

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОБРАЗЦА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АВТОКОЛЕБАНИЯ

И. С. Величко¹, П. А. Селищев¹, В. И. Сугаков²

¹Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

²Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Рассматривается влияние радиационно-индуцированного изменения свойств образца (плотности дислокаций, энергии миграции точечных дефектов) и параметров теплоотода на автоколебания температуры и концентрации дефектов. Изменения этих параметров по-разному влияют на автоколебания. Например, увеличение плотности дислокаций или снижение теплоотода вызывает уменьшение амплитуды автоколебаний вплоть до их исчезновения. Период автоколебаний при этом остается практически неизменным. Уменьшение энергии миграции вакансий ведет к возрастанию как периода автоколебаний, так и их амплитуды.

Ключевые слова: автоколебания, термоконцентрационные неустойчивости, теоретическая модель, дислокации.

Введение

Известно, что в облучаемом кристалле, окружающая среда которого имеет постоянную температуру, могут возникать автоколебания температуры и концентрации дефектов [1]. Автоколебания температуры органического кристалла CH_4 при его облучении в реакторе наблюдались в [2]. Также наблюдались скачки и осцилляции проводимости, которая тесно связана с присутствием дефектов в облучаемых металлах [3 - 5], керамических материалах [6] и полупроводниках [7]. Проявлениями автоколебаний, по-видимому, являются осцилляции микротвердости облучаемого ионами гелия сплава никомик [8] и медной фольги, облучаемой электронами и ионами ряда веществ [9].

В эксперименте [10] в фольге $\text{Al}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Fe}_5\text{V}_5$ толщиной ~25 - 35 мкм, находящейся под стационарным облучением ионами криптона с энергией 835 МэВ при температуре 90 К, были обнаружены осциллирующие изменения удельного сопротивления некоторых образцов. Авторы этой работы предполагают, что возникшие осцилляции связаны с автоколебательными процессами, происходящими в фольге под облучением.

Наблюдались осцилляции размера радиационных пор [11], скорости ползучести облучаемых образцов [12].

Предложены различные теоретические механизмы возникновения автоколебаний в облучаемых материалах [13, 14].

В работе [1] предложен термоконцентрационный механизм возникновения автоколебаний и найдена область управляющих параметров (скорости радиационной генерации дефектов K и температуры окружающей среды T_e), при которых реализуется автоколебательный режим. Механизм связан с существованием обратной

связи между скоростью рекомбинации радиационных дефектов и выделением тепла: флуктуационное повышение температуры приводит к ускорению миграции дефектов и, соответственно, к ускорению рекомбинационных процессов, что обуславливает дальнейшее повышение температуры. В [1] установлено, что размер области существования автоколебаний сильно зависит от плотности дислокационных стоков. Таким образом, плотность дислокаций влияет на возможность установления автоколебаний. Увеличение плотности дислокаций в процессе облучения может быть вызвано, например, трансформацией кластеров точечных дефектов в дислокационные петли [15].

Область существования автоколебаний в пространстве управляющих параметров (K и T_e) и, соответственно, динамический режим зависят и от других параметров, которые могут изменяться в процессе облучения, например от коэффициента теплоотдачи (h). При облучении внутри образца могут создаваться комплексы, которые, связывая точечные дефекты, будут увеличивать их время движения к стокам, увеличивая таким образом эффективную энергию миграции E_m . Представляет интерес исследование влияния на временную (дозовую) зависимость изменения различных параметров, а именно плотности дислокаций, коэффициента теплоотдачи и энергии миграции дефектов. В данной работе такое исследование проведено путем численного моделирования.

Качественно явление можно проиллюстрировать следующим образом. Пусть условия облучения (K , T_e и другие параметры) таковы, что развивается автоколебательный режим. Если в процессе облучения меняется тот или иной параметр, то область существования автоколебаний будет также изменяться. Например, при

увеличении плотности дислокаций область существования автоколебаний в пространстве параметров K, T_e сужается. Таким образом, со временем граница области (критические значения параметров), в которой возможен автоколебательный процесс, будет приближаться к установленным параметрам облучения и в определенный момент система выйдет из автоколебательного режима (установленные параметры уже не будут принадлежать области существования автоколебаний). Значения концентрации дефектов и температуры образца устремятся к своим стационарным значениям, которые теперь уже устойчивы и соответствуют новым значениям плотности дислокаций.

В представленной работе проводится анализ изменения свойств автоколебаний в зависимости от параметров системы и изменения параметров при облучении в рамках механизма, предложенного в работе [1].

