

Применение композита на основе полилактида в пассивных СВЧ элементах

Д.А. Фролова, А.В. Бадьин, Г.Е. Кулешов, Д.А. Пидотова, Е.А. Трофимов, И.О. Дорофеев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Аннотация: в данной работе представлены результаты измерений в X-диапазоне (8-12 ГГц) электрофизических свойств электропроводящего композиционного промышленно выпускаемого материала на основе полилактида для использования в аддитивной технологии послойного наплавления. Для демонстрации применения данного материала в СВЧ технике на 3D-принтере был изготовлен элемент согласованной нагрузки в форме клина. Вводя его в короткозамкнутый волновод, была получена согласованная нагрузка для всего X-диапазона (обратные потери < -25 дБ). Данный промышленно выпускаемый материал показал потенциальную применимость в СВЧ технике.

Ключевые слова: полилактид, PLA, FDM 3D печать, СВЧ, композит.

1. Введение

Метод производства объектов послойным наплавлением материала (FDM) в настоящее время является самым распространенным среди аддитивных технологий. Последние достижения технологии FDM 3D-печати позволяют использовать её при изготовлении объектов и конструкций из широкого спектра полимерных материалов [1], в том числе композиционных [2], непосредственно в процессе производства. Это открывает возможности для быстрого способа прототипирования и производства изделий в различных областях науки и техники, начиная от транспортной отрасли [3] до медицины [4] и радиоэлектроники [5]. В большинстве случаев методом FDM 3D-печати изготавливаются конструкции с низкими диэлектрическими потерями. Появление на мировом рынке большого разнообразия композиционных материалов на основе полилактида для FDM 3D-печати представляет большой интерес для производства элементов СВЧ техники.

Одним из направлений применения композиционного полилактида в FDM 3D-печати является создание элементов конструкции согласованной волноводной нагрузки в X-диапазоне (8-12 ГГц). В данной работе представлены результаты измерений электрофизических характеристик промышленно выпускаемого полилактида (PLA conductive от «ProtoPasta») и обсуждается его применение.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Для исследования диэлектрической проницаемости коаксиальным волноводным методом были изготовлены на FDM 3D-принтере образцы в форме шайб. Измерения S-параметров проводились на векторном анализаторе цепей P4M-18 («Микран»). Вычисление значений комплексной диэлектрической проницаемости проводилось по модернизированному методу Беккера-Джарвиса [6]. Результаты вычисления диэлектрической проницаемости представлены на рисунке 1.

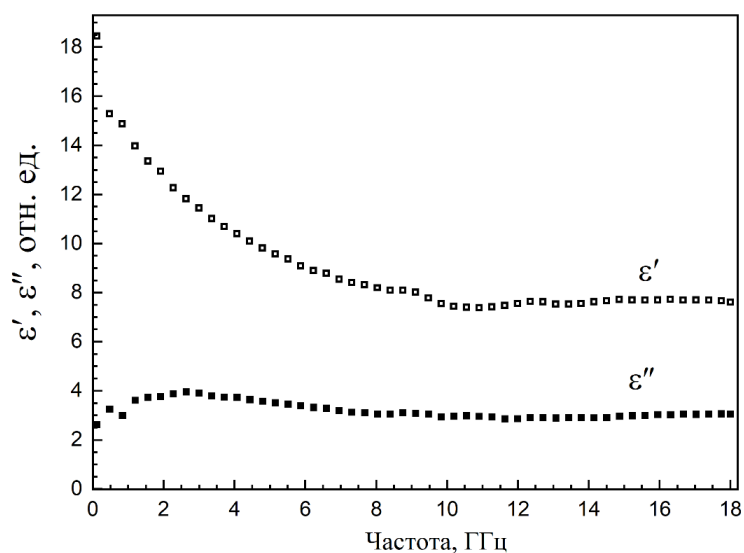


Рисунок 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости образца материала, изготовленного из композиционного полилактида (ProtoPasta) методом FDM 3D печати.

Из графика (рисунок 1) видно, что в диапазоне от 100 МГц до 10 ГГц действительная часть диэлектрической проницаемости композиционного полилактида значительно снижается с 18 до 7,5 отн. ед., мнимая часть диэлектрической проницаемости уменьшается с 4 до 2 отн. ед. В диапазоне 10-18 ГГц значение диэлектрической проницаемости остается постоянным.

Для оценки применимости композиционного полилактида при разработке волноводной согласованной нагрузки (СН) в СВЧ диапазоне методом 3D-печати был изготовлен клин (рисунок 2) длиной 86 мм для волновода с внутренним сечением 23x10 мм (рисунок 3).

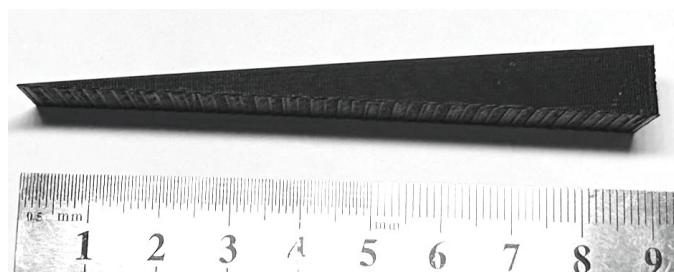


Рисунок 2. Клин, изготовленный из композиционного полилактида методом 3D-печати.

