

## Исследование композиционных материалов на основе полистирола и сахарозы методом ИК-спектроскопии

И.А. Белогорохов<sup>1</sup>, Л.И. Белогорохова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологически активных веществ Российской академии наук, г. Черноголовка, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

jugqwerty@mail.ru

Композиционные материалы на основе полистирола и сахарозы представляют научный интерес, так как могут найти применение в современных задачах биомедицины и микроэлектроники, например для создания биочипов и элементов памяти. В работе в качестве основной методики анализа физических свойств композиционных материалов на основе полистирола и сахарозы использована ИК-спектроскопия. Особое внимание уделено спектральным координатам линий поглощения сахарозы в средней ИК-области. Все эксперименты проведены при кислородной атмосфере и комнатной температуре. В ходе выполнения эксперимента получены спектры пропускания композиционных материалов на основе сахарозы и полистирола в области  $600\text{--}5000\text{ см}^{-1}$ . Проведена расшифровка основных линий пропускания. Установлено, что растворенный в полимерной матрице сахарид сохраняет профиль спектральных линий, а его молекулы не претерпевают деструктивных воздействий. Показано, что композитный материал на основе полистирола и сахарозы представляет собой химически устойчивую систему.

**Ключевые слова:** инфракрасная спектроскопия; сахараиды; композиты; органические материалы

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы (проект № 15-32-70017 «мол\_а\_мос») и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ (грант МД-2991.2017.3). Разработка и создание композитов выполнены в рамках Государственного задания 2018 г. (тема № 45.5 «Создание соединений с заданными физико-химическими свойствами»).

**Для цитирования:** Белогорохов И.А., Белогорохова Л.И. Исследование композиционных материалов на основе полистирола и сахарозы методом ИК-спектроскопии // Изв. вузов. Электроника. – 2019. – Т. 24. – № 1. – С. 16–21. DOI: 10.24151/1561-5405-2019-24-1-16-21

## The Study of Composite Materials Based on Polystyrene and Sucrose by the IR-Spectroscopy Method

I.A. Belogorokhov<sup>1</sup>, L.I. Belogorokhova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physiologically Active Compounds of Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

jugqwerty@mail.ru

**Abstract:** Composite materials based on polystyrene and sucrose are of scientific interest, since they can be used in modern problems of biomedicine and microelectronics, such as: the creation of biochips and memory elements. In this study as the main method for analyzing the physical properties of composites the IR spectroscopy has been used. The main attention has been paid to the spectral coordinates of the absorption lines of sucrose in the middle IR region. All experiments have been conducted under an oxygen atmosphere and at room temperature. During the experiment the transmission spectra of the composite materials based on sucrose and polystyrene in the range of 600–5000 cm<sup>-1</sup> have been obtained. The decoding of the main transmission lines has been carried out. In the course of working with the spectral characteristics of composites it has been found that the saccharide, dissolved in the polymer matrix, retains the profile of the spectral lines, and its molecules do not undergo the destructive effects. The results obtained suggest that the composite material, based on polystyrene and sucrose is a chemically stable system.

**Keywords:** infrared spectroscopy; saccharides; composites; organic materials

**Acknowledgements:** this study has been supported by Russian Foundation for Basic Research and the Government of Moscow (project № 15-32-700017 «мол\_а\_мос») and Council on the grants of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists and leading scientific schools (grant МД-2991.2017.3). The development and creation of composites were carried out within the framework of the State task (the theme «Creating compounds with specified physicochemical properties»)

**For citation:** Belogorokhov I.A., Belogorokhova L.I. The study of composite materials based on polystyrene and sucrose by the IR-spectroscopy method. *Proc. Univ. Electronics*, 2019, vol. 24, no. 1, pp. 16–21. DOI: 10.24151/1561-5405-2019-24-1-16-21

**Введение.** Органические полупроводники нашли широкое применение в современном научном мире [1]. Но самым интересным достижением ученых в области микроэлектроники можно назвать разработку резистивной ячейки памяти – логического элемента нового поколения, способного подолгу пребывать в нескольких зарядовых состояниях [2, 3]. Для достижения данной цели экспериментально выбирались полимерные системы из хаотических резисторов памяти, композиционные материалы различного состава и структуры с планарной и слоистой геометрией расположения токопроводящих и изолирующих слоев [2, 3]. Одной из теоретических моделей, описывающей свойства мемристора, является резистивная система с хаотически реализующимися переходами [4].

