РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ
ФИЗИКА РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ЯВЛЕНИЙ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

УДК 621.039; 669.017.3

МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ БИНАРНОГО СПЛАВА ЗАМЕЩЕНИЯ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ

А.А. Туркин, А.С. Бакай
ННЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

Рассмотрена кинетика радиационных точечных дефектов (ТД) в сплаве замещения с неограниченной растворимостью компонентов. Предполагается, что ТД не взаимодействуют с упругими полями стоков, а на самих стоках поддерживаются равновесные значения концентраций ТД, одинаковые для всех стоков. Показано, что неоднородности состава сплава в окрестности пор и дислокаций, возникающие вследствие радиационно-индуцированной сегрегации, не приводят к разделению потоков вакансий и междоузельных атомов (МА) на стоки разного типа. Построены уравнения баланса для средних концентраций ТД. Предложен способ построения модели эффективной среды для бинарного сплава.

1. ВВЕДЕНИЕ

Реальные материалы содержат структурные дефекты различного типа (границы раздела, дислокации, поры, выделения вторых фаз и т.д.), которые контролируют многие макроскопические свойства материала, в том числе его стойкость к вакансионному распуханию. Один из путей эволюции микроструктуры облучаемого материала – это диффузионный. Он связан с поглощением структурными дефектами радиационных ТД (вакансий и междоузельных атомов). Для чистого металла задача о вычислении потоков ТД на стоки обычно рассматривается в рамках приближения среднего поля, существо которого состоит в переходе от решения микроскопических уравнений непрерывности для концентраций ТД с граничными условиями на всех стоках (многочастичная задача) к решению диффузионной задачи в окрестности выделенного стока; все остальные стоки при этом заменяются однородной эффективной средой (одночастичная задача). Обоснование приближения среднего поля и формулировка различных подходов к построению моделей эффективной среды для чистого металла содержится в работах [1, 2].

Однако результаты, полученные в рамках моделей эффективной среды для чистых металлов, не применимы для сплавов замещения. Причина состоит в том, что микроскопические потоки вакансий, МА и компонентов сплава взаимосвязаны, поэтому в сплаве, даже в отсутствие объемной рекомбинации вакансий и МА, не удается раздельно сформулировать диффузионную задачу для вакансий и МА. При построении модели эффективной среды неизбежно возникает вопрос об эффектах преференса - предпочтительном поглощении ТД одного из сортов стоками определенного типа. В сплавах наряду с двумя известными физическими причинами возникновения преференса - ассиметрией упругого взаимодействия ТД со стоками разного типа и ассиметрией граничных условий - появляется третья: обратный эффект Киркендалла. Дело в том, что зависимость диффузионных подвижностей ТД от состава сплава приводит к радиационно-индуцированной сегрегации – локальному перераспределению компонентов сплава в окрестности стоков ТД под облучением. Вследствие этого эффективности стоков могут изменяться (по сравнению с однокомпонентным металлом), что, в свою очередь, может приводить к разделению потоков вакансий и МА на стоки разного типа [3, 4].

В этой работе рассмотрена кинетика вакансий и МА в неупорядоченном бинарном сплаве замещения. Обсуждается вопрос о существовании «сегрегационного преференса» в чистом виде, т.е. в отсутствие упругого взаимодействия ТД со стоками и при одинаковых граничных условиях на всех стоках. Показано, что в этом случае сегрегация не приводит к возникновению эффектов предпочтения. В приближении малой объёмной доли макродефектов найдены квазистационарные потоки вакансий и МА на поры и дислокации. Построены уравнения эффективной поглощающей среды.

2. УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ ПРИМЕСИ И ТД ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ

Рассмотрим двухкомпонентный неупорядоченный сплав замещения *A-B* с неограниченной растворимостью компонентов. Для удобства компонент *A* будем называть примесью. Для описания квазистационарных диффузионных процессов в облучаемом сплаве воспользуемся следующей системой уравнений [5]:

$$K - \alpha_R D_i C_i C_v - div\mathbf{j}_{i,v} = 0\,; \qquad (1)$$

$$div\mathbf{j}_A = 0\,; \qquad (2)$$

$$\mathbf{j}_i = -\nabla D_i C_i\,,\ \ D_i = \frac{d_{Bi}C_B + \xi d_{Ai}C_A}{C_B + \xi C_A}\,; \tag{3}$$

$$\mathbf{j}_v = -D_v^2 \nabla \frac{C_v}{D_v}\,,\ \ D_v = d_{Av}C_A + d_{Bv}C_B\,; \tag{4}$$

$$\mathbf{j}_A = -d_{Av}C_v^2 \nabla \frac{C_A}{C_v} - \nabla \frac{\lambda C_A}{C_B + \lambda C_A} D_i C_i\,, \tag{5}$$

где $C_{i,v}$ – концентрации МА и вакансий, соответственно; $C_{A,B}$ – концентрации компонентов сплава ($C_A + C_B = 1$); K – скорость создания смещений; α_R – константа скорости рекомбинации; d_{Ai} и d_{Bi} – диффузионные коэффициенты МА; d_{Av} и d_{Bv} – диффузионные коэффициенты вакансий; $\lambda = \xi\, d_{Ai}/d_{Bi}$. Параметр ξ выражается через энергию $H^i_{B\to A}$, выделяющуюся при превращениях МА сорта *B* (гантели *BB*) в МА сорта *A* (гантель *AB*): $\xi = \exp(H^i_{B\to A}/k_B T)$, ($k_B$ – постоянная Больцмана, *T* – температура). В случае гантельных конфигураций МА, $H^i_{B\to A}$ – энергия связи смешанной гантели. Уравнения (1)-(5) применимы для достаточно концентрированных сплавов ($\min(C_A, C_B) > 10^{-3}$). При $\xi = 1$ уравнения (1)-(5) переходят в известные уравнения работы [6].

Пусть сплав содержит вакансионные поры и дислокации, на которых поддерживаются равновесные значения концентраций ТД, одинаковые для всех стоков:

$$C_v\big|_s = C_v^e,\ \ C_i\big|_s = 0,\ \ s = V_k, D_k,\ k = 1,2,3,... \tag{6}$$

где s – тип стока (*V* – пора; *D* – дислокация), индекс *k* нумерует стоки. Будем предполагать, что ТД не взаимодействуют с упругими полями, которые могут создавать поры и дислокации.

Общие свойства решения системы уравнений (1)-(5) исследованы в работах [5, 7]. Было показано, что неоднородности состава сплава вблизи стоков, возникающие вследствие обратного эффекта Киркендалла, не приводят к разделению потоков вакансий и МА на стоки разного типа, т.е. полные потоки вакансий и МА на каждый сток равны:

$$J_v^s = J_i^s\,,\ \ s = V_k, D_k,\ \ \ k = 1,2,3,... \tag{7}$$

где $J_n^s = \oint \mathbf{j}_n\big|_s d\mathbf{s}$ (здесь $d\mathbf{s}$ – элемент поверхности). В случае дислокаций потоки определены на единицу длины. Локальные значения концентраций ТД и компонентов сплава связаны соотношениями [5, 7]:

$$D_i C_i = d_{Bv} \frac{C_B + \lambda C_A}{C_B + \kappa C_A}(C_v - C_v^e)\,; \tag{8}$$

$$\frac{C_A}{C_B}\left[1 + \left(\frac{C_v}{C_v^e} - 1\right)\frac{1+\kappa}{C_B + \kappa C_A}\right]^{\frac{\kappa - 1}{\kappa + 1}} = const = \frac{C_A^s}{C_B^s}\,, \tag{9}$$

