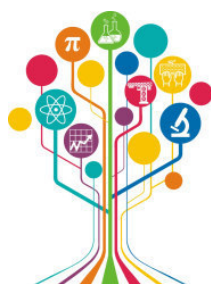


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 1. Физика

Сборник научных трудов
XVIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых
27–30 апреля 2021 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 1. Physics

Abstracts

XVIII International Conference of students, graduate students
and young scientists
April 27–30, 2021



Национальный
исследовательский
Томский
государственный
университет



Томск 2021

УДК 537.226

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ BaTiO_3 ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ
В ТЕХНИКЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА**

В.Л. Москаленко, Т.Н. Шематило, К.В. Дорожкин

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.В. Бадьин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 434050

E-mail: irreproachable17@bk.ru

POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON BaTiO_3 FOR USE IN TERAHERTZ TECHNOLOGY

V.D. Moskalenko, T.N. Shematilo, K.V. Dorozhkin

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD A.V. Badin

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: irreproachable17@bk.ru

***Abstract.** The paper presents the results of the study of the electromagnetic response from polymer composite materials in the frequency range from 0.1 THz to 1.6 THz obtained using a BWO-based spectrometer and a time-domain spectrometer. The composites used were epoxy resin with the addition of barium titanate (BaTiO_3) with a mass concentration of 40% to 80%. Based on these data, the values of the complex permittivity of composite samples are calculated and analyzed, and the electromagnetic response from the samples is modeled. An assessment of the applicability of this material in the elements of the THz range technology is carried out.*

Введение. В наши дни наблюдается стремление научного сообщества к освоению перспективного участка электромагнитного спектра – области терагерцовых (ТГц) частот. Данный диапазон имеет ряд преимуществ, ТГц излучение зарекомендовало себя в медицине в качестве безопасного рентгена [1, 2], в системах безопасности [3], исследовании биологических объектов [4], спектроскопии [5], радиоэлектроники [6] и других сферах жизни. Из-за перехода технологий на более высокий частотный диапазон возникает потребность в материалах, которые необходимы для согласования и защиты компонентов ТГц диапазона. Одним из направлений развития таких материалов является – создание композиционных материалов. Композиты просты в изготовлении, придают недостижимые для традиционных материалов электрофизические и физико-химические свойства: гибкость, эластичность, высокая прочность. Большой интерес вызывает разработка полимерных композиционных материалов, содержащих сегнетоэлектрическую керамику из-за способности экранировать электромагнитные помехи, малого веса, высокой диэлектрической проницаемости, механической прочности, крепкой связи с полимерным связующим [7]. На их основе разрабатываются пьезоэлектрические генераторы, конденсаторы [8], диэлектрические линзы и антенные системы [9]. Все это подчеркивает перспективы использования сегнетоэлектриков в элементной базе ТГц техники.

Экспериментальная часть. Для исследования были изготовлены композиционные образцы из двух составляющих: наполнителя и связующего (таблица 1). В качестве полимерной основы композиционного материала выступала эпоксидная смола ЭДП-20 с отвердителем полиэтиленполиамином. В роли наполнителя применялся порошок сегнетоэлектрика BaTiO_3 с размерами частиц 100 мкм.

Таблица 1

Характеристики композитов

| Образец | Эпоксидная смола, масс. % | Отвердитель, масс. % | BaTiO_3 , масс. % | Толщина, мм | ϵ' , отн. ед. | ϵ'' , отн. ед. |
|---------|---------------------------|----------------------|----------------------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 51 | 9 | 40 | 1,95 | 4,9 | 0,34 |
| 2 | 34 | 6 | 60 | 1,95 | 7,5 | 0,63 |
| 3 | 17 | 3 | 80 | 1,95 | 14,7 | 2,5 |

Результаты. На рис. 1 представлены результаты исследования частотной зависимости коэффициентов пропускания и отражения композита на основе BaTiO_3 в диапазоне 100–1600 ГГц. На графиках линиями обозначены данные, полученные при помощи спектрометра с временным разрешением (TDS) T-SPEC 1000, символами – при помощи ЛОВ-спектрометра СТД-21.

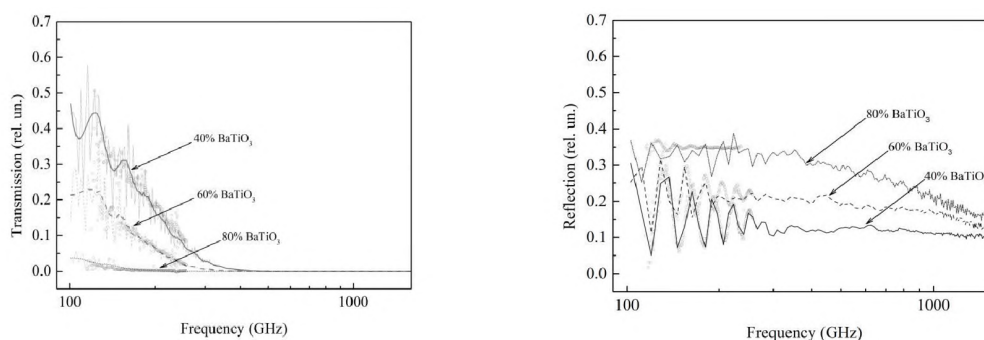


Рис. 1. Частотные зависимости коэффициента пропускания (слева) и отражения (справа) композита на основе BaTiO_3

На рис. 2 показан результат расчета распределения коэффициента поглощения (A) от частоты и толщины слоя для композиционного материала содержащего 40 мас.% и 80 мас.% BaTiO_3 .

