

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

«Нові наноконпозиційні матеріали для космічних сенсорів (акселерометрів, гравіметрів, датчиків тиску, тощо),»

Етап 3 «Розробка та пошук наноконпозитного матеріалу, який має найбільш оптимальний та стабільний відгук на зовнішні механічні навантаження», Договір № 3-02/15 від 02.03.2015р., Цільова комплексна програма НАН України з наукових космічних досліджень на 2012-2016 рр., розпорядження Президії НАН України від 26.02.2015 № 122.

Основні одержані результати у звітному році

Метою проекту є розроблення та створення наноконпозитного матеріалу (пружний матеріал + металеві наповнювачі), який є чутливим до дії механічних напружень та змінює свої електричні властивості в залежності від ступеню деформації матеріалу. Результати дослідження направлені на пошук, створення та дослідження матеріалів із електропровідною фазою, які є перспективними для використання в якості чутливих елементів деформаційно-чутливих сенсорів космічного призначення.

В проекті приймають участь науковці з Інституту космічних досліджень НАНУ та ДКАУ, Інституту хімії високомолекулярних сполук НАНУ, Інституту фізики НАНУ та Інституту металознавства НАНУ.

На попередніх етапах виконання проекту були розроблені засоби синтезу пружної полімерної матриці, яка має високу адгезію щодо вуглецевих та металевих наповнювачів та створено пружний наноконпозитний матеріал, який має стійкий електричний відгук на дію зовнішніх механічних навантажень. В якості наповнювачів використовувалися вуглецеві нанотрубки, вуглецеві волокна, сажа, мікро- та нанокластери різних металів. Натуральний каучук або силікон використовувалися як пружна матриця. Встановлено, що додавання в полімерний матеріал дисперсного нікелю дозволяє отримати найбільш сильний електричний відгук на механічні деформації.

На даному етапі виконання проекту передбачалося розроблення та створення наноконпозитного матеріалу, який має найбільш сильний та стабільний відгук на зовнішні механічні навантаження. В якості додаткових наповнювачів використовувалися дендритна мікро-мідь, мікро- та нанокластери нікелю, графіту, тощо. Планувалося здійснити обґрунтування концепції нового типу акселерометрів та гравіметрів із використанням одержаних електропровідних наноконпозитів та провести підготовку патенту на деформаційно-чутливий наноконпозитний матеріал.

В дослідженнях використовувалися зразки розміром 4x4мм товщиною 3мм. Експерименти проводилися за допомогою модернізованої установки термомеханічного аналізу Інституту хімії високомолекулярних сполук НАНУ. В ході експериментів досліджувався зв'язок між зовнішнім механічним навантаженням на матеріал та виникаючим при цьому електричним струмом.

Найбільш сильні залежності струму від механічних навантажень для композитів із різними наповнювачами наведені на рисунках 1 та 2. Рисунок 1 демонструє залежності зовнішньої сили та виникаючого при цьому електричного струму від часу, за який повторювались цикли навантаження в композиті силікон + 25% дендритної міді. Досягнутий рівень сенсорного відгуку для цього композиту встановлює 5 мкА. Рисунок 2 ілюструє ті ж самі характеристики, але для композиту силікон + 10% мікро-нікелю + 4% нано-нікелю. Рівень сенсорного відгуку тут встановлює 10 мкА.

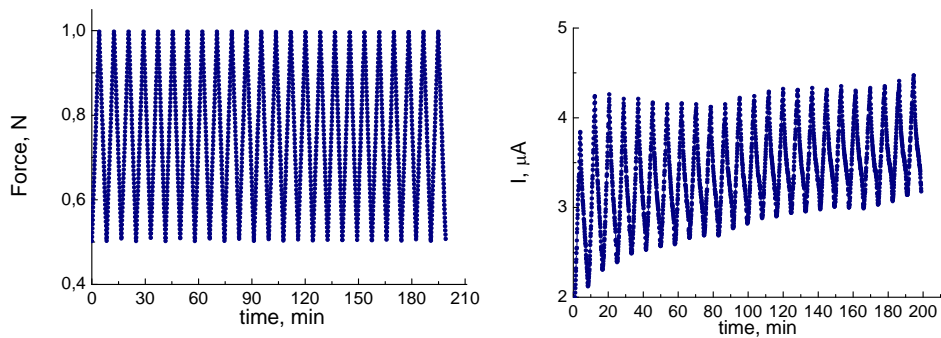


Рис. 1. Зміни механічних навантажень та сили струму, що проходить крізь зразок, при циклічних навантаженнях для композиції силікон + 25% дендритної міді.