В настоящей работе рассматривается класс материалов, потенциально подходящий для создания мемристора, – композиционный материал, сочетающий полезные свойства полимерной матрицы и вводимой примеси. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, количественного соотношения и прочности связи между ними. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно в зависимости от назначения получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости или композиции с необходимыми специальными свойствами. Известны работы, где для элементов памяти изготавливались композиты из фталоцианинов, нанокристаллов и даже диоксида титана [5–10].

Рассмотрим возможность создания перспективных материалов для элементов микроэлектроники, не прибегая к сложной химии, например из таких веществ, как сахар. Сахар как материал имеет более низкую себестоимость и прост в эксплуатации. Отметим важный технологический аспект – сахар включает в свой состав природный дисахарид, отвечающий за генерацию энергии в клеточной структуре. Неоспоримым фактом является также и простота получения сахаридов.

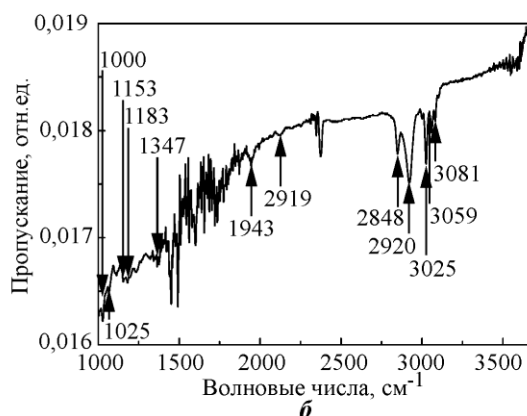
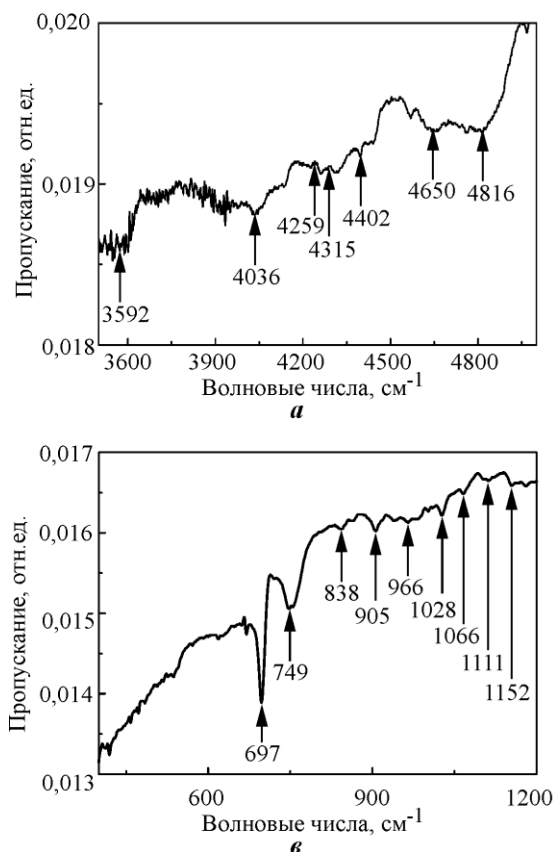
В связи с этим для изучения поведения сахаридов в полимерной матрице в настоящей работе создан и исследован композиционный материал на основе сахарозы и полистирола. С целью исследования возможности образования химических связей между компонентами композита использовался метод ИК-спектроскопии.

**Результаты и обсуждение.** Представленные в работе спектры пропускания в средней ИК-области записаны с помощью фурье-спектрометра IFS 113v фирмы Bruker. Разрешение по волновым числам в ходе выполнения эксперимента составляло не менее  $1\text{ см}^{-1}$ .

