УДК 929.78.064.5
DOI: 10.62717/2221-4550-2025-1-105

Подлєсний Б.І.
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ»
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
E-mail: bogdan.podliesniy@gmai.com

Лістратенко О.М.
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ»

Шепетов Ю.О.
Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Кравченко О.В.
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Борщов І.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки

ТЕПЛОПРОВІДНІ ТЕРМОІНТЕРФЕЙСНІ КОМПОЗИЦІЙНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ

Анотація. Досліджено теплопровідні термоінтерфейсні полімерні композиції на основі поліімідів і силіконів із наповнювачем AlN. Проаналізовано їхню структуру, теплотехнічні характеристики та ефективну теплопровідність. Наповнювач AlN значно покращує теплопровідність, що розширює їхнє застосування в електроніці та аерокосмічній галузі.

Ключові слова: теплопровідність, термоінтерфейсні матеріали, полімери, нітрид алюмінію, поліімід, силікон, електроніка, аерокосмічні технології.

B. Podliesnyi
LLC «Research and Production Enterprise «LTU»
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute
E-mail: bogdan.podliesniy@gmai.com

O. Listratenko
LLC «Research and Production Enterprise «LTU»

Yu. Shepetov
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute

O. Kravchenko
LLC «Research and Production Enterprise «LTU»
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

I. Borshchov
Kharkiv National University of Radio Electronics

HEAT-CONDUCTIVE THERMAL INTERFACE COMPOSITE POLYMER MATERIALS

Abstract. The study investigates thermally conductive polymer composite interface materials based on polyimides and silicones with AlN fillers. Their structure, thermal

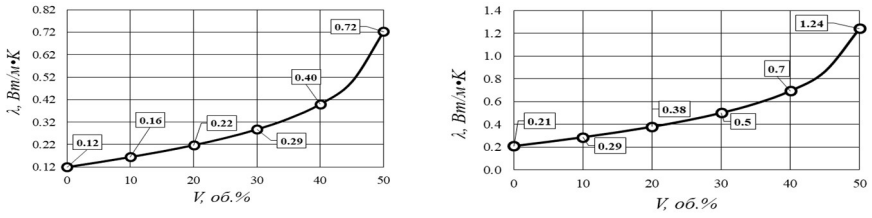
properties, and effective thermal conductivity are analyzed. AlN fillers significantly enhance thermal conductivity, expanding their application in electronics and aerospace industries.

Keywords: thermal conductivity, interface materials, polymers, aluminum nitride, polyimide, silicone, electronics, aerospace technologies.

Модифікація полімерних матеріалів наповнювачами з високою теплопровідністю значно покращує їхні характеристики, зокрема теплопровідність, зберігаючи при цьому технологічність та доступність виробництва. Серед композиційних полімерів лідирують поліорганосилоксанові (силіконові) та поліімідні (ПІ) матеріали завдяки термостійкості, міцності, малій вазі, електроізоляційним властивостям і стійкості до розчинників. Нітрид алюмінію (AlN) — єдиний технічний керамічний матеріал з високою теплопровідністю порядку 170-230 Вт/(м•К) та чудовими ізоляційними властивостями. Додавання мікронних часток AlN у полімерні матриці дає змогу створювати нові матеріали з покращеною теплопровідністю для електронних пристроїв. [1, 2, 3]

Метою роботи було розробка, виготовлення та дослідження теплопровідних властивостей нових композиційних термоінтерфейсних полімерених матеріалів, у тому числі на основі ПІ та силіконових сполучних та мінінаповнювачів із порошків білого AlN з мікронними розмірами часток.

У роботі розроблені конструкторські та технологічні рішення удосконаленних тонких теплопровідних мікроструктурованих композиційних ПІ та силіконових матеріалів для застосування у якості теплопровідних еластичних підкладок, теплопровідних електричних ізоляторів та плівок. Для експериментальних досліджень виготовлено зразки теплопровідних композиційних ПІ плівок товщиною 25-30 мкм на основі сполучного з розчину поліамідної кислоти Pyre ML RC 5069 (США) та зразки теплопровідних композиційних силіконових підкладок товщиною від 250 мкм до 4 мм на основі силіконового сполучного СКТН-А з використанням мінінаповнювачів з білого порошку AlN з розмірами часток 8 — 10 мкм випробництва компанії SIGMA-ALDRICH Chemie GmbH (Німеччина).



а) б)

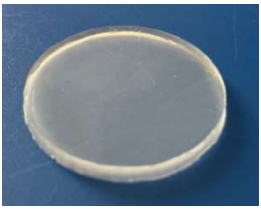
Рисунок 1 — Ефективна теплопровідність композиційних полімерних систем при різних об'ємних концентраціях мінінаповнювачів з білого порошку AlN з розмірами часток AlN порядку 10 мкм а) теплопровідний композиційний ПІ матеріал (Pi+AlN); б) теплопровідний композиційний силіконовий матеріал (СКТН-А + AlN).

