

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263671

CHARACTERIZATION OF HIGH IMPEDANCE OF MULTILAYER COPLANAR WAVEGUIDE TRANSMISSION LINE DESIGN FOR INTEGRATION WITH NANODEVICES (p. 6–14)

Katipa Chezhibayeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>

Gulsaya Nurzhaubayeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5642-8143>

Haris Norshakila

Universiti Kuala Lumpur Malaysian Institute of Marine Engineering Technology, Jalan Pantai Remis, Perak, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0176-0768>

Terahertz technology has recently attracted the attention of the researchers due to its wide range of applications such as security and military, biomedicine and health care, astronomy and biology. There are many scrutinized research papers among the terahertz applications with nanodevices such as self-switching devices. They need monolithic microwave integrated circuits for integration. It is evident that the system impedance of transmission lines is 50Ω . However, the main limitation of self-switching diodes is high level of impedance in megaohms which is a huge value and is not so easy to implement. Paper focuses on the design and simulation of the coplanar waveguide transmission line structures with higher impedance by applying multilayer technology for the integration with self-switching diodes. Using multilayer technology in design allows wide range of impedances. Two approaches have been targeted such that meets all the requirements of integration with nanodevice. First approach is a widening the gap of the polyimide dielectric layers used in the fabrication of these components. Several design structures have been considered such as positioning the location of signal and grounds contacts with respect to the position of the dielectric layers. As the result the highest characteristic impedance of about 90Ω was achieved at operating frequency of 110 GHz. Secondly, novel coplanar waveguide transmission line structure was investigated where the V-shape structure was joined with the signal elevated structure. The terahertz application research may effect on high data transmission rate of no less than 10 GBit/s and thereby in increase of traffic volume.

Keywords: coplanar waveguide transmission line, self-switching nanodevice, multilayer technique, monolithic microwave integrated circuit.

References

- Betz, A. L., Boreiko, R. T. (1996). A practical Schottky Mixer for 5THz (Part II). Seventh International Symposium on Space Terahertz Technology. Charlottesville, 503–510. Available at: <https://www.nrao.edu/meetings/isstt/papers/1996/1996503510.pdf>
- Siegel, P. H., Smith, R., Gaidis, M., Martin, S., Podosek, J., Zimmermann, U. (1998). 2.5 THz GaAs Monolithic Membrane-diode mixer. A new planar circuit realisation for high frequency semiconductor components. Ninth International Conference on space THz Technology, Pasadena.
- Mateos, J., Song, A. M., Vasallo, B. G., Pardo, D., Gonzalez, T. (2005). THz operation of self-switching nano-diodes and nano-transistors. Nanotechnology II. doi: <https://doi.org/10.1117/12.609126>
- De Lucia, F. C. (2002). THz spectroscopy - techniques and applications. 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (Cat. No.02CH37278). doi: <https://doi.org/10.1109/mwsym.2002.1012158>
- Globus, T. R., Woolard, D. L., Samuels, A. C., Gelmont, B. L., Hesler, J., Crowe, T. W., Bykhovskaia, M. (2002). Submillimeter-wave Fourier transform spectroscopy of biological macromolecules. Journal of Applied Physics, 91 (9), 6105–6113. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1466878>
- Siegel, P. H. (2002). Terahertz technology. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 50 (3), 910–928. doi: <https://doi.org/10.1109/22.989974>
- Orazaliyeva, S., Kadirbayeva, G., Chezhibayeva, K. (2022). Evaluation of the effectiveness of the effect of photosensitization on the spectral characteristics of the fiber Bragg grating. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (5 (117)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259033>
- Robertson, I. D., Lucyszyn, S. (Eds.) (2001). RFIC and MMIC Design and Technology. Institution of Engineering and Technology. doi: <https://doi.org/10.1049/pbcs013e>
- Kilby, J. S., Keonjian, E. (1959). Design of a semiconductor-solid-circuit adder. 1959 International Electron Devices Meeting. doi: <https://doi.org/10.1109/iedm.1959.187137>
- Ezzeddine, A. K. (2007). Advances in Microwave and Millimeter-wave Integrated Circuits. 2007 National Radio Science Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/nrsc.2007.371341>
- Balocco, C., Kasjoo, S. R., Zhang, L. Q., Alimi, Y., Winnerl S., Song, A. M. (2017). Planar Terahertz Nanodevices. 6th European Microwave Integrated Circuits Conference. Manchester.
- Van Tuyen Vo, Krishnamurthy, L., Qing Sun, Rezazadeh, A. A. (2006). 3-D low-loss coplanar waveguide transmission lines in multilayer MMICs. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 54 (6), 2864–2871. doi: <https://doi.org/10.1109/tmtt.2006.875458>
- Lu, X. F., Xu, K. Y., Wang, G., Song, A. M. (2008). Material and process considerations for terahertz planar nanodevices. Materials Science in Semiconductor Processing, 11 (5-6), 407–410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2008.09.015>
- Song, A. M. (2004). Room-temperature Ballistic Nanodevices, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, 9, 371–389. Available at: <https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/A.Song/publications/Enn.pdf>
- Lewén, R., Maximov, I., Shorubalko, I., Samuelson, L., Thylén, L., Xu, H. Q. (2002). High frequency characterization of a GaInAs/InP electronic waveguide T-branch switch. Journal of Applied Physics, 91 (4), 2398–2402. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1429801>
- Worschech, L., Fischer, F., Forchel, A., Kamp, M., Schweizer, H. (2001). High Frequency Operation of Nanoelectronic Y-Branch