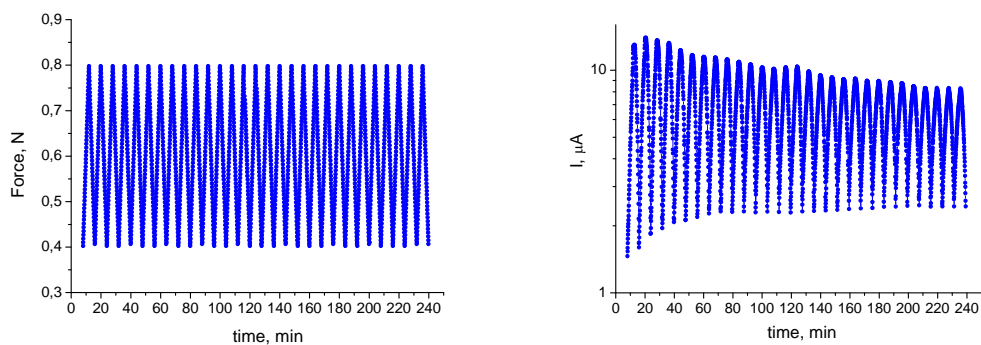


Рис. 2. Зміни механічних навантажень та сили струму, що проходить крізь зразок, при циклічних навантаженнях для композиції силікон + 10% мікро-нікелю + 4% нано-нікелю, який затвердів в магнітному полі.

Розроблені композитні матеріали демонструють практично лінійну залежність електричного струму від зовнішньої сили. Якщо їх порівнювати з композитами, створеними протягом попереднього року, то за своєю сенсорною чутливістю вони перевищують їх в 25-50 разів. Був зроблений патент на корисну модель цих полімерних сенсорних матеріалів (див. рис. 3).



Рис. 3. Фотокопія патенту на корисну модель полімерного сенсорного матеріалу.

На наступному етапі виконання проекту розроблено та запропоновано модель бікомпресійного акселерометра, який використовує електрочутливі композити в якості його активних елементів. Пристрій (рис. 4) містить в собі інерційну масу m , яка розташована поміж двома однаково стиснутими електрочутливими матеріалами (помічені жовтим кольором). В ситуації з нульовим прискоренням (лівий рисунок), крізь нижній та верхній матеріали будуть протікати однакові струми I_0 . При ненульовому прискоренні a (правий рисунок) інерційна маса m під дією виникаючої інерційної сили F буде додатково навантажувати нижній електрочутливий матеріал, розвантажуючи при цьому верхній матеріал. В результаті електричний струм $I_>$ крізь нижній матеріал збільшується ($>I_0$), а крізь верхній ($I_<$) – зменшується ($<I_0$). По різниці цих струмів можна стверджувати про наявність та величину прискорення, яке призвело до появи цієї різниці.

