ГЕНЕРАЦЫЯ ВЫПРАМЕНЬВАННЯ ПРЫ АДБІЦЦІ СВЯТЛА ПРЫПАВЕРХНЕВЫМ СЛОЕМ ШЧЫЛЬНАГА РЭЗАНАНСНАГА АСЯРОДДЗЯ

[1]Юрэвіч У.А., [1]Юрэвіч Ю.У., [2]Цімошчанка А.В.
[1] Магілёўскі дзяржаўны універсітет харчавання
[2] Магілёўскі дзяржаўны універсітет імя А.А. Кулешова

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

Увядзенне. Вывучэнне магчымасці узмацнення святла пры рэзанансным адбіцці асабліва тонкім пластом актыўных асяроддзяў актуальна ў сувязі з праводзімымі ў апошнія гады інтэнсіўнымі даследаваннямі фізічных уласцівасцяў нанапамерных структур. Для апісання пераходных працэсаў у схеме узмацнення святла пры рэзанансным адбіцці тонкай планарнай плёнкай зручна карыстацца нелінейнай сістэмай дыферэнцыяльных раўнанняў для зменных аднароднага поля ў плёнцы і водгуку актыўнага асяроддзя у набліжэнні звыштонкага слоя. Дынаміка пераходных працэсаў здольна прымаць характар аўтаваганняў, перыяд якіх залежыць ад спалучэння параметраў сістэмы і ўяўляе назіраную велічыню, якую зручна памерыць у эксперыментах. Гэтая залежнасць выкарыстоўваецца для дыягностыкі уласцівасцяў матэрыялаў доследных тонкіх слаёў на выснове, напрыклад, паўправадніковых квантавапамерных структур. Такія матэрыялы ляжаць у аснове фізічнага ўзроўню ІТ-прылад.

Матэматычная мадэль. Прыведзеная ніжэй мадыфікацыя схемы разліку, вядомай як сістэма аптычных раўнанняў Максвелла – Блоха, у нормаваным часе τ апісвае дынаміку энергаабмену унармаванага светлавога поля $e(\tau)$ з нанапамерным рэзанансным пластом пры ўліку высокай канцэнтрацыі дыпольных часцінак, якія ўтвараюць асяроддзе [1]:

$$\frac{dR}{d\tau} = ne_i - (1-\kappa n)R - \Delta S, \quad \tau_{12}\frac{dS}{d\tau} = \Delta R - (1-\kappa n)S,$$
$$\frac{dn}{d\tau} = \frac{1-n}{\tau_{12}} + e_i R - \kappa\left(R^2 + S^2\right), \quad \Delta = \Delta\omega - \kappa\gamma n\,. \tag{1}$$

Тут R, S і n – матэрыяльныя зменныя рэзананснай палярызаванасці і інверснай заселенасці (звычайна яны называюцца каардынатамі вектара Блоха), Δ – дэфект рэзанансу з улікам яго нелінейнага зрушэння з-за наяўнасці лакальнай папраўкі да поля ($\Delta\omega$ – нармаваная лінейная адстройка частоты), $e_i(\tau)$ – напружанасць поля, што падае звонку (фактар накачкі), κ, γ, і τ_{12} – матэрыяльныя параметры. Рашэнні сістэмы (1), аўтаномнай у выпадку пастаяннага ўзроўню накачкі $e_i(\tau) = e_0$, маюць пэўны фізічны сэнс пры пачатковых умовах $R(\tau = 0) = S(\tau = 0) = 0$, $n(\tau = 0) = 1$. Імі вызначаецца, што рэзананснaя палярызацыя ў інвертаваным рэчыве пласта спачатку адсутнічае, але затым узнікае ў выніку самафазіроўкі дыполяў праз перавыпраменьванае поле,

якая натуральна адбываецца ва ўмовах аднароднага поля ў тонкім слое. Ўзмоцненае кагерэнтнае поле з нармаванай інтэнсіўнасцю $I = \kappa(R^2 + S^2)$, што ў гэтай схеме адбіваецца слоем, уяўляе сабой наступства працэсу звышвыпраменьвання.

Вынікі якаснага аналізу і лікавага мадэлявання. Раўнаважкія значэнні зменных R_s, S_s, n_s выяўляюцца з выразаў для сінгулярных лімітаў раўнанняў (1). Нескладана паказаць, што іх велічыні можна вызначыць з наступных нелінейных алгебраічных стасаванняў:

$$R_s = -\frac{(1-\kappa n_s)n_s e_0}{(1-\kappa n_s)^2+\Delta_s^2}, \quad S_s = -\frac{\Delta_s n_s e_0}{(1-\kappa n_s)^2+\Delta_s^2},$$
$$\frac{n_0-n_s}{\tau_{12}} n_s = \kappa\left(R_s^2+S_s^2\right), \qquad \Delta_s = \Delta\omega - \kappa\gamma n_s. \tag{2}$$

