

# Sluoksniuotų kompozitų su anglies nanovamzdeliais elektromagnetinis suderinamumas

## Electromagnetic compatibility of composites with carbon nanotubes

Povilas Bertašius<sup>1</sup>, Sergej Gaidukovs<sup>2</sup>, Jan Macutkevič<sup>1</sup>, Jūras Banys<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 9, LT-10222 Vilnius

<sup>2</sup>Rygos technikos universitetas, Kalku 1 g., LV-1658 Ryga, Latvia

[pov.bertasius@gmail.com](mailto:pov.bertasius@gmail.com)

Šiuo metu ypač aktuali yra masiškai naudojamų elektroninių prietaisų apsauga nuo perteklinio elektromagnetinės (EM) spinduliuotės fono. Patys prietaisai, kurių veikimas gali būti sutrikdytas EM bangu, ir yra EM šaltiniai. Todėl norint išlaikyti jų veiką stabilią, išorinės EM bangos turi būti nepraleidžiamos, o iš vidaus skleidžiamos – slopinamos. Šiai paskirčiai yra plačiai tyrinėjami polimeriniai kompozitai su anglies nanovamzdelių, grafenu ar kitų anglies atmainų užpildu [1].

Anglies nanovamzdelių kompozitai yra patrauklūs EM bangų sugerčiai dėl ypač žemos elektrinės perkoliacijos koncentracijos – su vos apie 0.2 vol. % koncentracija gaunamos sparčiai išaugusios elektrinio laidumo vertės, išsaugant polimerinės mechaninės savybes. Elektrinis laidumas yra reikalingas apsaugai nuo EM spindulių, tačiau per didelis laidumas gali sukelti per didelį impedanso su aplinka neatitikimą, lemiantį stiprius atspindžius. Vienas iš galimų sprendimo būtų yra palaipsniškas laidaus užpildo koncentracijos kėlimas, taip ne tik išsprendžiant staigų impedanso neatitikimą, bei sudarant papildomus slopinančius pasikartojančių atspindžių sluoksnius [2]. Pastebėta, kad maksimali apsauga kompozitų su anglies nanovamzdeliais mikrobangų diapazone pasiekama su apie 8% tūrine koncentracija [3].

Naudojantis „melt-casting“ metodu, buvo sudaryta 1.5mm storio struktūra, turinti penkis apie 0.3 mm storio viena po kitos išdėstytus 0.2, 1, 3, 5, 8 vol. % anglies nanovamzdelių koncentracijos sluoksnius. Elektromagnetinio suderinamumo tyrimai buvo atlikti 20- 40 GHz diapazone, naudojantis formule:

$$SE_T \text{ (dB)} = -10 \log(T) = SE_A + SE_R + SE_M, \quad (1)$$

kur  $SE_T$  – praėjusios EM bangos energijos nuostoliai,  $SE_A$  – sugerta energija,  $SE_R$  – atspindėta energija,  $T$  – pralaidumo koeficientas. Taip pat atsižvelgta į efektyvią sugertį:

$$A_{eff} = (1 - T - R)/(1 - R), \quad (2)$$

$$SE_A = -10 \log(1 - A_{eff}), \quad (3)$$

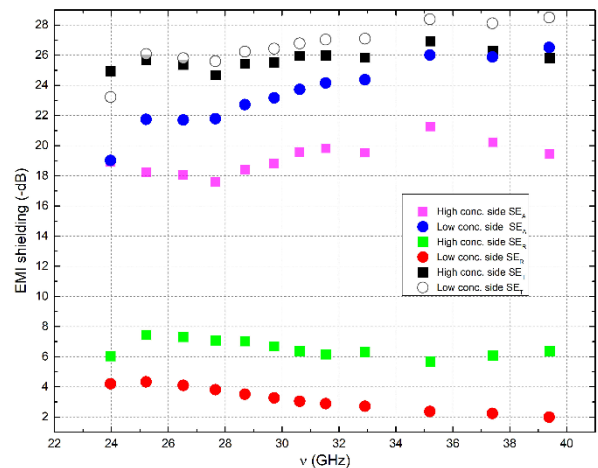
kur  $R$  – atspindžio koeficientas. Atspindėta energija skaičiuojama pagal:

$$SE_R = -10 \log(1 - R) \quad (4)$$

Sluoksniuotos struktūros kompozito elektromagnetinio suderinamumo tyrimų rezultatai pavaizduoti 1 pav. Apskritimais pažymėti duomenys, kai EM banga sklinda per sluoksnius anglies nanovamzdelių koncentracijos didėjimo kryptimi. Šia kryptimi sugerta EM bangos energija  $SE_A$  yra apie 23 dB ir 4 dB didesnė,

nei tuo atveju, kai EM banga sklinda anglies nanovamzdelių koncentracijos mažėjimo kryptimi (pažymėta kvadrateliais, apie 19 dB). Atspindėta energija  $SE_R$  yra apie 3 dB ir 3 dB mažesnė nei kita puse (6 dB). Bendra slopinta energija beveik tokia pati abiejomis pusėmis (26 dB).

Sudarius makro lygmeniu sluoksniuoto kompozito struktūrą su anglies nanovamzdelių tūrinę koncentraciją palaipsniui kintančia nuo 0.2 iki 8 %, buvo sukurta medžiaga, turinti išilgai sluoksnių neizotropinį elektromagnetinį suderinamumą. Tokios savybės gali padėti paprastu būdu padidinti elektroninių prietaisų uždengimui skirtų medžiagų našumą, lyginant su homogeniniai kompozitais.



1 pav. Sluoksniuoto kompozito EM bangų pralaidumas, atspindys bei sugertis.

*Reikšminiai žodžiai: Anglies nanovamzdeliai, kompozitai, elektromagnetinis suderinamumas.*

### Literatūra

- [1] C. Wang, V. Murugados, J. Konge, Z. Heaf, X. Maig, Q. Shaoh, Y. Chen, L. Guoa, C. Liui, S. Angaiah, Z. Guoc, *Overview of carbon nanostructures and nanocomposites for electromagnetic wave shielding*, Carbon **140**, 696-733, 2018.
- [2] S. Pande, B. P. Sing, R. B. Mathur, T. L. Dhami, P. Saini, S. K. Dhawan, *Improved Electromagnetic Interference Shielding Properties of MWCNT-PMMA Composites Using Layered Structures*, Adv. Mater. **21**, 710-715, 2009.
- [3] Y. Shi, J. Li, Y. Tan, Y. Chen, M. Wang, *Percolation behavior of electromagnetic interference shielding in polymer/multi-walled carbon nanotube nanocomposites*, Composites Science and Technology, **170**, 70-76, 2019.