

УДК 539.21(06)

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭМИССИОННЫХ И ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРОВ¹

© П. В. Кужаков^{2,3}, П. Я. Васильев², Н. В. Каманина^{2,4}*Статья поступила 4 июля 2016 г.*

Усовершенствованные нанотехнологические методы обработки оптических элементов и устройств оптоэлектроники позволяют применять инновационные покрытия на основе ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ). Модифицированная таким образом поверхность защитных стекол и оптических элементов спектральных приборов предотвращает влияние низковольтной искры на устройства, увеличивает срок их службы и повышает качество работы. Рассмотрен лазерный способ нанесения покрытий, позволяющий одновременно обрабатывать до шести элементов спектрометров. Данный способ повышает защиту и улучшает светопропускание оптической системы. Приведена экспериментальная схема нанесения наноструктур с встроенной металлической сеткой, определены оптимальные условия обработки изделий лазерным излучением. Отмечено увеличение спектра пропускания с нанесенными УНТ на оптический элемент. Представлены данные по изменению спектра пропускания наноструктурированного образца, которые могут быть использованы в эмиссионных спектрометрах с рабочим диапазоном спектра 175 – 400 нм.

Ключевые слова: нанопокрyтия; лазерный способ нанесения; светопропускание.

Современные спектральные приборы — результат создания оптоэлектронных устройств с применением нанопокрyтий [1 – 12]. Для увеличения срока их службы и улучшения качества работы на оптические

¹ Работа выполнена при финансированной поддержке РФФИ (грант № 13-03-00044-а) в рамках ФЦП НТБ «Нанокатинг — ГОИ» и международного проекта по программе FP7 (Marie Curie Action, project BIOMOLEC).

² АО «ГОИ им. С. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kpv_2002Gmail.ru

³ ООО «Спектральная лаборатория», г. Санкт-Петербург, Россия.

⁴ СПбЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия.

элементы устройств наносят различные тонкопленочные покрытия.

Для нанесения нанопокровов применяют лазер. В работах [5 – 12] определены условия формирования наноструктур на поверхности материалов при воздействии лазерного излучения инфракрасного диапазона спектра. Установлено, что в результате лазерного воздействия происходит образование слоев углеродных нанотрубок (УНТ), равномерно распределенных по площади поверхности материала, причем пропускание, микротвердость, угол смачиваемости зависят от величины напряженности электрического поля, применяемого при осаждении наноструктур. Наноструктурное состояние вещества достигается при действии лазерного излучения высокой плотности [13, 14].

Цель работы — улучшение светопропускания оптических элементов эмиссионных и Фурье-спектрометров с помощью нанесения УНТ-покрытия.

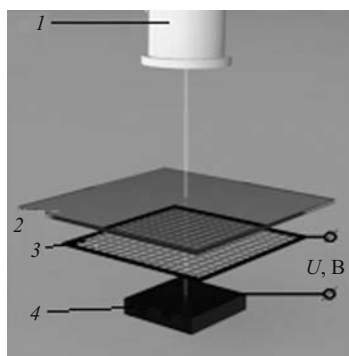


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 — CO_2 -лазер; 2 — прозрачная подложка (образец); 3 — металлическая сетка; 4 — углеродная мишень

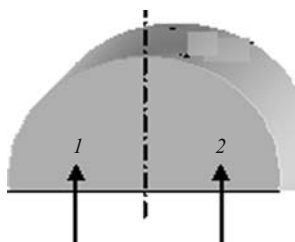


Рис. 2. Расположение областей исследования оптического элемента без (1) и с УНТ (2)

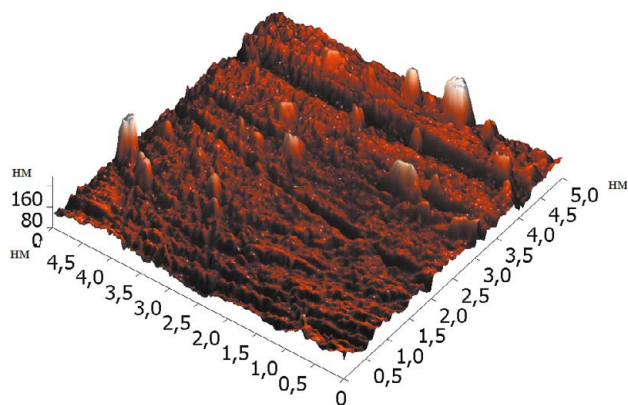


Рис. 3. Поверхность образца с УНТ, полученная методом АСМ

Для лазерного нанесения наноструктур использовали установку с максимальным числом одновременно обрабатываемых образцов до 6. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1. Для увеличения спектрального пропускания оптического элемента при осаждении УНТ рядом с прозрачной подложкой 2 размещали металлическую сетку 3 с размером ячейки ~ 100 мкм. Параметры УНТ соответствовали паспортным значениям (ALDRICH 704121) [15]. Расстояние от сетки до подложки регулировалось, в результате чего максимальная интенсивность лазерного излучения на мишени достигала $6 \cdot 10^9$ Вт/м².