где $\kappa = \dfrac{d_{Ai}d_{Bv}}{d_{Bi}d_{Av}}\xi$; C_A^s – концентрация примеси на стоках ТД, которая не зависит от типа стока. Кроме того, в пространстве между стоками $\mathbf{j}_i = \mathbf{j}_v$ и $\mathbf{j}_A = 0$, а поток вакансий можно представить в виде

$$\mathbf{j}_v = -\nabla D_v^{ef}(C_v - C_v^e)\,. \tag{10}$$

Здесь D_v^{ef} – эффективный коэффициент диффузии вакансий

$$D_v^{ef} = d_{Bv}\frac{C_B + \lambda C_A}{C_B + \kappa C_A}\,. \tag{11}$$

Соотношение (8) аналогично соотношению $D_i C_i = D_v(C_v - C_v^e)$ для чистого металла и переходит в него, если концентрация одного из компонентов сплава мала ($C_A << C_B$ или $C_A >> C_B$).

3. УРАВНЕНИЯ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Для определения потоков ТД на стоки необходимо решить диффузионную задачу (1)-(6). Сделать это для произвольного пространственного распределения стоков не представляется возможным даже в случае чистых металлов. Поэтому обычно ограничиваются поиском средних концентраций и потоков ТД, усредненных по положениям всех стоков, окружающих выделенный [2, 8].

Усреднение уравнения (1) по всевозможным конфигурациям стоков и объему, содержащему большое количество стоков, приводит к уравнению:

$$K - \alpha_R \overline{D}_i \overline{C}_i \overline{C}_v - \int J_n^v f(r)dr - J_n^D \rho = 0\,,\ n = i, v\,, \tag{12}$$

где $f(r)$ – функция распределения пор по размерам; r – радиус поры; ρ – плотность краевых дислокаций. Здесь и ниже черта означает усреднение по пространству между стоками.

3.1. ПРИБЛИЖЕНИЕ НУЛЕВОЙ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ МАКРОДЕФЕКТОВ

Для нахождения полных потоков ТД к данному стоку используем метод, подобный методу, предложенному в [9]. Уравнения (1) и (2) будем решать в области влияния выбранного стока, свободной от других стоков. Вне этой области реальная система заменяется гомогенной эффективной поглощающей средой. Внешний радиус области влияния $R^s_{\inf}$ порядка среднего расстояния между стоками. Чтобы сделать выбор радиуса влияния однозначным, так же как и в работе [2], потребуем, чтобы все ТД, создаваемые внутри области влияния, поглощались внутри этой же самой области, т.е. $\mathbf{j}_{i,v}(r = R^s_{\inf}) = 0$ (где r – расстояние от центра стока). Обратим внимание, что $R^s_{\inf}$ не зависит от типа ТД, так как $J_i^s = J_v^s$.

В случае малой объемной доли стоков основные изменения концентрации диффузантов происходят на расстояниях порядка размера стока. Следовательно, на сфере $r = R^s_{\inf}$ концентрации ТД и примеси с хорошей точностью равняются их средним значениям в эффективной среде $\overline{C}_n$ $(n = i, v, A)$.

Таким образом, пренебрегая рекомбинацией ТД внутри области влияния, из (1) и (2) получаем диффузионную задачу:

$$div\mathbf{j}_{i,v} = K\,; \tag{13}$$

$$div\mathbf{j}_A = 0\,; \tag{14}$$

$$C_n(r = R^s_{\inf}) = \overline{C}_n\,. \tag{15}$$

Можно показать [10], что в нулевом порядке по параметру $r_s / R^s_{\inf}$ (где r_s – радиус стока) решение этой задачи совпадает с решением уравнений

$$div\mathbf{j}_n = 0, \quad n = i, v, A\,, \tag{16}$$

с граничными условиями (6) и

$$C_n(r \to \infty) \to \overline{C}_n, \quad n = i, v, A\,. \tag{17}$$

Из этих уравнений находим полный поток МА на сток

$$J^s_i = Z_s \overline{D}_i \overline{C}_i, \quad Z_v = 4\pi r_v, \quad Z_D = 2\pi\,(\ln L/r_D)^{-1}, \tag{18}$$