- at Room Temperature. Japanese Journal of Applied Physics, 40 (Part 2, No. 8B), L867–L868. doi: <https://doi.org/10.1143/jjap.40.1867>
17. Warns, C., Menzel, W., Schumacher, H. (1998). Transmission lines and passive elements for multilayer coplanar circuits on silicon. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 46 (5), 616–622. doi: <https://doi.org/10.1109/22.668672>
 18. Chezhimbayeva, K., Konyrova, M., Kumyrbayeva, S., Kadylbekkyzy, E. (2021). Quality assessment of the contact center while implementation the IP IVR system by using teletraffic theory. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3 (114)), 64–71. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244976>
 19. Leuther, A., John, L., Iannucci, R., Christoph, T., Aidam, R., Merkle, T., Tessmann, A. (2021). InGaAs HEMT MMIC Technology on Silicon Substrate with Backside Field-Plate. 2020 50th European Microwave Conference (EuMC). doi: <https://doi.org/10.23919/eumc48046.2021.9337957>
 20. Sinulingga, E. P., Rezazadeh, A. A., Kyabaggu, P. B. (2015). 3D moment modeling technique and measurements of CPW compact GaAs multilayer MMICs. 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). doi: <https://doi.org/10.1109/apmc.2015.7413232>
 21. Zaini, R. I., Sinulingga, E. P., Handasah, U. (2019). Directional Coupler Miniaturization Based on Multilayer Monolithic Microwave Integrated Circuit Technique. 2019 3rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM). doi: <https://doi.org/10.1109/elticom47379.2019.8943862>
 22. Eid, A., Tehrani, B., Hester, J., Xuanke, H., Tentzeris, M. M. (2018). Nanotechnology-Enabled Additively-Manufactured RF and Millimeter-wave Electronics. 2018 IEEE 13th Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC). doi: <https://doi.org/10.1109/nmdc.2018.8605849>
 23. Ramos, A., Varum, T., Matos, J. (2018). Compact Multilayer Yagi-Uda Based Antenna for IoT/5G Sensors. Sensors, 18 (9), 2914. doi: <https://doi.org/10.3390/s18092914>
 24. Sinulingga, E. P., Kyabaggu, P. B. K., Sedayu, C. D., Rezazadeh, A. A. (2018). Characterization of low impedance 3d coplanar waveguide interconnects for compact MMICs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 309, 012070. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/309/1/012070>
 25. Sinulingga, E. P., Kyabaggu, P. B. K., Rezazadeh, A. A. (2018). Electromagnetic Modelling of MMIC CPWs for High Frequency Applications. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 308, 012051. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/308/1/012051>
 26. Alim, M. A., Rezazadeh, A. A., Kyabaggu, P. B. K., Krishnamurthy, L. (2020). Fabrication and characterization of thin film Ni–Cr resistors on MMICs. Semiconductor Science and Technology, 35 (3), 035018. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6641/ab714b>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263417

ESTABLISHING THE INFLUENCE OF THE TYPE OF MICRO- AND NANOFILLERS ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HIGHLY HEAT CONDUCTIVE POLYMER COMPOSITES BASED ON POLYAMIDE 6 (p. 15–20)

Nataliia Fialko

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

Roman Dinzhos

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,
Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-2642>

Julii Sherenkovskii

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-4913>

Nataliia Meranova

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7223-8753>

Vitalii Babak

Institute of General Energy
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-4307>

Volodymyr Korzhyk

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

Maxim Lazarenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0719-3522>

Nina Polozenko

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0272-5385>

Olexander Parkhomenko

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,
Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7940-7414>

Volodymyr Makhrovskiy

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,
Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1426-179X>

The object of this study is the thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites, as well as the dependence of their heat conductivity with structural characteristics when using different types of fillers. A set of experimental studies of heat conductivity and specific heat capacity of polymer micro- and nanocomposite materials for polyamide 6 and carbon nanotubes, copper and aluminum as matrix and fillers was carried out. When obtaining composites, a method was used that is based on the mixing of components in the polymer melt. The content of fillers varied from 0.3 to 10 %, and the temperature of composite materials – from 305 to 500 K.

