

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225520

DEVISING A PROCEDURE FOR ASSESSING THE SUBGRADE COMPACTION DEGREE BASED ON THE PROPAGATION RATE OF ELASTIC WAVES (p. 6–15)

Vitalii Kovalchuk

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

Ivan Kravets

Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2239-849X>

Olga Nabochenko

Lviv Branch of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6048-2556>

Arthur Onyshchenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Olexander Fedorenko

Kyivavtodor Municipal Corporation, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3464-597X>

Andriy Pentsak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7491-6730>

Oleksiy Petrenko

National University Lviv Polytechnic, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8870-8534>

Nataliya Hembara

Ukrainian Academy of printing, Lviv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0710-8615>

This paper reports the analysis of the methods for estimating the technical condition of the subgrade underneath a constructed railroad track or road during its operation. The study results have proven that the issue related to monitoring and controlling high-quality compaction of a heterogeneous subgrade remains relevant and requires the construction of reliable experimental methods for assessing the subgrade degree of compaction.

A procedure for determining the compaction of subgrade in the laboratory has been devised, based on inertial microcomputer technologies, which makes it possible to assess the degree of compaction of subgrade soils depending on the propagation rate of an impact's elastic waves.

An experimental study has been performed into the propagation rate of elastic waves across a homogeneous subgrade made of coarse-grained sand and a heterogeneous subgrade made of coarse sand with a layer of clay in the middle of the prism. The study results established that the propagation rate of an elastic wave in a heterogeneous subgrade accepts a lower value than the rate of wave propagation in a homogeneous subgrade.

Through the dynamic interpretation, by using a discriminant statistical analysis, the characteristic features have been defined in the distribution of accelerations in the body of the homogeneous and heterogeneous subgrade, depending on the degree of compaction, which would make it possible to monitor the state of the subgrade

during operation. As the degree of the subgrade soil compaction affects the technical condition of roads.

Keywords: subgrade, impact's elastic wave, inertial study, wave propagation rate, density.

References

- Hu, M., O'Sullivan, C., Jardine, R. R., Jiang, M. (2010). Stress-induced anisotropy in sand under cyclic loading. *Granular Matter*, 12 (5), 469–476. doi: <http://doi.org/10.1007/s10035-010-0206-7>
- Wichtmann, T., Niemunis, A., Triantafyllidis, T. (2010). Strain accumulation in sand due to drained cyclic loading: on the effect of monotonic and cyclic preloading (Miner's rule). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30 (8), 736–745. doi: <http://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.03.004>
- Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proektuvannia. DBN.2.3-19:2018 (2018). Kyiv: Minrehionbud, 126. Available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80894
- DSTU B V.2.1-12:2009 Hrunty. Metod laboratornoho vyznachen- nia maksimalnoi shchilnosti (2010). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 9. Available at: <http://profidom.com.ua/v-2/v-2-1/1423-dstu-bv-2-1-122009-metod-laboratornogo-viznachenna-maksimalnoji-shhilnosti>
- DIN 18127:2012. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Procterversuch (2012). Berlin: Deutsches Institut für Normung, 32. doi: <http://doi.org/10.31030/1906160>
- Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)) (2007). ASTM Standard D698. ASTM International. West Conshohocken. doi: <http://doi.org/10.1520/d0698-07e01>
- Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)) (2009). ASTM Standard D1557. ASTM International. West Conshohocken. doi: <http://doi.org/10.1520/d1557-09>
- Aleksandrova, N. P., Semenova, T. V., Dolgikh, G. V. (2015). Metody opredeleniia maksimalnoi plotnosti gruntov zemlianogo polotna avtomobilnykh dorog. Omsk: SibADI, 59. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24902159>
- Panasjuk, Y. I., Boyarchuk, B. A., Talakh, L. O., Protsiuk, V. O. (2020). Determination of maximum soil density. Modern technologies and methods of calculations in construction, 13, 64–70. doi: [http://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3\(13\)-08](http://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2020-3(13)-08)
- Sait proiektu «Velyke budivnytstvo». Available at: <https://bigbud.kmu.gov.ua/>
- Luchko, J., Kovalchuk, V., Kravets, I., Gajda, O., Onyshchenko, A. (2020). Determining patterns in the stressed/deformed state of the railroad track subgrade reinforced with tubular drains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 6–13. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213525>
- Pavliuk, D. O., Pavliuk, V. V., Pavliuk, V. V., Shuriakov M. V. (2012). Prystrii dlia avtomatyzovanoho vymiriuvannia faktychnoho ta asymptotynohoho modulia deformatsii gruntiv ta osnov dorozhnykh odiahiv. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 1, 33–37. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2012_1_11
- Izvolt, L., Sestakova, J., Smalo, M. (2016). Analysis of results of monitoring and prediction of quality development of ballasted and