Спектральные свойства оптических элементов при их наноструктурировании УНТ исследовали с помощью спектрометров СФ-26 и ФСМ 2211 (Россия). В качестве образцов использовали монокристаллы бромида калия.

На рис. 2 представлено расположение на образце областей исследования (без и с УНТ), в которых измеряли светопропускание.

На рис. 3 показана поверхность образца с УНТ на подложке КВг, полученная методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). На рис. 4 — спектры пропускания образца с нанесенными УНТ и без наноструктуры.

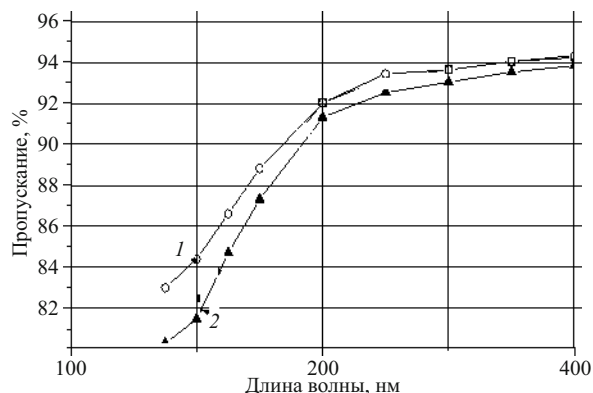


Рис. 4. Спектры пропускания образца КВг с нанесенными УНТ (1) и без нанесенной наноструктуры (2)

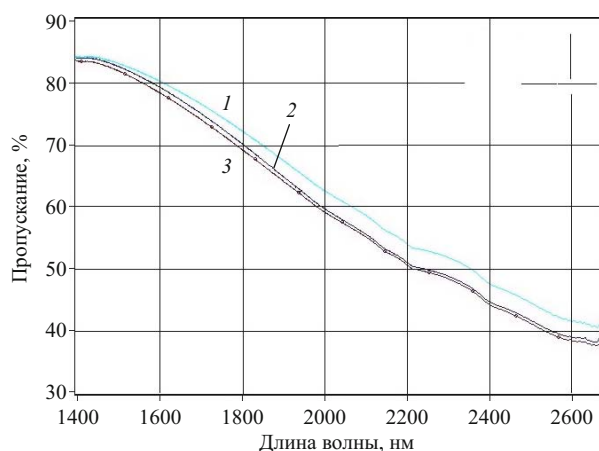


Рис. 5. Спектры пропускания при напряженности электрического поля 10 000 (1), 9000 (2) и 8500 В/м (3)

ры. Видно, что в случае нанесения УНТ спектр пропускания увеличивается. Увеличение светопропускания на 8–10 % в диапазоне длин волн 170–400 нм можно объяснить образованием ионно-ковалентной связи между УНТ и приповерхностными атомами материала (KBr).

Изменение спектра пропускания в ИК-области в зависимости от напряженности поля в процессе лазерного осаждения УНТ представлено на рис. 5. Видно, что светопропускание растет с увеличением напряженности электрического поля на сетке при осаждении УНТ. Это не противоречит малости величины мнимой части диэлектрической проницаемости УНТ, ответственной за поглощение, для указанного диапазона спектра [5–12].

