

СОЗДАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА С ДОБАВЛЕНИЕМ ОКСИДА КОБАЛЬТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЛАЗЕРНОЙ ХИРУРГИИ

Е.М. Соколова, А.С. Бойко, М.И. Фокина, А.А. Пономарева
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Университет ИТМО»
197101, Россия, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
ev.sokolova@icloud.com

DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.717

Аннотация: Использование сгенерированных струй в качестве «микрорезцов» находит свое применение в лазерной хирургии. Такие способы лазерного воздействия используются для удаления новообразований, таких как межпозвоночные грыжи и кисты. К лазеру присоединяют оптоволокно, которое вводится к грыже или кисте через пункционную иглу. Для увеличения эффективности лазерного воздействия необходимо аккумулировать энергию на торце волновода при помощи нанесения поглощающего покрытия, которое должно обладать высокой адгезией к кварцу. В данной работе проведено исследование по разработке методики создания полимерных пленок золь-гель методом для использования в лазерной хирургии в качестве поглощающего покрытия. В роли прекурсора для формирования полисиликатной сетки, удерживающей малоразмерные частицы оксида кобальта, был выбран тетраэтоксисилан. В работе были исследованы оптические, морфологические и поглощающие свойства покрытий, полученные на кварцевых стеклах. Дополнительно растворы и полученные пленочные покрытия были изучены с помощью ИК-спектроскопии, результаты которой показали отсутствие качественного изменения золь при длительном хранении (до 3-х недель) и образование пространственной силикатной сетки и оксида кобальта в пленках. Исследование морфологии поверхности полученных покрытий показало, что для равномерного распределения синтезируемого оксида кобальта не нужны высокие концентрации солей кобальта. Поглощающие свойства образцов были протестированы с использованием ИК-лазера и тепловизора. Благодаря проведенным исследованиям выбран оптимальный состав покрытия для нанесения на кварцевые волноводы.

Ключевые слова: тетраэтоксисилан, оксид кобальта, кварц, золь-гель технология, ИК-спектроскопия, лазерное излучение, поглощающее покрытие.

1. Введение

Лазерные технологии широко используются в медицинской практике еще с 60-х годов XX века. Свойства лазеров позволяют совершать хирургические и терапевтические вмешательства локально благодаря тому, что ткани и жидкости в организме человека избирательно поглощают лазерное излучение. Известно [1, 2], что лазеры с высокой мощностью могут выступать в роли хирургических ножей для удаления части органов и доброкачественных новообразований, прижигания сосудов.

Лазерное излучение используется для генерации кумулятивных струй [3], которые выступают в роли микро-резцов. В этой технологии излучение, распространяясь по кварцевому волноводу, доставляется к биологической ткани. Место контакта торца волновода с биологической

жидкостью нагревается и вскипает, поглощая лазерное излучение. Выделяют два основных режима кипения: гомогенный и гетерогенный [3, 4]. Гомогенное кипение происходит в объеме непосредственной вблизи к торцу волновода, гетерогенное кипение протекает на поверхности торца оптоволокна, покрытого поглощающим слоем.

В настоящее время существуют сложности в создании надежного поглощающего покрытия с хорошей адгезией к торцу оптоволокна, хотя этот метод уже используется для удаления различных кист и межпозвоночных грыж [1, 3]. Поглощающее покрытие наносят при помощи кратковременного прижигания волновода на пробке или древесине, но из-за слабой адгезии угля на поверхности оптоволокна, покрытие приходится наносить повторно после схлопывания нескольких пузырьков жидкости. Альтернативой существующему методу создания поглощающего слоя могла бы служить золь-гель, которая позволяет создавать нанокompозитные покрытия, состоящие из силикатной сетки наноразмерных включений оксидов металлов [5-7].

В нашей работе производится поиск состава поглощающего покрытия с высокой адгезией к кварцу, обладающее поглощающей способностью инфракрасного оптического излучения для саморазогрева. В качестве материала покрытия выбран композитный материал, состоящий из аморфной силикатной сетки с нановключениями оксида кобальта. За основу покрытия выбран тетраэтоксисилан (ТЭОС), так как этот эфир широко применяется как отверждающий компонент для синтеза силикатной матрицы [7-9]. ТЭОС в воде и водных растворах подвергается гидролизу с последующей поликонденсацией и образует кремниевую сетку [10-12], которая может служить матрицей для встраивания других компонентов.

