

DOI: 10.5862/JPM.213.14

УДК 535.016

*А.Б. Аткарская<sup>1</sup>, Е.И. Евтушенко<sup>1</sup>, В.М. Нарцев<sup>1</sup>,  
В.Е. Привалов<sup>2</sup>, А.Э. Фотиади<sup>2</sup>, В.Г. Шеманин<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный  
политехнический университет,

<sup>3</sup> Новороссийский политехнический институт  
(филиал Кубанского государственного  
технологического университета)

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛЯННЫХ КОМПОЗИТОВ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ЗОЛЯ**

Установлено, что размер, объемная доля дисперсной фазы пленкообразующего золь, плотность упаковки его частиц в слой влияют на оптические свойства наноразмерных покрытий и композитов, состоящих из стеклянной подложки с нанесенной на ее поверхность пленкой. Пороговая плотность энергии лазерного абляционного разрушения покрытия, являющегося составной частью композита, также в значительной мере зависит от состояния частиц дисперсной фазы золь.

ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЙ ЗОЛЬ, СТЕКЛЯННЫЙ КОМПОЗИТ С НАНОРАЗМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ПРОПУСКАНИЕ СВЕТА, ЛАЗЕРНОЕ АБЛЯЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ, ПОРОГОВАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ.

### **Введение**

Нанокompозиты, представляющие собой стеклянную подложку с нанесенной на ее поверхность оксидной наноразмерной пленкой, находят широкое применение в оптическом приборостроении, промышленном и гражданском строительстве, активно используются для исследовательских целей [1 – 3].

Нанесение покрытий может производиться как физическими, так и химическими способами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Химический способ перспективен тем, что не требует прецизионного оборудования [4], но вместе с тем, он имеет некоторые отрицательные свойства, главное из которых – использование в технологическом процессе коллоидных растворов-золь, весьма чувствительных к изменению химического состава прекурсоров и самого золь, к условиям хранения, нанесения и закрепления пленкообразующих растворов на подложке

[5, 6]. В работе [7] нами было показано, что оптические параметры наноразмерного покрытия определяются размерами коллоидных частиц в растворе.

Цель работы – оценка влияния основных характеристик золь, среди которых объемная доля и размер дисперсной фазы, на оптические параметры нанокompозитов: показатель преломления, коэффициент пропускания света, пороговую плотность энергии лазерной абляции образцов, позволяющую судить об оптической прочности материала.

### **Экспериментальная часть**

**Приготовление образцов.** Подложкой служили образцы флот-стекла размерами 50 × 50 × 3 мм. Образцы вырезали из одного листа с тем, чтобы минимизировать ошибки, связанные с неоднородностями состава стекла, полученного от разных производителей, и партии стекла, допустимой ГОСТом 111-90. Для исследований были

взяты золи, содержащие один ( $\text{SiO}_2$  или  $\text{TiO}_2$ ) или два пленкообразующих оксида, один из которых  $\text{TiO}_2$ , а второй  $\text{CdO}$ ,  $\text{CuO}$  или  $\text{SnO}$ , вводимые в количестве 2 мас. % от общей концентрации пленкообразующих оксидов в золе. Растворителем служил изопропиловый спирт; оксиды титана и кремния вводили через алкоксиды, соответственно, тетраэтоксид титана (ТЭТ) и тетраэтоксид кремния (ТЭОС). Катализатором гидролиза алкоксидов служила соляная кислота. Порошкообразные оксиды кадмия, меди и олова предварительно растворялись в концентрированной соляной кислоте. Суммарная массовая концентрация пленкообразующих оксидов в золях составляла 5 %. Длительность хранения золь перед нанесением (длительность созревания) изменялась от 2 до 47 сут. Скорость извлечения подложки из пленкообразующих растворов (скорость нанесения) составляла 3,8 мм/с. После нанесения золя образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 1,5 ч для частичного испарения растворителя, более полного протекания процессов гидролиза и поликонденсации материала покрытия, а затем подвергали термообработке в СВЧ-печи в течение 30 мин.