За допомогою програмного комплексу COMSOL MULTIPHYSICS® були виконані розрахунки середніх теплових потоків та отримані оціночні значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності експериментальних силіконових та ПІ композиційних матеріалів, які проектувалися залежно від об'єму наповнювачів. Результати теоретичних розрахунків ефективної теплопровідності досліджених моделей композиційних

полімерних систем при різних об'ємних концентраціях наповнювачів представлено на рис. 1.

Таким чином, за результатами моделювання теоретично підтверджено можливість виготовлення нових середньо наповнених мікрокомпозиційних полімерних матеріалів з підвищеною теплопровідністю до майже 1,25 Вт/(м К) при концентрації AlN наповнювачів порядку 50 об. %.

Теплопровідність експериментальних зразків визначали методом стаціонарного теплового потоку на лабораторній установці. Досліджували силіконові підкладки (Ø 50 мм, товщина 4 мм) на основі полімеру СКТН-А, а також дві композиції з тим самим сполучним і наповнювачем AlN (частки ~10 мкм) у кількості 30 об.% і 45 об.%.



а)

б)

Рисунок 2 — Зразки силіконових та композиційних силіконових підкладок діаметром 50 мм за товщиною 4 мм на основі силіконового полімера СКТН-А а) силіконовий матеріал (СКТН-А); б) композиційний силіконовий матеріал (СКТН-А + AlN)

У силіконових підкладок виготовлених тільки з силіконового полімеру СКТН-А теплопровідність становила порядку 0,21 Вт/(м·К). При концентрації AlN часток ~ 30 об. % у силіконовій матриці теплопровідність досліджуваних мікрокомпозиційних матеріалів становила порядку 0,65 Вт/(м·К). При концентрації AlN часток ~ 45 об. % теплопровідність становила порядку 1,05 Вт/(м·К). Отримані результати об'єктивно підтверджують достатню практичну точність застосування розроблених авторами структурних моделей та способу розрахунку ефективних теплопровідностей при проектуванні різних типів нових теплопровідних середньо наповнених (30-50 об. %) композиційних полімерних матеріалів.

З урахуванням у теоретичних моделях відомих значень теплопровідності та об'ємного вмісту частинок AlN (10 мкм), а також їх агрегації у дисперсних розчинах, встановлено експериментальне зменшення ефективної теплопровідності включень у композитах до 50-60 Вт/(м•К) [4]. Оптимальне співвідношення теплопровідності та технологічності нових ПІ та силіконових термоінтерфейсних матеріалів досягається при значеннях 0,7-1,1 Вт/(м•К).

Розроблені ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ» силіконові та ПІ термоінтерфейсні матеріали ефективно застосовуються в електротехніці, радіоелектроніці, авіаційній і космічній галузях. Вони знижують вагу та габарити виробів, підвищують їхню надійність, питому потужність і температурну стійкість. Зокрема, матеріали використовуються у гнучких плівкових електронагрівачах для терморегулювання у космічних апаратах, ультра легких сонячних модулях на алюміній-поліімідних носіях із ККД 30-32% для CubeSat і стратосферних БПЛА, а також у концентраторних приймачах сонячного випромінювання на теплопровідних поліімідних діелектриках.

Список використаних джерел

1. В.М. Борщов, О.М. Лістратенко, М.І. Сліпченко, М.А. Проценко, І.Т. Тимчук, О.В. Кравченко, І.В. Борщов. Нові підходи для створення ефективних комбінованих друкованих плат на теплопровідних основах з діелектриками з поліміду // Радіотехніка Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. — 2023. — Вип. 215. — С. 60-68.
2. В.М. Борщов, О.М. Лістратенко, М.І. Сліпченко, М.А. Проценко, І.Т. Тимчук, О.В. Кравченко, І.В. Борщов. Дослідження теплових властивостей електронних модулів на комбінованих платах з поліімідними діелектриками // Радіотехніка Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. — 2024. — Вип. 217. — С. 139-147.
3. Ramisetty Mohan, Sastri Suri, Kashalikar Uday. Manufacturing of aluminium nitride powder for advanced applications.Am. Ceram. Soc. Bull. 2014. Vol. 93. No. 6. P. 28-32.
4. Flexible heat-conductive polyimide composite materials / V. Borshchov, O. Listratenko, M. Slipchenko, M. Protsenko, I. Tymchuk, O. Kravchenko, I. Borshchov // “Functional Materials”, Vol.31, No.3, 2024.P. 359-370.