Experimental dependences of heat conductivity coefficients of the studied composites on the content of the filler were derived. It was established that according to the value of these coefficients in order of their reduction, these composite materials are ranked as follows: composites with fillers with carbon nanotubes, copper, and aluminum. It was found that only one percolation threshold is observed, when using a polyamide 6 matrix.

The regularities of changes in the specific heat capacity of the composites under consideration on their temperature when varying within the above limits of the filler content were investigated.

The analysis of the influence of the content of fillers on the degree of crystallinity of the polymer matrix of the investigated composite materials was carried out. It is shown that with an

increase in the content of fillers, the degree of crystallinity decreases. The relationship between the thermally conductive properties of the composites under consideration and the specified degree of crystallinity has been established. Higher values of heat conductivity of composites correspond to lower values of the degree of crystallinity.

The reported results can be widely used in the development of highly heat conductive composites for various engineering applications.

Keywords: polymer micro- and nanocomposites, carbon nanotubes, heat conductivity coefficient, specific heat capacity.

References

- Xu, X., Chen, J., Zhou, J., Li, B. (2018). Thermal Conductivity of Polymers and Their Nanocomposites. *Advanced Materials*, 30 (17), 1705544. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201705544>
- Mohammad Nejad, S., Srivastava, R., Bellussi, F. M., Chávez Thielemann, H., Asinari, P., Fasano, M. (2021). Nanoscale thermal properties of carbon nanotubes/epoxy composites by atomistic simulations. *International Journal of Thermal Sciences*, 159, 106588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106588>
- Yang, L., Zhang, L., Li, C. (2020). Bridging boron nitride nanosheets with oriented carbon nanotubes by electrospinning for the fabrication of thermal conductivity enhanced flexible nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 200, 108429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108429>
- Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Izvorska, D., Korzyk, V. et. al. (2021). Establishing patterns in the effect of temperature regime when manufacturing nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (112)), 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>
- Datsyuk, V., Trotsenko, S., Trakakis, G., Boden, A., Vyzas-Asimakopoulos, K., Parthenios, J. et. al. (2020). Thermal properties enhancement of epoxy resins by incorporating polybenzimidazole nanofibers filled with graphene and carbon nanotubes as reinforcing material. *Polymer Testing*, 82, 106317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106317>
- Fialko, N. M., Dinzhos, R. V., Sherenkovskiy, Y. V., Meranova, N. O., Navrodsкая, R. A. (2017). Heat conductivity of polymeric micro- and nanocomposites based on polyethylene at various methods of their preparation. *Industrial Heat Engineering*, 39 (4), 21–26. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>
- Sharifzadeh, E., Cheraghi, K. (2021). Temperature-affected mechanical properties of polymer nanocomposites from glassy-state to glass transition temperature. *Mechanics of Materials*, 160, 103990. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2021.103990>
- Reguieg, F., Ricci, L., Bouyacoub, N., Belbachir, M., Bertoldo, M. (2019). Thermal characterization by DSC and TGA analyses of PVA hydrogels with organic and sodium MMT. *Polymer Bulletin*, 77 (2), 929–948. doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02782-3>
- Soudmand, B. H., Shelesh-Nezhad, K., Salimi, Y. (2020). A combined differential scanning calorimetry-dynamic mechanical thermal analysis approach for the estimation of constrained phases in thermoplastic polymer nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137 (41), 49260. doi: <https://doi.org/10.1002/app.49260>
- Siddique, S., Smith, G. D., Yates, K., Mishra, A. K., Matthews, K., Csetenyi, L. J., Njuguna, J. (2019). Structural and thermal degradation behaviour of reclaimed clay nano-reinforced low-density polyethylene nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 26 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1802-9>
- Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Alosko, S., Izvorska, D. et. al. (2021). Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and thermal diffusivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 34–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>
- Dolinskiy, A. A., Fialko, N. M., Dinzhos, R. V., Navrodsкая, R. A. (2017). Influence of receipt methods of polymeric micro- and nanocomposites on their thermophysical properties. *Industrial Heat Engineering*, 37 (4), 5–13. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2015.01>
- Han, Z., Fina, A. (2011). Thermal conductivity of carbon nanotubes and their polymer nanocomposites: A review. *Progress in Polymer Science*, 36 (7), 914–944. doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.11.004>
- Okhotin, A. S. (Ed.) (1984). *Teploprovodnost' tverdykh tel*. Moscow: Energoatomizdat, 321. Available at: <https://search.rsl.ru/record/01001190076>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263649