ТЭОС бесцветный, поэтому еще одним важным компонентом покрытия является оксид кобальта, который можно получить при обжиге его солей при высоких температурах [13]. Кобальт также является ключевым компонентом витамина B_{12} , участвующего в образовании эритроцитов.

2. Экспериментальная часть

Для синтеза смешанного оксида кобальта Co_3O_4 выбран хлорид кобальта $CoCl_2$. В сухом виде хлорид существует в виде гексагидрата хлорида кобальта (II), который хорошо растворим в этиловом спирте CH_3CH_2OH . Мольная доля ТЭОС и ионов кобальта в конечном растворе выбрана от 90 мол.% SiO_2 – 10 мол.% Co^{2+} до 70 мол.% SiO_2 – 30 мол.% Co^{2+} с шагом 5 мол.%.

Синтез силикатной матрицы происходил по золь-гель методу. Схема процесса синтеза и нанесения покрытия на стекла представлена на рис. 1. На первом этапе в 5 мл этилового спирта CH_3CH_2OH добавляли рассчитанные массы навесок хлорида кобальта $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ ($M = 237,84$ г/моль) и рассчитанные объемы тетраэтоксисилана $C_8H_{20}O_4Si$ ($M = 208,33$ г/моль). Затем (второй этап) все пять полученных растворов выдерживались 24 часа при комнатной температуре для синтеза силикатной матрицы. На третьем этапе синтезированные растворы объемом 20 мкл наносили на кварцевые стекла при помощи пипеточного дозатора Thermo scientific (Thermo scientific, США). Стекла выдерживали на воздухе в течение 15 минут (четвертый этап), а далее помещались на электрическую плитку ИКА С-mag YS7 Package (ИКА, Германия), нагретую до $150^\circ C$, на 1 час (пятый этап). Таким образом производилось нанесение первого слоя покрытия, процесс повторялся еще 2 раза для получения покрытия в три слоя (этапы 6-8). На девятом этапе стекла помещались в муфельную печь (Сикрон, Россия) на 1 час при температуре $300^\circ C$ для полного разложения хлорида кобальта и образования смешанного оксида.

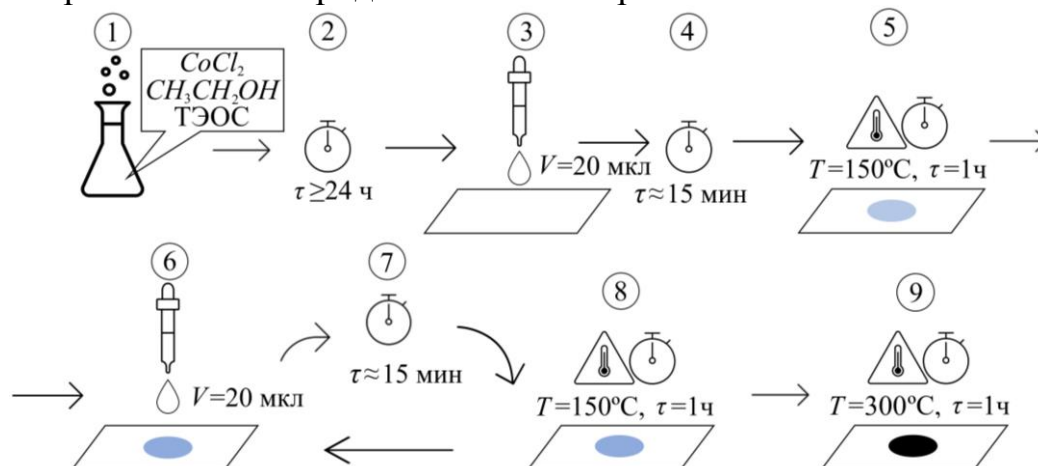


Рис. 1. Схема получения полимерного поглощающего покрытия на основе ТЭОС и оксида кобальта.

