

Трёхуровневая кинетическая модель квазидвумерного кристалла на основе плотной резонансной среды

В.А. Юревич¹, Е.В. Тимошенко², Ю.В. Юревич¹

¹ Могилёвский государственный университет продовольствия, Могилёв

² Могилёвский государственный университет им. А.А. Кулешова, Могилёв

E-mail: va_yurevich@mail.ru, timoshchenko@msu.by

Тонкослойные системы на основе полупроводников, а также ряда активированных прозрачных материалов, характеризуемые как двумерные суперкристаллы [1, 2], широко востребованы в опто- и микроэлектронике для разработки компактных модулирующих элементов. Характерность квазикристаллов в том, что в большинстве они – полупроводники, энергетическая структура которых способна управляться внешним воздействием, что делает их в высшей степени перспективными с точки зрения нанофоники и оптических нанотехнологических применений [3]. Интересно, например, что суперкристалл способен почти полностью отразить падающий свет в определённом диапазоне мощности и частоты, т. е. выступить идеальным зеркалом нанометровой толщины [4].

Оптические свойства этих объектов, особенно нелинейные, представляют собой перспективную и до настоящего времени во многом нерешённую проблему. Поэтому представляется актуальным анализ закономерностей отражения и трансформации динамики когерентного излучения в наноразмерных слоях при учете оптических процессов с участием экситонов и би-экситонов именно в рамках присущей этим структурным элементам квазикристалла трёхуровневой схемы резонансной реакции на поле с дублетом в основном или возбуждённом состоянии [5].

Основу исследования, предлагаемого в настоящем сообщении, составляет оригинальная модель энергообмена плосковолнового светового поля и среды квазидвумерного активного слоя, формулируемая в рамках полуклассического подхода к анализу резонансного взаимодействия. Слой характеризуется относительно высокой плотностью активных центров и рассматривается как ансамбль элементарных излучателей, организованных периодически, т.е. считается суперкристаллом. Этим обусловлены дополнительные степени свободы кинетической модели – геометрия решётки и взаимодействие активных диполей, реакция которых на излучение характеризуется переходами в трёхуровневой схеме энергетических состояний с дублетом в основном состоянии. Использование трёхуровневой матрицы плотности в допущении нормированного однородного поля $e(t)$ в слое приводит к следующей системе уравнений:

$$e^{-i\kappa[\beta_1 n_0 - n_1 + \beta_2 n_0 - n_2]} = e'_i + \kappa (1 - i\gamma) \rho_{31} + \sigma \rho_{32},$$

$$\frac{d}{dt} \rho_{32} = \sigma n_2 e - \rho_{21}^* e - (1 + i\Delta_3) \rho_{32},$$

$$\frac{d}{dt} \rho_{31} = n_1 e - \sigma \rho_{21} e - (1 + i\Delta_2) \rho_{31},$$

$$\frac{d}{dt} \rho_{21} = \rho_{32}^* e + \sigma \rho_{31} e - \left(\frac{1}{\tau} + i\Delta_1 \right) \rho_{21},$$

$$\frac{dn_1}{dt} = \frac{1 - n_1 - n_2}{\tau_1} + \frac{1 - n_1 + 2n_2}{T_1} - (\rho_{31}^* e + \rho_{31} e^*) - \sigma (\rho_{32}^* e + \rho_{32} e^*) / 2,$$

$$\frac{dn_2}{dt} = \frac{1 - n_1 - n_2}{\tau_2} - \frac{1 - n_1 + 2n_2}{T_1} - (\rho_{31}^* e + \rho_{31} e^*) / 2 - \sigma (\rho_{32}^* e + \rho_{32} e^*).$$

Здесь e'_i – нормированное поле внешнего сигнала, ρ_{13} , ρ_{23} , ρ_{12} – недиагональные элементы матрицы плотности (вероятностные переменные, характеризующие поляризованность при переходах между уровнями схемы), n_1 , n_2 – вероятности разностей населённости верхнего уровня и уровней дублета, κ – показатель ненасыщенного резонансного поглощения, σ – соотношение сечений переходов с уровней дублета в возбуждённом состоянии, β_1 , β_2 – коэффициенты, пропорциональные разности поляризуемостей $\Delta\alpha_{1,2}$ активных центров в возбуждённом состоянии и на уровнях дублета, γ – нормирующий коэффициент в локальной поправке к действующему полю, $\Delta_{1,2,3}$ – значения нормированных по ширине спектральной линии поглощения отстроек частот переходов от частоты внешнего сигнала, τ_1 , τ_2 , T_1 – времена спонтанного распада состояний (продольной релаксации), τ – время фазовой релаксации в дублете.

Кроме допущения о возможности диполь-дипольного взаимодействия данная схема позволяет анализ следствий поглощения в переходах, связанных с основным и способных реагировать на резонансное излучение.

Предварительное моделирование показало, что нелинейный отклик системы должен проявлять бистабильность и мультистабильность, порождая в отражении разнообразную динамику, включая релаксирующие с разной скоростью переходные осцилляции или режим автоколебаний.

1. *Vaimuratov A.S., Rukhlenko I.D., Turkov V.K., et al. // Scientific Reports. 2013. V. 3. P. 1727.*
2. *Mak K.F., Shan J. // Nature Photonics. 2016. V. 10. P. 216–226.*
3. *Liu W., Luo X., Bao Y., et al. // Nature Chemistry. 2017. V.9. P. 563–570.*
4. *Back P., Zeytinogly S., Ijaz A., et al. // Phys. Rev. Letts. 2018. V. 120. P. 037401.*
5. *Ryzhov I.V., Malikov R.F., Malyshev A.V. // Phys. Rev. A. 2019. V. 100, 033820–1-15.*