

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО
"Воронежский государственный
технический университет"

Колодяжный С.А.

2018 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Усольцевой Дарьи Сергеевны
«Электронная, атомная структура и фазовый состав композитных
пленок Al-Si», представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Диссертация Усольцевой Дарьи Сергеевны посвящена исследованию особенностей фазообразования в композитных пленках алюминий-кремний, полученных магнетронным и ионно-лучевым напылением. С одной стороны, алюминий, легированный кремнием, широко применяется для металлизации при производстве электронной компонентной базы, а с другой стороны, в последнее время появились публикации о возможности создания светоизлучающих структур на основе композитной системы алюминий-кремний, что открывает новые перспективы для развития фотоники на базе кремниевых технологий. При этом большой интерес представляет изучение возможности формирования метастабильных фаз при магнетронном и ионно-лучевом напылении, так как указанные процессы характеризуются высокой энергией осаждаемых частиц и существенной неравновесностью процесса.

Все вышесказанное указывает на **актуальность, теоретическое и практическое значение выбранной темы.**

Для изучения особенностей фазообразования, микроструктуры и межатомного взаимодействия в композитных пленках в диссертации использовался комплекс методов, включающий рентгеновскую дифракцию, ультрамягкую рентгеновскую эмиссионную спектроскопию (USXES),

спектроскопию тонкой структуры края рентгеновского поглощения (XANES), растровую и просвечивающую электронную микроскопию.

Целью настоящей диссертации было выяснение возможности формирования метастабильных фаз в системе Al-Si и анализ процессов, происходящих при селективном химическом вытравливании алюминия, а также импульсном фотонном отжиге (ИФО).

Для достижения цели исследования были поставлены и решены следующие задачи:

1. Определен фазовый состав композитных пленок Al-Si различного элементного состава, полученных магнетронным и ионно-лучевым напылением.

2. Исследованы особенности электронного строения композитных пленок Al-Si до и после удаления алюминия.

3. Проведен анализ влияния импульсного фотонного отжига на фазовый состав ионно-лучевых пленок $Al_{0.75}Si_{0.25}$.

Научная и практическая значимость: с помощью вышеперечисленных методов были исследованы композитные пленки Al-Si различного состава, полученные как магнетронным, так и ионно-лучевым напылением. Кроме того, для формирования нанопористых структур было проведено вытравливание алюминия и проведены детальные исследования происходящих при этом изменений в фазовом составе и электронно-энергетическом спектре.

Для исходных пленок, полученных ионно-лучевым методом и практически полностью состоящих из фазы Al_3Si , проведено также изучение влияния на распад этой фазы кратковременных фотонных отжигов с различной дозой.

Проведённые исследования позволили автору диссертации получить ряд новых результатов. Прежде всего, было впервые установлено, что использование магнетронного и особенно ионно-лучевого способа формирования композитных пленок Al-Si приводит к образованию ранее неизвестной метастабильной фазы Al_3Si . Импульсный фотонный отжиг

приводит распаду этой фазы на фазы алюминия и нанокристаллического кремния.

Образующаяся метастабильная фаза Al_3Si имеет существенно меньшую скорость травления в ортофосфорной кислоте по сравнению с чистым алюминием.

Образование нанокристаллов кремния в матрице алюминия изменяет характер распределения валентных состояний не только кремния, но и алюминия. Образование метастабильной фазы на основе алюминия также приводит к заметному перераспределению валентных электронов алюминия.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечивается использованием комплекса методов анализа фазового состава и электронного строения с применением современного и уникального оборудования. Для обработки данных использовалось современное компьютерное обеспечение.

Научная и практическая значимость результатов, полученных в диссертации, обусловлена установлением закономерностей фазообразования композитных пленок Al-Si в зависимости от способа их получения и последующей термической обработки, а также впервые обнаруженной возможностью образования метастабильной интерметаллической фазы Al_3Si .

Вместе с тем в диссертации Усольцевой Д.С. имеется ряд **недостатков**:

1. Согласно данным рентгеновской дифракции в отличие от пленок полученных ионно-лучевым методом для которых при разном составе ($\text{Al}_{0.55}\text{Si}_{0.45}$, и $\text{Al}_{0.75}\text{Si}_{0.25}$) присутствуют одни и те же рефлексы метастабильной фазы (рис. 4.1), в пленках полученных магнетронным методом полный набор рефлексов этой фазы наблюдается только для состава $\text{Al}_{0.73}\text{Si}_{0.27}$, близкого к стехиометрии Al_3Si , а для пленок $\text{Al}_{0.55}\text{Si}_{0.45}$ имеющийся ряд "лишних" рефлексов не соответствует предполагаемой фазе Al_3Si . Однако в диссертации этот факт только отмечается, но не обсуждается.

2. Отсутствует аргументация причины, по которой был выбран ИФО для воздействия на полученные плёнки. Использование обычного термического

отжига позволил бы достоверно определить температуру полного распада фазы Al_3Si ?

3. На наш взгляд не совсем корректно называть фазу Al_3Si "метастабильной", поскольку она полностью не распадается даже после высокой дозы облучения (216 Дж/см^2) ИФО.

4. В работе обнаружено, что морфология полученных пленок Al-Si не зависит от соотношения между Al и Si (иными словами, не зависит от концентрации алюминия). В то же время известно, что для композитных наносистем металл-диэлектрик или металл-полупроводник морфология определяется концентрацией. К сожалению, данный экспериментальный факт не обсуждается в работе.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации.

Перечисленные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации Усольцевой Д.С., которая представляет собой завершённое исследование, выполненное на высоком научном уровне. Диссертация прошла апробацию на международных и всероссийских конференциях, статьи по теме диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах по физике конденсированного состояния. Результаты диссертации Усольцевой Д.С. могут быть рекомендованы для использования в вузах, научно-исследовательских учреждениях, занимающихся получением и исследованием сложных композитных пленок, полученных с использованием магнетронного и ионно-лучевого методов распыления материала, в частности, в Институте высоких температур РАН, в ФТИ УрО РАН, Юго-западном государственном университете, в Белгородском государственном национальном исследовательском университете, Воронежском государственном техническом университете, Донском государственном техническом университете и др.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения присуждении ученых степеней

Диссертация «Электронная, атомная структура и фазовый состав

композитных пленок Al-Si» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной и важной задачи физики конденсированного состояния - исследования особенностей фазового состава и электронного строения композитных пленок Al-Si, полученных магнетронным и ионно-лучевым распылением.

Содержание диссертации и форма ее представления соответствуют требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Минобрнауки России (от 24 сентября 2013 года №842 с изменениями на 28 августа 2017 года), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Усольцева Дарья Сергеевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация и автореферат Усольцевой Д.С. рассмотрены на научном семинаре кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета. Отзыв на диссертацию обсуждён и принят на заседании кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета 07.05.2018 г. (протокол № 17).

И.о. заведующего кафедрой
физики твердого тела



Стогней О.В.

Стогней Олег Владимирович,
доктор физико-математических наук (специальность – 01.04.07 «физика конденсированного состояния»), профессор Воронежского государственного технического университета,
почетный работник ВПО РФ.
ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"
394026, г. Воронеж, Московский пр-т, д.14
тел.: +7(473) 2466647
e-mail: sto@sci.vrn.ru