**Методы измерений.** В экспериментах измерялись вязкость с помощью вискозиметра ВПЖ-1, плотность с помощью ареометра и светопропускание золь на фиксированных длинах волн с помощью фотоэлектрокалориметра КФК. По результатам измерений рассчитывали объемную долю дисперсной фазы золя  $\varphi$  [8]:

$$\eta = \eta_0(1 - 2,5\varphi), \quad (1)$$

где  $\eta$ ,  $\eta_0$  — вязкости соответственно золя и растворителя.

Показатель преломления  $n$  нанопленок и их толщина  $h$  (в нанометрах) измерялись на спектроэллипсометре типа Uvisel 2 HORIBA Jobin Yvon. Пропускание света  $T$  (в процентах) образцов нанокомпозитов в видимой области спектра 400 – 800 нм регистрировалось микроспектрометром типа FSD-8 и обрабатывалось в персональном компьютере (ПК). По результатам измерений рассчитывали среднее значение пропускания  $T_{mid}$  композита в видимой области спектра.

В предположении, что форма частиц сферическая или близка к таковой, размер частиц дисперсной фазы  $d$  рассчитывали по уравнению Геллера [9], исходя из измеренного пропускания золями оптического излучения. Ввиду ограниченности метода, позволяющего производить расчеты только для «белых» золь, для окрашенных медь-содержащих растворов выбирались длины волн, на которых поглощение комплексов меди минимально.

Плотность упаковки частиц дисперсной фазы  $\gamma$  в слой наноразмерного покрытия рассчитывали без учета взаимодействия между частицами по следующей формуле [10]:

$$\gamma = 0,75 \cdot d \cdot \varphi. \quad (2)$$

Следует отметить, что размер частицы дисперсной фазы в золе тем больше, чем больше размер частицы в высушенном и термообработанном покрытии, однако можно предположить, что результаты расчетов  $\gamma$  по размеру дисперсной фазы золя будут пропорциональны плотности упаковки, существующей в покрытии.

Для экспериментального исследования лазерной абляции покрытий, являющихся составной частью композитов, были выполнены измерения значений пороговой плотности энергии лазерного излучения, при которых начинается пробой покрытия на поверхности образца. Структурная схема и описание лабораторной лазерной абляционной станции, использованной для измерений, приведены на стр. 129–130 этого номера журнала. Там же описана методика проведенных на установке измерений.

### Результаты и их обсуждение

Первая серия измерений ставила целью исследовать зависимости толщины нанопокрыва от характеристик золя. Полученные экспериментальные данные приведены на рис. 1. Видно, что измеренная толщина пленки прямо пропорциональна объемной доле дисперсной фазы золя. Такая зависимость хорошо описывается линейным уравнением с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,86$ . Также отметим, что в наших экспериментах не удалось обнаружить четкой

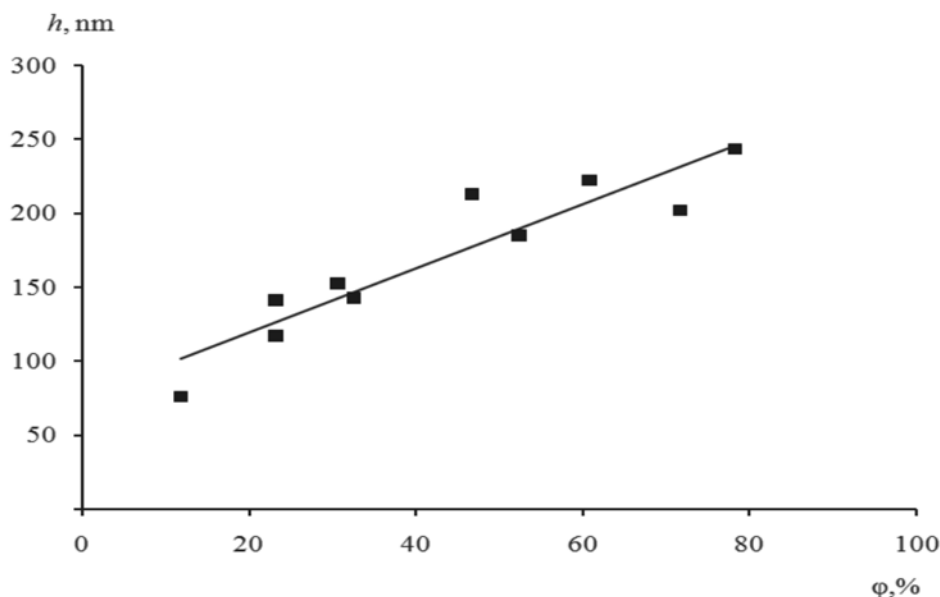


Рис. 1. График зависимости измеренной толщины покрытий  $h$  от объемной доли  $\phi$  дисперсной фазы в золях, использованных для нанесения покрытий. Линейная зависимость аппроксимирована прямой  $2,1729\phi + 75,641$  с точностью  $R^2 = 0,861$

