

УДК 539.12.04

А. И. КУПЧИШИН, А. К. ТОГАМБАЕВА, Т. А. ШМЫГАЛЕВА

**СВЯЗЬ СПЕКТРОВ ПЕРВИЧНО-ВЫБИТЫХ АТОМОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ С МАРКОВСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Изучена взаимосвязь спектров первично-выбитых атомов и концентрации радиационных дефектов для электронов, протонов, альфа-частиц, ионов с цепями Маркова и Марковскими процессами.

При электронном облучении зависимость концентрации радиационных дефектов от глубины и энергии электронов представляется в виде [1]:

$$C_d^{cm}(E, h) = \int_{E_d}^{E_{2max}} \nu(E_2) W(E_0, E_2, h) dE_2, \quad (1)$$

где  $W(E_0, E_2, h)$  – спектр первично-выбитых атомов (ПВА);  $E_0$  – энергия электрона.

Представим формулу (1) в следующем виде:

$$C_d^{cm}(E, h) = \int_{E_d}^{E_{2max}} \nu_0 \gamma(E_2) \varphi_0 \cdot \varphi(E_0, E_1, h) dE_2, \quad (2)$$

где  $\nu(E_2) = \nu_0 \gamma(E_2)$ ,  $W(E_0, E_1, h) = \varphi_0 \varphi(E_0, E_1, h)$ ,

$\nu_0, \varphi_0$  – нормировочные коэффициенты.

Тогда

$$\int_{E_d}^{E_{2max}} \gamma(E_2) dE_2 = 1, \\ \int_{E_d}^{E_{2max}} \varphi(E_0, E_1, h) dE_2 = 1.$$

Перепишем (2) в следующем виде:

$$C_d^{cm}(E, h) = \varphi_0 \nu_0 \int_{E_d}^{E_{2max}} \varphi(E_0, E_1, h) \gamma(E_2) dE_2. \quad (3)$$

В данном выражении под знаком интеграла имеем произведение вероятностей:  $\varphi(E_0, E_1, h)$  – вероятность того, что на глубине  $h$  образуется 1 ПВА от одного электрона с энергией  $E_0$  и  $\gamma(E_2)$  – условная вероятность того, что ПВА выбьет один

вторично-выбитый атом с энергией  $E_2$ . В левой части выражения имеем  $C_d$  – вероятность того, что от 1-го электрона образуется определенное количество дефектов. Нормировочный коэффициент  $\varphi_0$  есть число ПВА от одного электрона с энергией  $E_0$ ,  $\nu_0$  – число вторично-выбитых атомов от 1-го ПВА с энергией  $E_2$ .

Выражение (3) получается из уравнения Колмогорова-Чэпмена [2]:

$$\Psi_{ij} = \sum_k \Psi_{ik} \Psi_{kj},$$

где  $\Psi_{ik} = \varphi(E_0, E_1, h)$ ,  $\Psi_{kj} = \gamma(E_2)$ .

Поскольку образование радиационных дефектов может происходить при любой энергии  $E_2$ , знак суммы в этой формуле заменен интегралом.

Спектр первично-выбитых атомов, входящий в выражение (1), записывается в следующем виде:

$$W(E_0, E_2, h) = \sum_{i=0}^h \int_0^h \left(\frac{h}{\lambda_1}\right)^i \frac{1}{i!} \exp\left(-\frac{h}{\lambda_1} - \frac{h-H}{\lambda_2}\right) \times \\ \times \frac{\omega(E_0, E_2, h)}{\lambda_2} \frac{dH}{\lambda_1}, \quad (4)$$

В этом выражении под знаком интеграла содержится произведение вероятностей. Перечислим их:

$$1. \left(\frac{h}{\lambda_1}\right)^i \frac{1}{i!} \exp\left(-\frac{h}{\lambda_1}\right) = \Psi_{ik}, \quad (5)$$

$\Psi_{ik}$  – вероятность того, что электрон достигнет глубины  $h$  после  $(i-1)$ -го соударения при условии,