Морфология поверхности полученных покрытий, а также толщина покрытий оценивались при помощи оптического микроскопа Olympus STM 6 (Olympus NDT, США). Толщина определялась по координате Z на панели микроскопа при помощи последовательной фокусировки объектива на поверхности стекла, а затем на поверхности пленки. Процесс измерения проводился в 3-х различных областях покрытий, значение усреднялось.

Поглощающие свойства покрытий оценивались при воздействии лазерного излучения мощностью 3 Вт и длиной волны 980 нм, нагрев фиксировался при помощи тепловизорной камеры testo 890 (Testo,

Германия). Лазер помещался на расстоянии 11 см от полученного покрытия.

Химические особенности покрытий и растворов для их синтеза исследовались методом инфракрасной (ИК) спектроскопии на спектрометре Tensor 37 (Bruker, Германия) с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) MIRacle (Pike, США) в области $600 - 4000 \text{ см}^{-1}$.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены микрофотографии некоторых образцов, сделанные при помощи оптического микроскопа в проходящем свете. На рис. 2 а можно наблюдать неоднородную структуру с неравномерным покрытием, а на рис. 2 б покрытие содержит большое количество прозрачных участков, в которые не вошел оксид кобальта. Самым удачным образцом можно считать образец на рис. 2 в. Покрытие получилось более однородным с равномерно распределенными частицами оксида кобальта. Опытным путем также было выявлено, что в образцах с 10 и 20 процентным содержанием кобальта не получается создать равномерное покрытие, даже при трехслойном нанесении.

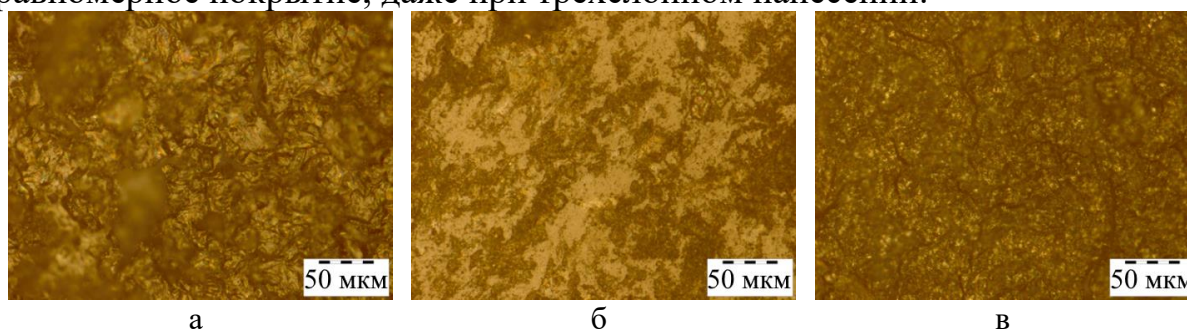


Рис. 2. Микрофотографии образцов полимерных поглощающих покрытий на кварцевом стекле: а – 85 мол.% SiO_2 – 15 мол.% Co^{2+} , б – 75 мол.% SiO_2 – 25 мол.% Co^{2+} , в – 70 мол.% SiO_2 – 30 мол.% Co^{2+} .

Таблица 1. Результаты измерения оптическим методом толщины полученных покрытий.

Оценка толщины покрытия	Покрытие с содержанием $\text{Co}^{2+} = 0,15$	Покрытие с содержанием $\text{Co}^{2+} = 0,25$	Покрытие с содержанием $\text{Co}^{2+} = 0,3$
Измерение 1, h_1 , мкм	18,5	10,6	12,3
Измерение 2, h_2 , мкм	28,1	17,2	10,7
Измерение 3, h_3 , мкм	40,3	15,2	11,8
Среднее значение, $h_{\text{сред}}$, мкм	29,0	14,3	11,6

Результаты измерения толщины полученных покрытий представлены в Таблице 1. По полученным данным можно сделать

заключение, что на толщину полимерного покрытия влияет мольная доля ТЭОС в начальном растворе. Чем больше концентрация ТЭОС, тем тоньше получается пленка и более равномерное по толщине покрытие.

Результаты лазерного воздействия на образцы представлены в виде тепловых картин на рис. 3. В результате воздействия покрытия нагрелись в разной степени. Больше всего нагрелось покрытие (см. рис. 3 а) до 32,7°C. Таким образом можно предположить, что поглощающие свойства зависят от толщины покрытия и как следствие от мольной доли ионов кобальта Co^{2+} в составе.

