

# О некоторых результатах анализа нестационарных процессов диффузии и рекомбинации носителей заряда, генерированных электронным зондом в однородной полупроводниковой мишени, при наличии двух каналов рекомбинации

Е.В. Серегина<sup>1,\*</sup>, М.А. Степович<sup>2,\*\*</sup>, М.Н. Филиппов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Калужский филиал, г. Калуга, 248000, ул. Баженова, д. 2, \*evfs@yandex.ru

<sup>2</sup>Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, 248023, ул. Степана Разина, 26, \*\*m.stepovich@mail.ru

<sup>3</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, г. Москва, 119991, Ленинский пр., 31

Ранее [1] нами рассмотрен процесс нестационарной диффузии экситонов в монокристаллическом GaN после прекращения воздействия электронного зонда на полупроводниковую мишень. Рассматривался один канал диффузии и рекомбинации экситонов и потому электрофизические параметры мишени при моделировании полагались постоянными. Однако имеющиеся экспериментальные результаты [2-4] говорят о возможности построения математической модели с несколькими независимыми каналами рекомбинации, что и сделано в работе [5], в которой рассмотрено два канала рекомбинации и процесс диффузии экситонов описан с учетом их переменного эффективного времени жизни. Для концентрации генерированных электронным зондом экситонов в цилиндрической системе координат получена зависимость от времени и координаты в виде

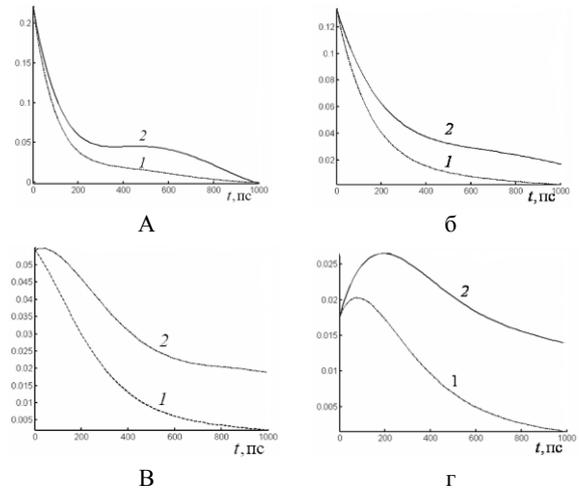
$$\begin{pmatrix} c(r, t) \\ \tilde{c}(r, t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \\ \exp\left(-\int_0^t \frac{dt}{\tau_{эф}(t)}\right) \end{pmatrix} \times \\ \times \frac{1}{2Dt} \int_0^{+\infty} \exp\left(-\frac{r^2 + \xi^2}{4Dt}\right) I_0\left(\frac{r\xi}{2Dt}\right) n(\xi) \xi d\xi.$$

Здесь  $c(r, t)$  и  $\tilde{c}(r, t)$  – концентрации при одном и при нескольких каналах рекомбинации, соответственно,  $I_0(x)$  – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка первого рода, а эффективное время жизни экситонов при числе каналов рекомбинации, равном  $n$ , может быть записано в виде

$$\tau_{эф}(t) = -t \left\{ \ln \sum_{i=1}^n \alpha_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \right\}^{-1},$$

где постоянные  $\alpha_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  характеризуют эффективные времена жизни экситонов для каждого канала рекомбинации. В настоящей работе проведен анализ зависимостей концентраций  $c(r, t)$  и  $\tilde{c}(r, t)$  от параметров математической модели. Наиболее наглядно влияние второго канала на распределение ННЗ в полупроводниковой мишени видно на сечениях поверхностей  $c(r, t)$  и  $\tilde{c}(r, t)$  при фиксированных и различных значениях полярного радиуса.

Некоторые из полученных результатов приведены на рис. для параметров, характерных для GaN.



**Рис.** Сечения поверхностей  $c(r, t)$  (кривые 1) и поверхностей  $\tilde{c}(r, t)$  (кривые 2) для  $\tau_1 = \tau$  и  $\tau_2 = 10\tau$  при  $\tau = 382$  пс и коэффициенте  $\alpha = 0,1$ . Значения полярных радиусов  $r$ : а – 0 мкм, б – 0,5 мкм, в – 1 мкм, г – 1,5 мкм.

В работе также рассмотрены некоторые возможности аппроксимации экспериментальных зависимостей параметров экситонов от температуры с целью их последующего использования в практических расчётах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Калужской области № 23-21-10069, <https://rscf.ru/project/23-21-10069/>, <https://rscf.ru/en/project/23-21-10069/>.

1. E.V. Seregina, A.N. Polyakov, M.A. Stepovich. Journal of Physics: Conf. Series, 2018, 955, Art. No. 012032.
2. Noltemeyer M., Bertram F., Hempel T., Bastek B., Polyakov A., Christen J., Brandt M., Lorenz M., Grundmann M. J. Mater. Research, 2012, 27 (17), 2225-2231.
3. Поляков А.Н., Noltemeyer M., Hempel T., Christen J., Степович М.А. Прикладная физика, 2012, 6, 41-46.
4. Поляков А.Н., Noltemeyer M., Hempel T., Christen J., Степович М.А. Прикладная физика, 2015, 4, 11-15.
5. Серегина Е.В., Степович М.А., Филиппов М.Н. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2023, 3, 74-78.