

УДК 535.21:538.9

PACS number(s): 71.20.Lp;61.80.-x;42.62.-b

МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕТИЧНО-ДИНАМІЧНИХ ЛАНЦЮЖКІВ РЕЛАКСАЦІЙНОЇ ОПТИКИ

Г. Мирончук, П. Трохимчук

Волинський державний університет імені Лесі Українки,
вул. Потапова, 9, Луцьк, Україна
e-mail: ftt@lab.univer.lutsk.ua

Розглянуто можливість використання імпульсних функцій для побудови та отримання розв'язків кінетично-динамічних рівнянь релаксаційної оптики. Показано, що цей метод краще ніж інші методи узгоджується з експериментальними даними.

Ключові слова: релаксаційна оптика, імпульсні функції, антимонід індію, незворотна взаємодія, кінетично-динамічні рівняння.

Релаксаційна оптика – це розділ фізичної оптики, що вивчає процеси незворотної взаємодії оптичного випромінювання з твердими тілами [1]. Найцікавішими ефектами є ефекти утворення та подальшої еволюції інверсійних шарів в антимоніді та арсеніді індію після опромінення імпульсами рубінового лазера (тривалість імпульсу $\tau_i = 2 \cdot 10^{-8}$ с, енергія кванта опромінення $h\nu = 1,78$ еВ).

В [1] наведені результати моделювання цих процесів. Однак методи, які використовувались при цьому досить грубі, особливо для оцінки вкладу змішаних (конкуруючих) процесів на процедуру формування стабільних незворотних змін в опроміненому матеріалі.

Надалі, як і в [1], вважатимемо, що утворення первинних незворотних змін (донорні центри та пов'язані з ними зміщені атоми) має оптичний (фотостимульований) характер. Вторинні ж процеси (в основному теплові) призводять до відпалу та дифузії первинних порушень кристалічної ґратки. Однак врахуємо детальніше імпульсний характер взаємодії через функції Хевісайда.

Наведемо кінетично-динамічний ланцюжок рівнянь, які використані для розв'язку цієї задачі. Перше рівняння описує утворення фотостимульованих змін. А друге – подальшу їх еволюцію.

$$\frac{\partial N_1}{\partial t} + a \frac{\partial N_1}{\partial x} = A(\Theta(t) - \Theta(t - \tau_i)) e^{-ax} \left(\exp\left\{ \frac{(t - \tau_i/2)^2}{(\tau_i/2)^2} \right\} \right) \quad (1)$$
$$\frac{\partial N_2}{\partial t} - D \frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} = B(\Theta(t - \tau_i) - \Theta(t - \tau_r)) N_1(\tau_i),$$

де $A = \frac{\alpha\eta(1-R)I_0}{h\nu\tau_r}$, N_1 – концентрація утворених донорних центрів (дефектів чи зв'язаних з ними носіїв заряду); N_2 – концентрація стабільних “еволюційних” донорних центрів, які залишились після опромінення в кристалі; a – коефіцієнт швидкості поширення дефектів; D – коефіцієнт дифузії; x, t – просторова та часова координати, відповідно; α – коефіцієнт поглинання оптичного випромінювання; I_0 – густина світлового потоку; R – коефіцієнт відбивання оптичного випромінювання напівпровідником; $\tau_i = 2 \cdot 10^{-8}$ с – час опромінення; τ_r – час релаксації, який визначається з рівняння теплопровідності [1]; $\Theta(t)$ – тета-функції Хевісайда.

Граничні та початкові умови для цих рівнянь, виходячи з фізичних міркувань, можна подати як

$$\begin{aligned} N_1(x, 0) &= N_2(\infty, t) = 0, \\ N_1(x, t)|_{t=\tau_i} &= N_2(x, t)|_{t=\tau_i}. \end{aligned} \quad (2)$$

Розв'язки рівнянь (1) при граничних умовах (2) та з врахуванням імпульсного характеру взаємодії мають такий вигляд

$$N_1(x, t) = A\tau_i\sqrt{\pi}/4(\Theta(t) - \Theta(t - \tau_i))\operatorname{erf}(\tau_i)\exp\{-\alpha x + (t - \tau_i/2)^2 / (\tau_i/2)^2\}, \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} N_2(x, t) &= AB\tau_i\sqrt{\pi}/4D\alpha^2(\Theta(t - \tau_i) - \Theta(t - \tau_r))\operatorname{erf}(\tau_i)\exp(-1 + \left(\frac{a\alpha\tau_i}{4} - 1\right)^2) \times \\ &\times \exp(a\alpha\tau_i)\exp(D\alpha^2 t)(\exp(-D\alpha^2\tau_i) - \exp(-D\alpha^2\tau_r))\exp(-\alpha x). \end{aligned} \quad (3b)$$