Для характарыстыкі ўстойлівасці разглядаюцца рашэнні (1), якія належаць да адносна малога наваколля асобых кропак у фазавым прасторы (1), што вызначаюцца рашэннямі (2) адносна R_s, S_s і n_s. Цікавымі з пункту гледжання магчымай карэляцыі дынамічных паводзін мадэлі (1) і рэальнай темпаральнай разгорткі адбітага выпраменьвання прадстаўляюцца рашэнні (1), якія адпавядаюць асаблівай вобласці спалучэнняў яе каэфіцыентаў. У гэтай вобласці характэрыстычнае раўнанне, фармулюемае на выснове лінеарызаванага аналага сістэмы (1), можа мець адзін рэчаісны і два комплексных кораня (ζ_1 і $\zeta_{2,3}$):

$$\zeta_1 = \upsilon_- - \upsilon_+ - \frac{1}{3\tau_{12}} - \frac{2}{3}(1-\kappa n_s),$$
$$\upsilon_\pm = \sqrt[3]{g \pm \sqrt{D}}, \quad D = g^2 + p^3, \tag{3}$$
$$\zeta_{2,3} = -\frac{1}{3\tau_{12}} - \frac{2}{3}(1-\kappa n_s) + \frac{1}{2}(\upsilon_+ + \upsilon_-) \pm i\frac{\sqrt{3}}{2}(\upsilon_+ - \upsilon_-),$$

дзе

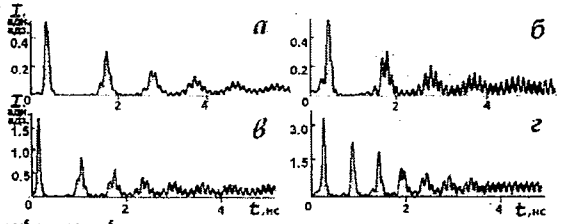
$$p = \left[3\left(q - \kappa m + \Delta_s^2\right) - b^2\right]/9, \quad 2g = 2b^3/27 - b\left(q - \kappa m + \Delta_s^2\right)/3 + \Delta\left[b\Delta_s - \kappa\left(e_0 S_s - \gamma m\right)\right],$$
$$q = e_0\left(e_0 - 2\kappa R_s - \kappa\gamma S_s\right), \quad m = e_0 R_s - 2\kappa(R_s^2 + S_s^2), \quad b = \frac{1}{\tau_{12}} - 1 + \kappa n_s.$$

Незгасальныя з часам рэгулярныя ці квазіперыядычныя хістанні зменных водгуку $R(\tau)$, $S(\tau)$ і, саадказна, нармаванай інтэнсіўнасці адбітага поля I, магчымы пры такіх спалучэннях каэфіцыентаў (1), для якіх рэчаісная частка каранёў $\zeta_{2,3}$ (3) дадатная. Для нестабільнасці раўнаважкіх станаў (2) па тыпу няўстойлівы фокус павінны выконвацца ўмовы:

$$\frac{1}{2}(\upsilon_+ + \upsilon_-) > \frac{1}{3\tau_{12}} + \frac{2}{3}(1-\kappa n_s), \quad D > 0; \tag{4}$$

другое патрабаванне ў (4) – дадатная велічыня дыскрымінанта – і азначае ўмову існавання комплексных каранёў (3). Тады разліковая разгортка інтэнсіўнасці генерацыі прадстаўлена релаксацыйнымі пульсацыямі, адлюстраванымі на малюнку 1. Лікавае маделяванне праведзена для набору параметраў, адпаведнага паўправадніковым квантавапамерным структурам, узбуджаемым выпраменьваннем ў спектральнай вобласці эксітоннага рэзанансу.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова



$e_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ (*а*), $10 \cdot 10^{-5}$ (*б-г*), $\kappa = 1.025$ (*а, б*), 1.05 (*в*), 1.08 (*г*) $\Delta = 2.0$, $\gamma = 1.95$, $\tau_{12} = 1 \cdot 10^{-3}$

Малюнак 1 – Тэмпаральная залежнасць інтэнсіўнасці узмоцненага адбітага выпраменьвання

Адносна нізкачастотны складнік інтэнсіўнасці па велічыні павінен экспанентна зніжацца да некаторага раўнаважнага ўзроўню. З-за нелінейнай адстройкі рэзанансу, абумоўленай узаемным уплывам блізкіх палёў актыўных цэнтраў (атамаў, іёнаў, эксітонаў), на гэтым этапе дынаміка выпраменьвання аказваецца квазістацыянарнай (аўтавагальнай).

Спіс літаратуры

1. Юревич В.А. Об особенностях отражения света от тонкого слоя нелинейной среды // Квант. электрон.– 1994.– Т.21, №10. – С. 959-961.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова