

УДК 544.032.65

**ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ И ТОЛЩИНЫ ПЛЕНКИ НА
ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ**

Храмов А.С., Васильев М.Д., Машарская А.А., Мухсинова Р.М. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук Синева Д.А. (ИТМО)

Научный консультант – доктор технических наук Шахно Е.А. (ИТМО)

Введение. В последнее время лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИППС) привлекают внимание исследователей как с экспериментальной, так и с теоретической точки зрения [1, 2]. На массивных металлах ЛИППС имеют период порядка длины волны лазерного излучения и направлены перпендикулярно его поляризации. Одним из общепринятых механизмов образования таких ЛИППС является интерференция падающего излучения с поверхностной электромагнитной волной (ПЭВ), образующейся на границе воздух-металл [1, 3]. Однако в экспериментах на тонких металлических пленках период структур оказывается существенно меньше длины волны, а их ориентация параллельна поляризации лазерного излучения [4, 5]. Предложенный ранее механизм образования ЛИППС на металлических пленках на основе интерференции падающего излучения с рассеянными на шероховатостях волнами [6], не объясняет варьирование величины периода ЛИППС на пленках на подложках из разных материалов. В настоящей работе влияние материала подложки на образование ЛИППС учитывается в рамках модели образования ПЭВ на границе пленка-подложка. Проведено экспериментальное исследование свойств ЛИППС на металлических пленках в зависимости от материала подложки и толщины пленки, подкрепленное моделированием ПЭВ на границе пленка-подложка.

Основная часть. Экспериментальные результаты воздействия лазерного излучения с длиной волны 1064 нм на тонкопленочные покрытия демонстрируют значительное изменение периода ЛИППС при варьировании показателя преломления подложки. Была проведена оценка масштабов структур на тонких титановых пленках толщиной 20-80 нм, напыленных на подложки из кварцевых стекол, тяжелых стекол и полимеров, в результате чего был исследован широкий диапазон показателей преломления подложки (от 1,4 до 2,4). Кроме того, экспериментально подтверждена граничная толщина пленки, при которой проявляется эффект влияния показателя преломления подложки на период структур, которая составляет 50 нм. Такой эффект объясняется изменением теплоотвода из пленки в подложку, что приводит к изменению механизма формирования ЛИППС. С использованием упрощенной феноменологической модели формирования ЛИППС на основе интерференции лазерного излучения с ПЭВ, образующейся на границе пленка-подложка, выполнено моделирование распространения ПЭВ. Для различных материалов подложек рассчитаны периоды ЛИППС и толщина слоя подложки, в котором распространяется ПЭВ. Полученные значения периода рельефа хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

Выводы. Показано, что период ЛИППС на металлических пленках меняется в зависимости от материала подложки. Экспериментально полученные значения периодов ЛИППС согласуются с моделированием. Выявлено, что образование ЛИППС на достаточно тонких пленках может объясняться образованием ПЭВ на границе пленка-подложка. В минимумах глубины проникновения ПЭВ в подложку должно наблюдаться более сильное воздействие на пленку и, как следствие, максимумы окисления, в максимумах глубины проникновения ПЭВ в подложку она слабо участвует в воздействии на пленку. В то же время на пленках толщиной 60 нм и более формирование ЛИППС связано с механизмами образования ЛИППС на массивных материалах.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10230, <https://rscf.ru/project/24-79-10230/>. Авторы благодарят Институт лазерных технологий

Университета ИТМО за поддержку НИР магистрантов и аспирантов. Авторы благодарят к.ф.-м.н., доц. НОЦ ФилоИИ Университета ИТМО Асеева В.А. и ресурсный центр «Нанотехнологии» СПбГУ за помощь в получении образцов титановых пленок на диэлектрических подложках.

Список использованных источников:

1. Bonse J., Gräf S. Maxwell meets Marangoni—a review of theories on laser-induced periodic surface structures //Laser & Photonics Reviews. – 2020. – Т. 14. – №. 10. – С. 2000215.
2. Zhao G. X. et al. Femtosecond laser-induced periodic surface structures on hard and brittle materials //Science China Technological Sciences. – 2024. – Т. 67. – №. 1. – С. 19-36.
3. Huang M. et al. Origin of laser-induced near-subwavelength ripples: interference between surface plasmons and incident laser //ACS nano. – 2009. – Т. 3. – №. 12. – С. 4062-4070.
4. Ibrahim Q. et al. Laser fabrication of 1D and 2D periodic subwavelength gratings on titanium films //Optics & Laser Technology. – 2024. – Т. 174. – С. 110642.
5. Dostovalov A. V. et al. LIPSS on thin metallic films: New insights from multiplicity of laser-excited electromagnetic modes and efficiency of metal oxidation //Applied Surface Science. – 2019. – Т. 491. – С. 650-658.
6. Öktem B. et al. Nonlinear laser lithography for indefinitely large-area nanostructuring with femtosecond pulses //Nature photonics. – 2013. – Т. 7. – №. 11. – С. 897-901.