- ballastless track superstructure and its transition areas. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 18 (4), 19–29. Available at: https://www.researchgate.net/publication/317756116_Analysis_of_results_of_monitoring_and_prediction_of_quality_development_of_ballasted_and_ballastless_track_superstructure_and_its_transition_areas
14. Antipov, V., Ofrikhter, V. (2016). Modern nondestructive method of researching of geological-engineering section. PNRPU Construction and Architecture Bulletin, 7 (2), 37–49. doi: <http://doi.org/10.15593/2224-9826/2016.2.04>
 15. Catalina, O. M. (2003). Inversion method for spectral analysis of surface waves (SASW). Institute of Technology, 287. Available at: <https://smartechnology.gatech.edu/handle/1853/5124>
 16. Sussmann, T. R., Thompson, H. B., Stark, T. D., Wilk, S. T., Ho, C. L. (2017). Use of seismic surface wave testing to assess track substructure condition. Construction and Building Materials, 155, 1250–1255. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.077>
 17. Suto, K. (2007). Multichannel analysis of surface waves (MASW) for investigation of ground competence: an introduction. Engineering Advances in Earthworks. Australian Geomechanics Society, 71–81.
 18. Park, C. B., Miller, R. D., Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64 (3), 800–808. doi: <http://doi.org/10.1190/1.1444590>
 19. Dashwood, B., Gunn, D., Curioni, G., Inauen, C., Swift, R., Chapman, D. et al. (2020). Surface wave surveys for imaging ground property changes due to a leaking water pipe. Journal of Applied Geophysics, 174, 103923. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103923>
 20. Przybyłowicz, M., Sysyn, M., Kovalchuk, V., Nabochenko, O., Parneta, B. (2020). Experimental and theoretical evaluation of side tamping method for ballasted railway track maintenance. Transport Problems, 15 (3), 93–106. doi: <http://doi.org/10.21307/tp-2020-036>
 21. Sysyn, M., Nabochenko, O., Kovalchuk, V., Gerber, U. (2019). Evaluation of railway ballast layer consolidation after maintenance works. Acta Polytechnica, 59 (1), 77–87. doi: <http://doi.org/10.14311/ap.2019.59.0077>
 22. Sysyn, M., Gerber, U., Kovalchuk, V., Nabochenko, O. (2018). The complex phenomenological model for prediction of inhomogeneous deformations of railway ballast layer after tamping works. Archives of Transport, 47 (3), 91–107. doi: <http://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6512>
 23. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Nabochenko, O., Kovalchuk, Y., Voznyak, O. (2019). Experimental Study of Railway Trackbed Pressure Distribution Under Dynamic Loading. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 14 (4), 504–520. doi: <http://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.455>
 24. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Gerber, U., Nabochenko, O., Parneta, B. (2019). Laboratory Evaluation of Railway Ballast Consolidation by the Non-Destructive Testing. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 21 (2), 81–88. doi: <http://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.81-88>
 25. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Gerber, U., Nabochenko, O., Pentsak, A. (2020). Experimental study of railway ballast consolidation inhomogeneity under vibration loading. Pollack Periodica, 15 (1), 27–36. doi: <http://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.3>
 26. Liakhovitskii, F. M., Khmelevskoi, V. K., Iaschenko, Z. G. (1989). Inzhenernaia geofizika. Moscow: Nedra, 254.
 27. Donohue, S., Long, M. (2010). Assessment of sample quality in soft clay using shear wave velocity and suction measurements. Géotechnique, 60 (11), 883–889. doi: <http://doi.org/10.1680/geot.8.t.007.3741>
 28. Gunn, D., Dashwood, B. A. J., Bergamo, P., Donohue, S. (2016). Aged embankment imaging and assessment using surface waves. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Forensic Engineering, 169 (4), 149–165. doi: <http://doi.org/10.1680/jfoen.16.00022>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224327

REVEALING THE EFFECT OF ROUNDED NOISE PROTECTION SCREENS WITH FINITE SOUND INSULATION ON AN ACOUSTIC FIELD AROUND LINEAR SOUND SOURCES (p. 16–22)

Vitalii Didkovskiy

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0807-822X>

Vitaly Zaets

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2232-9187>

Svetlana Kotenko

State Enterprise «State Research Institute of Building Constructions», Kyiv, Ukraine, 03037
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6804-1413>

This paper reports studying the reduction of traffic noise by rounded noise protection screens with finite sound insulation, that is, those that can pass sound.

Almost all models of acoustic screens, which are examined by analytical methods, are either direct or such that disregard the passage of sound through the screen, that is, it is assumed that the screen sound insulation is non-finite. This approach made it possible to solve the problem for a simplified model analytically but made it impossible to analyze the required sound insulation of noise protection screens.

In the current paper, the problem of investigating an acoustic field around the screen whose sound insulation is finite has been stated, that is, it was taken into consideration that a sound wave propagates through the body of the screen. In addition, a given problem considers a rounded screen, rather than vertical, which is also used in different countries.

Such a problem was solved by the method of partial domains. This method has made it possible to strictly analytically build a solution to the problem by simplifying it to solving an infinite system of algebraic equations, which was solved by the method of reduction.

The screen model was set by the values of the density and speed of sound in the screen material. This approach has made it possible to change the acoustic impedance of the screen material and thereby change the sound insulation of the screen. That has made it possible to quantify the effect of screen sound insulation on its effectiveness. It has been shown that the efficiency of noise protection screens with finite sound insulation is approaching the efficiency of acoustically rigid screens, provided that the screen's natural sound insulation is 13–15 dB greater than the estimated efficiency of the rigid screen.

The study results could make it possible to more accurately assess the effectiveness of noise protection screens. Determining the screen acoustic efficiency would make it possible to set requirements for its sound insulation characteristics. That could make it possible to select the designs of noise protection screens with minimal physical parameters, such as thickness, weight, etc.

Keywords: rounded noise protection screen, partial domain method, finite sound insulation, noise reduction.

