

УДК 544.032.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕРЕБРА

Нгуен Туан Ань (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к. т. н. Сергеев М.М.  
(Университет ИТМО)

В представленной работе изучен механизм образования цвета на поверхности серебряной пластины при воздействии наносекундными лазерными импульсами. Воздействие на образец серебра 9999 пробы проводилось в расходящемся пучке для исключения абляции поверхности. Перед лазерным облучением образец подвергался тепловой обработке в печи при температуре 175°С для формирования оксидной пленки. При воздействии лазерного излучения на такую поверхность происходила модификация оксидного слоя за счет различного термического воздействия на обрабатываемые участки. Результатом становилось образование оксидных слоев с различными цветовыми характеристиками.

### **Введение.**

Для окрашивания поверхности цветных металлов, в частности серебра, была разработана технология цветной лазерной маркировки [1], где образование цвета связано с формированием серебряных наночастиц в режиме абляции мишени. В представленной работе высказано предположение, что механизм окрашивания поверхности серебра может быть связан не только с формированием наночастиц серебра, обладающими плазмонными свойствами, но и с образованием оксидного слоя на обработанной поверхности. От механизма лазерного окрашивания поверхности серебра зависят такие характеристики, как: цветовая палитра, насыщенность и устойчивость цвета к механическому воздействию. Цветовые характеристики сильно зависят от режимов лазерного воздействия и от формируемой структуры, для которой стабильность с течением времени и износостойкость в результате эксплуатации могут сильно изменяться. По этой причине актуальным является изучение механизмов лазерного окрашивания серебра.

### **Основная часть.**

1. Выдвинута гипотеза о том, что образование цвета на поверхности серебряной пластины зависит от двух параметров: плазмонного резонанса серебряных наночастиц с заданным размером, концентрацией и химическим составом; оптических свойств тонких оксидных слоев, формируемых в зоне лазерного нагрева.
2. Дано объяснение механизму окрашивания серебряной поверхности в результате ее лазерной абляции и образования наночастиц с плазмонными свойствами.
3. Исследовано изменение цвета поверхности серебряной пластины до и после тепловой обработки в печи при температуре окисления серебра 175°С в течении 8 часов, а фиксация изменений происходила с помощью оптической микроскопии и спектроскопии.
4. Проведено воздействие на поверхность серебряной пластины до и после тепловой обработки в печи лазерным излучением с длительностью импульса 14 нс, длиной волны 1,06 мкм в расходящемся пучке в отсутствие абляции, что исключало образование серебряных наночастиц. После обработки измерялось спектральное отражение при падении естественного света под различными углами к поверхности.
5. На основе спектральных данных отражения был проведен анализ цветовых характеристик серебра до и после лазерной обработки. Были получены цветовые координаты в системе XYZ-МКО, координатах в системе sRGB, а также в цветовом пространстве CIA-Lab.

6. Дано объяснение механизму окрашивания серебряной поверхности при лазерном воздействии в отсутствие формирования наночастиц серебра. В отсутствие серебряных наночастиц окрашивание поверхности происходило за счет изменения оптических свойств оксидных слоев, формируемых в результате тепловой обработки в печи и изменяемых при дополнительном воздействии лазерным излучением в расходящемся пучке.

#### **Выводы.**

В настоящей работе показано, что на окрашивание поверхности могут оказывать влияние два механизма: образование серебряных наночастиц в режиме лазерной абляции и формирование оксидных слоев за счет тепловых процессов взаимодействия излучения с образцом. Первый заключается в синтезе на поверхности серебра слоя наночастиц с малым размером 10-100 нм, что объясняется явлением плазмонного резонанса, второй заключается в создании оксидного слоя на поверхности серебряной пластины различной толщины и химического состава, что оказывает влияние на оптические свойства поверхности. Оба метода дают цветовую палитру от фиолетового до красного цветов, за исключением зеленых оттенков. Во втором случае оксидные слои дают более стабильные цвета, которые более устойчивы к внешним воздействиям.

#### Литература

1. Odintsova G., Vlasova E., Andreeva Y., Moskvina M., Krivonosov A., Gorbunova E., Pankin D., Medvedev O., Sergeev M., Shchedrina N. High-resolution large-scale plasmonic laser color printing for jewelry applications // Optics express. – 2019. – Т. 27, № 3. – С. 3672-3681.

<b>Нгуен Туан Ань (автор)</b>	<b>Подпись</b>
<b>Сергеев М.М. (научный руководитель)</b>	<b>Подпись</b>