Исследуемые образцы композиционных материалов приготовлены из полистирола и сахарозы. Готовый материал, включающий в свой состав диэлектрические полимерные молекулы, позволяет придавать экспериментальному образцу любую форму, а также пластичность и гибкость. Необходимо отметить, что использование полимерных молекул в качестве матрицы для композита позволяет решить проблему имплантации контактов при создании изделий. Именно благодаря указанному свойству композит, состоящий из полимера в качестве матрицы, может быть применен во многих прикладных отраслях и технологических задачах. Исследуемый в работе материал представляет собой органическую систему, включающую в себя диэлектрическую матрицу полистирола, в которую введена сахароза в качестве примеси. Данный полимер взят в качестве основы для матрицы композита ввиду простоты его эксплуатации и низкой себестоимости на рынке органических материалов. Спектры пропускания исследованных образцов представлены на рисунках.

При анализе полученных данных наиболее интенсивные линии поглощения, обусловленные молекулами полимерной матрицы, убраны из спектров пропускания. Влияние полимерной матрицы можно увидеть в виде набора линий в диапазоне  $4036\text{--}4810\text{ см}^{-1}$ . В спектре композиционного материала, содержащего сахариды, можно отметить несколько линий поглощения, характеризующих поведение сахарозы в полимерной матрице.

Валентные колебания ОН-групп расположены в интервале частот  $3005\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ . Указанные моды колебаний для чистого полисахарида должны располагаться в области частот  $3400\text{ см}^{-1}$ . Смещение спектральной координаты данного типа колебаний может быть обусловлено влиянием полимерной матрицы на сахарид [11] (см. рисунок а). Согласно литературным данным, в спектре чистой сахарозы указанные моды расположены в интервале частот  $3150\text{--}3600\text{ см}^{-1}$  [12]. В диапазоне  $2060\text{--}3000\text{ см}^{-1}$  можно наблю-



Спектры пропускания композиционного материала на основе сахарозы в диапазоне 3500–5000  $\text{см}^{-1}$  (а), 1000–3500  $\text{см}^{-1}$  (б), 400–1200  $\text{см}^{-1}$  (в)

Transmission spectra of a composite material based on sucrose in the range of 3500–5000  $\text{см}^{-1}$  (а), 1000–3500  $\text{см}^{-1}$  (б), 400–1200  $\text{см}^{-1}$  (с)

дать несколько линий поглощения, характеризующих С–Н-группы. В случае работы с молекулами сахарозы данный спектральный интервал характеризует именно валентные колебания [11] (см. рисунок б). Спектральные координаты 1526 и 1347  $\text{см}^{-1}$  отвечают составным модам О–С–Н и С–ОН деформационных колебаний. Минимум поглощения на 1400–1450  $\text{см}^{-1}$  характеризуют деформационные колебания С–Н-групп. Набор линий поглощения, отвечающих плоскостным С–Н и ОН деформационным колебаниям, можно увидеть в области 1191–1362  $\text{см}^{-1}$ . Спектральная область 1000–1100  $\text{см}^{-1}$  содержит информацию об основных углеродных модах сахаридов, отвечающих за скелетные колебания (рисунок в). В случае исследуемых образцов наличие указанных линий свидетельствует о том, что молекулы сахарозы внутри полимерной матрицы не испытывают агрессивных химических воздействий. Линии поглощения С–О и С–С валентных колебаний расположены в области 600–1191  $\text{см}^{-1}$ . В спектре чистой сахарозы особенно принято выделять линию поглощения при 1072  $\text{см}^{-1}$ , отвечающую валентным С–О-колебаниям [12], так как она является наиболее сильной в указанной области спектра. Согласно литературным данным [11–13] по спектроскопии сахаридов, в области 600–800  $\text{см}^{-1}$  также расположены линии деформационных колебаний С–Н-связей.

Необходимо отметить, что при расшифровке спектральных линий не учитывалось влияние полимерной матрицы на вибронные свойства сахара.

**Заключение.** В ходе работы впервые получены спектры пропускания композиционных материалов на основе сахаридов и полимерной матрицы в области 600–5000  $\text{см}^{-1}$ . Проведена расшифровка основных линий поглощения в средней ИК-области в спектрах пропускания композиционных материалов на основе сахаридов.