THE EFFECT OF HYBRID NANOFLUID CuO-TiO₂ ON RADIATOR PERFORMANCE (p. 21–29)

Sudarmadji Sudarmadji

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3572-2711>

Irawan Bambang

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6917-1145>

Sugeng Hadi Susilo

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-2039>

This study aims to improve the performance of the vehicle's cooling system called the radiator, which is part of increasing energy efficiency. Research has been done to investigate the convective heat transfer of hybrid nanofluid, using CuO and TiO₂ nanoparticles and water-ethylene glycol (RC) as base fluids on a radiator. The mass concentration of the hybrid nanoparticles varied from 0.25 %, 0.30 %, and 0.35 %. For the preparation of the hybrid nanofluid through a two-step method, by mixing dry samples of CuO and TiO₂ nanoparticles (50:50) and then the mixture of radiator coolant, RC (60 % water and 40 % ethylene glycol). The fluid flow varies from 20 liters per minute to 28 liters per minute. Temperature variations range from 70 °C to 90 °C by using controlled heating. Four thermocouples measure the inlet and outlet hot fluid flow and the airflow before and after the radiator. The experiment showed that the overall heat transfer coefficient increases remarkably with the increase of the hybrid nanoparticle concentration under various flow rate values. The maximum overall heat transfer coefficient increases by about 83 % compared to pure radiator coolant under 0.35 % mass concentration at a flow rate of 22 liters per minute and a temperature of 70 °C. It has also been found that the heat transfer rate is highly dependent on the radiator's mass fraction and flow rate. Increasing the mass concentration shows maximum enhancement in heat transfer rate. Inlet temperature also enhances the heat transfer rate, but its effect is small compared to nanofluid's mass concentration and flow

rate. This study reveals that hybrid nanofluids can be suitable as a working fluid, especially in small-scale heat transfer devices.

Keywords: hybrid nanofluid, overall heat transfer coefficient, radiator coolant, cooling fluids.