взаимосвязи между плотностью упаковки, размером частиц дисперсной фазы покрытия и его толщиной. В данном случае наблюдалась лишь некоторая тенденция роста указанной толщины с увеличением плотности упаковки и уменьшением размера частиц.

Потери света в прозрачном материале, определяющие его пропускание, складываются, главным образом, из потерь на отражение от поверхности материала и рассеяние на неоднородностях его структуры. Основными такими неоднородностями являются поры, которые образуются вследствие неполного спекания частиц при низкой температуре термообработки покрытия (не превышает  $500\text{ }^\circ\text{C}$ ); температура ограничена значением, при котором начинается деформация стеклянной подложки. Результаты измерения пропускания света образцами в зависимости от значений  $\phi$  в золях приведены на рис. 2.

График на рис. 2 показывает, что значения  $T_{mid}$  и объемная доля  $\phi$  дисперсной фазы золя связаны обратно пропорциональной зависимостью с коэффициентом корреляции равным  $0,920$ . Поскольку объемная доля дисперсной фазы прямо пропор-

циональна толщине покрытия (см. рис. 1), то увеличение пропускания образца по мере снижения толщины покрытия объясняется, очевидно, уменьшением рассеяния на неоднородностях микроструктуры более тонкого покрытия.

Что касается влияния плотности упаковки и размера частиц в пленочном покрытии на величину его светопропускания, то оно не столь очевидно и обнаружена лишь тенденция к обратно пропорциональной зависимости «размер дисперсной фазы – светопропускание».

Показатель преломления твердого тела определяется прежде всего его химическим составом. Действительно, сравнение этих показателей для покрытий одинаковой толщины у составов  $\text{TiO}_2$  и  $\text{TiO}_2\text{-CdO}$  показывает, что первый имеет более высокое значение  $n$ , чем второй:  $1,97$  против  $1,91$  [15]. Однако показатель преломления пористых тел, к которым относятся нанопокртия, в известной степени определяется их пористостью и составом газов, заполняющих поры [16]:

$$n_{eff} = n_1 - \Pi(n_1 - n_3) - (n_2 - n_3) \cdot f(P/P_0), \quad (3)$$

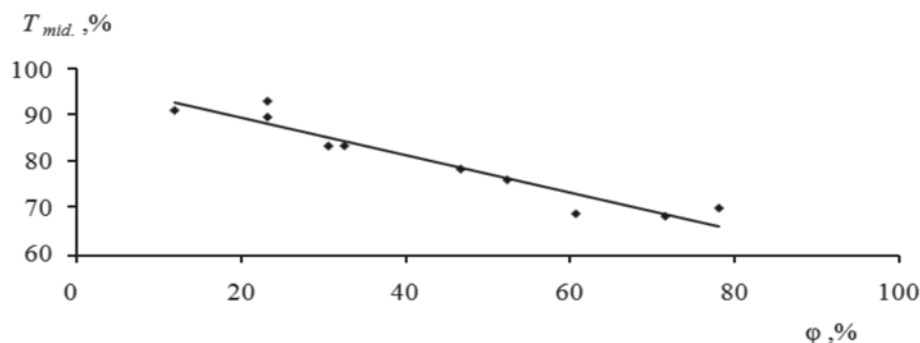


Рис. 2. График зависимости среднего измеренного светопропускания композитов  $T_{mid}$  от объемной доли  $\phi$  дисперсной фазы в тех же золях, что на рис. 1. Линейная зависимость аппроксимирована прямой  $-0,41\phi + 97,65$  с точностью  $R^2 = 0,920$

где  $n_{eff}$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  — соответственно показатели преломления самой пленки, скелета материала пленки, адсорбированной воды и воздуха;  $\Pi$  — пористость материала; функцию  $f(P/P_0)$  примем равной единице.

