

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

doi: 10.51639/2713-0568\_2023\_3\_3\_30

УДК 535.016

ГРНТИ 29.31.27

ВАК 1.3.6 1.3.19

### Пропускание света многослойными стеклянными композитами

\* Шеманин В. Г., Чербачи Ю. В., Мкртычев О. В.

*Филиал Белгородского государственного технологического университета  
им. В. Г. Шухова в Новороссийске, 353919, Новороссийск, Мысхакское шоссе, 75*

e-mail: [vshemanin@mail.ru](mailto:vshemanin@mail.ru)

Рассмотрено пропускание света композитными образцами. Образцы представляли из себя стеклянную матрицу с нанесёнными на них многослойными чередующимися покрытиями из диоксидов титана и кремния. Покрытия наносились по золь-гель технологии. В работе устанавливается зависимость общего светопропускания и пропускания света композитом на краях видимого спектрального диапазона.

*Ключевые слова:* золь-гель технология, тонкоплёночные покрытия, светопропускание.

### Введение

Стеклянные подложки с нанесённой на их поверхность системой оксидных, металлических или оксидно-металлических покрытий находят широкое применение в фотонике и оптическом приборостроении [1–6] для создания оптических элементов с заданным пропусканием света вплоть до полного его отражения, а так же при изготовлении элементов остекления промышленных и гражданских зданий.

Среди большого количества методов нанесения покрытий на стекло наиболее простым и наименее затратным является химический метод, сводящийся к контакту подложки и плёнообразующего раствора – золя. Последующая непродолжительная термообработка при температуре, не превышающей температуру начала деформации подложки (ниже 500°C), позволяет упрочнить плёнку, а диффузионные явления на границе покрытие-подложка создают широкий переходный слой. Это благоприятствует «сращиванию» и дополнительному упрочнению покрытия. Такие плёнки называют «твёрдыми» (hard) в отличие от «мягких» плёнок, наносимых физическими методами (вакуумное, магнетронное и т. д. напыление). Склерометрическая прочность «твёрдых» плёнок существенно выше, чем «мягких», и такие изделия не нуждаются в особых условиях установки и эксплуатации. Вместе с тем, увеличение числа слоёв, несомненно, должно оказывать влияние на общий коэффициент пропускания света, и на спектральный диапазон пропускания стеклянного композита.

В продолжение исследований был выполнен анализ результатов работ по измерению пропускания стеклянных композитов с различным числом слоёв в покрытии и высказано предположение о возможности создания высоко отражающих покрытий на поверхности композита [2–4].

Целью настоящей работы является установление зависимости общего светопропускания  $T_{\text{mid}}$ , а также пропускания света композитом на краях видимого спектрального диапазона  $T_1$  (коротковолновой – фиолетовой) и  $T_2$  (длинноволновой – красной) в зависимости от числа и состава слоёв в плёнке.

### Экспериментальные образцы и методы измерений

Для исследований изготовлены 2 серии образцов с чётным и нечётным количеством слоёв. На композиты с чётным числом слоёв попеременно наносили слои  $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$ , а завершал композицию слой диоксида титана. Суммарное число слоёв – 24. Если число слоев нечётное, то первым слоем был  $\text{TiO}_2$ , а далее попеременно наносили слои  $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$ , завершал композицию слой диоксида титана. Общее число слоёв – 23. Покрытия наносили из зольей, содержащих 5 мас. % диоксида кремния или титана. Прекурсорами для изготовления зольей являлись алкоксиды титана и кремния, катализатор гидролиза алкоксидов – соляная кислота, растворитель – изопропанол. Пропускание света  $T$  (в %) образцов в видимой области спектра 400...800 нм регистрировалось микроспектрометром FSD-8 (ИОФ РАН) и обрабатывалось в персональном компьютере (ПК) [4]. Источником света служила галогеновая лампа. По результатам измерений рассчитывали среднее значение пропускания  $T_{\text{mid}}$  композита в видимой области спектра, а также пропускания света композитом на краях видимого спектрального диапазона  $T_1$  и  $T_2$ .

### Экспериментальные результаты.

Спектральная кривая пропускания в видимой области стеклянного композита с девятислойным покрытием в качестве примера приведена на рис. 1.