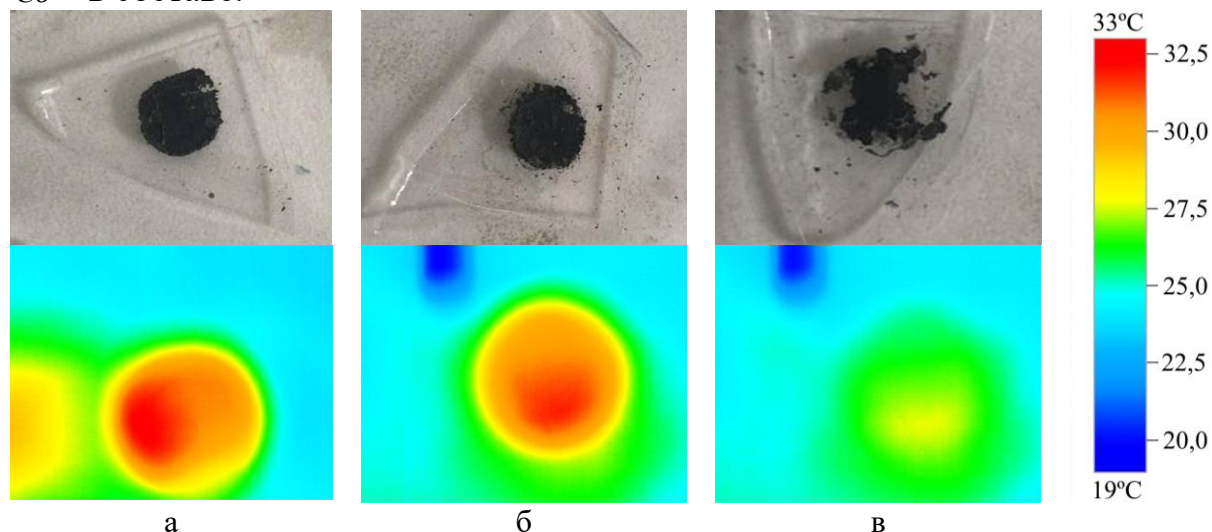


Рис. 3. Тепловая картина нагрева покрытий в течение 10 минут лазером (3 Вт, 980 нм): а – 85 мол.% SiO_2 – 15 мол.% Co^{2+} , б – 75 мол.% SiO_2 – 25 мол.% Co^{2+} , в – 70 мол.% SiO_2 – 30 мол.% Co^{2+}

Для изучения химических связей и структур растворов и покрытий использовался метод ИК-спектроскопии. На рис. 4 представлены ИК-спектры растворов различной выдержки. Можно заметить, что старение золь происходит медленно. Это является преимуществом, так как данный факт увеличивает срок повторного использования раствора для получения поглощающего покрытия.

На полученных спектрах пик с максимумом 870 см^{-1} можно отнести колебаниям связи $Si-OH$, которая образуются в результате гидролиза ТЭОС. Большой пик при 1043 см^{-1} соответствует симметричным колебаниям связи $Si-O-Si$, а маленький при 1095 см^{-1} соответствует асимметричным колебаниям в $Si-O-Si$ [14, 15]. Пик при 1641 см^{-1} может относиться к деформационным колебаниям связанной воды [15]. Широкая полоса поглощения в диапазоне $3000 - 3750\text{ см}^{-1}$ с максимумом в 3340 см^{-1} может относиться к валентным и продольным колебаниям в связи $Si-OH$, а также колебаниям $O-H$ в воде [15].

На рис. 5 представлен урезанный ИК-спектр обожженных образцов (ксерогелей) на кварцевых стеклах в диапазоне $500 - 1750\text{ см}^{-1}$. Именно в

этом интервале заложена информация об оксидных структурах силикатной матрицы и кобальтовых включениях в ней. Можно отметить узкий пик при 657 см^{-1} , который соответствует колебаниям связки $\text{Co}^{\text{III}}-\text{O}$, что подтверждает образование оксида трехвалентного металла [16, 17]. Широкая полоса поглощения в диапазоне $1250 - 1000\text{ см}^{-1}$ с пиком на 1073 может соответствовать слившимся ассиметричным и симметричным колебаниям в связи $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ [15]. Пик при 1597 см^{-1} не может относиться воде, так как образцы обожжены, поэтому его можно отнести к связи $\text{Si}-\text{C}$, которая могла образоваться в результате сгорания продуктов реакции и растворителя [18].