References

- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., Karoń, G. (2017). Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering*, 19 (7), 5639–5655. doi: <http://doi.org/10.21595/jve.2017.19371>
- Mozhaiv, O., Kuchuk, H., Shvets, D., Tretiak, V., Tretiak, M., Ostropilets, V. et. al. (2019). Minimization of power losses by traction-transportation vehicles at motion over a bearing surface that undergoes deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (97)), 69–74. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156721>
- Macdonald, H. M. (1915). A Class of Diffraction Problems. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2 (1), 410–427. doi: http://doi.org/10.1112/plms/s2_14.1.410
- Maekawa, Z. (1968). Noise reduction by screens. *Applied Acoustics*, 1 (3), 157–173. doi: [http://doi.org/10.1016/0003-682x\(68\)90020-0](http://doi.org/10.1016/0003-682x(68)90020-0)
- Kurze, U. J., Anderson, G. S. (1971). Sound attenuation by barriers. *Applied Acoustics*, 4 (1), 35–53. doi: [http://doi.org/10.1016/0003-682x\(71\)90024-7](http://doi.org/10.1016/0003-682x(71)90024-7)
- Isei, T., Embleton, T. F. W., Piercy, J. E. (1980). Noise reduction by barriers on finite impedance ground. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67 (1), 46–58. doi: <http://doi.org/10.1121/1.383788>
- Hewett, D. P., Langdon, S., Chandler-Wilde, S. N. (2014). A frequency-independent boundary element method for scattering by two-dimensional screens and apertures. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 35 (4), 1698–1728. doi: <http://doi.org/10.1093/imanum/dru043>
- François, S., Schevenels, M., Degrande, G., Borgions, J., Thyssen, B. (2008). A 2.5 D finite element-boundary element model for vibration isolating screens. *Proceedings of ISMA2008 International Conference on Noise and Vibration Engineering*, 5, 2765–2776. Available at: https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS253122&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1
- Didkovskiy, V., Zaets, V., Kotenko, S. (2020). Improvement of the efficiency of noise protective screens due to sound absorption. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (53)), 11–15. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.206018>
- Trochymenko, M. P., Zaets, V. P., Osipchuk, L. N., Kotenko, S. G. (2019). The efficiency calculation method for noise barriers located on bridge structures. *Science and Construction*, 22 (4), 45–51. doi: <http://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v22i4.119>
- Vovk, I. V., Matsypura, V. T. (2010). Vliianie svoistv poverkhnostei shumozaschitnogo barera na ego effektivnost. *Akustichnii visnik*, 13 (1), 3–10. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/115418>
- Zaets, V., Kotenko, S. (2017). Investigation of the efficiency of a noise protection screen with an opening at its base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (89)), 4–11. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112350>
- El-Rayes, K., Liu, L., Ignacio, E. J. (2018). Alternative Noise Barrier Approvals. *Illinois Center for Transportation/Illinois Department of Transportation*. doi: <http://doi.org/10.36501/0197-9191/18-021>
- Li, X., Hu, X., Zheng, J. (2020). Statistical energy method for noise reduction performance of the vertical noise barrier alongside railway bridges. *Applied Acoustics*, 170, 107503. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107503>
- Abramovits, M., Stigan, I. (Eds.) (1979). *Spravochnik po spetsialnym funktsiiam*. Moscow: Nauka, 832.
- Shenderov, E. L. (1972). *Volnovye zadachi gidroakustiki*. Leningrad: Sudostroenie, 352.
- Hrinchenko, V. T., Vovk, I. V., Matsypura, V. T. (2007). *Osnovy akustyky*. Kyiv: Naukova dumka, 640.
- Vovk, I. V., Grinchenko, V. T., Matsypura, V. T. (2012). Shumozaschitnye svoistva barerov, razmeshchennykh vdol gorodskoi ulitsy. *Akustichnii visnik*, 15(2), 3–16. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/87399159.pdf>
- Zhang, X., Liu, R., Cao, Z., Wang, X., Li, X. (2019). Acoustic performance of a semi-closed noise barrier installed on a high-speed railway bridge: Measurement and analysis considering actual service conditions. *Measurement*, 138, 386–399. doi: <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.030>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225209

ANALYZING THE INFLUENCE OF A PARTICLE'S LINEAR AND ANGULAR VELOCITY ON THE EQUATIONS OF LIQUID MOTION (p. 23–30)

Vitaliy Budarin

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4841-2189>

This paper has analyzed the equation of motion in terms of stresses (Navier), as well as its two special cases for an incompressible viscous current. One is the Stokes (Navier-Stokes) equation, and the other was derived with fewer restrictions. It has been shown that the Laplace equation of linear velocity can be represented as a function of two variables – the linear and angular speed of particle rotation.

To describe the particle acceleration, all motion equations employed a complete derivative from speed in the Gromeka-Lamb form, which depends on the same variables.

Taking into consideration the joint influence of linear and angular velocity allows solving a task of the analytical description of a turbulent current within the average model. A given method of analysis applies the provision of general physics that examines the translational and rotational motion. The third type of mechanical movement, oscillatory (pulsation), was not considered in the current work.

A property related to the Stokes equation decomposition has been found; a block diagram composed of equations and conditions has been built. It is shown that all equations for viscous liquid have their own analog in a simpler model of non-viscous fluid. That makes it easier to find solutions to the equations for the viscous flow.

The Stokes and Navier equations were used to solve two one-dimensional problems, which found the distribution of speed along the normal to the surface at the flow on a horizontal plate and in a circular pipe. Both solution methods produce the same result. No solution for the distribution of speed along the normal to the surface in a laminar sublayer could be found. A relevant task related to the mathematical part is to solve the problem of closing the equations considered.

A comparison of the theoretical and empirical equations has been performed, which has made it possible to justify the assumption that a rarefied gas is the Stokes liquid.

Keywords: average turbulence model, viscous friction, Stokes equation, Navier equation.