References

- Choi, U. S. (1995). Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, Developments and Application of Non-Newtonian Flows. *ASME Journal of Heat Transfer*, 66, 99–105.
- Murshed, S. M. S., Leong, K. C., Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂ – water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44 (4), 367–373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2004.12.005>
- Wang, X.-Q., Mujumdar, A. S. (2007). Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*, 46 (1), 1–19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.06.010>
- Hwang, K. S., Jang, S. P., Choi, S. U. S. (2009). Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids in fully developed laminar flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (1-2), 193–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.06.032>
- Fotukian, S. M., Nasr Esfahany, M. (2010). Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37 (2), 214–219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.10.003>
- Vajjha, R. S., Das, D. K., Namburu, P. K. (2010). Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31 (4), 613–621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2010.02.016>
- Xuan, Y., Roetzel, W. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43 (19), 3701–3707. doi: [https://doi.org/10.1016/s0017-9310\(99\)00369-5](https://doi.org/10.1016/s0017-9310(99)00369-5)
- Sudarmadji, S., Soeparman, S., Wahyudi, S., Hamidy, N. (2014). Effects of cooling process of Al₂O₃-water nanofluid on convective heat transfer. *FME Transaction*, 42 (2), 155–160. doi: <https://doi.org/10.5937/fmet1402155s>
- Tijani, A. S., Sudirman, A. S. bin. (2018). Thermos-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.083>
- Ahmed, S. A., Ozkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., Fahed, A. (2018). Improving car radiator performance by using TiO₂-water nanofluid. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21 (5), 996–1005. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.07.008>
- Singh Sokhal, G., Gangacharyulu, D., Bulasara, V. K. (2018). Influence of copper oxide nanoparticles on the thermophysical properties and performance of flat tube of vehicle cooling system. *Vacuum*, 157, 268–276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.08.048>
- Subhedar, D. G., Ramani, B. M., Gupta, A. (2018). Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant. *Case Studies in Thermal Engineering*, 11, 26–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.11.009>
- Devireddy, S., Mekala, C. S. R., Veerredhi, V. R. (2016). Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO₂ nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78, 121–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.09.002>
- Sudarmadji, S., Santoso, S., Susilo, S. H. (2021). Analysis of the effect of ultrasonic vibration on nanofluid as coolant in engine radiator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241694>
- Suresh, S., Venkitaraj, K. P., Selvakumar, P., Chandrasekar, M. (2012). Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38, 54–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.11.007>
- Hamid, K. A., Azmi, W. H., Nabil, M. F., Mamat, R. (2018). Experimental investigation of nanoparticle mixture ratios on TiO₂-SiO₂ nanofluids heat transfer performance under turbulent flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 617–627. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.036>
- Toghraie, D., Chaharsoghi, V. A., Afrand, M. (2016). Measurement of thermal conductivity of ZnO-TiO₂/EG hybrid nanofluid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125 (1), 527–535. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5436-4>
- Hemmat Esfe, M., Behbahani, P. M., Arani, A. A. A., Sarlak, M. R. (2016). Thermal conductivity enhancement of SiO₂-MWCNT (85:15 %)-EG hybrid nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 128 (1), 249–258. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5893-9>
- Ramalingam, S., Dhairiyasamy, R., Govindasamy, M. (2020). Assessment of heat transfer characteristics and system physiognomies using hybrid nanofluids in an automotive radiator. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 150, 107886. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107886>
- Koçak Soyulu, S., Atmaca, İ., Asiltürk, M., Doğan, A. (2019). Improving heat transfer performance of an automobile radiator using Cu and Ag doped TiO₂ based nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113743. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113743>
- Sarkar, J., Ghosh, P., Adil, A. (2015). A review on hybrid nanofluids: Recent research, development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 164–177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.023>
- Sahid, N. S. M., Rahman, M. M., Kadirgama, K., Maleque, M. A. (2017). Experimental investigation on properties of hybrid nanofluids (TiO₂ and ZnO) in water-ethylene glycol mixture. *Journal of mechanical engineering and sciences*, 11 (4), 3087–3094. doi: <https://doi.org/10.15282/jmes.11.4.2017.11.0277>
- Pak, B. C., Cho, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer*, 11 (2), 151–170. doi: <https://doi.org/10.1080/08916159808946559>
- Takabi, B., Salehi, S. (2014). Augmentation of the Heat Transfer Performance of a Sinusoidal Corrugated Enclosure by Employing Hybrid Nanofluid. *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 147059. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/147059>
- Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2008). Effect of thermo-physical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35 (10), 1320–1326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.07.015>

26. Wang, X., Xu, X., Choi, S. U. S. (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13 (4), 474–480. doi: <https://doi.org/10.2514/2.6486>
27. Ranga Babu, J. A., Kumar, K. K., Srinivasa Rao, S. (2017). State-of-art review on hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 551–565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.040>
28. Esfe, M. H., Esfandeh, S., Amiri, M. K., Afrand, M. (2019). A novel applicable experimental study on the thermal behavior of SWCNTs(60%)-MgO(40%)/EG hybrid nanofluid by focusing on the thermal conductivity. *Powder Technology*, 342, 998–1007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.10.008>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263686

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGY FOR DESIGNING SENSITIVE GAS SENSORS BASED ON ZINC OXIDE USING A SOL-GEL METHOD (p. 30–36)

Oleh Neshpor

Institute of Public Administration
and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0670-5445>

Natalya Deyneko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8438-0618>

Roman Ponomarenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>

Artem Maiboroda

Cherkasy Institute of Fire Safety
named after Chernobyl Heroes of National University
of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6108-9772>

Mykhaylo Kropyva

Cherkasy Institute of Fire Safety
named after Chernobyl Heroes of National University
of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1111-8747>

Oleg Blyashenko

Ministry of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1500-0487>

Serhii Yeremenko

Institute of Public Administration
and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3685-4713>

Volodymyr Sydorenko

Institute of Public Administration
and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4584-486X>

Vasyl Servatyuk

The National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6444-1425>

Andrii Pruskyi

Institute of Public Administration
and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9132-7070>

This paper has investigated the nanostructured samples of zinc oxide intended for use as a gas sensor. Experimental samples were

obtained by the economical sol-gel method, suitable for large-scale production. The dependence of the efficiency of gas sensors based on zinc oxide on temperature was established. The electrical properties of experimental samples were investigated in the air in the range of values of the initial voltage of 5–30 V and at temperatures of 320, 370, and 450 K.

