

ОТЗЫВ ОППОНЕНТА
НА ДИССЕРТАЦИОННУЮ РАБОТУ
Бронникова Кирилла Алексеевича
«Формирование лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур на пленках металлов и полупроводников», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 - Оптика

Представленная диссертационная работа рассматривает вопросы особенностей формирования лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС) на тонких пленках металлов (хрома, гафния, титана) и кремния, зависимостей их свойств от условий лазерного воздействия, внешней среды и свойств облучаемого материала. Данные периодические структуры образуются на поверхности твердых тел в области лазерного пятна при мощности излучения близкой к порогу абляции и имеют околотоволновой либо субволновой период. В настоящее время вопросы управляемости, упорядоченности и масштабируемости рельефов на основе ЛИППС активно рассматриваются в исследованиях в области взаимодействия лазерного излучения с веществом, что обуславливает актуальность защищаемой работы. Кроме того, благодаря относительной простоте создания периодических решеток на их основе, ЛИППС имеют перспективы применения в практических приложениях, примеры чего находятся в современной релевантной научной литературе.

Цель представленной диссертации состояла в исследовании особенностей формирования упорядоченных термохимических и абляционных ЛИППС с помощью фемтосекундного лазерного излучения на пленках металлов и полупроводников, а также поиск оптимальных режимов с точки зрения производительности записи и упорядоченности структур. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Во введении кратко охарактеризован сам феномен возникновения ЛИППС, его особенности, практические приложения, а также выделен отдельный тип – термохимические ЛИППС, которые являются объектом исследования в данной работе; формулируются цель и задачи. В Главе 1 представлен обзор литературы с углубленным экскурсом в историю открытия ЛИППС, приведена классификация данных структур. Отдельное внимание уделено описанию термохимического типа ЛИППС, образующихся чаще всего в результате окисления материала. В Главе 2 приводятся результаты исследования образования ЛИППС на пленках хрома различной толщины и при различных частоте повторения и количестве лазерных импульсов, пленках гафния, а также на пленках титана в зависимости от длины волны излучения и внешней газовой среды. В Главе 3 представлены результаты исследования формирования ЛИППС на пленках аморфного кремния при различной

скорости сканирования с подробным анализом морфологии, химического состава, оптических свойств структур. Кроме того, продемонстрировано использование созданных ЛИППС на кремнии в качестве подложки в задаче флуоресцентного анализа раствора. Представлены результаты по лазерно-индуцированной кристаллизации пленки аморфного кремния без образования поверхностных структур, а также по формированию ЛИППС различного типа на кристаллическом кремнии, покрытом тонкой пленкой гафния.

Научные результаты работы являются новыми и актуальными, что подтверждается публикациями автора в рецензируемых журналах и докладами на международных конференциях. В частности, зависимости некоторых свойств термохимических ЛИППС (такие как периодичность, упорядоченность) от условий облучения и толщины пленки, наблюдавшиеся ранее, в данной работе получили объяснение путем анализа химического состава и проведенных численных расчетов. Научная новизна работы обусловлена рассмотрением механизмов формирования ЛИППС в форме гексагональной решетки конусообразных выступов на пленках кремния, а также экспериментальным выявлением связей между характеристиками термохимических ЛИППС на металлических пленках от параметров фемтосекундного лазерного воздействия. Прикладная значимость работы связана с показанной возможностью масштабирования рельефов на основе ЛИППС без существенной потери упорядоченности для формирования сплошных функциональных покрытий путем построчного сканирования. Сделанные выводы по работе являются обоснованными и подкреплены соответствующими методами научного исследования.

В результате рассмотрения в работе были сформулированы следующие вопросы и замечания:

1. по п.1 научной новизны: выявленная связь периода ТЛИППС с толщиной пленки хрома убедительно объяснена и верифицирована как экспериментально, так и на основании численного моделирования, через формирование оксидов различных химических составов, обладающих отличными оптическими свойствами. Тем не менее представляется необходимым более подробно раскрыть связь между толщиной пленки и химическим составом образующихся оксидов, о чем сделано только краткое предположение на стр.39 диссертации;

2. положение 1 постулирует преимущество использования астигматического гауссова пучка по сравнению с исходным по критериям упорядоченности структур и производительности записи, и достаточно убедительно верифицировано экспериментальными результатами, приведенными в разделе 2.3. Тем не менее, сформулированное положение обладает ограниченной прикладной значимостью и оставляет пространство для дальнейших предположений в части того, какая форма пучка

могла бы представлять еще больший интерес и быть оптимальной для осуществления записи;

3. в разделе 2.5 диссертации показано формирование устойчивой фазы рутила при записи ТЛИППС на пленках титана в среде азота. При этом известно, что нестационарное окисление титана зачастую связано с формированием как оксидов с другими степенями окисления (TiO , Ti_2O_3 , Ti_3O_5 , Ti_4O_7 и др), так и нестехиометрических компонент. В связи с важностью этих результатов для защищаемого положения 2 представляется необходимым более подробное обсуждение физико-химических механизмов, приводящих к формированию структур с устойчивым комплексным химическим составом TiO_2/TiN ;

4. положение 4 представляется сформулированным недостаточно четко, и требует дополнительных пояснений, к примеру, на основании сводной диаграммы режимов (рис.43е в диссертации), об экспериментально установленных границах режимов и предполагаемых механизмах формирования структур различного периода и ориентации;

5. представляется необходимым пояснить ощутимый разброс значений, полученных для зависимости периода ТЛИППС от скорости сканирования при записи на пленках гафния различной толщины (рисунок 26 в диссертации);

6. при существенно высоком уровне грамотности и выдержанном научно-техническом стиле изложения, тем не менее может быть сделано замечание по отклонениям от общепринятого ГОСТ Р 7.0.100-2018 в оформлении списка литературы.

Указанные замечания не снижают в целом высокого качества представленной диссертационной работы и могут быть расценены как предложения для направлений проведения дальнейших исследований.

Диссертационная работа «Формирование лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур на пленках металлов и полупроводников» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 – оптика, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Синёв Дмитрий Андреевич,
к.т.н., научный сотрудник,
Физико-технический мегафакультет,
Университет ИТМО
МП



24 ноября 2022
дата

Подпись Синёва Д.А.
удостоверено
Начальник АМДО
Шинина В.А.