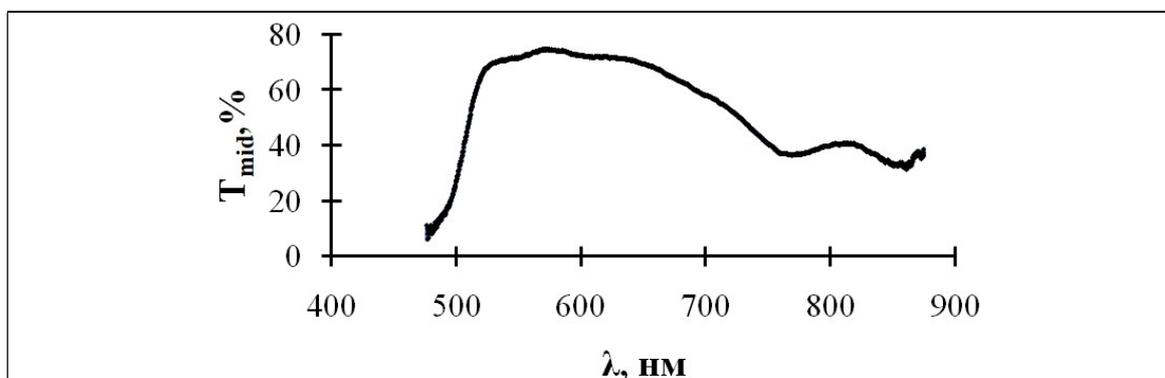


Рис. 1. Спектральная кривая  $T_{\text{mid}}(\lambda)$  стеклянного композита с девятислойным покрытием: полученная спектральная кривая для этого образца имеет максимум пропускания порядка 70 % в диапазоне 530...650 нм. В области меньших длин волн пропускание резко падает до 10 % на длине волны 480 нм, а в области 800 нм наблюдается второй небольшой максимум с пропусканием около 40 %

На рис. 2 представлен график зависимости среднего пропускания света от количества слоёв в композиции. Из него очевидно, что увеличение количества слоёв приводит к снижению пропускания, независимо от того, чётное или нечётное число слоёв плёнки нанесено на подложку. Вместе с тем, кривая линии тренда для композитов с нечётным количеством слоёв плёнки располагается несколько выше, особенно при увеличении

числа слоёв более 15. Оба графика на рис. 2 хорошо описываются квадратичной зависимостью.

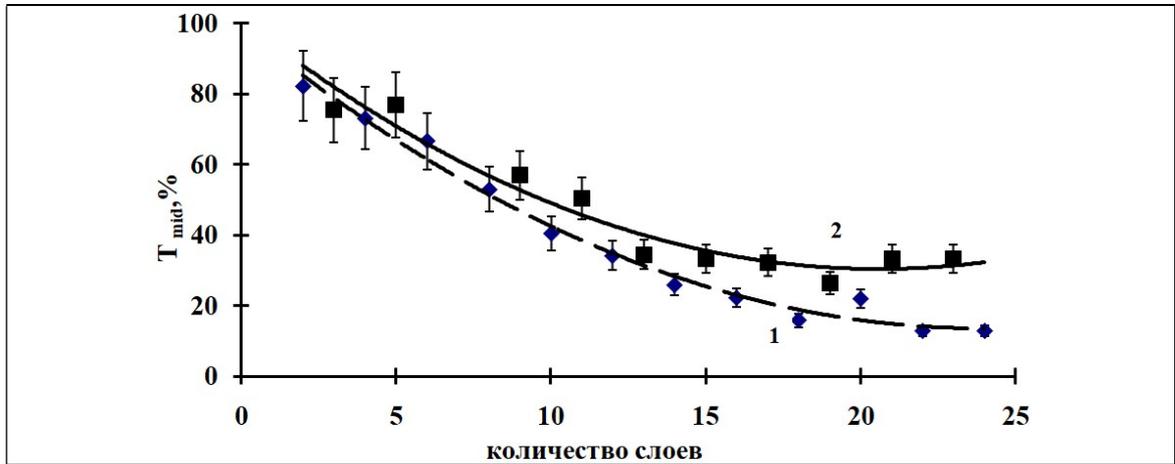


Рис. 2. График изменения среднего пропускания света композитами в зависимости от числа слоёв: 1 – чётное число слоёв, 2 – нечётное

