

Разработка полимерного композиционного диэлектрического материала на основе эпоксидиановой смолы

Е.А. Павлычева

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Владимир*

Аннотация: В данном исследовании представлены результаты разработки полимерного композиционного материала, обладающего хорошими диэлектрическими свойствами, что позволяет использовать его в радиотехнической и электротехнической отраслях промышленности. Данный материал разработан на основе эпоксидиановой смолы, полиэтиленполиамина, полых стеклянных микросфер и оксида галлия. Использование в составе композиции полых стеклянных микросфер в количестве 5-20 мас.ч. позволяет уменьшить диэлектрические потери, а использование оксида галлия (III) в количестве 5-15 мас.ч. дает возможность повысить стабильность диэлектрических характеристик при работе в СВЧ-диапазоне и уменьшить диэлектрические потери. Исследования показали, что на основе разработанной композиции может быть получен достаточно эффективный композиционный полимерный материал с высокими физико-механическими и диэлектрическими свойствами.

Ключевые слова: композиционный материал, эпоксидиановая смола, полые стеклянные микросферы, оксид галлия, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь.

Введение

На сегодняшний день полимерные композиционные материалы являются одними из наиболее перспективных, востребованных и широко применяемых во многих отраслях промышленности, в первую очередь в строительстве [1-3], машиностроении и приборостроении [4-6]. Распространению, развитию производства и расширению применения полимерных композиционных материалов способствуют широкие возможности по модификации их свойств путем сочетания характеристик различных наполнителей и полимерных связующих [6-8].

Актуальной и развивающейся областью применения полимерных композиционных материалов является их использование в радиотехнике и электротехнической промышленности, что прежде всего связано с их хорошими физико-механическими и диэлектрическими свойствами [6, 9].

В производстве конструкционных радиотехнических и электротехнических материалов используют различные полимерные связующие [9, 10], но наиболее часто - эпоксидиановые смолы, обладающие хорошими прочностными и диэлектрическими показателями [11-13]. Однако технические характеристики материалов, полученных на основе эпоксидных связующих, не всегда соответствуют возросшим требованиям современной техники. Из этого следует, что разработка полимерных композиционных материалов, обладающих улучшенными показателями, имеет важное научно-техническое значение.

Для улучшения физико-механических и эксплуатационных характеристик полимерных материалов, в частности, на основе эпоксидиановой смолы, их подвергают модификации, например, введению различных наполнителей и специальных добавок [14-16]. Для уменьшения объемной электрической проводимости можно использовать широкозонные полупроводниковые материалы, например, соединения галлия. Наиболее интересным представителем такого рода соединений является оксид галлия (III) - Ga_2O_3 , который относится к полупроводникам, превосходящим по ширине запрещенной зоны и величине пробивного электрического поля такие известные соединения как нитрид галлия и карбид кремния [17, 18].

Цель данной работы заключалась в разработке полимерного композиционного диэлектрического материала на основе эпоксидиановой смолы, наполненной полыми стеклянными микросферами, и добавки оксида галлия (III).

Материалы и методы исследования

В качестве основы разрабатываемого диэлектрического материала использовалась эпоксидиановая смола марки ЭД-20 по ГОСТ 10587-84. Отверждение смолы производилось полиэтиленполиамином (ПЭПА) по ТУ 2413-214-00203312-2002. В качестве добавки был использован оксид галлия

(III) марки «хч» по ТУ 6-09-3729-80. В качестве наполнителя в полимерной композиции использовались полые стеклянные микросферы (ПСМ) марки МСО-А9 по ТУ 6-11-367-75.

Для получения образцов разрабатываемого материала готовилась полимерная композиция путем смешения компонентов в лабораторном смесителе. Вначале в смеситель заливали эпоксидиановую смолу, затем добавляли заданное экспериментом количество оксида галлия, засыпали полые стеклянные микросферы и тщательно перемешивали в течение 1 часа при температуре $25\pm 10^\circ\text{C}$. Затем добавляли отвердитель ПЭПА и композицию еще раз тщательно перемешивали. Последняя операция производилась непосредственно перед началом работ по заливке изделия в форму. Жизнеспособность полученной полимерной композиции составляла 40-60 мин при $T = 25\pm 10^\circ\text{C}$.

