уровней одного из переходов в энергетической структуре активных атомов. Плосковолновое световое поле, настроенное в резонанс с данным переходом, во взаимодействии с ансамблем атомов, представляемых двухуровневыми диполями, может описываться классически. Для описания переходных процессов в подобной схеме формулируется нелинейная система оптических уравнений Максвелла – Блоха [1]. Может быть рассмотрен ее вариант в предположении однородного поля (действующего в среде), что типично для сверхтонкого слоя. Одна из приведенных ниже модификаций схемы, полученная в квазистационарном приближении, в нормированном времени τ описывает динамику энергообмена нормированного свето-

вого поля $e(\tau)$ с подобным слоем (пленкой) резонансной среды при учете высокой концентрации образующих слой дипольных частиц (атомов, ионов или экситонов):

$$\frac{d\rho}{d\tau} = \frac{1}{\tau_{12}} \left[n e - \rho + i(\Delta\omega + \kappa\gamma n + \alpha e^* e) \rho \right], \quad \frac{dn}{d\tau} = 1 - n - \frac{1}{2}(\rho^* e + \rho e^*), \quad (1)$$

$$e = e_i(\tau) - \kappa\rho, \quad |\rho|^2 \tau_{12} \leq 1, \quad -1 \leq n \leq 1,$$

1. Здесь ρ и n – материальные переменные комплексной поляризованности и разности населенности, $\Delta\omega$ – дефект резонанса (нормированная линейная отстройка частоты), $e_i(\tau)$ – внешнее поле (фактор возбуждения), κ , γ , и τ_{12} – материальные параметры, α – коэффициент фазовой нелинейности.

Для представления вероятностной переменной комплексной поляризованности $\rho = R + iS$ система (1) записывается в таком виде:

$$\begin{aligned} \tau_{12} \frac{dR}{d\tau} &= n e_i - (1 + \kappa n) R - \Delta S, & \tau_{12} \frac{dS}{d\tau} &= \Delta R - (1 + \kappa n) S, \\ \frac{dn}{d\tau} &= 1 - n - e_i R + \kappa(R^2 + S^2), & \Delta &= \Delta\omega + \kappa\gamma n + \alpha e^* e. \end{aligned} \quad (2)$$

1. В этой записи системы обнаруживается, что нелинейная отстройка фазы образована двумя компонентами, учитывающими, соответственно, влияние ближних полей диполей (лорентцову поправку локального поля с коэффициентом γ) и квадратичное смещение с коэффициентом α , физически обоснованное учетом оптического (квадратичного) эффекта Штарка. Решения неавтономной системы (2) имеют определенный физический смысл при начальных условиях $R(0) = S(0) = 0$, $n(0) = 1$. Резонансная поляризация в среде слоя и вызванное поляризацией переизлучение, составляющее резонансную часть отраженного поля $e(\tau)$, создается полем e_i .

При относительно медленно меняющемся (по отношению к времени τ_{12}) уровне возбуждения $e_i(\tau)$ в системе (2) при учете линейной и нелинейной отстройки возможны равновесные состояния, которые отличны от тривиального решения. Система успевает «перенастроиться» и, в зависимости от $e_i(\tau)$, переменные отклика и отраженного поля $e(\tau)$ неизбежно принимают некоторую последовательность равновесных состояний.

Выражения, приводящие к формулировке значений равновесных состояний R_s , S_s и n_s , определяются из сингулярных пределов (2):

$$R_s = \frac{n_s (1 + \kappa n_s) e_i}{(1 + \kappa n_s)^2 + \Delta_s^2}, \quad R_s^2 + S_s^2 + n_s^2 = n_s, \quad \Delta_s = \Delta\omega + \kappa\gamma n_s + \alpha I; \quad (3)$$