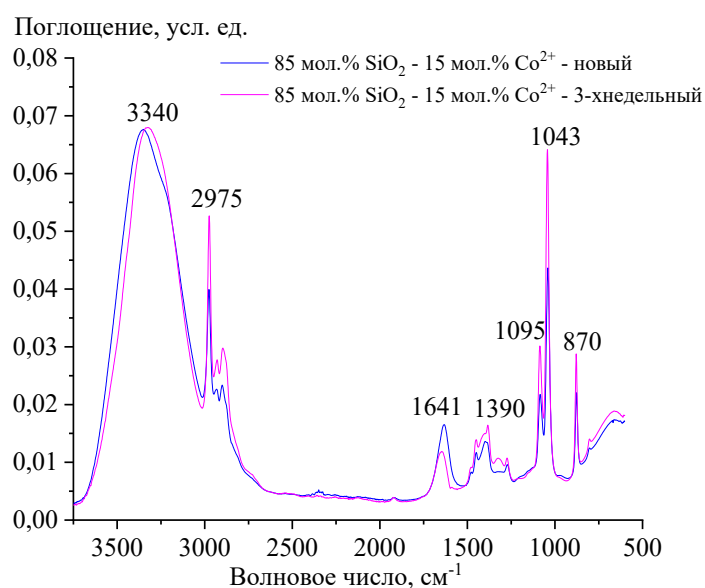


Рис. 4. Инфракрасная спектроскопия растворов различной выдержки с мольной долей ионов кобальта 0,85, полученных золь-гель методом.

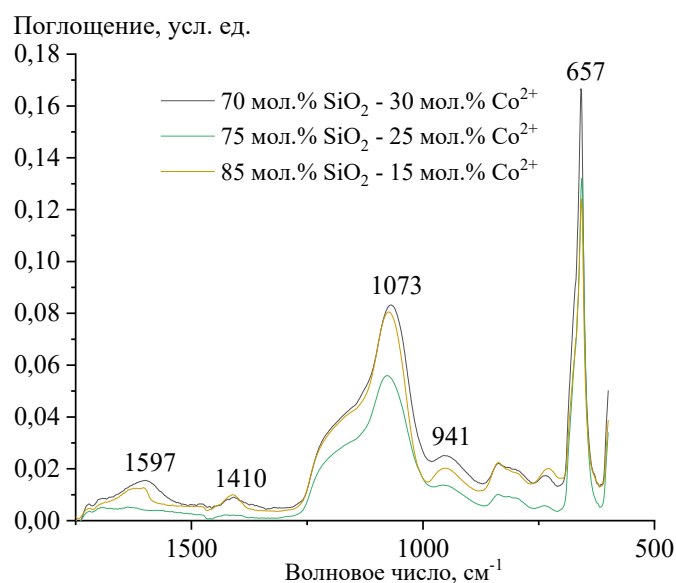


Рис. 5. Инфракрасная спектроскопия полимерных покрытий после обжига в муфельной печи с различной мольной долей ионов кобальта.

4. Заключение

Применение лазерного излучения для создания сгенерированных струй, которые могут играть роль хирургического ножа, становится все более популярным методом в лазерной хирургии. Создание поглощающего покрытия для волноводов таких лазеров позволяет увеличить силу воздействия и, соответственно, скорость проведения операционного вмешательства. Золь-гель метод позволяет синтезировать растворы для получения поглощающих покрытий на основе ТЭОС и кристаллогидрата хлорида кобальта, обладающих большим временем старения.

В работе предложен метод синтеза и нанесения покрытия на кварцевые стекла. Также исследованы морфологические, поглощающие и оптические свойства покрытий с различным мольным соотношением основных компонентов. Исследование ИК-спектров подтвердило образование оксида кобальта с валентностью III. Из всех исследованных образцов выбран оптимальный состав (85 мол.% SiO_2 – 15 мол.% Co^{2+}) для нанесения на волноводы.