It was established that the current-voltage characteristic for nanosized zinc oxide is non-ohmic, but the nature of the curves can change due to an increase in the operating temperature. The obtained experimental dependences are explained by the peculiarities of the morphology of the obtained nanostructured zinc oxide, which affects the value of the contact resistance in the structure. A large number of nanoscale particles leads to an increase in the number of energy barriers, which negatively affects the sensitivity of experimental samples to the gaseous medium. The study of the sensitivity of samples to the established gaseous medium, namely 100 ppm CO, was carried out.

The electrical conductivity of zinc oxide is determined by oxygen vacancies that are electron donors, and, accordingly, the conductivity activation energy is determined by the donor levels formed by vacancies in the ZnO forbidden zone. During heating, there is a decrease in the resistance of the sample with increasing temperature; electrical conductivity is determined by the thermal generation of electrons. Understanding the dependence of the sensor sensitivity on temperature and the use of sensitive ZnO layers of different morphology will make it possible to recognize gaseous components in a complex mixture.

Keywords: zinc oxide, semiconductor structure, gas sensor, sol-gel method, volt-ampere characteristic, temperature dependence, gas environment, gas analyzer, reducing gas, contact resistance.

References

1. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155027>
2. Paraguay D., F., Miki-Yoshida, M., Morales, J., Solis, J., Estrada L., W. (2000). Influence of Al, In, Cu, Fe and Sn dopants on the response of thin film ZnO gas sensor to ethanol vapour. *Thin Solid Films*, 373 (1-2), 137–140. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(00\)01120-2](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(00)01120-2)
3. Vambol, S., Vambol, V., Sychikova, Y., Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (85)), 27–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>
4. Lv, Y., Guo, L., Xu, H., Chu, X. (2007). Gas-sensing properties of well-crystalline ZnO nanorods grown by a simple route. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 36 (1), 102–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2006.09.014>
5. Vanalakar, S. A., Patil, V. L., Harale, N. S., Vhanalakar, S. A., Gang, M. G., Kim, J. Y. et. al. (2015). Controlled growth of ZnO nanorod arrays via wet chemical route for NO₂ gas sensor applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 221, 1195–1201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.07.084>
6. Jia, X., Fan, H., Afzaal, M., Wu, X., O'Brien, P. (2011). Solid state synthesis of tin-doped ZnO at room temperature: Characteriza-

- tion and its enhanced gas sensing and photocatalytic properties. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 194–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.049>
7. Dar, G. N., Umar, A., Zaidi, S. A., Ibrahim, A. A., Abaker, M., Baskoutas, S., Al-Assiri, M. S. (2012). Ce-doped ZnO nanorods for the detection of hazardous chemical. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 173, 72–78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.06.001>
 8. Kumar, M., Singh Bhati, V., Ranwa, S., Singh, J., kumar, M. (2017). Pd/ZnO nanorods based sensor for highly selective detection of extremely low concentration hydrogen. *Scientific Reports*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00362-x>
 9. Ranwa, S., Kulriya, P. K., Sahu, V. K., Kukreja, L. M., Kumar, M. (2014). Defect-free ZnO nanorods for low temperature hydrogen sensor applications. *Applied Physics Letters*, 105 (21), 213103. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4902520>
 10. Jing, Z., Zhan, J. (2008). Fabrication and Gas-Sensing Properties of Porous ZnO Nanoplates. *Advanced Materials*, 20 (23), 4547–4551. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200800243>
 11. Yang, C., Wu, P., Gan, W., Habib, M., Xu, W., Fang, Q., Song, L. (2016). Low temperature CVD growth of ultrathin carbon films. *AIP Advances*, 6 (5), 055310. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4949755>
 12. Tuayjaroen, R., Jutarosaga, T. (2017). The influence of oxygen partial pressure on the shape transition of ZnO microstructure by thermal evaporation. *Thin Solid Films*, 631, 213–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.04.023>
 13. Umar, A., Akhtar, M. S., Al-Hajry, A., Al-Assiri, M. S., Almhbad, N. Y. (2012). Hydrothermally grown ZnO nanoflowers for environmental remediation and clean energy applications. *Materials Research Bulletin*, 47 (9), 2407–2414. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.05.028>
 14. Pawar, R. C., Lee, J.-W., Patil, V. B., Lee, C. S. (2013). Synthesis of multi-dimensional ZnO nanostructures in aqueous medium for the application of gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 187, 323–330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.11.100>
 15. Znaidi, L. (2010). Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review. *Materials Science and Engineering: B*, 174 (1-3), 18–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2010.07.001>
 16. Chavan, A., Shivaraj, B. W., Murthy, H. N. N., A, V., Holla, V., Shandilya, S. et. al. (2015). Parametric Study of Sol Gel Technique for Fabricating ZnO Thin Films. *Procedia Materials Science*, 10, 270–278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.050>
 17. Deyneko, N. (2020). Study of Methods for Producing Flexible Solar Cells for Energy Supply of Emergency Source Control. *Materials Science Forum*, 1006, 267–272. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.267>
 18. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P. (2018). Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (93)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133127>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263671