Постановка задачи

Рассмотрим плоскопараллельную пластинку толщиной l , в которой однородно по всему объему с независимой от времени скоростью образуются подвижные радиационные дефекты: вакансии и междоузельные атомы. Температура окружающей пластинку среды поддерживается постоянной и равна T_e . Между поверхностью пластинки и внешней средой происходит теплообмен с коэффициентом теплоотдачи h . Будем считать пластинку настолько тонкой, что ее температура практически постоянна по толщине (это возможно, когда $hl/4\kappa \ll 1$, где κ - теплопроводность образца). При невысокой интенсивности облучения прямыми рекомбинационными процессами вакансий и междоузельных атомов можно пренебречь. Тогда изменения концентрации вакансий (n_v), междоузельных атомов (n_i) и температуры облучаемой пластинки (T) описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dn_i}{dt} &= K - n_i/\tau_i, \\ \frac{dn_v}{dt} &= K - n_v/\tau_v, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{c} (K\xi(\theta_i + \theta_v) + \theta_i n_i/\tau_i + \theta_v n_v/\tau_v) - (T - T_e)/\tau_h.$$

$$\begin{vmatrix} -\lambda - 1/\tau_i & 0 & -KE_i^m/T^2 \\ 0 & -\lambda - 1/\tau_v & -KE_v^m/T^2 \\ \theta_i/\tau_i & \theta_v/\tau_v & -\lambda + K\theta_i E_i^m/T^2 + K\theta_v E_v^m/T^2 - 1/\tau_h \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

или

Здесь K - скорость создания дефектов; T_e - температура окружающей среды; c - теплоемкость единицы объема образца; $\tau_h = 2h/lc$ - характерное время теплоотдачи; $\tau_i, \tau_v, \theta_i, \theta_v$ - времена жизни и энергии образования междоузельных атомов и вакансий соответственно; ξ - константа, показывающая во сколько раз энергия, выделяемая в результате радиационного нагрева, больше энергии, идущей на образование дефектов. Время жизни дефектов связано с их поглощением стоками, прежде всего дислокациями, и определяется соотношением

$$\tau_{i(v)} = z_{i(v)} \rho_d D_{i(v)}(T) = z_{i(v)} \rho_d D_0 \exp(-E_m^{i(v)}/k_0 T),$$

где $z_{i(v)}, D_{i(v)}, E_m^{i(v)}$ - факторы предпочтительного поглощения соответствующих дефектов, коэффициенты диффузии и энергии активации миграции междоузельных атомов (вакансий); D_0 - предэкспоненциальный множитель в коэффициенте диффузии; ρ_d - плотность дислокаций.

Нетрудно убедиться, что $n_i^{st} = K\tau_i, n_v^{st} = K\tau_v$ и $T^{st} = T_e + K(\xi\theta + \theta_v + \theta_i)\tau_h$ - единственное стационарное решение системы (1). Однако это решение устойчиво не при всех значениях параметров. Потеря устойчивости стационарного режима, как показано в [1], сопровождается бифуркацией Хопфа, т.е. возникновением автоколебаний температуры и концентрации дефектов.

Исследовав устойчивость стационарного режима, найдем область значений параметров, при которых развиваются автоколебания, и определим частоту автоколебаний вблизи бифуркационных значений параметров.

Для этого рассмотрим эволюцию малого возмущения стационарного решения, $n_i(t) = n_i^{st} + \delta n_i^0 \exp(\lambda t), n_v(t) = n_v^{st} + \delta n_v^0 \exp(\lambda t)$ и $T(t) = T^{st} + \delta T^0 \exp(\lambda t)$. Декремент затухания малого возмущения стационарного решения λ удовлетворяет характеристическому уравнению

$$\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c = 0, \quad (3)$$

где

$$a = 1/\tau_h + 1/\tau_i + 1/\tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2 - K\theta_i E_i^m / T^2,$$

$$b = 1/\tau_h \tau_v + 1/\tau_h \tau_i + 1/\tau_i \tau_v - K\theta_i E_i^m / T^2 \tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2 \tau_i, \quad (4)$$

$$c = 1/\tau_h \tau_i \tau_v.$$

Согласно критерию Рауса - Гурвица, действительные части всех трех корней характеристического уравнения будут отрицательными (соответствующее стационарное решение будет устойчивым), если выполняются условия $a > 0$, $b > 0$, $c > 0$ и $ab > c$. Условие $c > 0$ выполняется всегда. Коэффициенты характеристического

уравнения являются непрерывными функциями параметров модели, поэтому при их изменении прежде всего будет нарушено условие $ab > c$ и произойдет бифуркация Хопфа. При этом в точке бифуркации ($ab = c$) значения его корней будут равны:

$$\lambda_1 = -1/\tau_h - 1/\tau_i - 1/\tau_v + K\theta_v E_v^m / T^2 + K\theta_i E_i^m / T^2 < 0, \quad (5)$$

$$\lambda_{2,3} = \pm i \sqrt{1/\tau_h \tau_v + 1/\tau_h \tau_i + 1/\tau_i \tau_v - K\theta_i E_i^m / T^2 \tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2 \tau_i}.$$