Библиографический список:

1. **Чудновский, В.М.** Экспериментальное обоснование лазерного пункционного лечения остеохондроза позвоночника / В.М. Чудновский, В.А. Буланов, В.И. Юсупов и др. // Лазерная медицина. – 2010. – Т. 14. – №. 1. – С. 30-34.
2. **Гафуров, С.Дж.** Особенности применения лазеров в медицине / С.Дж. Гафуров, Ш.М. Каттахонов, М.М. Холмонов // European science. – 2019. – №. 3 (45). – С. 92-95.
3. **Chudnovskiy, V.M.** Laser-induced boiling of biological liquids in medical technologies / V.M. Chudnovskiy, V.I. Yusupov, A.V. Dydykin et al. // Quantum Electronics. – 2017. – V. 47. – № 4. – P. 361-370. DOI: 10.1070/QEL16298.
4. **Чудновский, В.М.** Генерация затопленной струи при лазерном нагреве поверхности жидкости / В.М. Чудновский, В.И. Юсупов // Письма в журнал технической физики. – 2020. – Т. 46. – Вып. 20. – С. 31-34. DOI: 10.21883/PJTF.2020.20.50153.18426.
5. Пат. 24649557 Российская Федерация, МПК А61L27/18, А61L27/04, А61B17/06, С08L83/04. Покрытие для хирургических игл и способы их нанесения / Морер Р., Бар С.Н., Хинрихс Э. и др.; заявитель и патентообладатель ЭТИКОН, ИНК. (US). – № 2012123749/15; заявл. 21.10.10; опубл. 03.04.18, Бюл. № 23. – 33 с.
6. **Максимов, А.И.** Основы золь-гель-технологии нанокompозитов / А.И. Максимов, В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, О.А. Шилова. – СПб: Изд-во «Элмор». – 2008. – 255 с.
7. **Shilova, O.A.** ‘Spin-on-glass’ films for semiconductor technology / O.A. Shilova // Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions. – 2003. – V. 86. – I. 3. – P. 195-202. DOI: 10.1007/BF02699653.
8. **Shilova, O.A.** Sol-gel preparation of ceramic coatings for electrical, laser, space engineering and power / O.A. Shilova, S.V. Hashkovsky, L.A. Kuznetsova // Journal of Sol-Gel Science and Technology. – 2003. – V. 26. – I. 1-3. – P. 687-691. DOI: 10.1023/A:1020725500032.
9. **Park, J.H.** Structure modulation of silica microspheres in bio-inspired silicification: effects of TEOS concentration / J.H. Park, J.Y. Choi, T. Park et al. // Chemistry – An Asian Journal. – 2011. – V. 6. – I. 8. – P. 1939-1942. DOI: 10.1002/asia.201100265.
10. **Khimich, N.N.** Sol-gel synthesis of an optical silica glass doped with rare-earth elements / N.N. Khimich, G.M. Berdichevskii, E.N. Poddenezhnyi, et al. // Glass Physics and Chemistry. – 2007. – V. 33. – I. 2. – P. 152-155. DOI: 10.1134/S1087659607020095.
11. **Бочкарёва, С.С.** Синтез гибридных композитов золь-гель методом / С.С. Бочкарев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – №. 3 (18). – С. 81-93. DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-3-81-93.