References

- Loytsyanskiy, L. G. (2003). *Mehanika zhidkosti i gaza*. Moscow: Drofa, 842.
- Genick, B.-M. (2013). *Basics of Fluid Mechanics*. Chicago, 604. Available at: https://www.academia.edu/10908681/Fluid_Mechanics_Genick_Bar_Meir

3. Ferziger, J. H. (1998). Numerical methods for engineering applications. Wiley, 400. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Numerical+Methods+for+Engineering+Applications%2C+2nd+Edition-p-9780471116219>
4. Budarin, V. (2016). Analytical description of the flow of the newtonian liquid in a round tube and on a horizontal plate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (84)), 43–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85468>
5. Hashemi, J. (2006). Foundations of Materials Science and Engineering. McGraw-Hill.
6. Terry, T. (2005). Thermal Conductivity: Theory, Properties, and Applications. Springer.
7. Khedr, W. S. (2017) Classical Fundamental Unique Solution for the Incompressible Navier-Stokes Equation in RN. Journal of Applied Mathematics and Physics, 5, 939–952. doi: <https://doi.org/10.4236/jamp.2017.54083>
8. Ivanchin, A. (2018). Delusions in Theoretical Hydrodynamics. World Journal of Mechanics, 08 (09), 387–415. doi: <https://doi.org/10.4236/wjm.2018.89029>
9. Mamaghani, N. A., Jenkins, P. E. (2020). Computational Fluid Dynamics Analysis of Multi-Bladed Horizontal Axis Wind Turbine Rotor. World Journal of Mechanics, 10 (09), 121–138. doi: <https://doi.org/10.4236/wjm.2020.109009>
10. Anan'ev, A. V., Mironov, V. V., Moiseeva, D. A., Cherkasov, S. G. (2015). Anisotropic effect of natural convection on the temperature field in an enclosure in the presence of stable temperature stratification. Fluid Dynamics, 50 (5), 681–690. doi: <https://doi.org/10.1134/s0015462815050105>
11. Kozlov, A. N. (2009). Dvuzhidkostnaya magnitogidrodinamicheskaya model' techeniy plazmy v kvazistatsionarnom uskoritele s prodol'nym magnitnym polem. Prikladnaya mehanika i tehnikeskaya fizika, 50 (3), 44–55.
12. Constantin, P. (2001) Some Open Problems and Research Directions in the Mathematical Study of Fluid Dynamics. Mathematics Unlimited – 2001 and Beyond. Springer, 353–360. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-56478-9_15
13. Lockerby, D. A., Reese, J. M., Gallis, M. A. (2005). Capturing the Knudsen Layer in Continuum-Fluid Models of Nonequilibrium Gas Flows. AIAA Journal, 43 (6), 1391–1393. doi: <https://doi.org/10.2514/1.13530>
14. Pitakarnnop, J., Geoffroy, S. (2008). Slip flow in triangular and trapezoidal microchannels. International Journal of Heat and Technology, International Information and Engineering Technology Association, 26 (1), 167–174.

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.225694](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225694)

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING A CdS/CdTe/Cu/Au MODULE ON A FLEXIBLE SUBSTRATE DESIGNED FOR BACKUP SUPPLYING SYSTEMS PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS (p. 31–36)

Natalia Deyneko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8438-0618>

Sergey Yeremenko

Institute of Public Administration and Research in Civil
Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3685-4713>

Gennady Kamyshevtsev

Administration of the State Border Guard Service of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5780-3539>

Igor Kryvulkin

Scientific-Research, Design and Technological Institute
for Micrography, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2836-4004>

Mykola Matiushenko

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4727-8993>

Oleg Myroshnyk

Cherkasy Institute of Fire Safety named after
the Heroes of Chernobyl, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8951-9498>

Andrei Pruskyi

Institute of Public Administration and Research
in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9132-7070>

Alexander Soshinsky

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7921-1294>

Victor Strelets

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9109-8714>

Roman Shevchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9634-6943>

The study of methods for obtaining base layers of cadmium telluride for the creation of efficient solar cells on a flexible substrate, intended for backup power supply of security systems and facility control. Considering that the polyamide film is stable up to a temperature of 450 °C, the formation of the base layers of solar cells based on cadmium telluride on flexible polyamide substrates was carried out by the method of DC magnetron sputtering. Using the chosen method, experimental samples of micromodules on a flexible substrate with series-connected solar cells based on CdS/CdTe/Cu/Au were obtained. To understand the effect of the failure of one or more solar cells on the efficiency of the entire micromodule during operation, an analysis of the initial parameters and light diode characteristics of individual solar cells of micromodules was carried out. The design of the micromodules, in which the solar cells were connected in series, made it possible to separately measure their output parameters. It was found that the creation of a Cu/Au rear tunnel contact made it possible to obtain high values of the output parameters for individual solar cells, but the micromodule contains a limitation by a shunted solar cell. However, the greatest role in reducing the efficiency of the entire micromodule is played by ineffective absorption of radiation when passing through the polyamide film, which led to a decrease in the efficiency of the entire micromodule, in which there is a shunted element, to 3.9 %. The maximum efficiency of the obtained samples of micromodules was 5.3 %.

Keywords: film photocell, flexible substrate, micromodule, solar cell, cadmium telluride, current-voltage characteristic.

