

УДК 532.78:544.25(035.3)
ББК 22.37+24.561.4я44
Г20

*Печатается по решению Комитета при Ученом совете
Южного федерального университета
по естественно-научному и математическому направлению науки
и образования (протокол № 10 от 9 июня 2021 г.)*

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой
теоретической и вычислительной физики физического факультета
Южного федерального университета *Л. А. Бугаев*;

доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Физика и фотоника»
Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ)
имени М. И. Платова *Б. М. Середин*

Гармашов, С. И.

Г20 Модель термомиграции жидких цилиндрических включений в кристалле и ее применение : монография / С. И. Гармашов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 99 с.

ISBN 978-5-9275-4054-9

DOI 10.18522/801287527

В работе представлена модель, позволяющая рассчитывать форму сечения и скорость цилиндрического включения, мигрирующего в кристалле под действием градиента температуры в стационарных тепловых условиях. На основе предложенной модели, требующей в общем случае применения численных методов, получены аналитические выражения для расчета скорости включения в предельном случае относительно больших площадей сечений. Проведен анализ рассчитанных зависимостей скорости и формы сечений мигрирующих цилиндрических включений от площади их сечения, градиента температуры, степени затрудненности межфазных процессов, удельной межфазной энергии и степени ее анизотропии. Предложены методики определения степени анизотропии удельной межфазной энергии и относительной затрудненности межфазных процессов из анализа форм сечений мигрирующих цилиндрических включений.

Издание предназначено для специалистов в области роста кристаллов, а также студентов, магистрантов и аспирантов при изучении вопросов физики процессов кристаллизации.

УДК 532.78:544.25(035.3)

ББК 22.37+24.561.4я44

ISBN 978-5-9275-4054-9

© Южный федеральный университет, 2022

© Гармашов С. И., 2022

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2022

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ГЛАВА 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОМИГРАЦИИ (КРАТКИЙ ОБЗОР)	7
ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ НЕРАВНОВЕСНОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ	14
2.1. Процесс термомиграции цилиндрического включения	14
2.2. Анизотропия межфазной энергии. Капиллярные эффекты	17
2.3. Межфазная кинетика.....	24
2.4. Теплота фазовых переходов	24
2.5. Неоднородность теплового поля	24
2.6. Нестационарность температуры	25
2.7. Процессы массопереноса.....	25
2.8. Переходные процессы.....	25
2.9. Основные уравнения модели	28
2.10. Метод граней.....	34
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	39
3.1. О скорости термомиграции плоских прослоек жидкой фазы.....	39
3.2. Зависимость формы цилиндрического включения от площади его сечения	41
3.2.1. Роль межфазной кинетики и капиллярных эффектов	41
3.2.2. Случай относительно больших площадей сечений включений	45
3.2.3. Сравнение степени влияния кинетики кристаллизации и растворения на форму мигрирующего включения.....	49
3.3. Зависимость скорости цилиндрического включения от площади и толщины его сечения	52
3.4. Зависимость скорости и формы включения от градиента температуры	59

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ	64
4.1. Тестирование модели в случае равновесия.....	64
4.2. Методика определения затрудненности межфазных процессов	67
4.3. Методики определения степени анизотропии межфазной энергии...70	
4.3.1. Методика 1	70
4.3.2. Методика 2	73
4.3.3. Методика 3 (для четырехгранных сечений включений)	75
4.3.4. Методика 4 (для уплощенных включений)	77
4.3.5. Оценка площади сечения включения	78
4.4. Примеры применения методик и оценка их погрешностей	79
4.4.1. Обработка модельных форм включений.....	79
4.4.2. Обработка экспериментально полученных форм включений....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	93