

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Д.С. Усольцевой «Электронная, атомная структура и фазовый состав композитных пленок Al-Si», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Алюминиевые сплавы широко применяются в различных отраслях техники в силу своей легкости, прочности, коррозионной стойкости и технологичности. На основе композитных пленок алюминий-кремний разработаны технологии формирования упорядоченных и неупорядоченных нанопористых структур. Кроме того, использование современных пленочных технологий, позволяет сформировать на основе сплавов алюминий-кремний структуру, обладающую стабильной фотолюминесценцией. Для нанесения композитных пленок типа Al-Si с различным содержанием кремния обычно используется магнетронный метод, который характеризуется высокой энергией падающих на подложку частиц, что может способствовать формированию метастабильных фаз в композитных пленках.

Диссертация Усольцевой Д.С., целью которой было исследование особенностей фазового состава, морфологии композитных пленок, характера взаимодействия между алюминиевой матрицей и кремниевыми нанокристаллическими включениями, а также возможными изменениями энергетического спектра валентных электронов Al и Si, что в достаточной степени определяет её **актуальность**. В диссертации изучены пленки, полученные магнетронным и ионно-лучевым методом, а для решения сформулированных в диссертации задач используется комплекс экспериментальных методов, включающий современный рентгенофазовый анализ, растровую и просвечивающую электронную микроскопию, ультрамягкую рентгеновскую спектроскопию эмиссии и поглощения. Все вышесказанное, а также использование в работе современных программных сред для анализа и интерпретации экспериментальных данных обеспечило высокую **достоверность** полученных результатов и выводов.

Проведенные комплексные исследования пленок различного состава  $\text{Al}_{(1-x)}\text{Si}_x$ , где  $x = 0,25 - 0,45$ , полученных магнетронным и ионно-лучевым методом, позволили впервые установить образование метастабильной фазы упорядоченного твердого раствора кремния в алюминии  $\text{Al}_3\text{Si}$  с параметром примитивной кубической решетки, близким к параметру алюминия.

Образующаяся фаза  $\text{Al}_3\text{Si}$  распадается при кратковременном ( $\sim 1\text{с}$ ) фотонном отжиге на фазы алюминия и нанокристаллического кремния. Образование фазы  $\text{Al}_3\text{Si}$  резко снижает скорость вытравливания алюминия из

композитной пленки. В случае магнетронных пленок нанокристаллы кремния с размерами порядка 20-25 нм, находящиеся в матрице алюминия, приобретают другой характер энергетического распределения их валентных состояний (по сравнению с объемным кристаллическим кремнием) в силу изолированности этих нанокристаллов друг от друга. При этом в диссертации показано, что взаимодействие атомов алюминия и кремния в пленочном композите приводит к уменьшению электронной плотности на атомах алюминия в результате их перераспределения на атомы кремния.

**Научная и практическая значимость** полученных в диссертации Усольцевой Д.С. результатов обусловлена прежде всего тем, что установлена взаимосвязь между условиями получения и фазовым составом композитных пленок  $Al_xSi_{1-x}$ . Показано также образование метастабильной фазы  $Al_3Si$ , которое может существенно влиять на скорость вытравливания Al из композита.

Содержание автореферата в целом соответствует тексту и выводам диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных изданиях, в том числе во входящих в перечень ВАК. Содержание диссертации, приведенных результатов, сделанных выводов и выдвигаемых на защиту положений соответствует указанной специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния. Диссертация Усольцевой Д.С. является завершенным научным исследованием и оставляет общее положительное впечатление.

Тем не менее, к соискателю имеются некоторые **замечания и вопросы**:

1. Неясно, почему в диссертации не используется обычный термический отжиг, ведь это позволило бы определить температуру распада метастабильной фазы?

2. Почему были взяты композитные пленки  $Al_xSi_{1-x}$  с содержанием кремния в пределах 25-45 атомных %?

3. Корректна ли аппроксимация рефлекса Si(220) всего двумя функциями Лоренца, ведь наверное в плёнке присутствуют нанокристаллы кремния с промежуточными размерами?

В заключении следует отметить, что диссертация Усольцевой Дарьи Сергеевны «Электронная, атомная структура и фазовый состав композитных пленок Al-Si», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком профессиональном уровне. Диссертация **соответствует требованиям ВАК**, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям II раздела Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением



Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Усольцева Дарья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

24.05.2018г.



Котов Геннадий Иванович

доктор физико-математических наук  
(специальность 01.04.10 - физика полупроводников),  
профессор кафедры физики,  
теплотехники и теплоэнергетики

ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный университет  
инженерных технологий»

394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19  
телефон: +7 (905)6549200  
e-mail: giktv@mail.ru