References

- Stallings, W. (2017). Physical Security Essentials. Computer and Information Security Handbook, 965–979. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803843-7.00069-7>
- Yang, D., Yin, H. (2011). Energy Conversion Efficiency of a Novel Hybrid Solar System for Photovoltaic, Thermoelectric, and Heat Utilization. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26 (2), 662–670. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2011.2112363>
- Gaur, A., Tiwari, G. N. (2013). Performance of Photovoltaic Modules of Different Solar Cells. *Journal of Solar Energy*, 2013, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/734581>
- Van de Kaa, G., Rezaei, J., Kamp, L., de Winter, A. (2014). Photovoltaic technology selection: A fuzzy MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 662–670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.044>
- Khrypunov, G., Vambol, S., Deyneko, N., Sychikova, Y. (2016). Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (84)), 12–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85617>
- Leterrier, Y., Medico, L., Demarco, F., Manson, J.-A.E., Betz, U., Escola, M. F. et. al. (2004). Mechanical integrity of transparent conductive oxide films for flexible polymer-based displays. *Thin Solid Films*, 460 (1-2), 156–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.01.052>
- Leterrier, Y., Pinyol, A., Gilliéron, D., Manson, J.-A. E., Timmermans, P. H. M., Bouten, P. C. P., Templier, F. (2010). Mechanical failure analysis of thin film transistor devices on steel and polyimide substrates for flexible display applications. *Engineering Fracture Mechanics*, 77 (4), 660–670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2009.12.016>
- McCandless, B. E. (2001). Thermochemical and Kinetic Aspects of Cadmium Telluride Solar Cell Processing. *MRS Proceedings*, 668. doi: <https://doi.org/10.1557/proc-668-h1.6>
- Deyneko, N., Semkiv, O., Khmyrov, I., Khrypynsky, A. (2018). Investigation of the combination of ITO/CdS/CdTe/Cu/Au solar cells in microassembly for electrical supply of field cables. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 18–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.124575>
- Deyneko, N., Semkiv, O., Soshinsky, O., Streletc, V., Shevchenko, R. (2018). Results of studying the Cu/ITO transparent back contacts for solar cells SnO₂:F/CdS/CdTe/Cu/ITO. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (94)), 29–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139867>
- Krč, J., Zeman, M., Smole, F., Topič, M. (2002). Optical modeling of a-Si:H solar cells deposited on textured glass/SnO₂ substrates. *Journal of Applied Physics*, 92 (2), 749–755. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1487910>
- Izu, M., Ellison, T. (2003). Roll-to-roll manufacturing of amorphous silicon alloy solar cells with in situ cell performance diagnostics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 78 (1-4), 613–626. doi: [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(02\)00454-3](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(02)00454-3)
- Campbell, P., Green, M. A. (1987). Light trapping properties of pyramidally textured surfaces. *Journal of Applied Physics*, 62 (1), 243–249. doi: <https://doi.org/10.1063/1.339189>
- Söderström, K., Escarré, J., Cubero, O., Haug, F.-J., Perregaux, S., Ballif, C. (2010). UV-nano-imprint lithography technique for the replication of back reflectors for n-i-p thin film silicon solar cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 19 (2), 202–210. doi: <https://doi.org/10.1002/pip.1003>
- Romeo, A., Khrypunov, G., Kurdesau, F., Arnold, M., Bätzner, D. L., Zogg, H., Tiwari, A. N. (2006). High-efficiency flexible CdTe solar cells on polymer substrates. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90 (18-19), 3407–3415. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.09.020>
- Andorka, F. (2014). First Solar Sets World Record For CDTE Solar Cell Efficiency. Available at: <https://www.solarpowerworldonline.com/2014/02/first-solar-sets-world-record-cdte-solar-cell-efficiency/>
- Chu, T. L., Chu, S. S. (1992). High efficiency thin film CdS/CdTe solar cells. *International Journal of Solar Energy*, 12 (1-4), 121–132. doi: <https://doi.org/10.1080/01425919208909755>
- Romeo, N., Bosio, A., Tedeschi, R., Romeo, A., Canevari, V. (1999). A highly efficient and stable CdTe/CdS thin film solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 58 (2), 209–218. doi: [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(98\)00204-9](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(98)00204-9)
- Britt, J., Ferekides, C. (1993). Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency. *Applied Physics Letters*, 62 (22), 2851–2852. doi: <https://doi.org/10.1063/1.109629>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225733

MODELING THE DYNAMIC PROPERTIES OF III-NITRIDES IN STRONG ELECTRIC FIELDS (p. 37–52)

Kostyantyn Kulikov

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9743-0047>

Vladimir Moskaliuk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2753-0744>

Vladimir Timofeyev

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0515-1580>

This paper proposes a method of modeling the dynamic properties of multi-valley semiconductors. The model is applied to the relevant materials GaN, AlN, and InN, which are now known by the general name of III-nitrides. The method is distinguished by economical use of computational resources without significant loss of accuracy and the possibility of application for both dynamic time-dependent tasks and the fields variable in space.

The proposed approach is based on solving a system of differential equations, which are known as relaxation ones, and derived from the Boltzmann kinetic equation in the approximation of relaxation time by the function of distribution over k-space. Unlike the conventional system of equations for the concentration of carriers, their pulse and energy, we have used, instead of the energy relaxation equation, an equation of electronic temperature as a measure of the energy of the chaotic motion only. Relaxation times are defined not as integral values from the static characteristics of the material but the averaging of quantum-mechanic speeds for certain types of scattering is used. Averaging was carried out according to the Maxwellian distribution function in the approximation of electronic temperature, as a result of which various mechanisms of dispersion of carriers are taken into consideration through specific relaxation times. The system of equations includes equations in partial derivatives from time and coordinates, which makes it possible to investigate the pulse properties of the examined materials. In particular, the dynamic effect of the “overshoot” in drift velocity and a spatial “ballistic transport” of carriers.

The use of Fourier transforms of pulse dependence of the drift carrier velocity to calculate maximum conductivity frequencies is considered. It has been shown that the limit frequencies are hun-

dreds of gigahertz and, for aluminum nitride, exceed a thousand gigahertz.

Keywords: III-nitrides; dispersion mechanisms; relaxation; ballistic transport; dynamic characteristics; limit frequency.