Таким образом, проведенные исследования показали, что лазерное осаждение УНТ увеличивает светопропускание. Это можно использовать для улучшения характеристик оптических элементов эмиссионных и Фурье-спектрометров (диапазоны 175–400 и 1400–2600 нм соответственно). Параметры покрытия и оптического элемента определяются спектральными характеристиками, геометрическими размерами, рельефом поверхности, коэффициентами преломления, прочностью, а также зависят от материала, на который наносится покрытие. При регулировании напряженности электрического поля на сетке в процессе напыления нанопокрыва можно получить как увеличение, так и уменьшение светопропускания, что необходимо при контроле интенсивности ярких источников света (например, низковольтной искры). В результате можно создать покрытие, управляющее световым излучением с учетом процессов отражения, поглощения, преломления световых пучков в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hua B., Xiulin R., Timothy S. Optical properties of ordered vertical arrays of multi-walled carbon nanotubes from FDTD simulations / *Optics Express*. 2010. Vol. 18. N 6. P. 6347–6359.
2. Iijima S. Helical Microtubules of Graphitic Carbon / *Nature*. 2001. Vol. 354. P. 56.
3. Jellison G. E., Modine F. A. Parameterization of the optical functions of amorphous materials in the interband region / *Appl. Phys. Lett.* 1996. Vol. 69(371). P. 371–373.
4. Kamanina N. V., Kukharchik A. A., Kuzhakov P. V., Vasilyev P. Ya. Nano-structured conducting layers based on ITO and their modified properties / *Proceed of the 14th Israeli – Russian Bi-National Workshop “The optimization of the composition, structure and properties of metals, oxides, composites, nano and amorphous materials”*. 2015. P. 115–118.
5. Kamanina N., Kuzhakov P., Serov S., Kukharchik A., Petlitsyn A., Barinov O., Borkovskii M., Kozhevnikov N., Kajzar F. Nanostructured materials and their optical features / *Proc. SPIE*. 2013. P. 8622.
6. Kamanina N. V., Kuzhakov P. V., Vasilyev P. Ya., Studeonov V. I. Nanostructured materials based on the organic and the inorganic systems / *14th Annual conference YUCOMAT-2012*. Herceg Novi. Montenegro. 2012. P. 10.
7. Kamanina N., Kuzhakov P., Likhomanova S., Rau I., Kajzar F. Photorefractive, photoconductive, dynamic features and interfaces of the optical materials modified with nanoobjects / *Nonlinear Optics Quantum Optics*. 2014. Vol. 45. Is. 4. P. 283–292.
8. Kamanina N. V., Serov S. V., Shurpo N. A., Likhomanova S. V., Timonin D. N., Kuzhakov P. V. Polyimide-fullerene nanostructured materials for nonlinear optics and solar energy applications / *J. Mater. Sci. Mater. Electron*. 2012. N 8. P. 1538–1542.
9. Kamanina N., Kukharchik A., Kuzhakov P., Zubtsova Y., Andraud C., Kajzar F. Structural, optical and mechanical properties of nanostructured inorganic materials: Possible applications in biomedicine / *Nonlinear Optics Quantum Optics*. 2015. Vol. 47. Issue 1–3. P. 131–138.
10. Kamanina N., Kuzhakov P., Andraud C., Kajzar F. Unique influence of the nanostructurization on the optical features of the material / *Proc. of the 8th MMT-2014 conference*. 2014. P. 2.38–2.42.
11. Kamanina N., Bogdanov K., Vasilyev P., Studenov V., Pujsha A., Schmidt A., Krestinin A., Kajzar F. Nanoobject-containing structures for aerospace and laser switching systems / *Nonlinear optics and quantum optics*. 2010. Vol. 40. P. 277–285.
12. Пат. 2013118962 РФ, МПК G02B 1/10 (2006.01), B82B 1/00 (2006.01). Защитное покрытие для гигроскопичных оптических материалов на основе лазерных излучаемых углеродных нанотрубок для целей оптоэлектроники и медицинского оборудования / Н. В. Каманина, П. В. Кушаков, П. Я. Васильев; заявитель и патентообладатель Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова (ОАО «ГОИ им. С. И. Вавилова») — № 2013118962; заявл. 23.04.13; опубл. 27.10.2014. Бюл. № 30.
13. Kobea S., Žužeka K., Sarantopoulou E., et al. Nanocrystalline Sm–Fe composites fabricated by pulse laser deposition at 157 nm / *Appl. Surf. Sci.* 2005. Vol. 248. P. 349–354.
14. Amoruso S., Ausaniob G., C. de Lisioa et al. Synthesis of nickel nanoparticles and nanoparticles magnetic films by femtosecond laser ablation in vacuum / *Appl. Surf. Sci.* 2005. Vol. 247. P. 71–75.
15. Mills K., Murry D., Guzan K., Ostraat M. Nanomaterial registry: Database that captures the minimal information about nanomaterial physico-chemical characteristics / *J. Nanopart Res.* 2014. N 16(2). P. 1–9.

UDC 539.21(06)

NANO-COATINGS FOR OPTICAL ELEMENTS OF EMISSION AND FOURIER-SPECTROMETERS

© P. V. Kuzhakov, P. Ya. Vasilyev, and N. V. Kamanina

Submitted July 4, 2016.

Improvement of nanotechnological methods of treating optical components and optoelectronic devices provides application of innovation coatings based on oriented carbon nanotubes (CNT) for surface modification. The modified surface of safety glass and optical elements of spectral devices prevent the impact of low-voltage spark on the optical elements, thus increasing their lifetime and improving the quality of the device operation. We present a new method of coating optical elements of the devices aimed at protection and improvement of the transmittance of the optical system. A laser method and experimental scheme of simultaneous application of nanocoatings to 6 pieces of the spectrometers are presented. An example of the experimental scheme with a built-in metallic mesh which provides optimal conditions of laser treatment is considered. Data on the change in the transmittance spectrum of the nanostructured CNT specimen valid for emission spectrometers with a working wavelength ranging from 175 to 400 nm illustrate an increase in the transmittance spectrum attributed to CNT-induced surface modification. It is important that indicated spectrum range is characteristic for the internal elements of optical emission spectrometers.