где Z_s – эффективность захвата ТД стоком типа s; r_D – радиус захвата дислокации; L – среднее расстояние между стоками (для прямолинейной дислокации задачу следует решать в ограниченной области). Полные потоки вакансий и примеси, нормированные на поток МА, $Q^s_{v,A} = J^s_{v,A} / J^s_i$, удовлетворяют уравнениям [5, 10]:

$$\overline{\mathrm{D}}_i \overline{\mathrm{C}}_i \frac{\lambda + \mu \mathrm{Q}^s_v + (\mu - \lambda)\mathrm{Q}^s_A}{\mathrm{d}_{Av}\mathrm{C}^e_v\left(\overline{\mathrm{C}}_B + \lambda \overline{\mathrm{C}}_A\right)} + 1 = \exp\left\{\left[\lambda + \mu \mathrm{Q}^s_v + (\mu - \lambda)\mathrm{Q}^s_A\right]\int_{\mathrm{C}^s_A}^{\overline{\mathrm{C}}_A} \frac{\mathrm{dC}_A}{\mathrm{G}(\mathrm{C}_A)}\right\}; \tag{19}$$

$$G(C_A) = Q^s_A(C_B + \lambda C_A)(C_B + \mu C_A) + \left[\mu Q^s_v (C_B + \lambda C_A) - \lambda (C_B + \mu C_A)\right] C_A;$$

$$d_{Av}\left(\overline{C}_v - \overline{C}^e_v\right) = \overline{D}_i \overline{C}_i \left[Q^s_A(\mu - 1) + \left(Q^s_v - 1\right)\mu + \frac{\mu \overline{C}_B + \lambda \overline{C}_A}{\overline{C}_B + \lambda \overline{C}_A}\right], \tag{20}$$

где $\mu = d_{Av} / d_{Bv}$.

Полные потоки ТД и компонентов сплава на поверхности стоков удовлетворяют соотношению

$$J^s_A = C^s_A (J^s_i - J^s_v), \tag{21}$$

которое означает, что поры и дислокации не являются источниками или стоками для компонентов сплава. C^s_A – концентрация примеси на стоке, которая поддерживается благодаря радиационно-индуцированной сегрегации.

В уравнениях (19), (20) величина C^s_A также неизвестна. Исключая Q^s_A и Q^s_v из (19) с помощью (20) и (21), можно получить замкнутое уравнение для C^s_A, вид которого не зависит от типа стока. Следовательно, одинаковая концентрация примеси поддерживается на всех стоках, что согласуется с соотношением (9). Используя этот результат совместно с уравнениями (12), (20) и (21), можно легко показать, что средние концентрации дефектов связаны соотношением

$$\overline{D}_i \overline{C}_i = d_{Bv} \frac{\overline{C}_B + \lambda \overline{C}_A}{\overline{C}_B + \kappa \overline{C}_A} (\overline{C}_v - C^e_v) \tag{22}$$

и поток вакансий равен потоку МА:

$$J^s_v = Z_s \overline{D}^{eff}_v (\overline{C}_v - C^e_v) = J^s_i\,. \tag{23}$$

Отметим, что здесь эффективности захвата не зависят от типа дефектов. Также обратим внимание, что соотношения (22) и (23) согласуются с точными соотношениями, но получены независимым способом.

Подставляя выражения для потоков ТД в (12), получаем уравнения сохранения для средних концентраций ТД:

$$K - \alpha_R \overline{D}_i \overline{C}_i \overline{C}_v - k^2 \overline{D}_i \overline{C}_i = 0\,; \tag{24}$$

$$K - \alpha_R \overline{D}_i \overline{C}_i \overline{C}_v - k^2 \overline{D}^{eff}_v (\overline{C}_v - C^e_v) = 0\,, \tag{25}$$

где $k^2 = \int Z_v f(r) dr + Z_D \rho$ – полная мощность стоков определена как обычно.