Таким образом, период развивающихся автоколебаний равен

$$\tau_{авто} = 2\pi / \sqrt{1/\tau_h \tau_v + 1/\tau_h \tau_i + 1/\tau_i \tau_v - K\theta_i E_i^m / T^2 \tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2 \tau_i}. \quad (6)$$

Значения параметров для конкретных материалов таковы, что позволяют упростить систему динамических уравнений (1). Например, для металлов $E_m^i \ll E_m^v$, $\tau_i \ll \tau_v$, $\theta_i E_i^m > \theta_v E_v^m$. Соответственно характеристическое уравнение упрощается и принимает вид

$$(\lambda - 1/\tau_i) (\lambda^2 + (1/\tau_h + 1/\tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2) \lambda + 1/\tau_h \tau_v) = 0. \quad (7)$$

Условие бифуркации также упрощается и принимает вид

$$1/\tau_h + 1/\tau_v - K\theta_v E_v^m / T^2 = 0. \quad (8)$$

Условие $\tau_i \ll \tau_v$ соответствует тому, что движения, связанные с междоузельными атомами, являются более быстрыми по сравнению с движениями, связанными с вакансиями, а возникновение автоколебаний определяется медленными движениями. Поэтому в данном случае при анализе автоколебаний можно пренебречь λ по сравнению с $1/\tau_i$: неустойчивость определяется взаимосвязью тепловыделения при отжиге вакансий с температурой образца. Тепловыделение при отжиге междоузельных атомов влияет на стационарное значение температуры.

Таким образом, развитие автоколебаний можно описать двумя дифференциальными уравнениями, связывающими концентрацию вакансий и температуру:

$$\frac{dn_v}{dt} = K - z_v \rho_d D_v(T) n_v,$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{c} (K\theta_v \xi + \theta_i K + \theta_v \rho_d z_v n_v D_v(T) - \tau_h (T - T_e)). \quad (9)$$

Проведенные расчеты показывают, что $\lambda \ll 1/\tau_i$, и подтверждают сделанное предположение.

Области значений управляющих параметров, при которых развиваются автоколебания, приведены на рис. 1. Рисунок выполнен по результатам численных расчетов для следующих параметров: $c = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/м³ (значение удельной плотности для алюминия); $\theta_v = 0.6$ эВ; $\xi = 9$; $E_m^v = 0,76$ эВ; $h = 10^6$ Дж К⁻¹ м⁻³; $D_0 = 3 \times 10^{-5}$ м² с⁻¹, $z = 1$.

В области, находящейся внутри кривой (область I), решение системы (9) неустойчиво и автоколебания существуют, соответственно в области II автоколебания отсутствуют.

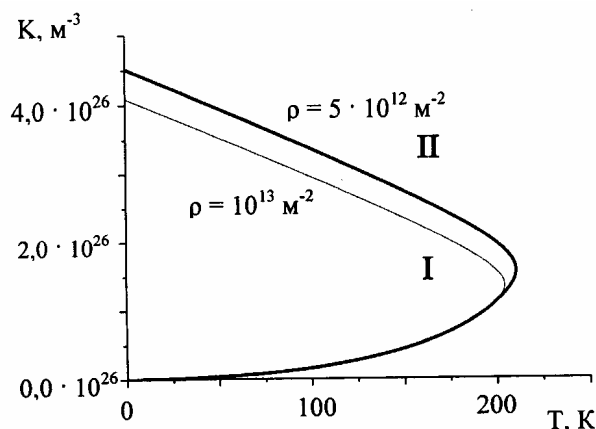


Рис. 1. Зависимость вида области существования автоколебаний в параметрах скорости создания вакансий K и температуры окружающей среды T_e от значения плотности дислокаций.

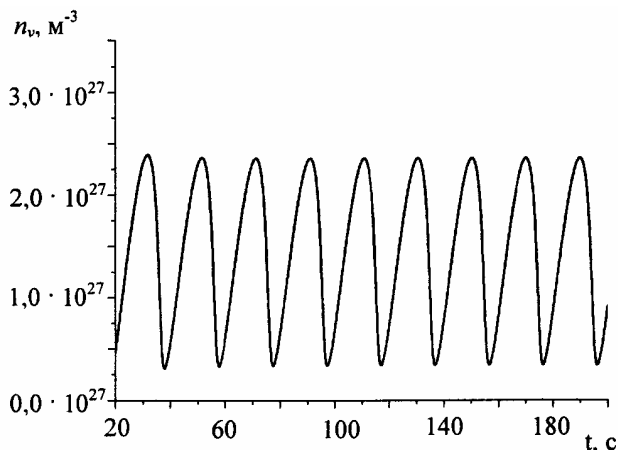


Рис. 2. Зависимость концентрации вакансий n_v и температуры образца T от времени t в автоколебательном режиме.

Влияние изменения условий облучения и радиационно индуцированного изменения свойств образца на протекания автоколебаний

Решение системы (9) при постоянных значениях параметров в автоколебательном режиме показано на рис. 2 ($\rho_d = 10^{13} \text{ м}^{-2}$, $K = 3,43 \times 10^{26} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $T_e = 90 \text{ К}$).

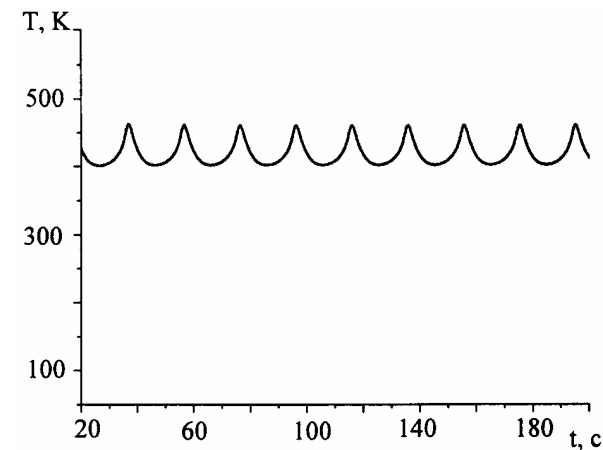
В процессе облучения могут не только меняться условия облучения, например скорость радиационного нагрева или скорость генерации дефектов, но и свойства облучаемого образца. Вследствие увеличения концентрации дефектов может меняться характер их миграции, благодаря генерации и росту дислокационных петель растет плотность дислокаций.

Рассмотрим влияние изменения плотности дислокаций, энергии миграции вакансий, а также интенсивности теплоотвода в процессе облучения на протекание автоколебаний.

Влияние изменения плотности дислокаций на автоколебания

Поскольку при увеличении плотности дислокаций область существования автоколебаний сужается, то, если в процессе облучения в образце создаются новые дислокации, система может выйти из автоколебательного режима. Полагая, что плотность дислокаций медленно растет со временем, опишем это изменение первыми членами разложения в ряд по времени, $\rho_d(t) = \rho_d^0(1 + \alpha t)$.

Решая численно систему (9) для параметров, обеспечивающих автоколебательный режим, находим зависимости температуры и концентрации дефектов с учетом возрастания плотности дислокаций, показанные на рис. 3. При численном расчете брались параметры $\alpha = 2 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$,



$\rho_d^0 = 10^{13} \text{ м}^{-2}$, $K = 3,3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $T_e = 90 \text{ К}$, значения остальных параметров указаны выше.

Как видно, амплитуда колебаний, в отличие от рис. 2, затухает со временем. До точки бифуркации $t_{\text{биф}}$ система находилась в автоколебательном режиме, затухание амплитуды колебаний температуры образца и концентрации дефектов происходило за счет изменения плотности дислокаций. В момент времени $t_{\text{биф}}$ система вышла из автоколебательного режима, решение системы дифференциальных уравнений (9) приняло вид устойчивого фокуса, что стало основной причиной дальнейшего затухания амплитуды. С течением времени система переходит в новое квазистационарное состояние, в котором температура образца и концентрация дефектов меняются, отражая зависимость плотности дислокаций от времени.