Экспериментальные данные указывают на существование прямо пропорциональной зависимости между показателем преломления нанопокрывтия и плотностью упаковки частиц дисперсной фазы золя. Более надежная корреляция отмечена между ростом показателя преломления с увеличени-

ем объемной доли дисперсной фазы золя. Это можно объяснить замедлением миграции низкопреломляющих оксидов натрия, кальция и кремния из подложки в нанопокрывтие по мере роста его толщины [17].

Повышение плотности упаковки частиц дисперсной фазы в нанослой пропорционально увеличению плотности материала покрытия, и поэтому пороговая плотность энергии  $F_b$ , необходимая для лазерного абляционного разрушения под действием лазерного импульса наносекундной дли-

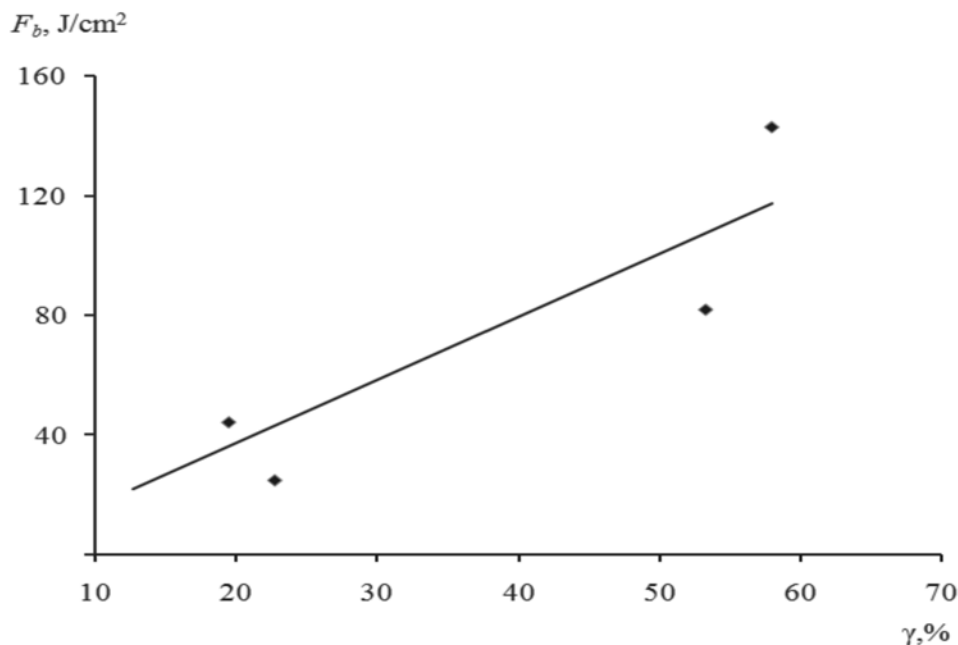


Рис. 3. График зависимости измеренной пороговой плотности энергии наносекундного лазерного импульса  $F_b$  от плотности упаковки  $\gamma$  дисперсной фазы в тех же золях, что на рис. 1, 2. Линейная зависимость аппроксимирована прямой  $2,11\gamma - 4,75$  с точностью  $R^2 = 0,81$