Результаты экспериментов показали, что при введении молекул сахаридов в полимерную матрицу допант сохраняет изначальные химические свойства, что подтверждается наличием спектральных линий поглощения, отвечающих скелетным колебаниям и колебаниям углерод-водородных групп.

### Литература

1. Design of low band gap small molecules with alkylidicyanovinyl acceptor and different donor groups for efficient bulk heterojunction organic solar cells / *Y.N. Luponosov, N.M. Surin, D.K. Susarova et al.* // *Organic Photonics and Photovoltaics*. – 2015. – Vol. 3 – No. 1. – P. 148–155.
2. Infrared spectroscopy of semiconductor structures based on alkyl-substituted lanthanide (III) clam-shell mono-, di-, and di- trisphthalocyanine complexes / *I.A. Belogorokhov, E.V. Tikhonov, M.A. Dronov et al.* // *J. of Nanoelectronics and Optoelectronics*. – 2011. – Vol. 6. – No. 4. – P. 1–6.
3. *Gorshkov K., Berzina T., Erokhin V., Fontana M.P.* Organic memristor based on the composite materials: conducting and ionic polymers, gold nanoparticles and graphenes // *Procedia Computer Science*. – 2011. – Vol. 7. – P. 248–255.
4. *Driscoll T., Pershin Y. V., Basov D. N., Ventra M. Di.* Chaotic memristor // *Appl. Phys. A*. – 2011. – Vol. 102. – P. 878–885.
5. Transport and spectroscopic features of composite semiconductor material based on poly[2-methoxy-5-(2-ethyl-hexyloxy)-1,4-phenylene-vinylene] / *I.A. Belogorokhov, M.S. Kotova, E.V. Tikhonov et al.* // *J. of Nanoelectronics and Optoelectronics*. – 2012. – Vol. 7. – No. 6. – P. 1–5.
6. *Grahlert X., Stenzel O., Petrich R.* The dielectric function of the diphthalocyanines of rare earth metals as a thin film material // *J. of Molecular Structure*. – 1995. – Vol. 349. – P. 195–198.
7. The linear optical constants of thin phthalocyanine and fullerite films from the near infrared up to the UV spectral regions: Estimation of electronic oscillator strength values / *A. Stendal, U. Beckers, S. Wilbrandt et al.* // *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* – 1996. – Vol. 29. – P. 2589–2595.
8. Second-harmonic generation in thin films of copper phthalocyanine / *K. Kumagai, G. Mizutani, H. Tsulioka et al.* // *Physical Review B*. – 1993. – Vol. 48. – No. 19. – P. 14488–14495.
9. *Battistoni S., Dimonte A., Erokhin V.* Organic memristor based elements for bio-inspired computing // *Advances in Unconventional Computing*. – 2016. – P. 469–496.
10. Hardware elementary perceptron based on polyani- line memristive devices / *V. Demin, V. Erokhin, A. Emelyanov et al.* // *Org. Electron*. – 2015. – Vol. 25. – P. 16–20.
11. Analysis of the structure and vibrational spectra of glucose and fructose / *M. Ibrahim, M. Alaam, H. El-Haes et al.* // *Eclética Química*. – 2006. – Vol. 31. – P. 15–21.
12. *Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулина Т.Г.* // Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2007. – 54 с.
13. Terahertz absorption spectra of some saccharides and their metal complexes / *L. Yang, H. Sun, S. Weng et al.* // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2007. – Vol. 69. – No. 1. – P. 150–160.

Поступила в редакцию 04.12.2017 г.; после доработки 09.04.2018 г.; принята к публикации 27.11.2018 г.

**Белогорохов Иван Александрович** – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института физиологически активных веществ Российской академии наук (Россия, 142432, г. Черноголовка, Северный пр., д. 1), jugqwerty@mail.ru

**Белогорохова Любовь Ивановна** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2)

### References

1. Luponosov Y.N., Surin N.M., Susarova D.K., Buzin M.I., Anokhin D.V., Ivanov D. A., Troshin P.A., Ponomarenko S.A. Design of low band gap small molecules with alkylidicyanovinyl acceptor and different donor groups for efficient bulk heterojunction organic solar cells. *Organic Photonics and Photovoltaics*, 2015, vol. 3, no.1, pp.148–155.



