

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Балашова Юрия Юрьевича

«Твердофазные превращения в пленках Sn/Cu, Sn/Fe и Sn/Fe/Cu»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

В настоящее время твердофазные химические превращения в тонких пленках представляют собой активно развивающуюся область, поскольку это связано с проблемой стабильности работы пленочных систем в нанoeлектронике. Интерес к исследованиям в тонких пленках с участием олова обусловлен тем, что олово является легкоплавким компонентом, и в тонких пленках химическое взаимодействие может осуществляться при температурах, близких к комнатной, что приводит к ухудшению рабочих характеристик приборов. Одним из решений для системы Sn/Cu является размещение Fe между пленочными реагентами в качестве барьерного слоя, так как Cu и Fe термодинамически не смешиваемы вплоть до 850 °C.

Цель представленной работы – изучить стабильность и кинетику формирования продуктов твердофазных превращений в пленках Sn/Cu, Sn/Fe и Sn/Fe/Cu. Для достижения цели решались следующие задачи:

- Изучение твердофазных превращений при нагреве тонкопленочных систем Sn/Cu, Sn/Fe и Sn/Fe/Cu. Оценка температурных интервалов, характерных для формирования определенного фазового состава.

- Оценка кинетических параметров скоростей атомного переноса при формировании фаз.

- Обоснование схемы превращений, непротиворечиво объясняющей наблюдаемую последовательность в расположении формирующихся слоев.

Научная новизна работы состоит в предложении дополнительного способа качественной оценки средней энергии Гиббса системы фаз в исследуемых пленках.

Результаты работы представляют практический интерес при использовании в анодах Li-ионных аккумуляторов.

Задачи, поставленные диссертантом, выполнены:

- Установлен фазовый состав многофазных пленок, формирующихся в результате твердофазных превращений при нагреве тонкопленочных систем Sn/Cu, Sn/Fe и Sn/Fe/Cu. Дана оценка температурных интервалов формирования и существования определенного фазового состава.

- Проведен термодинамический анализ данных, полученных методом рентгенофазового анализа, который может рассматриваться как дополнительный способ качественной оценки средней энергии Гиббса системы фаз в исследуемых пленках.

- Предложена последовательность быстропротекающих твердофазных реакций $(\text{Sn/Fe/Cu } 150^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Sn/FeSn}_2\text{/Fe/Cu} \rightarrow \text{Sn/FeSn}_2\text{/Cu} \rightarrow \text{Sn/FeSn}_2\text{/Cu}_6\text{Sn}_5\text{/Cu} \rightarrow \text{FeSn}_2\text{/Cu}_6\text{Sn}_5\text{/Cu} \rightarrow \text{Fe/FeSn}_2\text{/Cu}_6\text{Sn}_5\text{/Cu} \rightarrow \text{Fe/FeSn}_2\text{/Cu}_6\text{Sn}_5)$.

Предложен механизм ускоренного атомного переноса в исследуемых пленках, связанный с деформациями в системе кристаллитов, обусловленными разностью коэффициентов термического расширения слоев.

Основные положения и выводы диссертации представлены на нескольких международных научных конференциях в 2020–2024 гг., одобрены и не противоречат современным представлениям в материаловедении. Достоверность полученных диссертантом экспериментальных данных и обоснованность выводов и рекомендаций данной работы не вызывает сомнений.

Материалы диссертационной работы опубликованы в 4 статьях в рецензируемых зарубежных и российских научных журналах, входящих в перечень ВАК, а также в 3 сборниках тезисов докладов всероссийских и международных конференций.

Замечания по автореферату:

При исследовании твердофазных превращений в системах с участием Fe более информативным и чувствительным мог бы быть метод Мессбауэровской спектроскопии.

Данное замечание носит рекомендательный характер, не снижает научной и практической значимости диссертации и не влияет на положительную оценку исследования.

Диссертационная работа Балашова Юрия Юрьевича «Твердофазные превращения в пленках Sn/Cu, Sn/Fe и Sn/Fe/Cu» по форме и содержанию, актуальности, полноте поставленных и решенных задач, совокупности научных результатов отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук и может быть оценена положительно. Автор диссертационного исследования

Балашов Юрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник ФГБУН ИХТТМ СО РАН,
доктор химических наук

 Григорьева Т.Ф.

Григорьева Татьяна Федоровна,
доктор химических наук,
ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии
твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии
наук

Адрес: 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

e-mail: grig@solid.nsc.ru

Телефон: (383) 233-24-10 *1546, 8 913 467 8245

Даю согласие на обработку персональных данных.

Подпись Григорьевой Татьяны Федоровны заверяю

Ученый секретарь ИХТТМ СО РАН,

Д.Х.Н.

 Шахтшнейдер Т.П.

16 июня 2025 г.