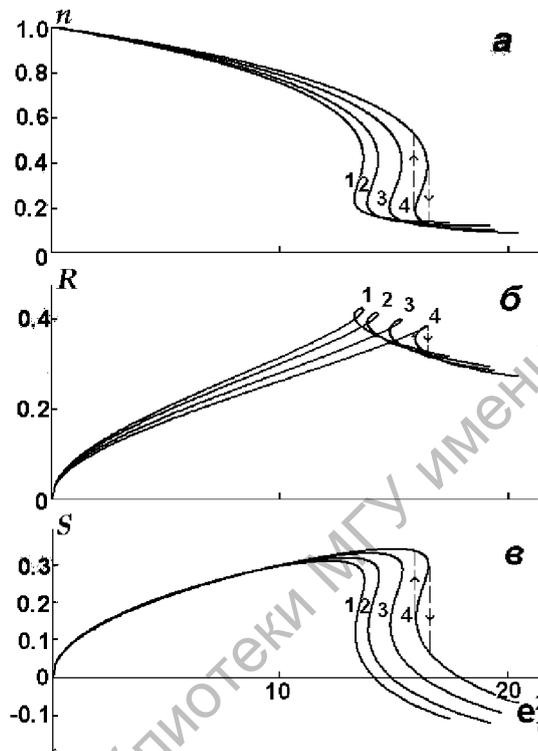
$$e_i^2 = \frac{1 - n_s}{n_s} \left[(1 + \kappa n_s)^2 + \Delta_s^2 \right],$$

$$I = \frac{1}{2\alpha^2} \left[\frac{n_s}{1 - n_s} - 2\alpha(\Delta\omega + \kappa\gamma n_s) - \sqrt{\left(\frac{n_s}{1 - n_s} \right)^2 - 4\alpha n \frac{\Delta\omega + \kappa\gamma n_s}{1 - n_s} - 4\alpha^2} \right]. \quad (4)$$

Зависимости, характеризующие связь равновесных состояний (3) с нормированной мощностью возбуждения e_i^2 , несложно получить параметрическим расчетом соотношений (4), если положить n_s неотрицательной линейно нарастающей в пределах $[0, 1)$ независимой переменной.

На рисунке 1 приведены типичные для результатов расчета таких зависимостей кривые для разных значений линейной отстройки резонанса. Коэффициенты системы (2) и,

соответственно, соотношений (3), (4) отвечали нелинейно-оптическим и спектральным параметрам используемых в лазерной физике полупроводниковых квантоворазмерных структур. Следует сразу отметить, что расчетные кривые при высоком уровне насыщения поглощения в слое могут принимать форму сильно деформированного резонанса. В определенной области значений e_i^2 зависимость переменных R_s , S_s и n_s от этого параметра оказывается неоднозначной. В этом случае говорят о возможности так называемой бистабильности – отражение от активной пленки должно происходить в двух режимах ее прозрачности.



$\Delta = -0.5$ (кривые 1), -0.3 (2), 0 (3), 0.5 (4); $\omega = 2.0$, $\gamma = 1.58$, $\alpha = 0.025$

Рис. 1. Зависимость равновесных состояний светодинамической системы от уровня мощности внешнего возбуждения

Причем переходы от одного режима к другому совершаются скачкообразно и с гистерезисной особенностью – обратный переход возможен при иных значениях e_i^2 (на рисунке 1 гистерезисные броски указаны только для кривых 4). Причина возникновения этой закономерности заключается в возможности компенсации линейной отстройки Δ влиянием фазовой нелинейности и соответствующим нелинейным дрейфом частоты.

Результатом настоящей работы является формулировка условий появления бистабильности и возможности гистерезисного переключения равновесных состояний светодинамической системы, образованной тонким резонансным слоем и когерентным световым полем. Существование «не следящих» за динамикой изменения e_i^2 резких бросков в зависимости стационарных состояний от внешнего возбуждения способно привести к развитию самоиндуцированной неустойчивости в подобной системе. Определение условий неустойчивости решений систем типа (1) представляет самостоятельную задачу и интересно для изучения оптических модуляционных свойств нанометрических слоев активного вещества.

Литература

1. Апанасевич, П. А. Основы теории взаимодействия света с веществом / П. А. Апанасевич. – Минск: Навука і тэхніка, 1977. – 496 с.