

## Отзыв

на автореферат диссертации Родина Алексея Олеговича «Зернограничная диффузия в металлических системах с сильным химическим взаимодействием», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Диффузия играет важную роль в разных процессах при производстве различных изделий и их эксплуатации, представляет значительный интерес с научной точки зрения как явление, выявляющее особенности взаимодействий внутри системы. Границы зерен являются специфическими путями диффузии, в которых этот процесс обычно идет значительно быстрее, чем по объему зерен. Проявления зернограничной диффузии разнообразны. В нанокристаллических материалах и тонких пленках, которые обычно используются при низких гомологических температурах, это явление проявляется в чистом виде, как массоперенос только по быстрым путям диффузии, а в современных сплавах наблюдается смешанный режим, при котором зернограничная диффузия идет одновременно с диффузией через объем материала. В последнем случае обычно обсуждают опережающую зернограничную диффузию.

Представленная работа Родина А.О. представляет собой обобщение решений диффузионных задач, в которых ведется учет химических взаимодействий между элементами и построение алгоритма, который обеспечивает возможность выбрать наиболее значимый эффект для исследуемой системы. В работе использованы макроскопические подходы как для формулировки диффузионных задач, так и для описания химического взаимодействия и адсорбции на границах зерен. Рассмотрены случаи положительной и отрицательной адсорбции, показано влияние градиента поверхностной энергии на общий диффузионный поток, рассмотрены случаи разных химических взаимодействий, которые описаны в рамках теории регулярных и ассоциированных растворов.

Показано, что задачи могут быть сведены к достаточно простым математическим уравнениям, и приведены способы их решения. Построенные модели хорошо описывают экспериментальные данные и согласуются с результатами компьютерных экспериментов. Полученные автором решения объединены в алгоритм предварительного анализа, который позволяет на основе численных оценок энергий взаимодействия или качественного анализа фазовых диаграмм выявить наиболее существенные вклады и сделать предсказания относительно возможного замедления зернограничной диффузии в металлических системах.

Полученные автором результаты не вызывают сомнений в достоверности и корректности, однако есть замечание:

1) В автореферате сделано предположение, что состав комплексов «близок к составу ближайшей к твердому раствору промежуточной фазе на фазовой диаграмме». Однако при протекании диффузии в реальных системах состав комплексов скорее всего заметно отличается от равновесных составов.

Данное замечание не снижает ценности работы, и не ставит под сомнение квалификацию автора. Работа Родина А.О. представляет законченное научное исследование в области физики конденсированного состояния. Судя по данным в автореферате, диссертационная

работа Родина А.О. соответствует паспорту специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

На основании вышеизложенного считаю, что Родин Алексей Олегович, заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния».

И. о. заведующего кафедрой,  
профессор кафедры наноматериалов и нанотехнологии,  
РХТУ им. Д.И. Менделеева  
доктор химических наук

*Лекор*

Королева Марина Юрьевна