Диэлектрические характеристики разработанного композиционного материала были определены в сантиметровом СВЧ-радиодиапазоне (9,8 ГГц) волноводным методом. Измерительный комплекс состоял из прецизионной измерительной линии Р1-20, перестраиваемого генератора МЗ1102-1 на диоде Ганна (8-11 ГГц), ферритового вентиля и отрезка волновода стандартного сечения 10х23 мм. Образец помещали внутри волновода, торец которого накоротко замыкался посеребренной медной пластиной. На основе измерений смещения положения минимума коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и по величине КСВН, известным величинам постоянной распространения длины волны в свободном пространстве для данной рабочей частоты и по критической длине волны в волноводе вычисляли тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость [19].

Результаты и их обсуждение

Из разработанных составов композиций были получены образцы полимерных материалов и определены их диэлектрические характеристики.

В таблице 1 представлены составы разработанных композиций и характеристики материалов, полученные на их основе.

Таблица № 1

Составы разработанных композиций и характеристики полимерных материалов, полученные на их основе

№ образца	Составы композиций*, мас.ч.			Характеристики материалов	
	Полимерное связующее ЭД-20	Наполнитель ПСМ	Оксид галлия	Диэлектрическая проницаемость на частоте 10^{10} Гц	Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 9,8 ГГц
1	100	10	5	3,2	0,0100
2	100	25	10	2,91	0,0079
3	100	50	15	2,02	0,0068

*- содержание отвердителя во всех композициях, используемых для получения образцов, составляло 10 мас.ч.

Из таблицы 1 видно, что с добавлением оксида галлия (III) и увеличением содержания ПСМ повышаются диэлектрические характеристики получаемого материала. Кроме того, использование оксида галлия (III) повышает стабильность диэлектрических характеристик при работе в СВЧ-диапазоне. При введении указанных добавок в количествах, выходящих за пределы указанных в таблице 1 диапазонов, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения содержания данных компонентов приводят к ухудшению диэлектрических показателей материала.

Для оценки диэлектрических свойств разработанного полимерного материала было проведено его сравнение с известным диэлектрическим полимерным материалом, на основе аналогичного связующего, также содержащего в качестве наполнителя полые стеклянные микросферы, но в качестве оксида металла – диоксид титана [20]. Данная диэлектрическая композиция предназначена для использования в радиотехнике и, в частном случае, в технике линзовых антенн. Результаты сравнения известного и разработанного материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Диэлектрические показатели известного и разработанного полимерных композиционных материалов

Наименование показателя	Значение показателя	
	Известный диэлектрический материал	Разработанный диэлектрический материал
Диэлектрическая проницаемость на частоте 10^{10} Гц	2,45-3,3	2,02-3,2
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 9,8 ГГц	0,0110	0,0100-0,0068

Из данных таблицы следует, что разработанный полимерный композиционный материал обладает более высокими диэлектрическими показателями, чем известный материал.

Выводы

В результате выполнения данной работы получен диэлектрический материал на основе композиции, состоящей из 100 мас. ч. эпоксидиановой смолы, 10 мас. ч. подиэтиленполиамина, 10-50 мас. ч. полых стеклянных микросфер и 5-15 мас. ч. оксида галлия (III). Применение полых стеклянных

микросфер и оксида галлия (III) повышает диэлектрические показатели композиционного материала.

Разработанный полимерный композиционный диэлектрический материал обладает высокой работоспособностью в условиях механических нагрузок в диапазоне температур от -60 до $+85^{\circ}\text{C}$. Использование эпоксидиановой смолы обеспечивает высокую адгезионную и когезионную прочность, высокую стабильность размеров при отверждении, стабильность физико-механических и диэлектрических свойств, в т.ч. радиотехнических характеристик.

Литература

1. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Труды ВИАМ. 2013. №8. С. 3.
2. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. №7. С. 36-41.
3. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2020. № 2. С. 28-33.
4. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
5. Данюшина Г.А., Дерлугян П.Д., Стрельников В.В., Шишка Н.В. Композиционный антифрикционный полимерный материал // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4053
6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их

применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5. С. 245-256.

7. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): Учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 118 с.

8. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2-6.

9. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. №10-2. С. 290-295.

10. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол // Научное обозрение. Технические науки. 2017. № 2. С. 96-114.

