

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-58-63>

УДК 678.686:534.6

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ И СИЛИКАТНЫХ НАНОДОБАВОК НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПАУНДОВ

В. П. СЕРГИЕНКО¹⁺, А. Р. АЛЕКСИЕВ², С. Н. БУХАРОВ¹

¹Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

²Институт механики Болгарской академии наук, ул. Академика Г. Бончева, бл. 4, 1113, г. София, Болгария

Проведено экспериментальное исследование влияния целевых добавок на вязкоупругие характеристики эпоксидных композиций, используемых в качестве заливочных герметизирующих компаундов для компонентов микроэлектроники.

Цель работы — исследование влияния наноразмерных целевых добавок на вязкоупругие характеристики герметизирующих эпоксидных компаундов при резонансном вибрационном возбуждении в полосе частот 200–1100 Гц.

Разработаны модельные составы компаундов на основе эпоксидной смолы, модифицированной силикатными и углеродными наночастицами, отличающиеся составом и концентрацией модифицирующего наполнителя. Изготовлены экспериментальные образцы в виде прямоугольных балок для исследования частотных зависимостей вязкоупругих свойств отвержденных компаундов резонансным методом. В исследуемом диапазоне частот от 200 Гц до 1200 Гц установлено, что повышение динамического модуля упругости достигается введением 5–10 мас.% силикатного нанонаполнителя, в то время как к максимальному росту коэффициента потерь приводит введение в состав эпоксидных компаундов 0,5 мас.% одностенных углеродных нанотрубок.

Ключевые слова: нанонаполнители, вязкоупругие свойства, динамический модуль упругости, коэффициент потерь, метод Оберста.

EFFECT OF CARBON AND SILICATE NANO ADDITIVES ON FREQUENCY CHARACTERISTICS OF VISCOELASTIC PROPERTIES OF EPOXY COMPOUNDS

V. P. SERGIENKO¹⁺, A. R. ALEXIEV², S. N. BUKHAROV¹

¹V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

²Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., block 4, 1113, Sofia, Bulgaria

An experimental study of the influence of target additives on the viscoelastic characteristics of epoxy compositions used as casting sealing compounds for microelectronic components was carried out in this paper.

The aim of the work is to study the influence of nanosized target additives on the viscoelastic characteristics of sealing epoxy compounds under resonant vibration excitation in the frequency band of 200–1100 Hz.

Experimental compositions of compounds based on epoxy resin modified with silicate and carbon nanoparticles have been developed, differing in the composition and concentration of the modifying filler. Test samples in the form of rectangular beams have been manufactured to study the frequency dependences of the viscoelastic properties of the cured compounds using the resonance method. In the studied frequency range from 200 Hz to 1200 Hz, it has been established that an increase in the dynamic modulus of elasticity is

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: sergienko_vp@mail.ru

achieved by introducing 5–10 wt.% of silicate nanofiller, while the maximum increase in the loss coefficient is achieved by introducing 0.5 wt.% of single-wall carbon nanotubes into the epoxy compounds.

Keywords: nanosized fillers, viscoelastic properties, dynamic modulus, loss coefficient, Oberst beam method.

Поступила в редакцию 05.02.25

© В. П. Сергиенко, А. Р. Алексиев, С. Н. Бухаров, 2025

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com

Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Сергиенко В. П., Алексиев А. Р., Бухаров С. Н. Влияние углеродных и силикатных нанодобавок на частотные характеристики вязкоупругих свойств эпоксидных компаундов // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 1. С. 58–63. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-58-63>

Citation sample:

Sergienko V. P., Aleksiev A. R., Bukharov S. N. Vliyanie uglerodnykh i silikatnykh nanodobavok na chastotnye kharakteristiki vyazkouprugikh svoystv epoksidnykh kompaundov [Effect of carbon and silicate nano additives on frequency characteristics of viscoelastic properties of epoxy compounds]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 1, pp. 58–63. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-58-63>