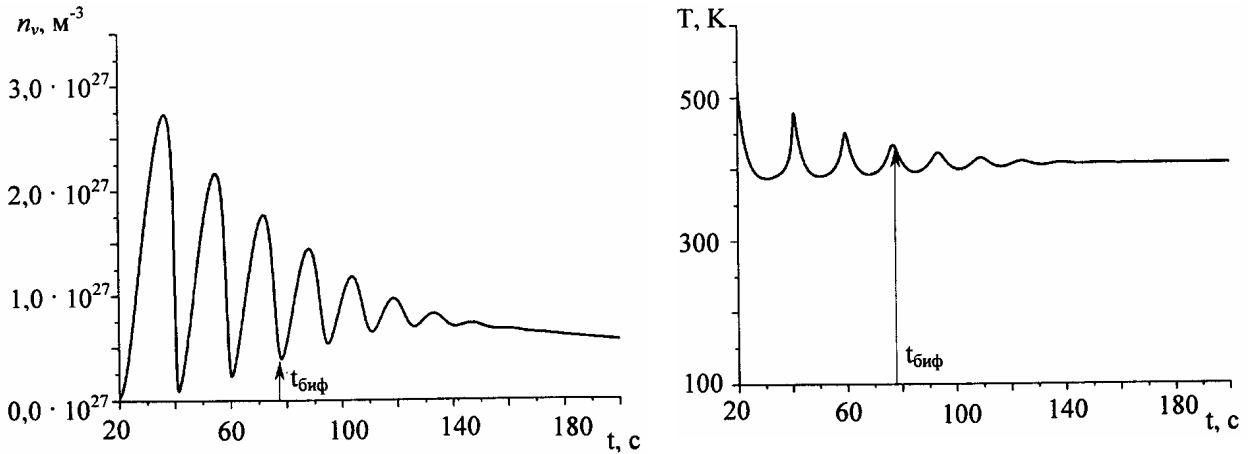


Рис. 3. Зависимость концентрации вакансий n_v и температуры образца T от времени t в автоколебательном режиме при увеличении со временем плотности дислокаций ρ_d .

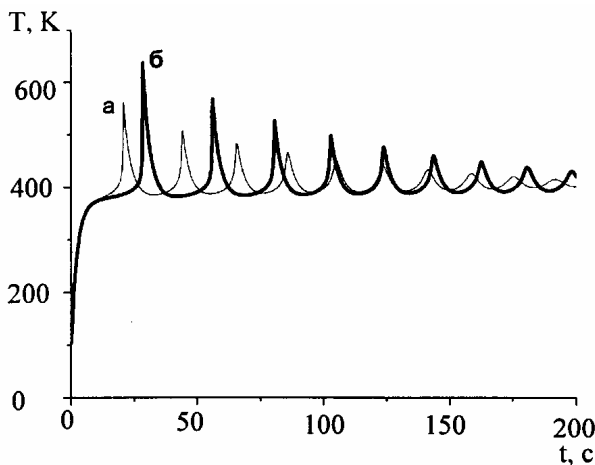


Рис. 4. Изменение процесса затухания колебаний температуры в зависимости от параметра ρ_d^0 : $a - \rho_d^0 = 10^{13} \text{ м}^{-2}$; $b - \rho_d^0 = 5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}$ ($K = 3,3 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $T_e = 90 \text{ К}$, $\alpha = 10^{11} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$, начальные значения плотности вакансий и температуры образца соответственно равны нулю и T_e).

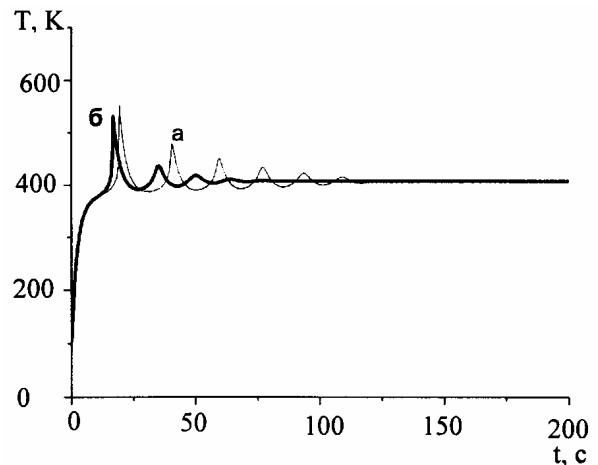


Рис. 5. Изменение процесса затухания колебаний температуры в зависимости от параметра α : $a - \alpha = 2 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$; $b - \alpha = 5 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ ($K = 3,3 \times 10^{26} \text{ м}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $T_e = 90 \text{ К}$, $\rho_d^0 = 10^{13} \text{ м}^{-2}$, начальные значения плотности вакансий и температуры образца соответственно равны нулю и T_e).

При меньшей плотности дислокаций ρ_d^0 затухание происходит медленнее, увеличивается амплитуда автоколебаний (рис. 4).

При увеличении скорости генерации дислокаций α амплитуда колебаний температуры затухает быстрее (рис. 5). При этом уменьшается период колебаний, незначительно понижается значение первого пика температуры.

Влияние изменения интенсивности теплоотвода h на автоколебания в системе

Зависимость области существования автоколебаний от интенсивности теплоотвода h представлена на рис. 6.

Если в процессе облучения изменяется режим теплоотвода, например h уменьшается, то, как видно из рис. 6, область существования автоколебаний сужается. Поэтому система, находясь в

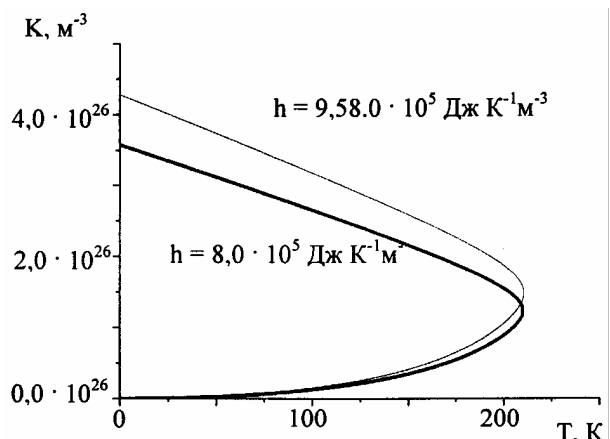


Рис. 6. Зависимость области существования автоколебаний в параметрах (K, T_e) от значения коэффициента теплоотдачи h .

автоколебательном режиме, может выйти из него. Как и в случае с плотностью дефектов, представим изменение интенсивности тепло-

отвода первыми двумя членами разложения в ряд по времени t , $h(t) = h_0 + \alpha_h t$. Временные зависимости концентрации вакансий и температуры образца с учетом уменьшения h получены численным моделированием и представлены на

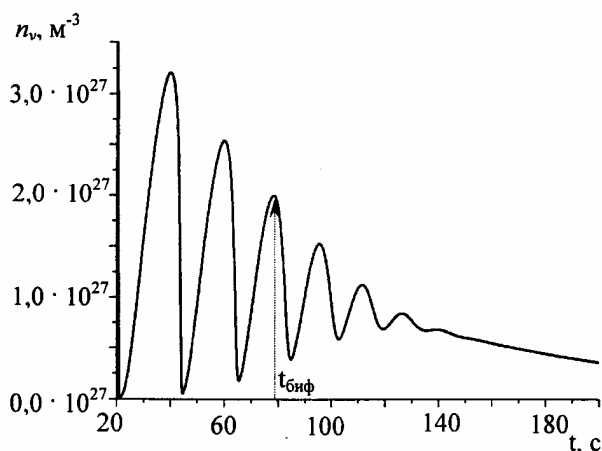
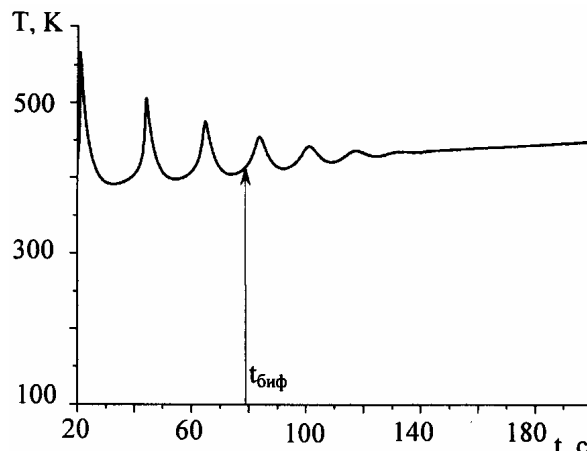


Рис. 7. Зависимости концентрации вакансий n_v и температуры образца T от времени t в автоколебательном режиме при уменьшении со временем коэффициента теплоотдачи h .

Как видно, зависимости от времени концентрации вакансий и температуры образца при изменении со временем коэффициента теплоотвода похожи на зависимости, представленные на рис. 3. При приблизительно равных временах пересечения бифуркационной кривой и одинаковых остальных параметрах число пиков и их амплитуды в обоих случаях отличаются незначительно. Существенным является различие в поведении кривых температур в квазистационарном режиме, что отражает зависимость от параметров стационарного значения температуры (стационарная температура образца обратнопропорциональна коэффициенту теплоотдачи и не зависит от плотности стоков [1]).

рис. 7. При моделировании брались следующие параметры: $c = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/м³; $\theta_v = 0,6$ эВ; $E_v^m = 0,76$ эВ; $h_0 = 10^6$ Дж К⁻¹м⁻³; $D_0 = 3 \cdot 10^{-5}$ м²с⁻¹; $\xi = 9$; $\rho_d = 10^{13}$ м⁻², $z = 1$; $\alpha_h = -6 \cdot 10^2$ Дж К⁻¹м⁻³ с⁻¹, $K = 3,3 \cdot 10^{26}$ м⁻³с⁻¹, $T_e = 90$ К.



Влияние изменения энергии миграции вакансий E_v^m на автоколебания

Увеличение эффективной энергии миграции вакансий в процессе облучения, вызванное взаимодействием этих дефектов с иными радиационно-генерируемыми дефектами, а также с созданием комплексов с участием вакансий, приводит к качественно другим эффектам. Описав рост энергии миграции вакансий линейным законом ($E_v^m(t) = E_v^{m(0)} + \alpha_{Em} t$, $E_v^{m(0)}$ - значение энергии миграции в начальный момент времени, α_{Em} - скорость изменения энергии миграции) и решив численно систему (9), получим зависимости концентрации вакансий и температуры образца от времени, представленные на рис. 8.

