

**НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОПУСКАНИЕ НАНОКОЛЛОИДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ
ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ МЕДИ, ЦИНКА И ЛАТУНИ**

Е.С. Савельев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. В.А. Светличный

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: savelyev.eg@gmail.com

**NONLINEAR TRANSMITTANCE OF NANOCOLLOIDS, PREPARED BY PULSED LASER
ABLATION OF COPPER, ZINC AND BRASS**

E.S. Savelyev

Scientific Supervisor Ph.D., associate professor V.A. Svetlichnyi

Tomsk State University

Russia, Tomsk, Lenin str, 36, 634050

E-mail: savelyev.eg@gmail.com

Abstract. Colloidal solutions, stabilized using PVP, were produced by pulsed laser ablation of bulk copper, zinc and brass in water and alcohol. Nonlinear transmittance of these solutions under pulsed irradiation of first and second harmonic of Nd:YAG laser was investigated. It is shown, that colloidal solutions can be used as an optical limiters at wide spectral range.

Введение. Интенсивное развитие лазерной техники и лазерных технологий вызывает необходимость в нелинейных оптических материалах, для контроля, преобразования и управления лазерными пучками, например в лазерных переключателях или для ограничения лазерного излучения [1]. Помимо органических красителей, нелинейные свойства которых обусловлены эффектом обратного насыщенного поглощения, большой интерес в этой области представляют коллоидные растворы металлических наночастиц и их оксидов, обладающих как нелинейным поглощением, так и рассеянием.

В данной работе изучено нелинейное пропускание коллоидных растворов, полученных при импульсной лазерной абляции меди, цинка и латуни.

Материалы и методы исследования. Дисперсии наночастиц были приготовлены импульсной лазерной абляцией (ИЛА) металлических мишеней цинка, меди и латуни (массовое соотношение Zn:Cu – 4:6) в дистиллированной воде и этаноле. Методика ИЛА описана в [2]. В качестве источника лазерного излучения использовалась основная гармоника Nd:YAG лазера (длина волны 1064 нм, длительность импульса 7 нс, частота следования импульсов 20 Гц). Для повышения стабильности нанокolloидов в растворителе было добавлено 0,5 % мас. высокомолекулярного ПАВ – поли-N-винилпирролидона (PVP), MW = 55 000. Массовая концентрация наночастиц для всех образцов нанокolloидов составляла 200 мг/л по массе соответствующих металлов.

Исследование нелинейного пропускания коллоидных растворов проводилось методом прямого нелинейного пропускания в диапазоне плотности мощности 1–450 МВт/см². Методика эксперимента

описана в [3]. В качестве источника возбуждающего излучения использовалось импульсное излучение основной – 1064 нм и второй – 532 нм гармоник Nd:YAG лазера с длительностью 7 нс.

Результаты. На рис. 1 представлены кривые зависимости пропускания от плотности мощности падающего излучения для исследуемых коллоидных растворов.

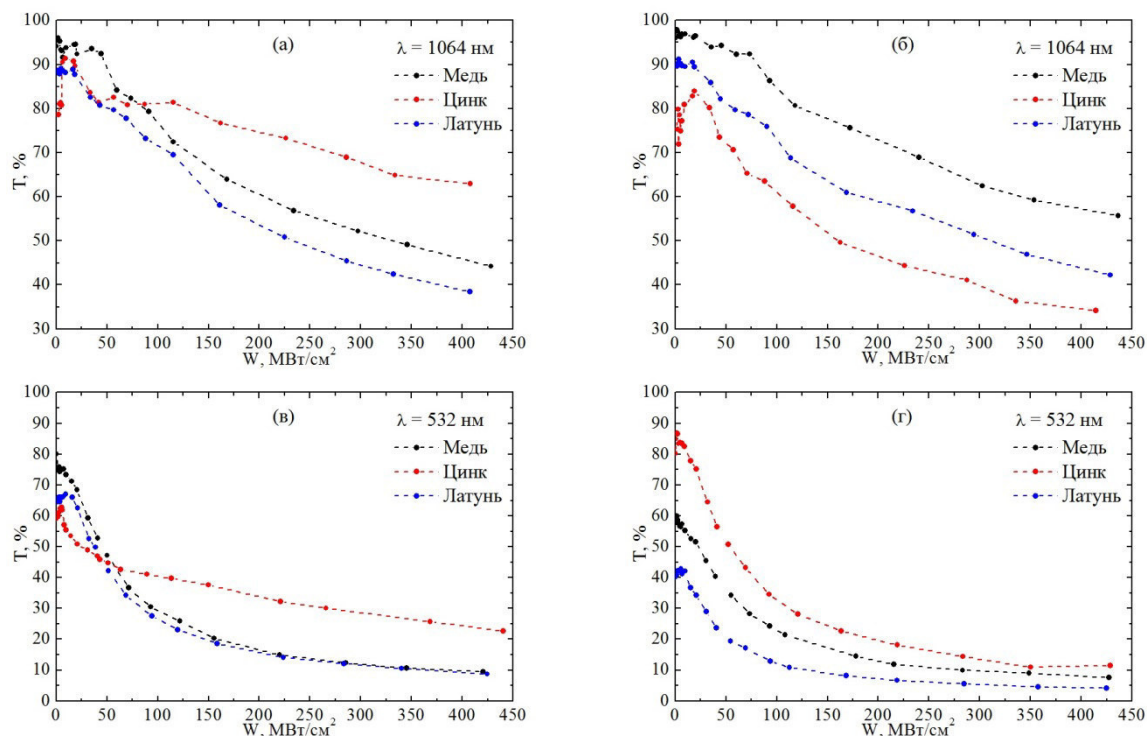


Рис. 1. Зависимости пропускания от плотности мощности излучения коллоидных растворов полученных ИЛА меди, цинка и латуни в воде (а, в) и этаноле (б, г)