References

- Siddiqua, P., Wang, Y., Shur, M. S., O'Leary, S. K. (2019). Empirical model for the velocity-field characteristics of semiconductors exhibiting negative differential mobility. *Solid State Communications*, 299, 113658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2019.113658>
- Smolin, V. K. (2016). High-Frequency Microelectronics Based on Silicon Substrate Structures. *Journal of Nano and Microsystem Technique*, 18 (11), 713–717. Available at: <http://www.microsystems.ru/files/full/mc201611.pdf>
- Encomendero, J., Jena, D., Xing, H. G. (2019). Resonant Tunneling Transport in Polar III-Nitride Heterostructures. *High-Frequency GaN Electronic Devices*, 215–247. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20208-8_8
- Guo, W., Zhang, M., Bhattacharya, P., Heo, J. (2011). Auger Recombination in III-Nitride Nanowires and Its Effect on Nanowire Light-Emitting Diode Characteristics. *Nano Letters*, 11 (4), 1434–1438. doi: <https://doi.org/10.1021/nl103649d>
- Arafin, S., Liu, X., Mi, Z. (2013). Review of recent progress of III-nitride nanowire lasers. *Journal of Nanophotonics*, 7 (1), 074599. doi: <https://doi.org/10.1117/1.jnp.7.074599>
- Saxena, D., Mokkapati, S., Jagadish, C. (2012). Semiconductor Nanolasers. *IEEE Photonics Journal*, 4 (2), 582–585. doi: <https://doi.org/10.1109/jphot.2012.2189201>
- Maekawa, T., Kanaya, H., Suzuki, S., Asada, M. (2016). Oscillation up to 1.92 THz in resonant tunneling diode by reduced conduction loss. *Applied Physics Express*, 9 (2), 024101. doi: <https://doi.org/10.7567/apex.9.024101>
- Oshima, N., Hashimoto, K., Suzuki, S., Asada, M. (2016). Wireless data transmission of 34 Gbit/s at a 500-GHz range using resonant-tunneling-diode terahertz oscillator. *Electronics Letters*, 52 (22), 1897–1898. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2016.3120>
- Asada, M., Suzuki, S. (2016). Room-Temperature Oscillation of Resonant Tunneling Diodes close to 2 THz and Their Functions for Various Applications. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 37 (12), 1185–1198. doi: <https://doi.org/10.1007/s10762-016-0321-6>
- Shur, M. S. (1987). *GaAs devices and circuits*. Springer, 670. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1989-2>
- Foutz, B. E., O'Leary, S. K., Shur, M. S., Eastman, L. F. (1999). Transient electron transport in wurtzite GaN, InN, and AlN. *Journal of Applied Physics*, 85 (11), 7727–7734. doi: <https://doi.org/10.1063/1.370577>
- Feng, Z. C. (2006). *III-Nitride Semiconductor Materials*. World Scientific Publishing Co., 440. doi: <https://doi.org/10.1142/p437>
- Ohta, H., Okamoto, K. (2009). Nonpolar/Semipolar GaN Technology for Violet, Blue, and Green Laser Diodes. *MRS Bulletin*, 34 (5), 324–327. doi: <https://doi.org/10.1557/mrs2009.94>
- Hockney, R. W., Eastwood, J. W. (1988). *Computer simulation using particles*. CRC Press, 540.
- Moskalyuk, V. A., Timofeev, V. I., Fedyay, A. V. (2014). *Bystrodeystvuyushchie pribory elektroniki. Ch. 1*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 240.
- Adachi, S. (2009). *Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III–V and II–VI Semiconductors*. John Wiley & Sons, Ltd. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470744383>
- Bokula, O., Prohorov, E. (2011). Chastotnye svoystva mezhdolinnogo perenosa v nitride galliya. *Tehnika i pribory SVCh*, 1, 24–28.
- Seeger, K. (1973). *Semiconductor Physics*. Springer, 514. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-4111-3>
- Kulikov, K., Baida, I., Moskaliuk, V., Timofeyev, V. (2018). Conductance Cutoff of A3B5 Nitrides at High-Frequency Region. 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2018.8477497>
- Kulikov, K. V., Moskaliuk, V. O., Tymofieiev, V. I. (2019). High-Frequency Properties of GaN, AlN and InN in Strong Fields. *Microsystems, Electronics and Acoustics*, 24 (3), 20–32. doi: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.3.178841>
- Asif Khan, M., Kuznia, J. N., Bhattarai, A. R., Olson, D. T. (1993). Metal semiconductor field effect transistor based on single crystal GaN. *Applied Physics Letters*, 62 (15), 1786–1787. doi: <https://doi.org/10.1063/1.109549>
- Moskalyuk, V. A., Kulikov, K. V. (2009). Chastotnye svoystva nitrida galliya v sil'nom elektricheskom pole. *Visnyk Derzhavnoho universytetu informatsiyno-komunikatsiyniykh tekhnolohiy*, 7 (3), 306–309.
- Prohorov, E. D., Beletskiy, N. I. (1982). *Poluprovodnikovye materialy dlya priborov s mezhdolinnym perenosom*. Kharkiv: Vyscha shkola, 144.
- Botsula, O. V. (2010). Chastotnye svoystva mezhdolinnogo perenosa elektronov v ALN. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya: Radiofizyka ta elektronika*, 927 (16), 7–10. Available at: <http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/7172/2/927-4.pdf>
- Botsula, O. V. (2010). Chastotnye svoystva mezhdolinnogo perenosa elektronov v InN. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriya: Radiofizyka ta elektronika*, 942 (17), 67–70. Available at: <http://dSPACE.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/7206/2/942-10.pdf>
- Kulikov, K., Moskaliuk, V., Timofeev, V. (2017). High-frequency conductance cutoff of gallium nitride. 2017 IEEE International conference of information-telecommunication technologies and radio electronics (UkrMiCo'2017), 317–319.
- Bonch-Bruevich, V. L., Kalashnikov, S. G. (1990). *Fizika poluprovodnikov*. Moscow: Nauka, 688.
- Vurgaftman, I., Meyer, J. R., Ram-Mohan, L. R. (2001). Band parameters for III–V compound semiconductors and their alloys. *Journal of Applied Physics*, 89 (11), 5815–5875. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1368156>
- Vurgaftman, I., Meyer, J. R. (2003). Band parameters for nitrogen-containing semiconductors. *Journal of Applied Physics*, 94 (6), 3675–3696. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1600519>
- Kasap, S., Capper, P. (Eds.) (2017). *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials*. Springer, 1536. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9>
- Ivaschenko, V. M., Mitin, V. V. (1990). *Modelirovanie kineticheskikh yavleniy v poluprovodnikah*. Kyiv: Naukova dumka, 192.
- Matulenis, A., Pozhela, Yu., Reklaytis, A. (1978). *Dinamika razogreva elektronov*. V kn. *Mnogodolinnye poluprovodniki*. Vil'nyus, 204.
- Moskaliuk, V. O. (2004). *Fizyka elektronnykh protsesiv*. *Dynamichni protsesy*. Kyiv: IVTs Vyd. «Politekhnika», 180.
- Danilin, V., Zhukova, T. (2005). *Tranzistory na GaN poka sami y krepiy oreshkek*. *Elektronika: nauka, tekhnologii, biznes*, 26 (4), 20–28.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225520

ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗА ШВИДКІСТЮ ПОШИРЕННЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ (с. 6–15)

В. В. Ковальчук, І. Б. Кравець, О. С. Набоченко, А. М. Онищенко, О. В. Федоренко, А. Я. Пенцак, О. В. Петренко, Н. О. Гембара

Проаналізовано методи оцінки технічного стану земляного полотна залізничної колії та автомобільних доріг у процесі його експлуатації. У результаті цього доведено, що питання моніторингу та контролю якісного ущільнення неоднорідного земляного полотна є актуальним і потребує розробка достовірних експериментальних методів оцінки ступеня ущільнення ґрунтів земляного полотна.

Розроблено методіку лабораторного визначення ущільнення земляного полотна на основі інерційних мікрокомп'ютерних технологій, що дозволяє проводити оцінку ступеня ущільнення ґрунтів земляного полотна у залежності від швидкості поширення пружних хвиль удару.

Проведено експериментальні дослідження швидкості поширення пружних хвиль в однорідному земляному полотні із крупнозернистого піску та неоднорідному земляному полотні із крупнозернистого піску із шаром глини по середині призми. У результаті чого встановлено, що швидкість розповсюдження пружної хвилі у неоднорідному земляному полотні має нижче значення, ніж швидкість розповсюдження хвилі в однорідному земляному полотні.

При динамічній інтерпретації, із використанням дискримінантного статистичного аналізу, встановлено характерні особливості розподілу прискорень у тілі насипу однорідного та неоднорідного земляного полотна в залежності від ступеня їх ущільнення, що дозволить проводити моніторинг стану земляного полотна у процесі експлуатації. Оскільки від ступеня ущільнення ґрунту безпосередньо залежать деформаційні характеристики земляного полотна та технічного стану доріг візлему.

Ключові слова: земляне полотно, пружна хвиля удару, інерційні дослідження, швидкість поширення хвилі, щільність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224327

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ОКРУГЛИХ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ ЗІ СКІНЧЕННОЮ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЄЮ НА АКУСТИЧНЕ ПОЛЕ ДОВКОЛА ЛІНІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЗВУКУ (с. 16–22)

В. С. Дідковський, В. П. Засць, С. Г. Котенко

Досліджено зниження шуму транспортних потоків округлими шумозахисними екранами, що мають кінцеву звукоізоляцію, тобто такі, що можуть пропускати крізь себе звук.

Майже всі моделі акустичних екранів, що досліджуються аналітичними методами, є або прямими, або проходження звуку крізь екран не враховується, тобто вважається, що екрани мають нескінченну звукоізоляцію. Такий підхід дозволяв проводити аналітичний розв'язок задачі для спрощеної моделі, однак робив неможливим проводити аналіз необхідної звукоізоляції шумозахисних екранів.

Зроблено постановку задачі про дослідження акустичного поля довкола екрану, що має кінцеву звукоізоляцію, тобто враховано, що звукова хвиля розповсюджується крізь тіло екрану. Крім того, в даній задачі розглянуто не вертикальний екран, а екран округлої форми, що також застосовується в різних країнах.

Розв'язання такої задачі виконано методом часткових областей. Даний метод дозволив строго аналітично побудувати розв'язок задачі спростивши її до розв'язання нескінченної системи алгебраїчних рівнянь, що була розв'язана методом редукції.

Модель екрану було задано значеннями густини та швидкості звуку в матеріалі екрану. Такий підхід дозволив змінювати акустичний імпеданс матеріалу екрану і тим самим змінювати звукоізоляцію екрану. Це дозволило кількісно визначити вплив звукоізоляції екрану на його ефективність. Було показано, що ефективність шумозахисних екранів зі скінченною звукоізоляцією наближається до ефективності акустично жорстких екранів за умови, що власна звукоізоляція екрану на 13–15 дБ більша за розрахункову ефективність жорсткого екрану.

Результати таких досліджень дозволять більш точно оцінювати ефективність шумозахисних екранів. Визначення акустичної ефективності екрану дозволить висувати вимоги щодо його звукоізоляційних характеристик. Це дозволить підбирати конструкції шумозахисних екранів з мінімальними фізичними параметрами, такими як товщина, маса тощо.

Ключові слова: округлий шумозахисний екран, метод часткових областей, кінцева звукоізоляція, зниження шуму.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225209

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЛІНІЙНОЇ ТА КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ЧАСТИНКИ НА РІВНЯННЯ РУХУ РІДИНИ (с. 23–30)

В. О. Бударін

Аналізується рівняння руху в напругах (Нав'є), а також два його окремих випадки для нестисливої в'язкої течії. Одне з них – рівняння Стокса (Нав'є-Стокса), а друге отримано при меншій кількості обмежень. Виконано порівняння додатків для опису в'язкого тертя в обох рівняннях. Показано, що рівняння Лапласа від лінійної швидкості можна представити як функцію двох змінних – лі-

нійної і кутової швидкості обертання частинок. Для опису прискорення частинки в усіх рівняннях руху використовувалася повна похідна від швидкості в формі Громека-Лемба, яка залежить від тих же змінних.