Эти уравнения подобны общеизвестным уравнениям скоростей реакций для чистых металлов, но имеют существенное отличие. Как показывают уравнения (11), (23) и (25), миграция вакансий в поглощающей среде описывается эффективным коэффициентом диффузии $\overline{D}^{ef}_v$, который зависит от кинетических коэффициентов МА. Причина такой зависимости в том, что микроскопические потоки вакансий и МА связаны между собой через концентрацию примеси (см. уравнения (3) и (4)).

Решение уравнений (24) и (25) для $\overline{C}_v$ имеет вид:

$$\overline{C}_v - C^e_v = \frac{1}{2}\left(C^e_v + \frac{k^2}{\alpha_R}\right)\left(\sqrt{1 + \frac{4K}{\alpha_R \overline{D}^{eff}_v}\left(C^e_v + \frac{k^2}{\alpha_R}\right)^{-2}} - 1\right). \tag{26}$$

3.2. НЕНУЛЕВАЯ ОБЪЕМНАЯ ДОЛЯ МАКРОДЕФЕКТОВ

Проведенное выше рассмотрение справедливо в нулевом порядке по параметру разложения $r_s / R^s_{\inf}$ (или r_s / L), т.е. в приближении нулевой объемной доли макродефектов. Укажем, как найти эффективности захвата стоков с учетом конечной объемной доли макродефектов. В случае чистых металлов для этой цели было разработано два подхода - модель эффективной поглощающей среды [8] и метод областей влияния [2]. В первом подходе для нахождения потока дефектов к стоку заданного типа и, следовательно, эффективности захвата реальное распределение дискретных стоков, окружающих выбранный сток, заменяется однородным поглощающим континуумом. Математически такое размазывание соответствует введению дополнительных слагаемых K_n^e и $-k_n^2 D_n C_n$ в уравнение (1) как замена граничных условий на всех других стоках за исключением исследуемого. Как только потоки к каждому стоку будут найдены, полная скорость тепловой генерации дефектов K_n^e и полная мощность стоков k_n^2, могут быть связаны со свойствами реальной системы. Чтобы обобщить такой подход на сплавы, необходимо задать зависимость свойств эффективной среды от состава сплава. Здесь предлагается следующий регулярный способ: слагаемые, отвечающие за кинетику дефектов в эффективной среде, могут быть получены однозначно только из уравнений приближения нулевого порядка (24) и (25). Согласно этим уравнениям поглощение ТД эффективной средой описывается выражениями $-k_i^2 D_i C_i$ и $-k_v^2 D_v^{ef}(C_v - C_v^e)$. Поэтому профили концентраций ТД около стока, вложенного непосредственно в эффективную поглощающую среду, следует определять из решения уравнений:

$$K - \alpha_R D_i C_i D_v - div\mathbf{j}_i - k_i^2 D_i C_i = 0; \quad (27)$$

$$K - \alpha_R D_i C_i C_v - div\mathbf{j}_v - k_v^2 D_v^{eff}(C_v - C_v^e) = 0; \quad (28)$$

$$\mathbf{j}_i = -\nabla D_i C_i, \quad \mathbf{j}_v = -\nabla D_v^{eff}(C_v - C_v^e) \quad (29)$$

с граничными условиями (6) и (17). Здесь $k_n^2 = \sum_s Z_{sn} N_s$ $(n = i, v)$ – полная мощность стоков, выраженная через эффективности захвата Z_{sn} и плотности стоков N_s. В таком подходе задача о нахождении потоков ТД сводится к определению эффективностей захвата Z_{sn}.