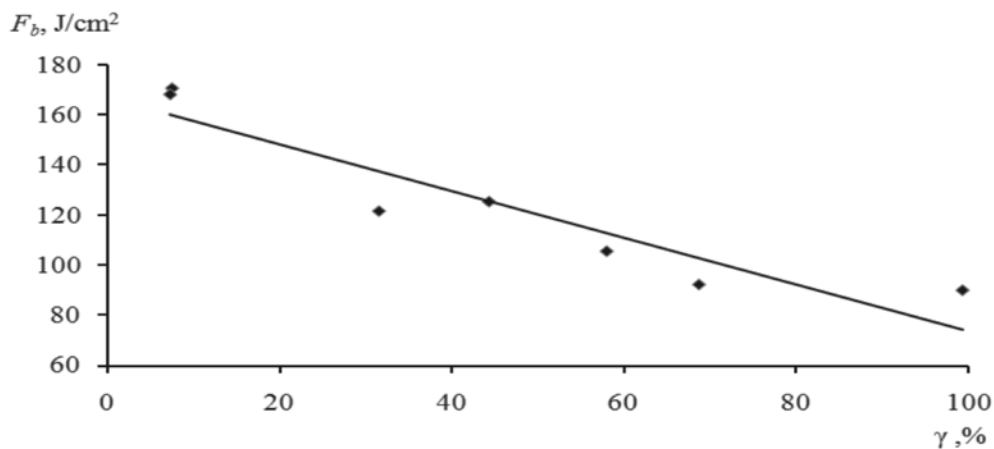


Рис. 4. График зависимости измеренной пороговой плотности энергии микросекундного лазерного импульса  $F_b$  от плотности упаковки дисперсной фазы  $\gamma$  в тех же золях, что на рис. 1 – 3. Линейная зависимость аппроксимирована прямой  $-0,9309 \gamma + 166,63$  с точностью  $R^2 = 0,87$

тельности (эффект термораскалывания [14]), будет увеличиваться симбатно плотности материала покрытия; именно это и следует из графика на рис. 3.

Толщина покрытия должна в известной степени способствовать повышению пороговой плотности энергии пробоя. Однако размер частиц не оказал сколько-нибудь

заметного влияния на ее значение. Пороговая плотность энергии  $F_b$ , необходимая для лазерной абляции покрытия под действием микросекундного лазерного импульса, обнаруживает обратно пропорциональную зависимость от плотности упаковки частиц золя  $\gamma$ , приведенную на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что обнаруженная

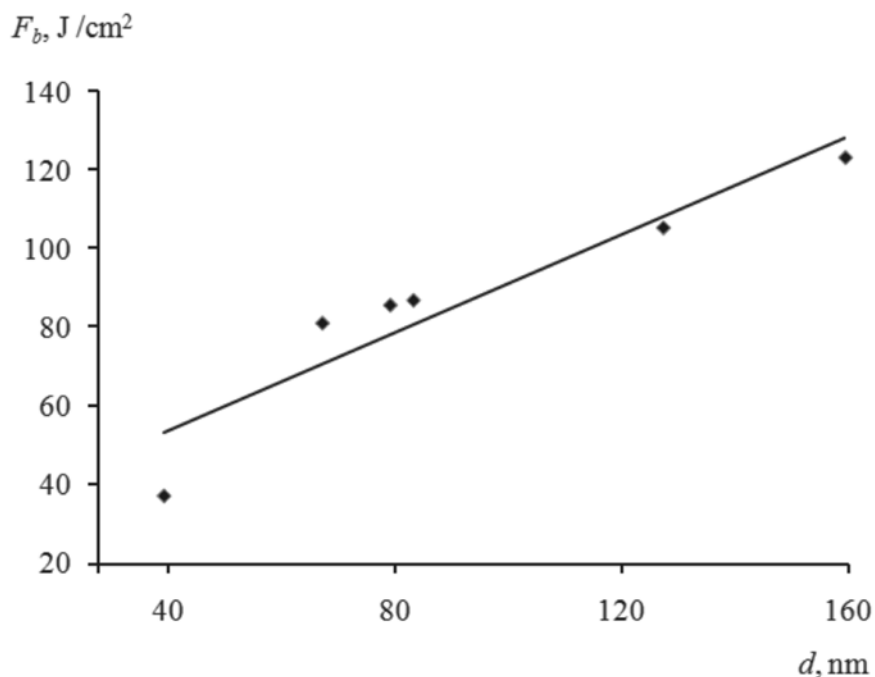


Рис. 5. График зависимости измеренной пороговой плотности энергии микросекундного лазерного импульса  $F_b$  от размера дисперсной фазы  $d$  в тех же золях, что на рис. 1 – 4. Линейная зависимость аппроксимирована прямой  $0,63 d + 28,53$  с точностью  $R^2 = 0,88$



зависимость противоположна наблюдаемой для лазерного импульса наносекундной длительности. Если принять априори, что плотность упаковки пропорциональна плотности материала, то при прочих равных или близких свойствах, например температуре плавления, рыхлый материал быстрее расплавится и испарится. Однако нанопленка нанесена на практически беспористую, плотную и монолитную стеклянную подложку с температурой плавления более  $1400^\circ$ , расплавить и испарить которую достаточно трудно; это и может вызвать обнаруженный рост пороговой плотности энергии

Существование обратно пропорциональной зависимости между объемной долей дисперсной фазы (и толщиной покрытия) и пороговой плотностью энергии лазерного микросекундного импульса подтверждает предположение о возможной причине увеличения значения  $F_b$  (микросекундный диапазон), связанной с необходимостью испарять тугоплавкий материал подложки. Увеличение размера частиц вызывает повышение их температуры плавления [18] и закономерно требует большего количества энергии для испарения, что и подтверждается графиком на рис. 5.

