

(квазидислокации), двигающиеся в виде периодических ансамблей. Вектор Бюргера таких квазидислокаций осциллирует в квазипериодическом атомном потенциале, поэтому их можно рассматривать как дислокации Соммианы. Вычисленные напряжения квазидислокаций являются короткодействующими, экспоненциально затухающими, в отличие от решеточных дислокаций.

Показано, что для описания диаграммы и особенностей деформации аморфных материалов необходимо применять принципы неравновесной термодинамики и синергетики. Записано общее выражение для производства энтропии при упругопластической деформации аморфных материалов с различными микромеханизмами, которые являются диссипативными процессами. Общее термодинамическое соотношение, позволяющее вычислить пластичность, температуру вязко-хрупкого перехода и т.п., показывает, что разрушение наступает, когда скорость производства энтропии, благодаря образованию критической микротрещины превысит скорость производства энтропии от других диссипативных деформационных процессов

$$P_l^T = dS_p^{(T)} / dt = \sigma_p^* \cdot \Delta \varepsilon_y^{(T)} / T \leq \sum \sigma_y \dot{\varepsilon}_y^{(l)} / T, (l = 1, 2, \dots).$$

Показано, что общий синергетический подход должен основываться на системе уравнений кинетики вакансий, свободного объема, дислокаций, микротрещин. Появление бифуркации решений кинетических уравнений при критических значениях параметров: напряжений, плотности дефектов, температуры будет определять пластичность материала, температуру вязко-хрупкого перехода T_C и другие свойства. Сформулирована полная система уравнений, включающая уравнение теплопроводности, деформации образца в машине, кинетики вакансий, свободного объема, квазидислокаций, микротрещин. Проведен анализ устойчивости решений системы стационарных уравнений и численное исследование двухпараметрической системы уравнений кинетики в пространстве напряжений и температуры. Построены фазовые траектории, бифуркационные и фазовые диаграммы типов решений в зависимости от температуры и напряжения и сопоставлены с экспериментальной диаграммой микромеханизмов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ И ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Емалетдинов А. К., Хамидуллин И. Н.

*Уфимский государственный институт сервиса, г. Уфа, Россия,
emaletd@mail.ru*

В процессе изготовления и эксплуатации элементов микроэлектроники важную роль играют внутренние напряжения. В отличие от термомеханической обработки изделий машиностроения, в микроэлектронике применяют отжиг I-го рода, который происходит в микроскопических и микропленочных областях, в которых поля напряжений дислокаций существенно изменяются, благодаря микроскопическим размерам, дислокационным реакциям между собой и на граничных поверхностях, а также границам раздела. В результате термоциклического деформирования припой в последнем возникают усталостные трещины.

Рассмотрена плоская модель деформационного состояния бесконечной и конечной пластины, содержащей участок заданной ширины из другого материала (припоя) в условиях локального нагрева. Записана полная система уравнений, включающая уравнение теплопроводности, уравнение равновесия для термоупругих напряжений, кинетики дислокаций и микротрещин и граничные условия. Уравнение равновесия записывалось для эффективных напряжений, состоящих из термоупругих и внутренних напряжений, создаваемых неизвестной плотностью дислокаций. Локальный нагрев представлял собой участок пластины заданной толщины, в котором задавалась постоянная мощность тепловыделения. В процессе отжига плотность дислокаций менялась от заданной начальной вследствие процессов полигонизации, переползания и аннигиляции дислокаций. Уравнение кинетики дислокаций включало следующие слагаемые: плотность термоактивационных источников дислокаций; член, описывающий взаимную аннигиляцию дислокаций в приближении среднего времени аннигиляции; диффузионный член, описывающий неоднородное распределение дислокаций. Скорость дислокаций контролировалась термоактивационными механизмами скольжения и переползания. Были заданы граничные условия третьего рода. Проведено численное исследование системы уравнений методом конечных разностей. Построены решения для плотности дислокаций в зависимости от времени и координаты вдоль пластины. Установлено, что при определенных условиях возникают периодические пространственные решения, описывающие процесс полигонизации и образования ячеистой структуры. Построены фазовые траектории, бифуркационные и фазовые диаграммы типов решений. Проведен анализ влияния соотношения коэффициентов теплового расширения и ширины припоя и пластины на плотность дислокаций. Установлено, что с уменьшением толщины припоя и коэффициента теплового расширения плотность дислокаций снижается.

В процессе отжига элементов микроэлектроники важную роль играют внутренние напряжения. Численно исследованы поля внутренних напряжений, созданных полученными плотностями дислокаций в зависимости от времени и координаты. Записаны выражения для полей внутренних напряжений при континуальном и дискретном распределении с учетом действия сил зеркальных изображений от границ раздела и дислокационных реакций. Проведено численное моделирование полей напряжений в микроскопической пленке для различных видов распределения дислокаций, полученных при решении системы уравнений, описанной выше.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СУБСТРУКТУРЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ РАСПЛАВОМ

Емалетдянов А. К., Хамидуллин И. Н.

Уфимский государственный институт сервиса, г. Уфа, Россия,

emaletd@mail.ru

Процесс сварки, обусловленный местным сплавлением соединяемых частей изделия или совместным их пластическим деформированием, сопровождается изменением структуры и свойств в зоне соединения и возникновением поля остаточных напряже-