Из рис. 1 видно, что пропускание всех коллоидных растворов при возбуждении 1064 нм уменьшается с увеличением плотности мощности возбуждающего излучения, а динамика уменьшения пропускания подобна, что говорит о схожести нелинейных процессов протекающих при взаимодействии возбуждающего излучения с различными наночастицами в воде и этаноле. Основным механизмом оптического ограничения для коллоидных растворов наночастиц, не имеющих полос поглощения на длине волны возбуждения предполагается нелинейное рассеяние обусловленное эффектом Керра [1]. Дополнительным фактором нелинейного рассеяния могут быть термические эффекты. В этом случае первичным процессом являться двухфотонное поглощение [1], которое может проявляться в дисперсиях, полученных при абляции меди и латуни, имеющих плазмонный резонанс в области $\sim 600 \text{ нм}$. Механизмом уменьшения пропускания на длине волны 1064 нм для растворов, полученных ИЛА цинка так же предполагается нелинейное рассеяние на образующихся в среде неоднородностях, в которых первичным процессом является нелинейное поглощение металлических наночастиц цинка. Это подтверждает более сильное уменьшение пропускания растворов, полученных ИЛА в этаноле, где частицы для всех мишеней (особенно химически активного Zn) в присутствии PVP почти не окисляются.

Для нелинейного пропускания коллоидов на длине волны 532 нм при повышении плотности мощности так же характерно уменьшение пропускания, но более выраженное и с меньшим порогом по сравнению с длиной волны 1064 нм. Зависимости пропускания от плотности мощности на длине волны

532 нм для различных наночастиц полученных в воде и спирте имеют схожий характер, но отличный от пропускания на длине волны 1064 нм. Согласно [4] наночастицы меди не проявляют нелинейного поглощения, а оптическое ограничение происходит за счет нелинейного рассеяния обусловленного термически индуцированным изменением показателя преломления в среде. Дисперсии, полученные ИЛА цинка, имеют интенсивное поглощение короче 350 нм (оксид цинка), что предполагает наличие двухфотонного поглощения на длине волны 532 нм. Интенсивное двухфотонное поглощение, как основной механизм оптического ограничения на длине волны 532 нм в дисперсиях наночастиц ZnO, упоминается, например, в [5]. В случае ИЛА латуни, в дисперсии присутствуют, как частицы именно латуни с плазмонным пиком в области 510–560 нм [6], так и наночастицы меди и ее оксидов, а так же оксида цинка. Т.е. данные дисперсии так же имеют начальное поглощение в области 532 нм, а механизмы и эффективность ослабления похожи для таковых в дисперсиях, получаемых при абляции меди и цинка. Таким образом, уменьшение пропускания на длине волны 532 нм, в основном, вероятно, обусловлено вкладом теплового механизма нелинейного рассеяния.

Заключение. В результате исследования нелинейного пропускания нанодисперсий полученных ИЛА мишеней цинка, меди и латуни было установлено, что все они обладают хорошим ослаблением лазерного излучения. Стабилизация дисперсий высокомолекулярным ПАВ замедляет как осаждение наночастиц, так и их окисление. Это позволяет использовать дисперсии для эффективного ограничения интенсивности лазерного излучения. Наиболее универсальной дисперсией для этого является образец, полученный при ИЛА латуни в спирте. Другим важным применением полученных результатов будет оптимизация условий возбуждения для минимизации нелинейного рассеяния [7] при ИЛА цинка, меди и латуни для повышения продуктивности синтеза наночастиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dini D., Mario J.F. Calvete, Hanack M. Nonlinear optical materials for the smart filtering of optical radiation // Chemical Reviews. – 2016. – № 116. – P. 13043–13233.
2. Светличный В.А., Лапин И.Н. Структура и свойства наночастиц, полученных методом лазерной абляции объемных мишеней металлического Zn в воде и этаноле // Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 5. – С. 86–91.
3. Светличный В.А., Изаак Т.И., Подгаецкий В.М., Герасименко А.Г. Ультрадисперсные системы как лимитеры интенсивности лазерного излучения // Нанотехника. – 2009. – № 1. – С. 94–99.
4. Anvari J.Z., Karimzadeh R., Mansour N. Thermo-optic properties and nonlinear responses of copper nanoparticles in polysiloxane oil // Journal of Optics. – 2010. – № 12. – P. 1–9.
5. Sreeja R. Linear and nonlinear optical properties of luminescent ZnO nanoparticles embedded in PMMA matrix // Optics Communications. – 2010. – №283. – P. 2908–2913.
6. Казакевич П.В., Воронов В.В., Симакин А.В. Образование наночастиц меди и латуни при лазерной абляции в жидкости // Квантовая электроника. – 2004. – Т.34. – №10. – С. 951–956.
7. Светличный В.А., Е.Н., Лапин И.Н. Оптимизация процесса получения наночастиц методом лазерной абляции объемных мишеней в жидкости // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 12. С. 150–152.