### Заключение

По результатам работы можно сделать следующие основные выводы.

Экспериментально доказано, что характеристики пленкообразующих золь-гелей оказывают заметное влияние на все изученные в рамках работы свойства стеклянных композитов с наноразмерными покрытиями.

Толщина пленки прямо пропорциональ-

на объемной доле дисперсной фазы золя.

Значения светопропускания  $T_{mid}$  обратно пропорциональны объемной доле дисперсной фазы золя, что может объясняться уменьшением рассеяния света на неоднородностях микроструктуры более тонкого нанопокрывтия.

Показано, что между плотностью упаковки частиц дисперсной фазы и увеличением объемной долей дисперсной фазы с одной стороны и показателем преломления покрытия с другой, можно проследить тенденцию к прямо пропорциональной зависимости. Это можно объяснить замедлением диффузии низкопреломляющих оксидов натрия, кальция и кремния из подложки в покрытие по мере роста его толщины и плотности.

Пороговая плотность энергии, необходимая для абляции под действием лазерного импульса наносекундной длительности, увеличивается с ростом плотности упаковки частиц дисперсной фазы в слой.

Пороговая плотность энергии, необходимая для лазерной абляции импульсом микросекундной длительности, возрастает с увеличением размера частиц вследствие повышения температуры их плавления и уменьшается по мере роста объемной доли дисперсной фазы и плотности упаковки частиц. Обнаруженное явление объясняется малой толщиной и плотностью нанопокрывтия, вследствие чего лазерный луч практически взаимодействует с плотной и тугоплавкой стеклянной подложкой.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №14-43-08049 и базовой части Госзадания Министерства образования и науки РФ, проект № 2284.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Тан Тай До, Губанова Л.А., Путилин Э.С., Фам Ван Хоа. Пятислойные четвертьволновые просветляющие покрытия для инфракрасного диапазона спектра // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 10. С. 72–76.

[2] Аткарская А.Б., Шеманин В.Г. Исследование потерь света в стеклянных композитах с наноразмерными покрытиями // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 7. С. 72–77.

[3] Солнцев С.С., Гращенко Д.В., Евдоки-

мов С.А. Перспективные высокотемпературные композиционные материалы и покрытия для авиационной техники // Стекло и керамика. 2014. № 1. С. 23–35.

[4] Абдулкадыров М.А., Агеева Т.А., Бушина Н.Н. и др. Золь-гелевые просветляющие покрытия, получаемые методом вытягивания, на крупногабаритных изделиях из оптического стекла // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 4. С. 47–80.

[5] Аткарская А.Б., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Влияние технологических условий нанесения на свойства нанопленок системы  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 2. С. 97–101.

[6] Аткарская А.Б., Карацупа С.В., Нарцев В.М. и др. Зависимость свойств стеклянных композитов с наноразмерными покрытиями от параметров технологии их получения // Стекло и керамика. 2013. № 10. С. 27–32.

[7] Аткарская А.Б., Шеманин В.Г. Влияние вязкости пленкообразующих растворов на потери света в наноразмерных покрытиях на основе  $\text{SiO}_2$  // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40. № 6. С. 813–819.

[8] Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1975. 513 с.

[9] Цыренова С.Б., Чебунина Е.И., Балдынова Ф.П. Руководство к решению примеров и задач по коллоидной химии. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2000. 210 с.

[10] Слоэн Н.Дж.А. Упаковка шаров // В мире науки. 1984. № 3. С. 72–82.

[11] Воронина Э.И., Ефремов В.П., Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Исследование лазерного абляционного нагружения полимеров // Письма в журнал технической физики. 2008. Т. 34. Вып. 23. С. 59–65.