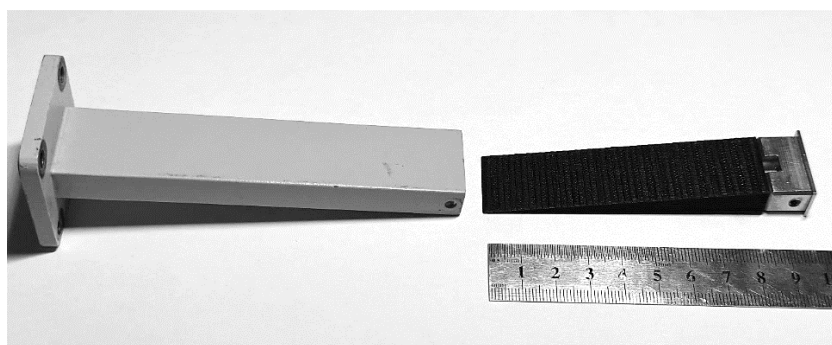


Рисунок 3. Волновод и изготовленный клин.

3D-печать производилась на принтере Prusa i3 при следующих условиях: температура стола 60°C, температура сопла 230°C, диаметр сопла 1 мм.

Обратные потери СН были измерены с помощью анализатора цепей Agilent PNA E8363B в X-диапазоне.

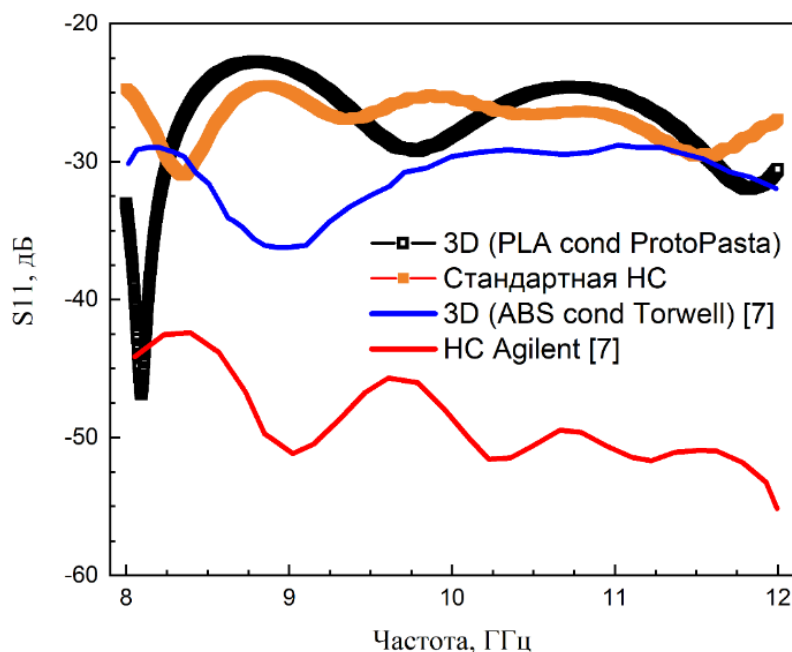


Рисунок 3. Частотная зависимость возвратных потерь нагрузки, реализованной с помощью 3D-печати

Возвратные потери полученной СН сравнены со стандартной СН (рисунок 3), с результатами авторов работы [7] для СН, изготовленной из электропроводящего ABS и с СН из набора калибровки HP X11644A (Agilent). Изготовленная СН имеет возвратные потери ниже 22,5 дБ в X-диапазоне, то есть коэффициент стоячей волны (КСВ) менее 1,16.

3. Заключение

Таким образом в данном исследовании были получены диэлектрические свойства электропроводящего PLA для FDM 3D-печати в X диапазоне частот для оценки потенциала его применения в СВЧ технике.

Этот материал пригоден для конструирования элементов пассивных устройств СВЧ техники и демонстрирует потенциал этих технологий для микроволновых приложений, в частности при проектировании согласованной нагрузки. В представленной конструкции СН удалось достичь максимального значения КСВ 1,16 в X-диапазоне.

Полученный результат для СН уступают промышленным образцам по характеристикам, однако задачей данного исследования было не улучшение характеристик заводских изделий, а предоставление быстрого и недорогого решения производства изделий СВЧ техники методом 3D печати.

Исследование выполнено за счет **гранта Российского научного фонда (проект № 25-29-20174) и средств Администрации Томской области.**

Список литературы

1. Коваленко Р. В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – №. 1. – С. 263-266.
2. Kuleshov G. E., Badin A. V., Gering M. O. Electromagnetic properties of composite materials based on ABS plastic with carbon nanotubes obtained by the additive technology in the SHF and EHF bands //IOP

- Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 731. – №. 1. – С. 012014.
3. Неустроев Д. В., Овчинников И. Г. Аддитивные технологии и их применение в промышленном и транспортном строительстве // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13. – №. 2. – С. 23.
 4. Нагибович О. А. и др. Применение технологии 3D-печати в медицине // Клиническая патофизиология. – 2017. – Т. 23. – №. 3. – С. 14-22.
 5. Фархутдинов М. М., Фетисов Л. В. Проектирование электротехнических устройств с применением технологии 3д печати // Современные инновации. – 2024. – №. 2 (45). – С. 14-16.
 6. Chalapat K. Wideband Reference-Plane Invariant Method for Measuring Electromagnetic Parameters of Materials / K. Chalapat, K. Sarvala, J. Li, G. Sorin // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2009. – V. 57. – Is. 9. – P. 2257 – 2267.
 7. Arbaoui Y. et al. 3D printing for microwave: Materials characterization and application in the field of absorbers // 2015 IEEE MTT-S international microwave symposium. – IEEE, 2015. – P. 1-3.