

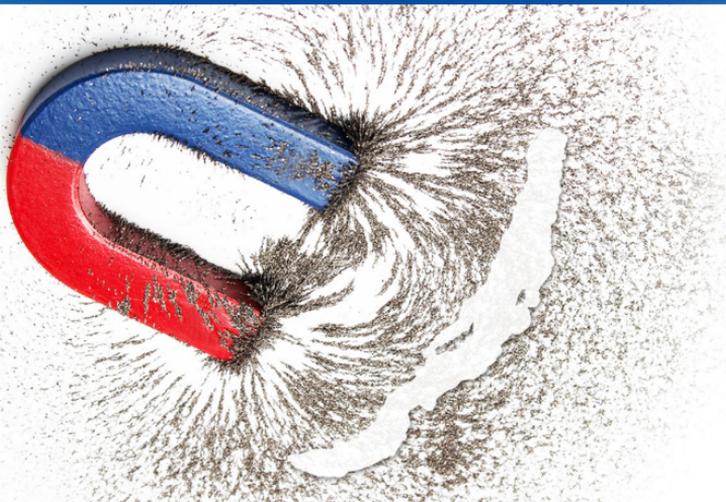
**BICMM** RUSSIA, BAIKALSK  
11-14 SEPTEMBER  
**2023**

MAGNETIC MATERIALS. NEW TECHNOLOGIES



# МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы IX Байкальской Международной конференции  
Байкальск, Россия, 11–14 сентября 2023 г.



ISBN 978-5-9624-2178-0

УДК 537.6  
ББК (В)22.334  
М15

**Магнитные материалы.** Новые технологии : материалы IX Байкальской Международной конференции. Байкальск, Россия, 11–14 сентября 2023 г. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2023. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM). – Заглавие с этикетки диска.  
<https://doi.org/10.26516/978-5-9624-2178-0.2023.1-207>

**ISBN 978-5-9624-2178-0**

Материалы отражают новейшие результаты и достижения в области магнетизма. Предназначено для ученых, специалистов, преподавателей вузов и студентов, специализирующихся в области физики магнитных явлений.

**Magnetic materials. New technologies (BICMM-2023).** Proceedings of 9th Baikal International Conference. Irkutsk, Irkutsk State University Publ., 2023.

The book of materials includes the original abstracts of plenary and oral and briefing talks and poster presentations. The abstracts reflect the new results and scientific achievements in the field of magnetism.

This book is recommended for scientists, specialists, university teachers and students.

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Иркутский государственный университет»  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. +7 (3952) 51-19-00  
Издательство ИГУ, 664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124  
тел. +7 (3952) 52-18-53; e-mail: izdat@law.is.u.ru  
Подписано к использованию 05.09.2023. Тираж 15 экз. Объем 24,2 Мб.

---

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или 8.1. ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024x768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше

## ФОРМИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА В ВОДЕ

**Заботнов С. В.<sup>1\*</sup>, Нестеров В. Ю.<sup>1,2</sup>, Шулейко Д. В.<sup>1</sup>, Преснов Д. Е.<sup>1</sup>,  
Константинова Е. А.<sup>1</sup>, Чеченин Н. Г.<sup>1,3</sup>, Джунь И. О.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

\*e-mail: zabortnov@physics.msu.ru

## FORMATION OF MAGNETIC NANOPARTICLES BY LASER ABLATION OF COBALT THIN FILMS IN WATER

**Zabortnov S. V.<sup>1\*</sup>, Nesterov V. Yu.<sup>1,2</sup>, Shuleiko D. V.<sup>1</sup>, Presnov D. E.<sup>1</sup>,  
Konstantinova E. A.<sup>1</sup>, Chechenin N. G.<sup>1</sup>, Dzhun I. O.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russian Federation

\*e-mail: zabortnov@physics.msu.ru

Импульсная лазерная абляция (ИЛА) в жидкостях – это эффективная, универсальная и экологичная технология получения наночастиц с желаемыми размерами и функциональными свойствами [1]. В частности, этот метод является многообещающим инструментом для синтеза магнитных наночастиц (МНЧ), которые важны из-за их высокого потенциала в приложениях биомедицины, катализа, хранения данных, охраны окружающей среды и сенсорики [2]. Можно относительно просто обеспечить изготовление оксидных или карбидных МНЧ за счет взаимодействия частиц в лазерно-индуцированном плазменном факеле из материала мишени с химическими компонентами буферной жидкости (например, водой и ацетоном). Среди переходных классов металлов интерес представляют оксиды кобальта [3] и железа [4] из-за их относительно высокого магнитного момента, структуры шпинели, уникальных свойств и низкой стоимости.