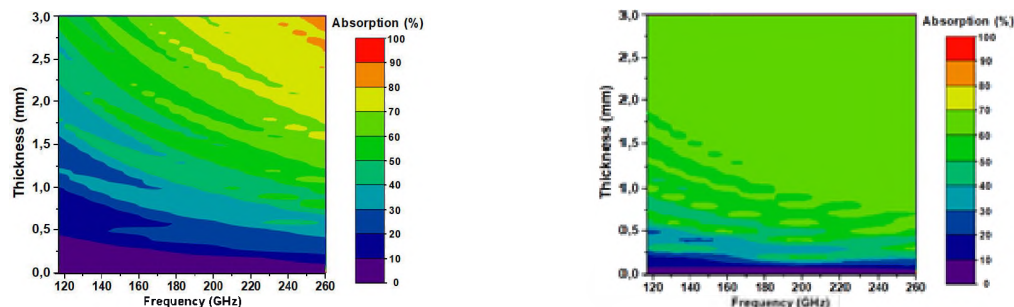


Рис. 2. Распределение A по частоте и толщине слоя для материала, содержащего 40 и 80 мас.% BaTiO_3

Из графиков видно, что композит с 40 мас.% BaTiO₃ при толщине 2 мм на частоте 220 ГГц поглощает до 70% излучения, причем более 20% отражает. Максимальное поглощение от 80 до 90% наблюдается на частотах ~ 250 ГГц и толщине материала 2,75–3 мм. Для образца композита с содержанием 80 мас.% BaTiO₃ прохождение составляет менее 10% на частотах 120 - 260 ГГц при толщине слоя более 1 мм. При этом 60-70% излучения поглощается, а остальное отражается.

Заключение. Анализ полученных результатов показывает, что композит, содержащий 40 мас.% BaTiO₃ перспективен в создании поглотителя в ТГц диапазоне частот. Варьирование массовой концентрации наполнителя матрицы в пределах 40–80 мас.% позволяет изменять действительную часть диэлектрической проницаемости композита в пределах 5–15 отн. ед. При этом возрастание мнимой части диэлектрической проницаемости достигает 2,4 отн. ед., что в 5 раз больше исходного значения (при 40 мас.%).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1709.2020.8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yun J., Oh S. J., Song K., Yoon D., Son H.Y., Choi Y., Huh Y.M., Rieh J. S. Terahertz Reflection-Mode Biological Imaging Based on InP HBT Source and Detector // *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.* – 2017. – V. 7., № 3. – P. 274-283.
2. Hassanin A. I.M., Shaaban A. S.E., Abd El-Samie F.E. Medical Applications of Image Reconstruction Using Electromagnetic Field in Terahertz Frequency Range // 2019 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC). – 2019. – P. 1-4.
3. Yang X., Zhao X., Yang K., Liu Y., Liu Y., Fu W., Luo Y. Biomedical Applications of Terahertz Spectroscopy and Imaging // *Trends Biotechnol.* – 2016. – V. 34., № 10. – P. 810-824.
4. Hassanin A. I. M., Shaaban A. S. E., Abd El-Samie F. E. Tomographic Image Reconstruction and Inverse Scattering Problem of Biological Objects in Terahertz Range // 2018 International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications and Computations (JAC-ECC). – 2018. – P. 111-114.
5. Vaks V.L. High-Precise Spectrometry of the Terahertz Frequency Range: The Methods, Approaches and Applications // *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves.* – 2012. – V. 33., № 1. – P. 43-53.
6. Berdugin A.I., Vigovskiy V.U., Badin A.V., Kuleshov G.E. Anisotropic Materials Based on Magnetic Microwires in EHF Range // *Key Eng. Mater.* – 2017. – № 743. – P. 81-85.
7. Chauhan S.S., Verma P., Malik R.S., Choudhary V. Thermomechanically stable dielectric composites based on poly(ether ketone) and BaTiO₃ with improved electromagnetic shielding properties in X-band // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2018. – V. 135., № 26. – P. 1-11.
8. Jin Y., Xia N., Gerhardt R.A. Enhanced dielectric properties of polymer matrix composites with BaTiO₃ and MWCNT hybrid fillers using simple phase separation // *Nano Energy.* – 2016. – № 30. – P. 407-416.
9. Wu Y., Isakov D., Grant P. S. Fabrication of composite filaments with high dielectric permittivity for fused deposition 3D printing // *Materials (Basel).* – 2017. – V. 10., № 10. – P. 1-11.