В пространстве между стоками $\mathbf{j}_i = \mathbf{j}_v$ и $\mathbf{j}_A = 0$ [5, 7]. Очевидно, такие же соотношения должны выполняться в эффективной среде. Кроме того, соотношение (11) также должно выполняться (по крайней мере, в среднем, т.е. вдали от стока). Из этих требований с необходимостью следует, что $k_i^2 = k_v^2$. Благодаря особому виду потоков ТД, уравнения (27) и (28) могут быть решены отдельно, если пренебречь объемной рекомбинацией. Очевидно, что решения для $D_i C_i$ и $D_v^{ef}(C_v - C_v^e)$, полученные таким образом, совпадают друг с другом, а также с решением для чистых металлов. Следовательно, $Z_{si} = Z_{sv}$ все выражения для эффективностей захвата стоков в чистых металлах справедливы также в случае сплавов (если, конечно, взаимодействие между стоками и ТД отсутствует).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В работе [4] для описания поглощения ТД эффективной средой без необходимого обоснования используются слагаемые $-k_i^2 D_i C_i$ и $-k_v^2 D_v(C_v - C_v^e)$ в таком же виде, как и для чистых металлов. Такой прямой перенос модели эффективной среды, развитой для чистых металлов на случай сплавов, приводит к ошибочным выводам о существовании сегрегационного преференса даже поверхности тонкой пленки – единственного стока в системе. Необходимой предпосылкой для сегрегационного преференса является различие свойств стоков различных типов. Такая ситуация наблюдается, например, если ансамбль пор состоит из изолированных пор и пор, связанных с частицами второй фазы. Согласно экспериментальным наблюдениям [11], вблизи поры, связанной с выделением, состав сплава однороден, так как поверхность поры является путем быстрой диффузии элементов, сегрегирующих к выделению. Вокруг изолированной поры вследствие радиационно-индуцированной сегрегации поддерживается композиционный градиент. Как показано в [11], эффективный коэффициент диффузии вакансий к поре, связанной с выделением, отличается от коэффициента диффузии вакансий в окрестности изолированной поры, в то время как коэффициент диффузии МА не зависит от типа поры. Это немедленно приводит к конкуренции между порами по отношению к поглощению вакансий. В результате, поры, связанные с выделениями, предпочтительно поглощают вакансии. Оказывается, что фактор предпочтения равен $\overline{D}_v / \overline{D}_v^{ef} - 1$ [11].

В заключение отметим, что проведенное выше рассмотрение справедливо также для сплава с ограниченной растворимостью примеси при средних концентрациях примеси меньше радиационно-модифицированного предела растворимости примеси [5, 12], т.е., когда на стоках ТД не образуются выделения вторых фаз ($C_A^s < C_A^e$, где C_A^e – термический предел растворимости примеси).

5. ВЫВОДЫ

1. Построены уравнения баланса для средних концентраций радиационных ТД. Показано, что в бинарных сплавах поглощение междоузельных атомов и вакансий в эффективной среде описывается слагаемыми

$$-k^2 D_i C_i \text{ и } -k^2 d_{Bv} \frac{C_B + \lambda C_A}{C_B + \kappa C_A}(C_v - C_v^e),$$

где k^2 задается выражением, полученным для чистых металлов (если пренебречь взаимодействием между ТД и стоками).

2. Если отсутствуют упругое взаимодействие ТД со стоками и асимметрия граничных условий для ТД на стоках разного типа, то на любом стоке поток вакансий равен потоку МА. Радиационно-индуцированная сегрегация не приводит к возникновению эф-

фектов предпочтения в сплаве без выделений на стоках, т.е. в сплавах со средней концентрацией примеси меньшей, чем радиационно-модифицированная растворимость.

ЛИТЕРАТУРА

1.A.D. Brailsford, R. Bullough, M. R. Hayns. Point defect sink strengths and void swelling // *J. Nucl. Mater.* 1976, v. 60, p. 246–256.

2.В.В. Слезов. Диффузионная скорость роста макродефектов в ансамблях //*ФТТ*. 1989, т. 31, с. 20–30.