12. Colleoni, C. Delayed luminescence induced by complex domains in water and in aqueous solutions / C. Colleoni, S. Esposito, R. Grasso et al. // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2016. – V. 18. – I. 2. – P. 772-780. DOI: 10.1039/c5cp03420e.
13. Телеш, Е.В. Формирование оптических покрытий прямым осаждением из ионных пучков / Е.В. Телеш, Н.К. Касинский // *Контенант*. – 2014. – Т. 13. – № 2. – С. 27-30.
14. Stoia, M. Low temperature synthesis of $\text{Co}_2\text{SiO}_4/\text{SiO}_2$ nanocomposite using a modified sol-gel method / M. Stoia, M. Stefanescu, Th. Dippong et al. // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. – 2010. – V. 54. – I. 1. – P. 49-56. DOI: 10.1007/s10971-010-2156-2.
15. Мурашкевич, А.Н. Инфракрасные спектры поглощения и структура композита $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ / А.Н. Мошников, А.С. Лавицкая, Т.И. Баранникова, И.М. Жарский // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2008. – Т. 75. – №5. – С. 724-728.
16. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 536 с.
17. Гринвуд, Н.Н. Химия элементов. В 2 т. / Н. Гринвуд, А. Эшно; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – Т. 2. – 670 с.
18. Al-Oweini, R. Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several Si (OR) 4 and R' Si (OR') 3 precursors / R. Al-Oweini, H. El-Rassy // *Journal of Molecular Structure*. – 2009. – V. 919. – I. 1-3. – P. 140-145. DOI: 10.1016/j.molstruc.2008.08.025.

References:

1. Chudnovskiy V.M., Bulanov V.A., Yusupov V.I. et al. Eksperimental'noe obosnovanie lazernogo punktsionnogo lecheniya osteokhondroza pozvonochnika [Experimental backgrounding for laser puncture treatment of spinal osteochondrosis], *Lasernaya Meditsina [Laser Medicine]*, 2010, vol. 14, issue 1, pp. 30-35. (In Russian).
2. Gafurov S.J., Kattahonov Sh.M., Holmonov M.M. Osobennosti primeneniya lazerov v meditsine [Features of the application of lasers in medicine], *European science*, 2019, no. 3 (45), pp. 92-95. (In Russian).
3. Chudnovskiy V. M., Yusupov V.I., Dydykin A.V. et al. Laser-induced boiling of biological liquids in medical technologies, *Quantum electronics*, 2017, vol. 47, no. 4, pp. 361-370. DOI: 10.1070/QEL16298.
4. Chudnovskii V.M., Yusupov V.I. Submerged jet generation by laser heating of a liquid surface, *Technical Physics Letters*, 2022, vol. 46, issue10, pp. 1024-1027. DOI: 10.1134/S1063785020100211.
5. Morer R., Bar S.N., Khinrikhs E. et al. Pokrytie dlya khirurgicheskikh igl i sposoby ikh naneseniya [Surgical needle coatings and methods for coating deposition], Patent RF, no. 24649557, 2018. (In Russian).
6. Maksimov A.I., Moshnikov V.A., Tairov Yu.M. et al. Osnovy zol'-gel'-tekhnologii nanokompozitov [Fundamentals of sol-gel nanocomposite technology]. Saint Petersburg, «Elmor» Publ., 2008, 255 p. (In Russian).
7. Shilova O.A. 'Spin-on-glass' films for semiconductor technology, *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 2003, vol. 86, issue 3, pp. 195-202. DOI: 10.1007/BF02699653.
8. Shilova O.A., Hashkovsky S.V., Kuznetsova L.A. Sol-gel preparation of ceramic coatings for electrical, laser, space engineering and power, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2003, vol. 26, issue 1-3, pp. 687-691. DOI: 10.1023/A:1020725500032.
9. Park J.H., Choi J.Y., Park T. et al. Structure modulation of silica microspheres in bio-inspired silicification: effects of TEOS concentration, *Chemistry – An Asian Journal*, 2011, vol. 6, issue 8, pp. 1939-1942. DOI: 10.1002/asia.201100265.
10. Khimich N.N., Berdichevskii G.M., Poddeneznyi E.N. et al. Sol-gel synthesis of an optical silica glass doped with rare-earth elements, *Glass Physics and Chemistry*, 2007, vol. 33, issue 2, pp. 152-155. DOI: 10.1134/S1087659607020095.
11. Bochkareva S.S. Sintez gibridnykh kompozitov zol'-gel' metodom [Synthesis of hybrid composites by sol-gel method], *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya [University Proceedings. Applied Chemistry and Biotechnology]*, 2016, vol. 6, no. 3 (18), pp. 81-93. DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-3-81-93. (In Russian).
12. Colleoni C., Esposito S., Grasso R. et al. Delayed luminescence induced by complex domains in water and in TEOS aqueous solutions, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2016, vol. 18, issue 2, pp. 772-780. DOI: 10.1039/c5cp03420e.
13. Telesh E.V., Kasinskii N.K. Formirovanie opticheskikh pokrytij pryamym osazhdeniem iz ionnykh puchkov [Formation of optical coatings by direct deposition from ion beams], *Kontenant [Contentant]*, 2014, vol. 13, no. 2, pp. 27-30. (In Russian).
14. Stoia M., Stefanescu M., Dippong Th. et al. Low temperature synthesis of $\text{Co}_2\text{SiO}_4/\text{SiO}_2$ nanocomposite