[12] Воронина Э.И., Чартий П.В., Шеманин

В.Г. Исследование лазерной абляции на полимерной мишени в диапазоне давлений 0,01 – 5 атм // Физика экстремальных состояний вещества – 2005. Черногоровка: ИПХФ РАН, 2005. С. 36–37.

[13] Efremov V.P., Privalov V.E., Skripov P.V., Charty P.V., Shemanin V.G. Polymer material laser destruction threshold studies // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5447. Pp. 234–241.

[14] Shemanin V.G., Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V., Privalov V.E. Laser ablation of the glass nanocomposites studies // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23. No. 4. Pp. 265–270.

[15] Суйковская Н.В. Химические методы получения тонких прозрачных пленок. М.: Химия, 1971. 200 с.

[16] Черемской П.Г., Слезов В.В., Бетехтин В.И. Поры в твердом теле. М.: Энергоатомиздат, 1990. 376 с.

[17] Аткарская А.Б., Киян В.И., Машир Ю.И. Изменение свойств модифицированного стекла при использовании барьерных пленок  $\text{SiO}_2$  // Стекло и керамика. 2001. № 4. С. 9–11.

[18] Гладких Н.Т., Крышталь А.П., Богатыренко С.И. Температура плавления наночастиц и энергия образования вакансий в них // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. Вып. 11. С. 111–114.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**АТКАРСКАЯ Алла Борисовна** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Центра высоких технологий Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 308012, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
atkarsk06@mail.ru

**ЕВТУШЕНКО Евгений Иванович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии стекла и керамики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 308012, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
eveviv@intbel.ru

**НАРЦЕВ Владимир Михайлович** – аспирант кафедры технологии стекла и стеклокристаллических материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 308012, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

**ПРИВАЛОВ Вадим Евгеньевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной физики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29  
vaepriv@yandex.ru

**ФОТИАДИ Александр Эпаминондович** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры физической электроники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29  
fotiadi@rphf.spbstu.ru

**ШЕМАНИН Валерий Геннадьевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры общенаучных дисциплин Новороссийского политехнического института.

353900, Российская Федерация, г. Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20

vshemanin@nbkstu.org.гуническая ул., 26

andrew@beam.ioffe.ru

## *Atkarskaya A.B., Yevtushenko E.I., Nartzev V.M., Privalov V.E., Fotiadi A.E., Shemanin V.G.* OPTICAL PROPERTIES OF THE GLASS COMPOSITES WITH NANOFILMS: THE RELATIONSHIP TO THE DISPERSED PHASE OF SOL.

It has been found that the particles size, volume fraction of the film-forming sol disperse phase, the pack-density of the particles in the layer, effect on the optical properties of nanodimensional films and composites consisting of a glass substrate coated with the surface film. The threshold energy density of the laser ablation destruction of the films being components of the composites also depends largely on the state of the sol dispersed phase. This value needed for the ablation under the laser radiation with nanosecond pulse duration was found to increase with the dispersed phase particles pack-density in the layer. Moreover, this value increased with the particle size and decreased as the fraction by volume of that phase and particles pack-density rose when using microsecond pulse duration. These relationships are due to low thickness and density of the nanofilm, and as a result the laser beam interacted practically with the dense glass substrate.

FILM-FORMING SOL, GLASS COMPOSITE, NANODIMENSIONAL FILM, OPTICAL PROPERTIES, LIGHT TRANSMISSION, LASER ABLATION DESTRUCTION, BREAKDOWN ENERGY DENSITY.