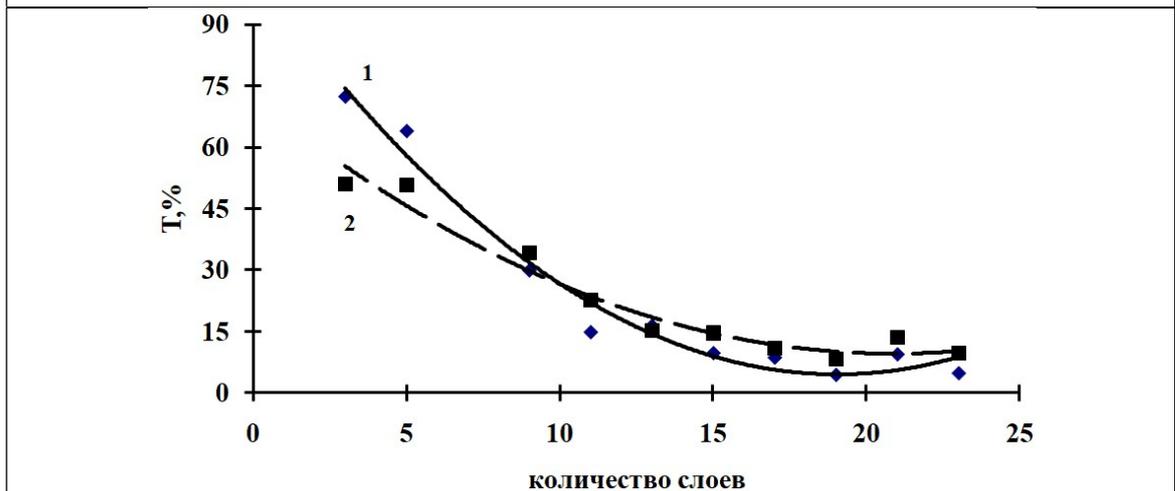


Рис. 3. График изменения пропускания света композитами в коротковолновой (1) и длинноволновой (2) областях спектра. Количество слоёв в покрытии – нечётное

Как следует из графиков на рис. 3, при небольшом числе слоёв (до 9) пропускание света композитами в фиолетовой области спектра больше, чем в красной. Однако, дальнейшее увеличение количества слоёв более 11 приводит к увеличению пропускания композита в красной и снижению – в фиолетовой области спектра. Линии тренда на рис. 3 также хорошо описываются полиномами второй степени. Минимальное пропускание около 4 % для фиолетовой области и 8 % – для красной – получено при 19 слоях в композиции. Причём дальнейшее увеличение числа слоёв ведёт к росту пропускания при таком чередовании слоёв.

На рис. 4 представлен график зависимости пропускания света на краях видимого диапазона от количества слоёв в композиции. Увеличение количества слоёв более 12 нивелирует разницу между коротко- и длинноволновым пропусканием композитов с чётным числом слоёв. При меньшем числе слоёв плёнки светопропускание в фиолетовой части спектра композитов на 10...15 % выше, чем в красной. Линии тренда на графике рис. 4 хорошо описываются полиномами второй степени.

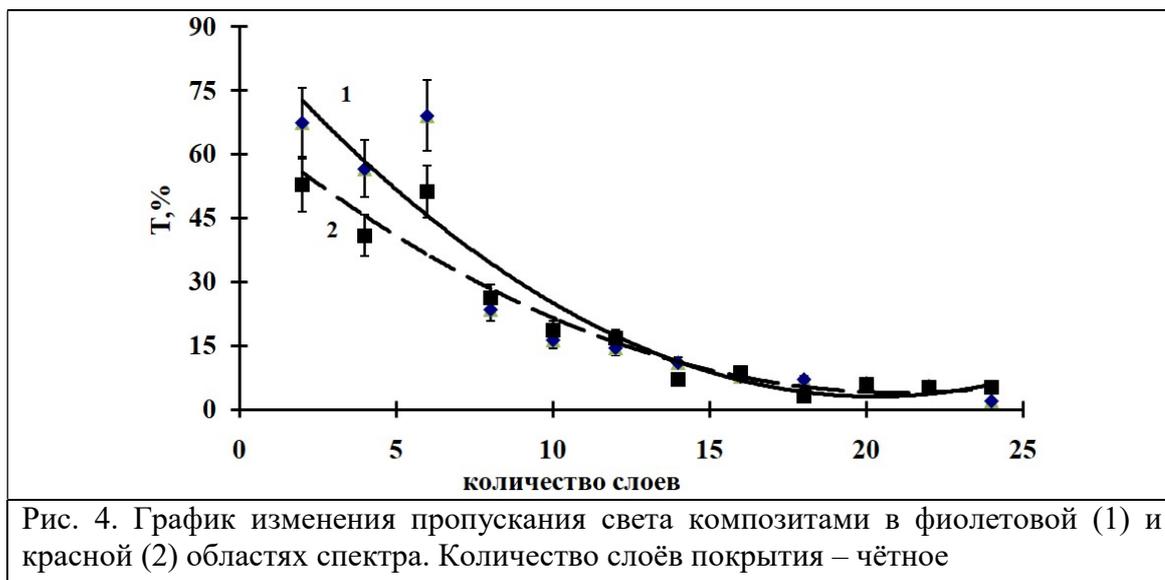


Рис. 4. График изменения пропускания света композитами в фиолетовой (1) и красной (2) областях спектра. Количество слоёв покрытия – чётное

В этом случае минимальное пропускание около 2 % для фиолетовой области получено при 24 слоях в композиции и около 3 % для красной – при 18 слоях. Причём увеличение числа слоёв от 18 до 24 с точностью наших измерений оставляет величину пропускания на том же уровне при таком чередовании слоёв оксида кремния и оксида титана.