Литература

1. Amy R. A., Aglietti G. S., Richardson G. Reliability Analysis of Electronic Equipment Subjected to Shock and Vibration – A Review // *Shock and Vibration*, 2009, vol. 16, is. 1, pp. 45–59. doi: 10.1155/2009/546053
2. Вертянов Д. В., Беляков И. А., Погудкин А. В., Тимошенко С. П., Сидоренко В. Н. Исследование влияния механических и температурных воздействий на уровень напряжений и деформаций в герметизированных двумя типами компаундов трехмерных микроструктурах // *Известия высших учебных заведений. Электроника*. 2022. Т. 27, № 1. С. 28–40. doi: 10.24151/1561-5405-2022-27-1-28-40
3. Patent 20020100600A1 US, H05K. Stackable microcircuit layer formed from a plastic encapsulated microcircuit and method of making the same / D. Albert, K. Gann. Appl. No 09/770,864; Appl. 26.01.2001; Publ. 01.08.2002.
4. Патент 2505567C1 РФ, C08L 63/00, C08L, C09K. Пресс-материал для герметизации интегральных микросхем / Казаков С. И., Прудскова Т. Н., Чиванова Л. Ю. N 2012124316/05; заявл. 14.06.2012; опубл. 27.01.2014.
5. Plante J., Shaw H. Evaluation of 3D Plus packaging test structures for NASA Goddard Space Flight Center // *Proceedings of the European Space Components Conference, ESCCON 2002 (24–27 September 2002, Toulouse, France)*. Noordwijk : ESA Publ., 2002, pp. 213–220.
6. Sergienko V. P., Bukharov S. N., Kozhushko V. V., Alexiev A., Mirchev Y., Barkanov E. Development of new environmental safety sound-absorbing materials and layered sound-proofing structures for transport taking into account the spectral characteristics of the NOISE // *Proceedings of the XXX International Conference “NDT 2015”*, Bulgaria, Sozopol, June 15–19, 2015. Sofia, 2015, pp. 469–473.
7. Бухаров С. Н., Кожушко В. В., Сергиенко В. П., Тулейко А. С., Янков Р., Алексиев А., Датчева М. Звукопоглощение и звукоизоляция акустических композитов на основе гречневой лузги и модифицированной эпоксидной смолы // *Полимерные материалы и технологии*. 2021. Т. 7, № 4. С. 33–38.
8. Kozhushko V. V., Bukharov S. N., Alexiev A. R., Iankov R. Buckwheat husk and epoxy resin based composites for noise abating // *Akustika*, 2021, vol. 40, pp. 17–20. doi: 10.36336/akustika20214018
9. ASTM E756-05. Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials. US : ASTM International, 2023. 14 p.
10. Koruk H., Sanliturk K.Y. On Measuring Dynamic Properties of Damping Materials Using Oberst Beam Method // *Proceedings of the ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA2010)*, July 12–14, 2010, Istanbul. New York, 2010, pp.127–134. doi: 10.1115/ESDA2010-24452

References

1. Amy R. A., Aglietti G. S., Richardson G. Reliability Analysis of Electronic Equipment Subjected to Shock and Vibration – A Review. *Shock and Vibration*, 2009, vol. 16, is. 1, pp. 45–59. doi: 10.1155/2009/546053
2. Vertyanov D. V., Belyakov I. A., Pogudkin A. V., Timoshenkov S. P., Sidorenko V. N. Issledovanie vliyaniya mekhanicheskikh i temperaturnykh

- vozdeystviy na uroven' napryazheniy i deformatsiy v germetizirovannykh dvumya tipami kompoundov trekhmernykh mikrosborkakh [Study of the influence of mechanical and temperature effects on the level of stresses and deformations in three-dimensional microassemblies sealed with two types of compounds]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektronika* [News of higher educational institutions. Electronics], 2022, vol. 27, no. 1, pp. 28–40. doi: 10.24151/1561-5405-2022-27-1-28-40
3. Albert D., Gann K. Stackable microcircuit layer formed from a plastic encapsulated microcircuit and method of making the same. Patent US, no. 20020100600A1, 2002.
 4. Kazakov S. I., Prudskova T. N., Chivanova L. Yu. Press-material dlya germetizatsii integral'nykh mikroskhem [Press material for sealing integrated microcircuits]. Patent RF, no. 2505567C1, 2014.
 5. Plante J., Shaw H. Evaluation of 3D Plus packaging test structures for NASA Goddard Space Flight Center. *Proceedings of the European Space Components Conference, ESCCON 2002 (24–27 September 2002, Toulouse, France)*. Noordwijk : ESA Publ., 2002, pp. 213–220.
 6. Sergienko V. P., Bukharov S. N., Kozhushko V. V., Alexiev A., Mirchev Y., Barkanov E. Development of new environmental safety sound-absorbing materials and layered sound-proofing structures for transport taking into account the spectral characteristics of the NOISE. *Proceedings of the XXX International Conference “NDT 2015”, Bulgaria, Sozopol, June 15–19, 2015*. Sofia, 2015, pp. 469–473.
 7. Bukharov S. N., Kozhushko V. V., Sergienko V. P., Tuleyko A. S., Yankov R., Aleksiev A., Datcheva M. Zvukopogloshchenie i zvukoizolyatsiya akusticheskikh kompozitov na osnove grechnevoy luzgi i modifitsirovannoy epoksidnoy smoly [Sound absorption and sound transmission loss of acoustic composites based on buckwheat husk and modified epoxy resin]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2021, vol. 7, no. 4, pp. 33–38.
 8. Kozhushko V. V., Bukharov S. N., Alexiev A. R., Iankov R. Buckwheat husk and epoxy resin based composites for noise abating. *Akustika*, 2021, vol. 40, pp. 17–20. doi: 10.36336/akustika20214018
 9. ASTM E756-05. Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials. US : ASTM International, 2023. 14 p.
 10. Koruk H., Sanliturk K.Y. On Measuring Dynamic Properties of Damping Materials Using Oberst Beam Method. *Proceedings of the ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA2010), July 12–14, 2010, Istanbul*. New York, 2010, pp. 127–134. doi: 10.1115/ESDA2010-24452
-