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИСОКОІМПЕДАНСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОШАРОВОЇ КОПЛАНАРНОЇ ХВИЛЬОВИДНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ З НАНОПРИСТРОЯМИ (с. 6–14)

Gulsaya Nurzhaubayeva, Katipa Chezhibayeva, Norshakila Haris

Терагерцова технологія нещодавно привернула увагу дослідників через її широкий спектр застосувань, таких як безпека та військові, біомедицина та охорона здоров'я, астрономія та біологія. Серед терагерцових додатків з нанопристроями, такими як пристрої з автоматичним перемиканням, є багато ретельних досліджень. Їм потрібні монолітні мікрохвильові інтегральні схеми для інтеграції. Видно, що системний опір лінії передачі становить 50 Ом. Однак основним обмеженням діодів, що самоперемикаються, є високий рівень імпедансу в мегаомах, що є величезною величиною і не так просто реалізувати. У статті основна увага приділяється проектуванню та моделюванню копланарних хвильовідних структур лінії передачі з більш високим імпедансом із застосуванням багатошарової технології для інтеграції з діодами, що самоперемикаються. Використання багатошарової технології конструкції дозволяє використовувати широкий діапазон імпедансів. Було обрано два підходи, які відповідають усім вимогам інтеграції з наноустроєм. Перший підхід полягає у розширенні зазору шарів поліімідного діелектрика, які використовуються при виготовленні цих компонентів. Було розглянуто декілька проектних структур, таких як позиціонування розташування сигнальних та заземлюючих контактів щодо положення діелектричних шарів. В результаті було досягнуто максимального хвильового опору близько 90 Ом на робочій частоті 110 ГГц. По-друге, було досліджено нову копланарну хвильоводну структуру лінії передачі, в якій структура V-подібної форми була з'єднана зі структурою з піднятим сигналом. Дослідження застосування терагерцового діапазону може вплинути на високу швидкість передачі даних не менше 10 Гбіт/с і тим самим збільшення обсягу трафіку.

Ключові слова: копланарна хвильоводна лінія передачі, наноустрій, що самоперемикається, багатошарова технологія, монолітна НВЧ інтегральна схема.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263417

ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ МІКРО- ТА НАНОНАПОВНЮВАЧІВ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОТЕПЛОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ 6 (с. 15–20)

Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, Ю. В. Шеренковський, Н. О. Меранова, В. П. Бабак, В. М. Коржик, М. М. Лазаренко, Н. П. Полозенко, О. Ю. Пархоменко, В. М. Махровський

Об'єктом дослідження є теплофізичні властивості полімерних мікро- та наноккомпозитів, а також взаємозв'язок їх теплопровідності зі структурними характеристиками при використанні різних типів наповнювачів. Виконано комплекс експериментальних досліджень теплопровідності і питомої теплоємності полімерних мікро- і наноккомпозитів матеріалів для поліаміда 6 та вуглецевих нанотрубок, міді і алюмінію в якості матриці і наповнювачів. При отриманні композитів застосовувався метод, який базується на змішуванні компонентів у розплаві полімеру. Вміст наповнювачів змінювався від 0,3 до 10 %, температура композиційних матеріалів – від 305 до 500 К.

Одержано експериментальні залежності коефіцієнтів теплопровідності досліджуваних композитів від вмісту наповнювача. Встановлено, що за значенням цих коефіцієнтів у порядку їх зменшення вказані композиційні матеріали ранжуються таким чином: композити з наповнювачами з вуглецевими нанотрубками, міддю та алюмінієм. Виявлено, що при застосуванні матриці з поліаміду 6 спостерігається тільки один поріг перколяції.

Досліджено закономірності зміни питомої теплоємності композитів, що розглядаються, від їх температури при варіюванні в вищевказаних межах вмісту наповнювачів.

Виконано аналіз впливу вмісту наповнювачів на ступінь кристалічності полімерної матриці досліджуваних композиційних матеріалів. Показано, що зі збільшенням вмісту наповнювачів ступінь кристалічності зменшується. Встановлено залежність між теплопровідними властивостями композитів, що розглядаються, і вказаним ступенем кристалічності. Більшим значенням теплопровідності композитів відповідають нижчі величини ступеня кристалічності.