## Выводы

Результаты проведённых исследований показывают, что:

- увеличение количества слоёв приводит к уменьшению пропускания света композитами;
- при небольшом числе слоёв (до 9) пропускание света композитами в фиолетовой части спектра больше, чем в красной. Увеличение количества слоёв более 11 приводит к увеличению пропускания композита в красной и снижению – в фиолетовой области спектра;
- экспериментальные данные хорошо описываются полиномами второй степени с коэффициентами аппроксимации, равными 0,88...0,97;
- минимальное пропускание около 2 % удалось достичь для фиолетовой части спектра при 24 слоях в композиции с данным чередованием слоёв SiO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub>, а завершал композицию слой диоксида титана при среднем пропускании около 10 %.

## Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

## Список литературы

1. Мкртычев О. В. Аналитическое исследование энергетических коэффициентов отражения и преломления света. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2012. № 4 (170). С. 36–38.
2. Аткарская А. Б., Мкртычев О. В., Шеманин В. Г. Изменение показателя преломления наноразмерных пленок при модифицировании стеклянных подложек. Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55. № 8-2. С. 238–239.
3. Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V., Privalov V.E., Shemanin V.G. Laser ablation of the glass nanocomposites studies. Optical Memory and Neural Networks. 2014. V. 23. № 4. P. 265–270.
4. Shemanin V.G., Kolpakova E.V., Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V. SiO<sub>2</sub> barrier layer influence on the glass composites with oxide nano films laser ablation destruction. Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2019. V. 10. № 6. P. 632–636.
5. Шеманин В. Г., Мкртычев О. В. Определение параметров оптических покрытий эллипсометрическими методами. Лазеры. Измерения. Информация. 2022. Т. 2. № 4 (8). С. 38–44.
6. Привалов В. Е., Шеманин В. Г., Мкртычев О. В. Оптические характеристики стеклянных композитов с многослойными наноразмерными покрытиями. Лазеры. Измерения. Информация. 2021. Т. 1 № 4. 033–039. <https://lasers-measurement-information.ru/ojs/index.php/laser/article/view/25>

## Light Transmission of Multilayer Glass Composites

\* Shemanin V. G., Cherbachi Yu. V., Mkrtychev O. V.

*Branch of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov in Novorossiysk, 353919, Novorossiysk, Myshakskoe highway, 75*

e-mail: vshemanin@mail.ru

The transmission of light by composite samples is considered. The samples consisted of a glass matrix with multilayer alternating coatings of titanium and silicon dioxide applied to them. The coatings were applied using sol-gel technology. The work establishes the dependence of the total light transmittance and light transmission of the composite at the edges of the visible spectral range.

*Key words:* sol-gel technology, thin-film coatings, light transmission.

## References

1. Mkrtychev O. V. Analytical study of the energy coefficients of reflection and refraction of light. News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences. 2012. No. 4 (170). pp. 36–38.
2. Atkarskaya A. B., Mkrtychev O. V., Shemanin V. G. Change in the refractive index of nanosized films when modifying glass substrates. News from universities. Physics. 2012. T. 55. No. 8-2. pp. 238–239.
3. Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V., Privalov V.E., Shemanin V.G. Laser ablation of the glass nanocomposites studies. Optical Memory and Neural Networks. 2014. V. 23. No. 4. P. 265–270.

4. Shemanin V.G., Kolpakova E.V., Atkarskaya A.B., Mkrtychev O.V. SiO<sub>2</sub> barrier layer influence on the glass composites with oxide nano films laser ablation destruction. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2019. V. 10. No. 6. P. 632–636.
5. Shemanin V. G., Mkrtychev O. V. Determination of the parameters of optical coatings by ellipsometric methods. *Lasers. Measurements. Information*. 2022. T. 2. No. 4 (8). pp. 38–44.
6. Privalov V. E., Shemanin V. G., Mkrtychev O. V. Optical characteristics of glass composites with multilayer nano-sized coatings. *Lasers. Measurements. Information*. 2021. Vol. 1 No. 4. 033–039. <https://lasers-measurement-information.ru/ojs/index.php/laser/article/view/25>