using a modified sol-gel method, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2010, vol. 54, issue 1, pp. 49-56. DOI: 10.1007/s10971-010-2156-2.

15. Murashkevich A.N., Lavitskaya A.S., Barannikova T.I., Zharskii I.M. Infrared absorption spectra and structure OF TiO₂-SiO₂ composites, *Journal of Applied Spectroscopy*, 2008, vol. 75, issue 5, pp. 730-734. DOI: 10.1007/s10812-008-9097-3.

16. Nakamoto K. *Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds*, 4th ed. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & Sons, Inc., 1986, 484 p.

17. Greenwood N.N., Earnshaw A. *Chemistry of the Elements*, 2nd ed. Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 1997, 1394 p. DOI: 10.1016/C2009-0-30414-6.

18. Al-Oweini R., El-Rassy H. Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several Si (OR)₄ and R'' Si (OR')₃ precursors, *Journal of Molecular Structure*, 2009, vol. 919, issue. 1-3, pp. 140-145. DOI: 10.1016/j.molstruc.2008.08.025.

Original paper

**DEVELOPMENT OF TETRAETHOXYSILANE-BASED POLYMER ABSORBING
COATING WITH AN ADDING OF THE COBALT OXIDE FOR A LASER SURGERY**

E.M. Sokolova, A.S. Boiko, M.I. Fokina, A.A. Ponomareva

ITMO University, St. Petersburg, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.717

Abstract: The use of generated jets as «micro incisors» finds its application in laser surgery. Such methods of laser exposure are used to remove neoplasms, such as intervertebral hernias and cysts. An optical fiber is attached to the laser, which is inserted into the hernia or cyst through a puncture needle. To increase the efficiency of laser exposure, it is necessary to accumulate energy at the end of the waveguide by forming an absorbing coating, which should have high adhesion to quartz. In this work, a study was carried out on the development of a technique for polymer films by the sol-gel method for use in laser surgery as an absorbing coating. Tetraethoxysilane was chosen as a precursor for the formation of a polysilicate mesh holding small cobalt oxide particles. Optical, morphological, and absorbing properties of coatings obtained onto quartz glasses were studied in this work. Additionally, the solutions and the obtained coatings were studied using IR spectroscopy, the results of which showed the absence of a qualitative change in the sols during long-term storage (up to 3 weeks) and the formation of a three-dimensional silicate network and cobalt oxide in the films. The study of the surface morphology of the obtained coatings showed that high concentrations of cobalt salts are not required for the uniform distribution of the synthesized cobalt oxide. The absorbing properties of the samples were tested using an IR laser and a thermal imager. Owing to the research the optimal composition of the coating for the deposition on quartz waveguides was chosen.

Keywords: *tetraethoxysilane, cobalt oxide, quartz, sol-gel technology, IR spectroscopy, laser radiation, absorbing coating.*

Соколова Евгения Михайловна – студент 1 курса магистратуры Центра химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Бойко Анастасия Сергеевна – студент 4 курса бакалавриата Центра химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Фокина Мария Ивановна – к.ф.-м.н., доцент в Центре химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Пономарева Алина Александровна – к.т.н., доцент в Центре химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Evgeniia M. Sokolova – 1st year master's student, Center for Chemical Engineering, ITMO University

Anastasia S. Boiko – 4th year bachelor's student, Center for Chemical Engineering, ITMO University

Maria I. Fokina – Ph. D., Docent, Center for Chemical Engineering, ITMO University

Alina A. Ponomareva – Ph. D., Docent, Center for Chemical Engineering, ITMO University

Поступила в редакцию/received: 28.08.2022; после рецензирования/reviced: 21.09.2022; принята/accepted 27.09.2022.