### REFERENCES

- [1] **Tan Tiy Do, L.A. Gubanova, E.S. Putilin, Fam Vam Khoa**, Five layers one fourth wavelength the clarifying films for the infrared spectra, *Optical J.*, 81 (10) (2014) 72–76.
- [2] **A.B. Atkarskaya, Shemanin V.G.**, Study of the light losses in glass composites with nanosize coatings, *Journal of Optical Technology*. 81 (7) (2014) 72–77.
- [3] **S.S. Solntsev, D.V. Grashchenkov, S.A. Evdokimov**, Advanced refractory composite materials and coatings for aviation, *Glass and Ceramics*. 1 (2014) 23–35.
- [4] **M.A. Abdulkadyrov, T.A. Ageeva, N.N. Bushina, et al.**, Sol-gel antireflection coatings obtained by the drawing method on large items made from optical glass, *Journal of Optical Technology*. 80 (4) (2013) 47–80.
- [5] **A.B. Atkarskaya, P.V. Chartij, V.G. Shemanin**, Influence of the technological drawing conditions on the nanofilms properties of the system  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , *Journal of Optical Technology*. 78 (2) (2011) 97–101.
- [6] **A.B. Atkarskaya, S.V. Karatsupa, V.M. Nartsev, et al.**, The glass composites with nanodimensional films properties dependence on its producing technology parameters, *Glass Physics and Chemistry*. 10 (2013) 27–32.
- [7] **A.B. Atkarskaya, V.G. Shemanin**, The film forming solution viscosity fluence on the light losses in the  $\text{SiO}_2$  nanodimensional films, *Glass Physics and Chemistry*. 40 (6) (2014) 813–819.
- [8] **S.S. Voyutskij**, *Colloid chemistry*, Moscow, Khimiya, 1975.
- [9] **S.B. Tsyrenova, E.I. Chebunina, F.P. Baldynova**, *Rukovodstvo k resheniyu primerov i zadach po kolloidnoj khimii [Examples and tasks for the colloid chemistry solution handbook]*. Izd-vo VS-GTU, Ulan-Ude, 2000.
- [10] **N.J.A. Sloan**, Balls packing, *Scientific American*. 3 (1984) 72–82.
- [11] **E.I. Voronina, V.P. Efremov, V.E. Privalov, V.G. Shemanin**, Polymer laser ablation strength study, *Technical Physics Letters*. 34 (23) (2008) 59–65.
- [12] **E.I. Voronina, P.V. Chartij, V.G. Shemanin**, Laser ablation study at the polymer target in the pressure range of 0.01–5 atm, *Physics of the extreme states of matter – 2005*. Chernogolovka: IPKhF RAN, 2005. Pp. 36–37.
- [13] **V.P. Efremov, V.E. Privalov, P.V. Skripov, P.V. Charty, V.G. Shemanin**, Polymer material laser destruction threshold studies, *Proc. SPIE*. 5447 (2004) 234–241.
- [14] **V.G. Shemanin, A.B. Atkarskaya, O.V. Mkrtychev, V.E. Privalov**, Laser ablation of the glass nanocomposites studies, *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*. 23 (4) (2014) 265–270.
- [15] **N.V. Sujkovskaya**, *Khimicheskie metody polucheniya tonkikh prozrachnykh plenok [Chemical methods of creating thin transparency films]*. Khimiya, Moscow, 1971.



[16] **P.G. Cheremskoj, V.V. Slezov, V.I. Betekhtin**, Pory v tverdom tele [Pores in the solid body]. Energoatomizdat, Moscow, 1990.

[17] **A.B. Atkarskaya, V.I. Kiyan, Yu.I. Mashir**, Izmenenie svojstv modifitsirovannogo stekla pri ispol'zovanii bar'ernykh plenok SiO<sub>2</sub> [Changing the modified glass properties using the SiO<sub>2</sub> barrier

films], Glass and ceramics. 4 (2001) 9–11.

[18] **N.T. Gladkikh, A.P. Kryshchal', S.I. Bogatyrenko**, Temperatura plavleniya nanochastits i energiya obrazovaniya vakansij v nikh [The melting temperature and vacancy formation energy in nanoparticles], Technical Physics. 80 (11) (2010) 111–114.

#### THE AUTHORS

**ATKARSKAYA Alla B.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*  
46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation  
atkarsk06@mail.ru

**EVTUSHENKO Evgeny I.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*  
46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation  
eveviv@intbel.ru

**NARTSEV Vladimir M.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*  
46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation

**PRIVALOV Vadim E.**

*St. Petersburg Polytechnic University*  
29 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation  
vaepriv@yandex.ru

**FOTIADI Alexander E.**

*St. Petersburg Polytechnic University*  
29 Politekhnikeskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation  
fotiadi@rphf.spbstu.ru

**SHEMANIN Valery G.**

*Novorossiysk Polytechnic Institute*  
20 Carl Marx St., Novorossiysk, 353900, Russian Federation  
vshemanin@nbkstu.org.ru