Отримані результати можуть широко використовуватися при розробці високотеплопровідних композитів для різних інженерних додатків.

Ключові слова: полімерні мікро- і наноккомпозити, вуглецеві нанотрубки, коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263649

ВПЛИВ ГІБРИДНОЇ НАНОРІДИНИ CuO-TiO₂ НА РОБОТУ РАДІАТОРА (с. 21–29)

Sudarmadji Sudarmadji, Bambang Irawan, Sugeng Hadi Susilo

Це дослідження спрямоване на покращення продуктивності системи охолодження автомобіля, що називається радіатором, що є частиною підвищення енергоефективності. Були проведені дослідження для вивчення конвективної теплопередачі гібридної

нанорідини з використанням наночастинок CuO та TiO₂ та води та етиленгліколю (RC) як базових рідин на радіаторі. Масова концентрація гібридних наночастинок варіювалася від 0,25 %, 0,30 % та 0,35 %. Для приготування гібридної нанорідини двостадійним методом змішують сухі зразки наночастинок CuO та TiO₂ (50:50), а потім суміш охолоджуючої рідини радіатора RC (60 % води та 40 % етиленгліколю). Витрата рідини варіюється від 20 літрів за хвилину до 28 літрів за хвилину. Діапазон температур варіюється від 70 до 90 °C при використанні контрольованого нагрівання. Чотири термометри вимірюють потік гарячої рідини на вході та виході, а також потік повітря до та після радіатора. Експеримент показав, що загальний коефіцієнт теплопередачі помітно збільшується із збільшенням концентрації гібридних наночастинок при різних значеннях швидкості потоку. Максимальний загальний коефіцієнт теплопередачі збільшується приблизно на 83 % порівняно з чистою рідиною, що охолоджує, радіатора при масовій концентрації 0,35 % при витраті 22 літри в хвилину і температурі 70 °C. Також було виявлено, що швидкість теплопередачі залежить від масової частки радіатора і швидкості потоку. Збільшення масової концентрації показує максимальне збільшення швидкості теплообміну. Температура на вході також збільшує швидкість теплопередачі, але її вплив невеликий у порівнянні з масовою концентрацією нанорідини та швидкістю потоку. Це дослідження показує, що гібридні нанорідини можуть бути придатні як робоча рідина, особливо в невеликих пристроях теплопередачі.

Ключові слова: гібридна нанорідина, загальний коефіцієнт теплопередачі, теплоносії радіатора, рідини, що охолоджують.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263686

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ЧУТЛИВИХ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИНКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА (с. 30–36)

О. В. Нешпор, Н. В. Дейнеко, Р. В. Пономаренко, А. О. Майборода, М. О. Кропива, О. В. Бляшенко, С. А. Єременко, В. Л. Сидоренко, В. М. Серватюк, А. В. Прусський

В роботі досліджено наноструктуровані зразки оксиду цинку, призначеного для використання в якості газового сенсору. Експериментальні зразки були отримані економічним та придатним для широкомасштабного виробництва золь-гель методом. Встановлено залежність ефективності газових сенсорів на основі оксиду цинку від температури. Досліджено електричні властивості експериментальних зразків в повітряному середовищі в діапазоні значень початкової напруги 5–30 В та за температур 320, 370 та 450 К. Встановлено, що для нанорозмірного оксиду цинку вольт-амперна характеристика є неомічною, проте характер кривих може змінюватись за рахунок підвищення робочої температури. Отримані експериментальні залежності пояснюються особливостями морфології отриманого наноструктурованого оксиду цинку, яка впливає на величину контактної опору в структурі. Велика кількість нанорозмірних частинок призводить до зростання кількості енергетичних бар'єрів, що негативно впливає на чутливість експериментальних зразків до газового середовища. Проведено дослідження чутливості зразків до встановленого газового середовища, а саме 100 ppm CO. Електропровідність оксиду цинку визначається вакансіями кисню, які є донорами електронів, і, відповідно, енергія активації провідності визначається донорними рівнями, утвореними вакансіями в забороненій зоні ZnO. Під час нагрівання відбувається зменшення опору зразка з підвищенням температури і електропровідність визначається термічною генерацією електронів. Розуміння залежності чутливості сенсора від температури та використання чутливих шарів ZnO різної морфології дасть можливість до розпізнавання газоподібних компонентів у складній суміші.

Ключові слова: оксид цинку, напівпровідникова структура, газовий сенсор, золь-гель метод, вольт-амперна характеристика, температурна залежність, газове середовище, газоаналізатор, відновний газ, контактний опір.