Врахування спільного впливу лінійної та кутової швидкості дозволяє вирішити проблему аналітичного опису турбулентного течії в межах осередненої моделі. Даний метод аналізу використовує положення загальної фізики, де розглядається поступальний і обертальний рух тіла. Третій вид механічного руху – коливальний (пульсації) в роботі не розглядається.

Знайдена властивість розпаду рівнянь руху і побудована блок-схема з рівнянь та умов. Показано, що всі рівняння для в'язкої рідини мають свого аналога в більш простій моделі нев'язкої рідини. Це полегшує знаходження рішень для в'язкої течії

За допомогою рівнянь Стокса і Нав'є вирішені дві одновимірні задачі, в яких знайдено розподіл швидкості по нормалі до поверхні при течії на горизонтальній пластинці та в круглій трубі. Обидва методи дають однаковий результат. Рішення для розподілу швидкості по нормалі до поверхні в ламінарному підшару знайти не вдалося. Актуальним завданням математичної частини є вирішення проблеми замикання розглянутих рівнянь.

Виконано порівняння теоретичних та емпіричних рівнянь, що дало змогу обґрунтувати припущення: стоксовську рідиною є розріджений газ. Аналіз рівняння Нав'є показав, що воно призначене для знаходження розподілу напружень при турбулентній течії.

Ключові слова: усереднена модель турбулентності, в'язке тертя, рівняння Стокса, рівняння Нав'є.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225694

РОЗРОБКА СПОСОБУ ОТРИМАННЯ МОДУЛЮ CdS/CdTe/Cu/Au НА ГНУЧКІЙ ПІДКЛАДЦІ, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ (с. 31–36)

Н. В. Дейнеко, С. А. Єременко, Г. В. Камишенцев, І. М. Кривулькін, М. В. Матюшенко, О. М. Мирошник, А. В. Пруський, О. І. Сошинський, В. М. Стрілець, Р. І. Шевченко

Проведено дослідження методів отримання базових шарів телуриду кадмію для створення ефективних сонячних елементів на гнучкій підкладці, призначених для резервного електроживлення систем безпеки та контролю об'єктів. Враховуючи те, що поліамідна плівка стабільна до температури 450 °С, формування базових шарів сонячних елементів на основі телуриду кадмію на гнучких поліамідних підкладках здійснювалось методом магнетронного розпилення на постійному струмі. При використанні обраного методу були отримані експериментальні зразки мікромодулів на гнучкій підкладці з послідовно з'єднаними сонячними елементами на основі CdS/CdTe/Cu/Au. Для розуміння впливу на ефективність всього мікромодуля виходу з строю одного або декількох сонячних елементів в процесі експлуатації проведено аналіз вихідних параметрів і світлових діодних характеристик одиничних сонячних елементів мікромодулів. Конструкція мікромодулів, в якому сонячні елементи з'єднувалися послідовно, дозволяла окремо вимірювати їх вихідні параметри. Встановлено що створення тунельного тильного контакту Cu/Au дозволило отримати високі значення вихідних параметрів для окремих сонячних елементів, але у складі мікромодуля спостерігається обмеження зашунтованим сонячним елементом. Однак найбільшу роль у зниженні коефіцієнта корисної дії всього мікромодуля відіграла неефективне поглинання випромінювання при проходженні через поліамідну плівку, що призвело до зниження ефективності всього мікромодуля, в якому наявний зашунтований елемент до 3,9 %. Максимальна ефективність отриманих зразків мікромодулів становила 5,3 %.

Ключові слова: плівковий фотоелемент, гнучка підкладка, мікромодуль, сонячний елемент, телурид кадмію, вольт-амперна характеристика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225733

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ III-НІТРИДІВ У СИЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛЯХ (с. 37–52)

К. В. Куліков, В. О. Москалюк, В. О. Тимофєєв

Запропоновано метод моделювання динамічних властивостей багатодолинних напівпровідників. Модель застосована до актуальних матеріалів GaN, AlN і InN, які зараз відомі під узагальнюючою назвою III-нітриди. Метод відрізняється економним використанням обчислювальних ресурсів без істотних втрат точності і можливістю застосування як для динамічних задач у часі, так і змінних у просторі полів.

Запропонований підхід базується на вирішенні системи диференціальних рівнянь, які відомі як релаксаційні і отримані з кінетичного рівняння Больцмана в наближенні часу релаксації по функції розподілу по k-простору. На відміну від традиційної системи рівнянь для концентрації носіїв, їх імпульсу і енергії використано замість рівняння релаксації енергії рівняння для електронної температури як міри енергії тільки хаотичного руху. Часи релаксації визначаються не як інтегральні значення із статичних характеристик матеріалу, а використано усереднення квантовомеханічних швидкостей для окремих видів розсіювання. Усереднення проводилося за максвеллівською функцією розподілу в наближенні електронної температури, в результаті чого враховуються різні механізми розсіювання носіїв через специфічні часи релаксації. Система рівнянь включає рівняння в частинних похідних за часом і координатами, що дає можливість досліджувати імпульсні властивості розглянутих матеріалів. Зокрема, динамічний ефект «сплеску» дрейфової швидкості і просторовий «балістичний транспорт» носіїв.

Розглядається використання перетворення Фур'є імпульсної залежності дрейфової швидкості носіїв для обчислення максимальних частот провідності. Показано, що граничні частоти складають сотні гігагерців, а для нітриду алюмінію перевищують тисячу гігагерців.

Ключові слова: III-нітриди; механізми розсіювання; релаксація; балістичний транспорт; динамічні характеристики; гранична частота.