11. Павлычева Е.А. Разработка композиционного термостойкого полимерного диэлектрического материала // Инженерный вестник Дона. 2020. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2020/6548

12. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Диэлектрические свойства герметизирующей композиции на основе эпоксидиановой смолы, модифицированной полиметилфенилсилоксаном, в сантиметровом СВЧ-диапазоне // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №3. С.6 -10.

13. Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. Связующие для радиопрозрачных композиционных материалов на основе эпоксидной смолы, модифицированной алкоксисиланами // Материаловедение. 2015. № 6. С. 31-36.

14. Брусенцева Т.А., Смирнова Е.О., Веретенникова И.А. Исследование влияния природы наполнителя на механические характеристики эпоксидной смолы DER-330 // *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*. 2018. № 6. С. 27-36.
15. Улегин С.В., Кадыкова Ю.А., Артеменко С.Е., Демидова С.А. Наполненные базальтом эпоксидные композиционные материалы // *Пластические массы*. 2013. № 2. С. 31-33.
16. Камаев А.О., Шорникова О.Н., Солопченко А.В., Кепман А.В., Малахо А.П. Влияние мелкодисперсного углеродного наполнителя на механические свойства эпоксидных матриц // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2015. № 6. С. 28-33.
17. He H., Blanco M.A., Pandey R. Electronic and thermodynamic properties of Ga₂O₃ // *Applied physics letters*. 2006. Vol.88. Iss. 3. P. 9041-9042.
18. Oon H.S., Cheong K.Y. Recent development of gallium oxide thin film on GaN // *Materials Science in Semiconductor Processing*. 2013. Vol. 16. Iss. 5. P. 1217-1231.
19. Томилин В.И., Томилина Н.П., Бахтина В.А. Физическое материаловедение. Красноярск: Сибирский федеральный университет. 2008. 324 с.
20. Композиционный диэлектрический материал и антенная линза из этого материала / Патент РФ № 2307432. 2007. Бюл. № 27 // Перлина Т.А., Кудрин О.И., Зайцева Н.В.

References

1. Vlasenko F.S., Raskutin A.E. *Trudy VIAM*. 2013. №8. P. 3.
2. Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S., Selivanov O.G. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019. №7. P. 36-41.
3. Kolosova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2020. № 2. P. 28-33.



4. Baurova N.I., Zorin V.A. Primenenie polimernyh kompozicionnyh materialov pri proizvodstve i remonte mashin: Textbook. M.: MADI, 2016. 264 p.
5. Danyushina G.A., Derlugyan P.D., Strel'nikov V.V., Shishka N.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4053
6. Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. № 5. pp. 245-256.
7. Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. Polimernye kompozicionnye materialy (chast' 1): Textbook. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013. 118 p.
8. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2018. № 3. pp. 2-6.
9. Sokol'skaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Fundamental'nye issledovaniya. 2017. №10-2. pp. 290-295.
10. Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S. Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki. 2017. № 2. pp. 96-114.
11. Pavlycheva E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2020/6548
12. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G. Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2015. №3. pp. 6 -10.
13. Chuhlanov V.Yu., Selivanov O.G. Materialovedenie. 2015. № 6. pp. 31-36.
14. Brusenceva T.A., Smirnova E.O., Veretennikova I.A. Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures. 2018. № 6. pp. 27-36.
15. Ulegin S.V., Kadykova Yu.A., Artemenko S.E., Demidova S.A. Plasticheskie massy. 2013. № 2. pp. 31-33.



16. Kamaev A.O., Shornikova O.N., Solopchenko A.V., Kepman A.V., Malaho A.P. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. № 6. pp. 28-33.
17. He H., Blanco M.A., Pandey R. Applied physics letters. 2006. Vol.88. Iss. 3. pp. 9041-9042.
18. Oon H.S., Cheong K.Y. Materials Science in Semiconductor Processing. 2013. Vol. 16. Iss. 5. pp. 1217-1231.
19. Tomilin V.I., Tomilina N.P., Bahtina V.A. Fizicheskoe materialovedenie. Krasnoyarsk: Sibirskij federal'nyj universitet. 2008. 324 p.
20. Kompozicionnyj dielektricheskij material i antennaya linza iz etogo materiala. Patent RF. [Composite dielectric material and antenna lens from this material]. № 2307432. 2007. Bull. № 27. Perlina T.A., Kudrin O.I., Zajceva N.V.