3.W.G. Wolfer. Drift forces on vacancies and interstitials in alloys with radiation-induced segregation //*J. Nucl. Mater.* 1983, v. 114, p. 292–304.

4.A.D. Marwick. Calculation of bias due to solute redistribution in an irradiated binary alloy: Surfaces of a thin foil //*J. Nucl. Mater.* 1985, v. 135, p. 68–76.

5.A.S. Bakai, A.A. Turkin. Radiation-modified phase diagrams of binary alloys //*Effects of Radiation on Materials: 15-th Int. Symp. (Nashville, Tennessee, 1990), ASTM STP 1125, Eds. R. E. Stoller, A. S. Kumar and D. S. Gelles, American Society for Testing and Materials, Philadelphia*, 1992, p. 709–730.

6.H. Wiedersich, P. R. Okamoto, N. Q. Lam. A theory of radiation-induced segregation in concentrated alloys //*J. Nucl. Mater*. 1979, v. 83, p. 98–108.

7.А.А. Туркин. Некоторые точные соотношения в теории радиационно-индуцированной сегрегации в бинарных сплавах //*Вопросы атомной науки и техники. Серия: «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 1991, в. 3(57), с. 17–19.

8.A.D. Brailsford, R. Bullough. The theory of sink strengths //*Phil. Trans. Royal Soc. London.* 1981, v. 302, № A1465, p. 87–137.

9.A.D. Brailsford, R. Bullough. The rate theory of swelling due to void growth in irradiated metals //*J. Nucl. Mater.* 1972, v. 44, p. 121–135.

10.А.С. Бакай, А.А. Туркин. Радиационно-индуцированная модификация фазовой диаграммы бинарного сплава //*М.: ЦНИИатоминформ,* 1988, 35 с.

11.A.S. Bakai, O.V. Borodin, V.V. Bryk, V.N. Voyevodin, V.F. Zelenskij, I.M. Neklyudov, P.V. Platonov, A.A. Turkin. On the effect of radiation-induced segregation on void shape and growth rate //*J. Nucl. Mater.* 1991, v. 185, p. 260–267.

12.А.С. Бакай, А.А. Туркин, Ю.А. Туркин. Фазовая стабильность бинарных сплавов под облучением. II. Радиационно-модифицированные фазовые диаграммы //*ФММ*. 1991, N 3, с. 77–85.

МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОГО ПОГЛИНАЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ БІНАРНОГО СПЛАВУ ЗАМІЩЕННЯ ПІД ОПРОМІНЕННЯМ

А.А. Туркін, О.С. Бакай

Розглянуто кінетику радіаційних точечних дефектів у сплаві заміщення з необмеженою розчинністю компонентів. Припускається, що точечні дефекти не взаємодіють із пружними полями стоків, а на самих стоках підтримуються рівноважні значення концентрацій точечних дефектів, однакові для всіх стоків. Показано, що неоднорідності складу сплаву навколо пор і дислокацій, що виникають внаслідок радіаційно-індукованої сегрегації, не призводять до поділу потоків вакансій і міжвузлових атомів на стоки різного типу. Побудовано рівняння балансу для середніх концентрацій точечних дефектів. Запропоновано спосіб побудови моделі ефективного середовища для бінарного сплаву.

MODEL OF EFFECTIVE LOSSY MEDIUM FOR SUBSTITUTIONAL BINARY ALLOY UNDER IRRADIATION

A.A. Turkin, A.S. Bakai

The kinetics of vacancies and interstitials produced by irradiation in a substitutional binary alloy with complete miscibility is considered. Point defects are assumed do not interact with stress fields of sinks. At sinks the concentrations of interstitials and vacancies are fixed at their thermal equilibrium values. In spite of radiation-induced segregation causing local changes in composition around sinks, all sinks remain unbiased towards absorption of defects of a certain type, i.e. segregation alone does not lead to preferential loss of either vacancies or interstitials at a given sink The rate equations for the average defect concentrations are derived.