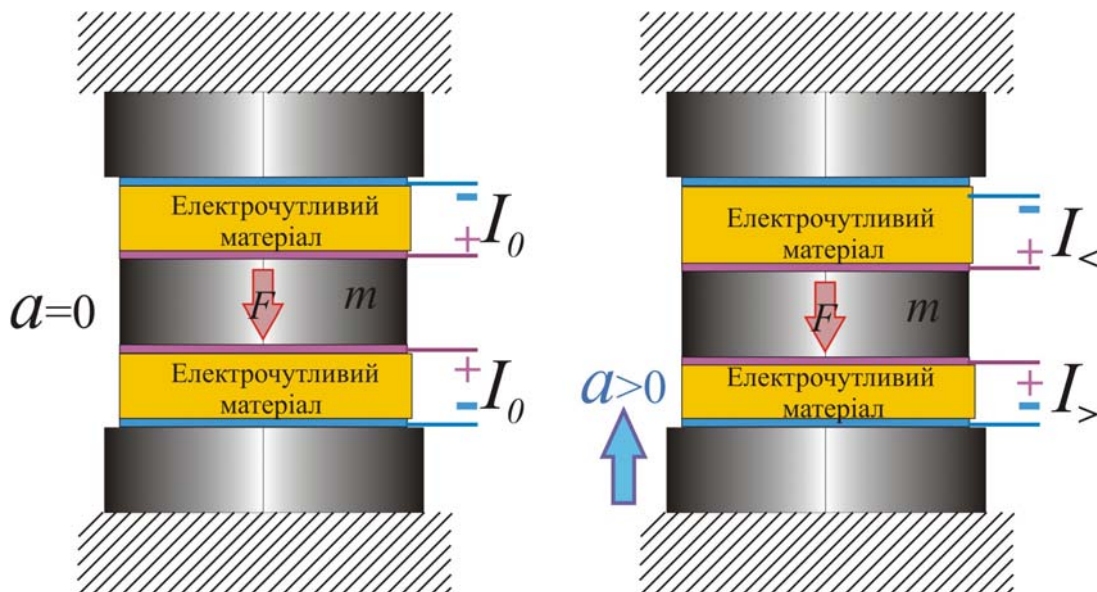


Рис. 4. Принципова схема бікомпресійного акселерометру.

Проведено математичне моделювання роботи схожого акселерометру та показано, що прискорення, яке вимірюється приладом, лінійним чином залежить від різниці струмів, що протікають через композити. Також запропоновано механізми збільшення чутливості акселерометру.

На останньому етапі виконання проекту зроблено відповідні конструкторські розрахунки та виготовлено дослідний зразок акселерометру (див. рис. 5). Попереднє експериментальне тестування пристрою демонструє його високу чутливість до зовнішніх механічних дій типу дотику або нахилу. Вимірювання електромеханічних характеристик подібних пристроїв та подальше їх удосконалення приладу планується виконати в наступному році.

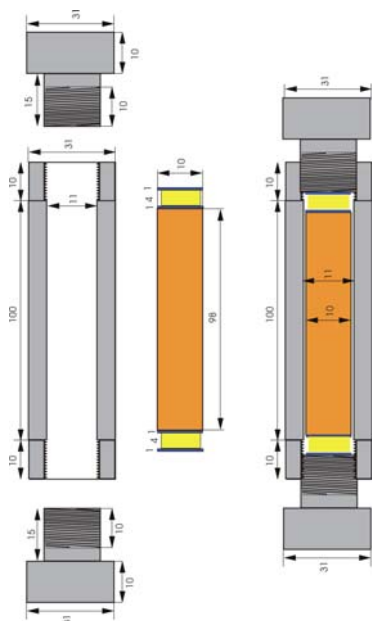


Рис. 5. Конструкція та дослідний зразок акселерометра, виготовлений в ході виконання проекту.

В ході виконання досліджень отримано наступні результати:

- встановлено, що введення мікро- і нано-наповнювачів у силіконову матрицю дає найбільш сильний електричний відгук у відповідь на зовнішні механічні навантаження – незалежно від числа циклів завантаження / розвантаження матеріалу;
- знайдені композиції, що забезпечують максимальний рівень електричного сигналу, і мають лінійну залежність між зовнішньою механічною силою і електричним сенсорним відгуком;
- запропонована концептуальна модель акселерометру для його використання в наземних і космічних умовах та визначені його основні електрично-механічні характеристики;
- створено дослідний зразок акселерометру, який демонструє високу чутливість до зовнішніх механічних навантажень.

Впродовж 2015 року за темою опублікована одна стаття та подано один патент. Матеріали за тематикою проекту доповідались на 15-ій Українській конференції з космічних досліджень.

Науковий керівник теми
к.ф.-м.н.

Клименко Ю.О.