Как правило, для получения МНЧ методом ИЛА используются объемные мишени, а использование тонких пленок в качестве мишеней менее изучено, хотя варьирование толщины пленки потенциально добавляет еще одну степень свободы для управления размерами и свойствами МНЧ. В нашей работе мы исследовали формирование коллоидных растворов наночастиц в результате ИЛА тонких пленок Со под действием пикосекундных лазерных импульсов (34 пс, 1064 нм, 3 мДж) в дистиллированной воде. Использовались пленки, предварительно нанесенные на стеклянные подложки методом магнетронного распыления в атмосфере аргона, с толщинами в диапазоне 5–500 нм, что охватывает такие важные для ИЛА глубины, как скин-слой (~30 нм) и термодиффузионный слой (~500 нм).

Все изготовленные коллоидные растворы МНЧ демонстрировали отклик к приложенному внешнему постоянному магнитному полю, который проявлялся как выстраивание МНЧ вдоль силовых линий поля.

Зависимость среднего гидродинамического размера изготовленных МНЧ, полученная по данным динамического рассеяния света, от толщины пленки носит немонотонный характер (рис. 1, а). При минимальной толщине пленки 5 нм размер составляет около 150 нм, при толщинах 15 и 25 нм существенно увеличивается до 1 мкм, а затем снижается до 80–100 нм. Наблюдаемая зависимость может быть обусловлена различием механизмов ИЛА [5], особенностями термодиффузии на границе пленка-подложка и повышенным нагревом окружающей жидкой среды [6] в тонких металли-

ческих пленках различной толщины. Распределения коллоидов по размерам являются полидисперсными и характеризуются высокими значениями стандартного средне-квадратичного отклонения:  $\sim 40\%$  для МНЧ, полученных из пленок толщиной 50–500 нм и  $\sim 20\%$  для пленок с толщинами, сравнимыми с глубиной скин-слоя. Широкое распределение по размерам подтверждается данными растровой электронной микроскопии, которая дополнительно показывает не только существование МНЧ размером порядка 100 нм, дающих основной вклад в динамическое рассеяние света, но и наличие частиц размером несколько десятков нанометров, имеющих тенденцию образовывать более крупные агломераты.

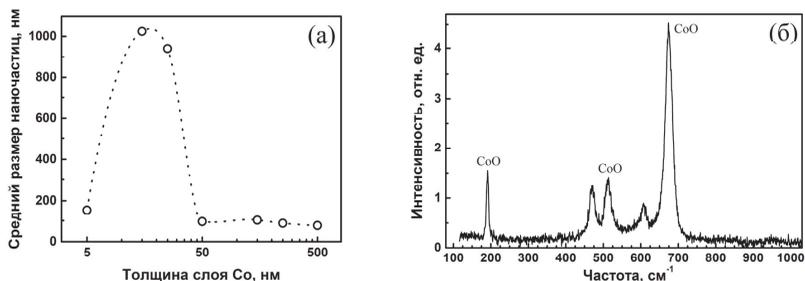


Рис. 1. Зависимость среднего размера МНЧ от толщины слоя Co (а); спектр комбинационного рассеяния света МНЧ, полученных в результате ИЛА пленки Co толщиной 250 нм (б)

Спектры комбинационного рассеяния света всех изготовленных МНЧ имеют схожий вид (см., например, рис. 1, б) с характерными линиями оксида кобальта и соотношением интенсивностей этих линий, типичным для минерала гуит ( $\text{Co}^{2+}\text{Co}_2^{3+}\text{O}_4$ ).

Спектры ферромагнитного резонанса для МНЧ характеризуются типичными для МНЧ резонансными полями  $\sim 2700$  Э. Ширина линий поглощения составляет  $\sim 200$ – $400$  Э, что обусловлено вкладом дипольного взаимодействия МНЧ в агломератах и дипольного взаимодействия агломератов между собой.

Таким образом, в настоящей работе показана возможность управления средним размером МНЧ, получаемых методом ИЛА в воде тонких пленок кобальта, в пределах 80–1000 нм при варьировании толщин мишеней от 5 до 500 нм. Полученные МНЧ представляют интерес для дальнейшего исследования возможности их использования в различных приложениях.

- [1] E. Fazio et al. *Nanomaterials*, vol. 10, no. 11, art. 2317 (2020).
- [2] N. G. Semaltianos, G. Karczewski. *ACS Appl. Nano Mater.*, vol. 4, no. 7, pp. 6407–6440 (2021).
- [3] E. N. Ghaem, D. Dorrani, A. H. Sari. *Opt. Quantum Electron*, vol. 53, p. 36 (2021).
- [4] F. S. Abdulwahid, A. J. Haider, S. Al-Musawi. *Nano*, vol. 17, no. 11, art. 2230007 (2022).
- [5] S. Scaramuzza, M. Zerbetto, V. Amendola. *J. Phys. Chem. C*, vol. 120, no. 17, pp. 9453–9463 (2016).
- [6] D. M. Bubb et al. *Chem. Phys. Lett.*, vol. 565, pp. 65–68 (2013).