

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ШТАРКА В РЕЗОНАНСНОМ ОТРАЖЕНИИ КВАЗИДВУМЕРНОГО СУПЕРКРИСТАЛЛА

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

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилёв, Беларусь

Из основных функциональных элементов устройств, применяемых для управления светом и востребованных в фотонике, нанооптике и оптоэлектронике, исключительный интерес привлечён к планарным структурам из суперкристаллов (СК). Бистабильность в отражении лазерного излучения образцами СК в низкоразмерном планарном формате представляет высшее проявление нелинейности отклика оптической системы, развивающееся в условиях действия нескольких механизмов нелинейности. Нелинейное отражение при этом является неоднозначной функцией интенсивности внешнего сигнала, между бистабильными состояниями оптической системы возможные гистерезисные переключения. Эффективностью подобного свойства реакции СК на когерентное световое поле объясняют многообразие динамических режимов отражения [1].

Оптический (квадратичный) эффект Штарка находится в ряду механизмов нелинейности резонансного отклика активных сред на световое поле. Эффект получил объяснение на основе квантовой механики и наблюдался в спектроскопических измерениях в полупроводниковых материалах с квантоворазмерными эффектами [2], к которым относят и СК. В работе, положенной в основу сообщения, поставлена задача оценки влияния эффекта Штарка на бистабильные свойства резонансного отражения СК.

Систему уравнений взаимодействия светового поля с веществом слоя, формулируемую в [3] на основе допущения о сверхтонком слое с высокой плотностью активных резонансных центров (РЦ) и включающую оптические аналоги уравнений Блоха, принято рассматривать как расчетную модель нелинейной реакции СК на резонансное поле. Модификацией сформулированной в [3] системы кинетических уравнений может быть получена расчетная динамическая модель переходных процессов при резонансном отражении планарного квазикристалла квантовых точек, учитывающая штарковскую составляющую нелинейного смещения частоты. В сингулярных пределах модели, представляющей систему нелинейных дифференциальных уравнений, формулируются дисперсионные соотношения. Расчет стационарной интенсивности на их основе дает возможность определить нелинейную (а также спектральную) зависимость эффективного амплитудного коэффициента отражения r с учетом Штарк-эффекта. Для нормированных по уровню мощности насыщения интенсивностей внешнего (I_0) и установившегося действующего на РЦ поля (I) эти соотношения приведены ниже:

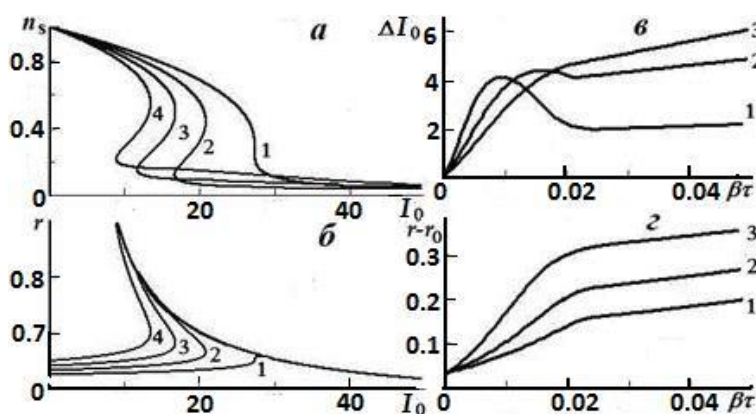
$$r = r_0 + \kappa n_s \frac{1 + \kappa n_s}{(1 + \kappa n_s)^2 + (\Delta\omega + \kappa\gamma n_s + \beta\tau I)^2}.$$

$$I_0 = (1 + B^2) \frac{1 - n_s}{n_s} \left[\left(1 + \frac{\kappa n_s}{1 + B^2} \right)^2 + (\Delta\omega + A n_s + \beta\tau I)^2 \right], \quad A = \frac{\gamma + B}{1 + B^2} \kappa, \quad B = \beta\kappa(1 - n_s),$$

$$I = \frac{1}{2\beta^2\tau^2} \left[\frac{n_s}{1 - n_s} - 2\beta\tau A n_s \pm \sqrt{\left(\frac{n_s}{1 - n_s} \right)^2 - 2\beta\tau \frac{A n_s^2}{1 - n_s} - 4\beta^2\tau^2} \right].$$

Здесь n_S – равновесное значение разности населённостей резонансного перехода, $\Delta\omega$ – линейная отстройка резонанса, κ – показатель резонансного поглощения, β – коэффициент резонансной нелинейности рефракции, определяемый дефектом поляризуемости РЦ $\Delta\alpha$, r_0 – нерезонансный коэффициент отражения слоя, γ и τ – нормирующие коэффициенты в локальной поправке Лоренца и в выражении для нелинейной фазовой отстройки, инициированной квадратичным Штарк-эффектом.

Полученные дисперсионные соотношения допускают параметрический расчет – при построении зависимостей $r(I_0)$ и $n_S(I_0)$ величину n_S следует положить линейно нарастающим в пределах (0, 1) аргументом. На фрагментах *a*, *б* рисунка приведены результаты расчета зависимости населенности n_S и отражения от мощности поля I_0 . Параметры расчета, в основном, отвечали данным измерений, приведенным в работе [2].



$\beta\tau = 0$ (кривая 1), 0.02 (2), 0.025 (3), 0.032 (4), $\kappa = 2.0$, $\Delta = -1.0$ (*a*, *б*), $\Delta = -0.5$ (1), -0.7 (2), -1.0 (3) (*в*), $\kappa = 2.0$ (1), 2.2 (2) 2.5 (3), $\Delta = -1.0$ (*г*), $\gamma = 3.17$

Рисунок – Зависимости населённости и отражения от интенсивности (*a*, *б*), ширины гистерезисной петли (*в*) и размера «кинка» (*г*) от коэффициента Штарка

Судя по кривым на этих рисунках, влияние эффекта Штарка снижает порог проявления бистабильности на шкале мощности внешнего поля. Отмечается далее, что с ростом «штарковского» коэффициента β способны нарастать ширина гистерезисной петли (расстояние между точками поворота на бистабильных кривых) и величина гистерезисного скачка в эффективном отражении (называемого «кинком») (рис., *б*, *в*).

Усложнение картины бистабильности и связанного с ней оптического гистерезиса по мере увеличения линейной отстройки и уровня резонансного поглощения (если сравнивать ход зависимостей на фрагментах рис., *б*, *в*) может быть объяснено конкуренцией разных (но взаимосвязанных) механизмов, обуславливающих нелинейную расстройку резонанса. Динамический фактор фазовой нелинейности, обусловленный вкладом квадратичного эффекта Штарка, следует учитывать при моделировании процессов энергообмена резонансного поля со средой суперкристаллов.

Список использованных источников

1. Nonlinear optical response of a two-dimensional quantum-dot supercrystal: Emerging multistability, periodic and aperiodic self-oscillations, chaos, and transient chaos / Ryzhov I.V. [et al.] / Phys. Rev. A. – 2019. – V. 100. – P. 033820 - 1–15.
2. Optical Stark effect in a quantum dot: Ultrafast control of single exciton polarizations / Unold T. [et al.] // Phys. Rev. – 2004. – V. 92, No 15. – P. 157401–1-4.
3. Тимощенко, Е.В. Расчёт эффективности бистабильного тонкопленочного отражателя / Е.В. Тимощенко, Ю.В. Юревич // ПФМТ. – 2019. №3 (40). – С.43-48.