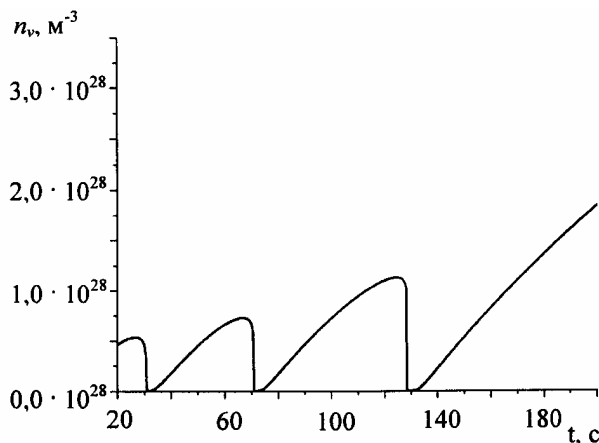
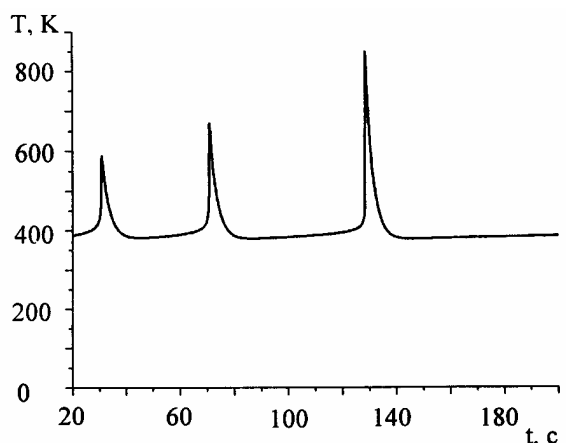


Рис. 8. Зависимости концентрации вакансий n_v и температуры образца T от времени t в автоколебательном режиме при увеличении со временем эффективной энергии миграции вакансий E_v^m .



Из рис. 8 видно, что при увеличении со временем эффективной энергии миграции вакансий период автоколебаний температуры образца и концентрации вакансий увеличивается; амплитуда также увеличивается; подобное увеличение периода экспериментально наблюдалось в [10]. При моделировании брались следующие параметры: $c = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/м³; $\theta_v = 0,6$ эВ; $\xi = 9$; $E_v^{m(0)} = 0,76$ эВ; $\alpha_{Em} = 3,3 \cdot 10^{-4}$ эВ с⁻¹; $h = 10^6$ Дж К⁻¹м⁻³; $D_0 = 3 \cdot 10^{-5}$ м²с⁻¹; $\rho_d = 10^{13}$ м⁻², $z = 1$; $K = 3,3 \cdot 10^{26}$ м⁻³с⁻¹, $T_e = 90$ К, начальная температура образца равна T_e , начальная концентрация дефектов в образце нулевая.

При учете двух факторов – роста плотности дислокаций и увеличения энергии миграции вакансий – на первых периодах колебаний доминируют эффекты, связанные с увеличением плотности дислокаций (амплитуда колебаний затухает). Но постепенно во времени начинает преобладать рост периода и амплитуды колебаний, что связано с доминированием эффекта увеличения энергии миграции.

Выводы

Проведенное исследование показало, что в процессе облучения при изменении с дозой плотности дислокаций и при временной зависи-

мости коэффициента теплоотвода меняется динамическое поведение системы. В области исследованных параметров установлено, что при изменении двух разных параметров, увеличении с дозой плотности дислокационных стоков и уменьшении коэффициента теплоотвода система ведет себя практически одинаково: автоколебания температуры образца и плотности дефектов в нем исчезают, плавно затухая, образец переходит в квазистационарный режим. Отличие в поведении температуры образца в квазистационарном режиме заложено в модели, где стационарное значение температуры зависит от коэффициента теплоотвода и не зависит от плотности стоков.

С ростом энергии миграции точечных дефектов в области исследованных параметров установлено, что период и амплитуда автоколебаний температуры и концентрации дефектов увеличиваются.

