

УДК 538.971

DOI: 10.17223/00213411/62/4/115

В.В. УГЛОВ^{1,2}, Н.Т. КВАСОВ¹, Н.Д. КОМАРОВ¹, И.В. САФРОНОВ¹

ОСОБЕННОСТИ МАССОПЕРЕНОСА В ОБЛУЧАЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ

Диссипация кинетической энергии ускоренных заряженных частиц при их движении в материале приводит к формированию реакции вещества на внешнее радиационное воздействие, что, в свою очередь, может существенно повлиять на кинетику процессов массопереноса. Впервые рассматривается влияние потоков электронов и неравновесных фононов, сформированных в поле градиента температур, на миграцию дефектов. Проведены оценки температуры разогрева в окрестности трека, градиента температуры, сил, действующих на междоузельные атомы и их соответствующие перемещения.

Ключевые слова: явления переноса, недиффузионный массоперенос, перемещение дефектов, радиационный разогрев.

Введение

В работе [1] показано, что упругая и термоупругая реакции решетки на радиационные воздействия формируют силовые факторы, влияющие на эволюцию дефектно-примесной системы, что оказывается особенно существенным для наноразмерных объектов. Однако аналогичные эффекты, обусловленные сильными градиентами температуры (что, очевидно, имеет место в этих процессах), практически не исследованы. Касаясь разогрева материала в области торможения ионов, следует отметить, что скорость нарастания давления в окрестности трека значительно превышает предел динамического разрушения материала и, очевидно, в этом случае имеет место переход соответствующего ансамбля атомов даже не в «расплавленное», а в «газообразное» состояние [2]. Существует ряд подходов к расчёту температуры в области и в окрестности трека, учитывающих, в частности, взаимодействие между электронной и ионной подсистемами материала (см., например, цитируемую литературу в [2]). Однако, беря во внимание незначительное количество атомов в рассматриваемой системе (классическое определение температуры здесь неприменимо), можно, не поступаясь точностью оценки, считать весь трек областью разогрева, поглотившей энергию иона по механизмам упругого и неупругого торможения. В этом случае температура $T(r, t)$ определяется из решения традиционного уравнения теплопроводности:

$$T(r, t) = T_0 + \frac{N(S_n + S_e)}{4\pi\mu} \frac{e^{-\frac{r^2}{4Dt}}}{t}, \quad (1)$$

где r – расстояние от поверхности трека; t – время; T_0 – температура окружающей среды; N – концентрация атомов мишени; S_n и S_e – сечения упругого и неупругого торможения соответственно; μ – коэффициент теплопроводности; D – коэффициент диффузии тепла. Зависимость (1) весьма удобна для дальнейших расчётов.

Для средних энергий E ионов ($E \leq 1$ МэВ) можно использовать следующие простые выражения для S_n и S_e :

$$S_n = \frac{\pi e^2 a_B z_1 z_2 m_1}{10.87 \varepsilon_0 (z_1^{2/3} + z_2^{2/3})^{1/2} (m_1 + m_2)}; \quad (2)$$

$$S_e = \frac{2 a_B \xi z_1 z_2 e^2}{\varepsilon_0 (z_1^{2/3} + z_2^{2/3})^{3/2} v_B} \sqrt{\frac{2E}{m_1}}, \quad (3)$$

где a_B – боровский радиус; z_1 и z_2 – зарядовые числа налетающего иона и атома решётки материала соответственно; m_1 и m_2 – соответствующие массы атомов; ε_0 – электрическая постоянная; $\xi = z^{1/6}$; e – заряд электрона; v_B – скорость электрона на первой боровской орбите; E – энергия налетающего иона. На рис. 1 приведены зависимости $T(r)$ для различных энергий ионов никеля, имплантируемого в решётку железа для $t = 10^{-13}$ с.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>