Keywords: nanocoatings; laser method of coating; light transmission.

REFERENCES

1. Hua B., Xiulin R., Timothy S. Optical properties of ordered vertical arrays of multi-walled carbon nanotubes from FDTD simulations / *Optics Express*. 2010. Vol. 18. N 6. P. 6347 – 6359.
2. Iijima S. Helical Microtubules of Graphitic Carbon / *Nature*. 2001. Vol. 354. P. 56.
3. Jellison G. E., Modine F. A. Parameterization of the optical functions of amorphous materials in the interband region / *Appl. Phys. Lett.* 1996. Vol. 69(371). P. 371 – 373.
4. Kamanina N. V., Kukharchik A. A., Kuzhakov P. V., Vasilyev P. Ya. Nano-structured conducting layers based on ITO and their modified properties / *Proceed of the 14th Israeli – Russian Bi-National Workshop “The optimization of the composition, structure and properties of metals, oxides, composites, nano and amorphous materials”*. 2015. P. 115 – 118.
5. Kamanina N., Kuzhakov P., Serov S., Kukharchik A., Petlitsyn A., Barinov O., Borkovskii M., Kozhevnikov N., Kajzar F. Nanostructured materials and their optical features / *Proc. SPIE*. 2013. P. 8622.
6. Kamanina N. V., Kuzhakov P. V., Vasilyev P. Ya., Studeonov V. I. Nanostructured materials based on the organic and the inorganic systems / *14th Annual conference YUCOMAT-2012*. Herceg Novi. Montenegro. 2012. P. 10.
7. Kamanina N., Kuzhakov P., Likhomanova S., Rau I., Kajzar F. Photo-refractive, photoconductive, dynamic features and interfaces of the optical materials modified with nanoobjects / *Nonlinear Optics Quantum Optics*. 2014. Vol. 45. Is. 4. P. 283 – 292.
8. Kamanina N. V., Serov S. V., Shurpo N. A., Likhomanova S. V., Timonin D. N., Kuzhakov P. V. Polyimide-fullerene nanostructured materials for nonlinear optics and solar energy applications / *J. Mater. Sci. Mater. Electron*. 2012. N 8. P. 1538 – 1542.
9. Kamanina N., Kukharchik A., Kuzhakov P., Zubtsova Y., Andraud C., Kajzar F. Structural, optical and mechanical properties of nanostructured inorganic materials: Possible applications in biomedicine / *Nonlinear Optics Quantum Optics*. 2015. Vol. 47. Issue 1 – 3. P. 131 – 138.
10. Kamanina N., Kuzhakov P., Andraud C., Kajzar F. Unique influence of the nanostructurization on the optical features of the material / *Proc. of the 8th MMT-2014 conference*. 2014. P. 2.38 – 2.42.
11. Kamanina N., Bogdanov K., Vasilyev P., Studeonov V., Pujsha A., Shmidt A., Krestinin A., Kajzar F. Nanoobject-containing structures for aerospace and laser switching systems / *Nonlinear optics and quantum optics*. 2010. Vol. 40. P. 277 – 285.
12. Pat. 2013118962 RF, MPK G02B 1/10 (2006.01), B82B 1/00 (2006.01). Protective coating for hygroscopic optical materials based on laserprecipitable carbon nanotubes for purposes of optoelectronics and medical equipment / N. V. Kamanina, P. V. Kuzhakov, P. J. Vasilyev; applicant and owner Gosudarstvennyi opticheskii institut imeni S. I. Vavilova (OAO “GOI im. S. I. Vavilova”) — N 2013118962; appl. 23.04.13; publ. 27.10.2014. *Bull. Otkryt. Izobret.* N 30 [in Russian].
13. Kobea S., Žužeka K., Sarantopoulou E., et al. Nanocrystalline Sm – Fe composites fabricated by pulse laser deposition at 157 nm / *Appl. Surf. Sci.* 2005. Vol. 248. P. 349 – 354.
14. Amorusoa S., Ausaniob G., C. de Lisioa et al. Synthesis of nickel nanoparticles and nanoparticles magnetic films by femtosecond laser ablation in vacuum / *Appl. Surf. Sci.* 2005. Vol. 247. P. 71 – 75.
15. Mills K., Murry D., Guzan K., Ostraat M. Nanomaterial registry: Database that captures the minimal information about nanomaterial physico-chemical characteristics / *J. Nanopart. Res.* 2014. N 16(2). P. 1 – 9.