2. Belogorokhov I.A., Tikhonov E.V., Dronov M.A., Ryabchikov Yu.V., Neudachina V. S., Yashina L.V., Tomilova L.G., Khokhlov D.R. Infrared Spectroscopy of Semiconductor Structures Based on Alkyl-Substituted Lanthanide (III) Clam-Shell Mono-, Di-, and Di- Trisphthalocyanine Complexes. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 1–6.
3. Gorshkov K., Berzina T., Erokhin V., Fontana M.P. Organic memristor based on the composite materials: conducting and ionic polymers, gold nanoparticles and graphenes. *Procedia Computer Science*, 2011, no. 7, pp. 248–255.
4. Driscoll T., Pershin Y.V., Basov D.N., Ventra M.Di. Chaotic memristor. *Appl. Phys. A*, 2011, vol. 102, pp. 878–885.
5. Belogorokhov I.A., Kotova M.S., Tikhonov E.V., Volikhov A.A., Dronov M.A., Ryabchikov Yu.V., Vorontsov A.S., Martyshev M.N., Forsh P.A., Boronina G.P., Pushkarev V.E., Tomilova L.G., Khokhlov D.R. Transport and Spectroscopic Features of Composite Semiconductor Material Based on Poly[2-Methoxy-5-(2-Ethyl-Hexyloxy)-1,4-Phenylene-Vinylene]. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 2012, vol. 7, no. 6, pp. 1–5.
6. Grahert X., Stenzel O., Petrich R. The dielectric function of the diphthalocyanines of rare earth metals as a thin film material. *Journal of Molecular Structure*, 1995, vol. 349, pp. 195–198.
7. Stendal A., Beckers U., Wilbrandt S., Stenzel O., Borczykowski C.V. The linear optical constants of thin phthalocyanine and fullerite films from the near infrared up to the UV spectral regions: Estimation of electronic oscillator strength values. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 1996, vol. 29, pp. 2589–2595.
8. Kumagai K., Mizutani G., Tsulioka H., Yamauchi T., Ushioda S. Second-harmonic generation in thin films of copper phthalocyanine. *Physical Review B*, 1993, vol. 48, no. 19, pp. 14488–14495.
9. Battistoni S., Dimonte A., Erokhin V. Organic memristor based elements for bio-inspired computing. *Advances in Unconventional Computing*, 2016, pp. 469–496.
10. Demin V., Erokhin V., Emelyanov A., Battistoni S., Baldi G., Iannotta S., Kashkarov P., Kovalchuk M. Hardware elementary perceptron based on polyani- line memristive devices. *Org. Electron.*, 2015, no. 25, pp. 16–20.
11. Ibrahim M., Alaam M., El-Haes H., Jalbout A.F., Leon A.De. Analysis of the structure and vibrational spectra of glucose and fructose. *Ecletica quimica*, 2006, vol. 31, pp. 15–21.
12. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Schukin A.O., Fedulina T.G. *Infrared spectroscopy of organic and natural compounds: Textbook*. Saint-Petersburg, SPbGLTA Publ., 2007. 54 p. (in Russian).
13. Yang L., Sun H., Weng S., Zhao K., Zhang L., Zhao G., Wang Y., Xu Y., Lu X., Zhang C., Wu J., Jia'er C. Terahertz absorption spectra of some saccharides and their metal complexes. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2007, vol. 69, no. 1, pp. 150–160.

Received 04.12.2017; Revised 09.04.2018; Accepted 27.11.2018.

#### **Information about the authors:**

**Ivan A. Belogorokhov** – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Leading Researcher, Institute of Physiologically Active Compounds of Russian Academy of Sciences (Russia, 142432, Chernogolovka, Severny proezd, 1), jugqwerty@mail.ru

**Lyubov I. Belogorokhova** – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Science Researcher of the Physics Department, Lomonosov Moscow State University (Russia, 119991, Moscow, Leninskiye Gory, 1-2)