Стала B визначається із умови $N_1(x, t)|_{t=\tau_i} = N_2(x, t)|_{t=\tau_i}$. Оскільки $\tau_{r, \min} = \tau_h$ (де τ_h – час хаотизації, тобто час локальної делокалізації акту взаємодії, який по порядку величини дорівнює $\sim 10\tau$). Тому $B = 1/\tau_h - \tau_i$.

Для моделювання ми вибрали експериментальний профіль розподілу донорних центрів, які виникають в антимоніді індію після опромінення імпульсами рубінового лазера з густиною енергії в імпульсі $0,16 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$ (крива 1, рис. 1). Прив'язка розрахункових даних до експериментальних проводилась для максимуму розподілу (глибина $0,7 \text{ мкм}$).

Як видно з рисунка, навіть за такої спрощеної постановки задачі, де не враховуються явища нейтралізації, у цьому випадку отриманий кращий збіг розрахункових (крива 2, рис. 1) та експериментальних результатів, ніж в більш спрощеному методі [1] (крива 3, рис. 1). Це можна пояснити на підставі того, що ми врахували ієрархію процесів (у цьому випадку через часи, часові функції Хевісайда) [2], а це точніше відповідає реальним фізичним процесам, що відбуваються в напівпровіднику.

Таку модель доцільно використовувати для дослідження змішаних та динамічних процесів релаксаційної оптики, бо при моделюванні кінетичних процесів результати для обох методів збігаються.

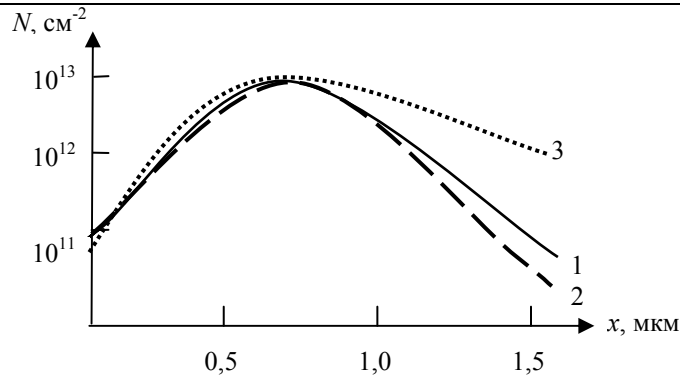


Рис. 1. Профілі розподілу сферової концентрації донорних центрів в інверсних шарах InSb, отриманих після лазерного опромінення імпульсом рубінового лазера з густиною енергії в імпульсі $0,16 \text{ Дж}\cdot\text{см}^{-2}$: 1 – експериментальні дані; 2 – пораховані відповідно до формул (2); 3 – пораховані згідно з [1]

Отже, показано, що за допомогою використання імпульсних функцій (у цьому випадку функцій Хевісайда) [2] можна будувати більш ефективні моделі змішаного кінетично-динамічного та динамічного типу. Саме використання імпульсних функцій дає змогу простим чином увести до рівняння відповідні ієрархії часів, а отже й ієрархії процесів.

1. Трохимчук П.П. Радіаційна фізика твердого тіла. – Луцьк: Вид-во ВДУ ім. Лесі Українки “Вежа”, 2003. 244 с.
2. Свідзинський А. Математичні методи теоретичної фізики. Київ, 1998. 442 с.

MODELLING OF KINETIC-DYNAMIC CHAINS OF RELAXED OPTICS

G. Myronchuk, P. Trokhimchuk

*Lesya Ukrayinka Volyn State University,
Voly Av., 13, UA-43009 Lutsk, Ukraine
e-mail: trope@lab.univer.lutsk.ua; trope53@yahoo.com*

Possibility of using the impulse functions for the construction and resolution of kinetic-dynamic equations of Relaxed Optics is represented. This method give more precised approximation to experimental data than another methods.

Key words: Relaxed Optics, impulse functions, InSb, irreversible interaction, kinetic-dynamical equations.

Стаття надійшла до редколегії 19.05.2004
Прийнята до друку 21.11.2005