Автоколебания могут проявляться в периодическом изменении сопротивления образца в условиях стационарного облучения, которое наблюдалось на эксперименте [10]. Как показывают проведенные исследования параметров автоколебаний, их изменения со временем несут информацию о тонких процессах в дефектной структуре облучаемого кристалла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селищев П. А., Сугаков В. И. Автоколебания температуры и плотности дефектов в тонких пластинках под облучением // ФТТ. - 1988. - Т. 30, вып. 9. - С. 2611 - 2615.
2. Carpenter J.M. Thermally activated release of stored chemical energy in cryogenic media // Nature. - 1987. - Vol. 36. - P. 358 - 360.
3. Farnum E.H., Clinard F.W., Jr., Sommer W.F. et al. Search for radiation - induced electrical degradation in alumina during spallation - neutron irradiation // J. Nucl. Mater. - 1994. - Vol. 212 - 215. - P. 1128 - 1132.
4. Schule W. Radiation-enhanced diffusion due to interstitials and dynamic crowdions // J. Nucl. Mater. - 1996. - Vol. 233 - 237. - P. 964 - 968.
5. Sen P., Aggarwal G., Tiwari U. Dissipative structure formation in cold-rolled Fe and Ni during heavy ion irradiation // Phys. Rev. Lett. - 1998. - Vol. 80, No. 1. - P. 1128 - 1132
6. Kinoshita C., Zinkle S. J. Potential and limitation of ceramics in terms of structural and electrical integrity in fusion environments // J. Nucl. Mater. - 1996. - Vol. 233 - 237. - P. 100 - 110.
7. Vikhliy G.A., Karpenko A.Y., Litovchenko P.G. // Radiation Protection Dosimetry. - 1996. - Vol. 66, part 2. - P. 229 - 231.
8. Varatharajan K., Nandedkar R.V. Microhardness-microstructure study of aged nimonic 90 irradiated with helium // Effects of Radiation on Materials / Ed. R. E. Stoller. - Philadelphia, 1989. - P. 263 - 270.
9. Tetelbaum D.I., Kurilchik E.V., Latisheva N.D. Long-range effect at low-dose ion and electron irradiation of metals // Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Research. B. - 1997 - Vol. 127/128. - P. 153 - 156
10. Chatterjee R., Kanjilal A., Dunlop A. et al. The observation of oscillatory behaviour in swift heavy ion irradiated quasicrystals // Solid State Communications. - 2001. - Vol. 120. - P. 289 - 293.
11. Steele J.K., Potter D.I. The disappearance of voids during 180 keV Ni⁺ bombardment of nickel // J. Nucl. Mater. - 1995. - Vol. 218 - P. 95 - 107.
12. Schule W., Hausen H. Neutron irradiation creep in stainless steel alloys // J. Nucl. Mater. - 1994. - Vol. 212 - 215. - P. 388 - 392.
13. Селищев П.А. Самоорганизация в радиационной физике. - К.: Вид-во "Аспект-Поліграф", 2004.
14. Mikhailovskiy V.V., Russel K.S., Sugakov V.I. Time and space instabilities in binary alloys at phase transitions under irradiation. Microstructural processes in irradiated materials: Materials research society symposium proceedings, 540. - 1999. - P. 667 - 682.
15. Воеводин В.Н., Неклюдов И.М. Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов. - К.: Наук. думка, 2006.

ВПЛИВ РАДІАЦІЙНО-ІНДУКОВАНОЇ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗРАЗКА НА ТЕМПЕРАТУРНІ АВТОКОЛИВАННЯ

І. С. Величко, П. О. Селіщев, В. Й. Сугаков

Розглядається вплив радіаційно-індукованої зміни властивостей зразка (густини дислокацій, енергії міграції точкових дефектів) і параметрів тепловідводу на автоколивання температури і концентрації дефектів. Зміна цих параметрів по-різному впливає на автоколивання. Наприклад, збільшення густини дислокацій або зниження тепловідводу викликає зменшення амплітуди автоколивань до їх зникнення. Період автоколивань при цьому залишається незмінним. Зменшення енергії міграції вакансій веде до росту як періоду автоколивань, так і їх амплітуди.

Ключові слова: автоколивання, термоконцентраційні нестійкості, теоретична модель, дислокації.

THE INFLUENCE OF THE RADIATION-INDUCED CHANGES OF SAMPLE PROPERTIES TO THE TEMPERATURE AUTOOSCILLATIONS

I. S. Velychko, P. O. Selishchev, V. I. Sugakov

The influence of radiation induced changes of sample properties (dislocation density, migration energy of point defects) and parameters of heat sink on autooscillations of temperature and concentration of defects are handled. Changes of this parameters influence in different way on autooscillations. For example, increase of dislocation density and decrease of heat sink calls decreasing the amplitude of autooscillations and leads to their disappearance. Period of autooscillations remains nearly constant. Decrease of migration energy of vacancies calls increase the period and amplitude of autooscillations.

Keywords: autooscillations, thermoconcentration instabilities, dislocations, theoretical model.

Поступила в редакцію 12.06.09,
после доработки – 22.07.09.