

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265771

CHARACTERISTICS OF PHOTOVOLTAIC CELLS USING MONOLIKE TECHNOLOGY WITH TECHNICAL AND ECONOMICAL EFFICACY, AND COMPARISON WITH THE TRADITIONAL PREPARATION METHOD (p. 6–15)

Dastan Kalygulov

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0576-0522>

Sergei Plotnikov

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0973-871X>

Philippe Lay

CEO of ECM Greentech (France), France, Grenoble
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0863-7773>

The survey explores the potential for the creation of sun oriented cells from Kazakhstani p-type semiconductors, filtered by a metallurgical strategy utilizing the benefits of the mono-like innovation. As per the exploratory information, it tends to be seen that the successful lifetime shows low markers on the solar element taken from the upper piece of the ingots before the gettering system. This applies to multi-glasslike silicon cells. After phosphorus dispersion, an expansion in complete viability should be visible, which doesn't rely upon the material under study. Generally speaking, a decrease in the effective lifetime of charge carriers in silicon can happen because of the presence of a lot of metal impurities, which can create formations in the form of deposits in crystal defects or dissolve in silicon. It is shown that silicon developed by the mono-like innovation has a more drawn out transporter lifetime contrasted with standard mc-Si. Likewise, it was shown that during the time spent making a solar element, the lifetime of charge transporters builds because of the gettering impact without extra refinement processes. The benefits of the created innovation were seen at the degree of sunlight based cells, appeared in an expansion in proficiency and a reduction in the conveyance of effectiveness along the ingot level. All in all, it is shown that a solar cell made of mono-like silicon has a fairly low corruption of productivity when presented to light. Mono-like silicon sooner rather than later may turn into a forward leap in the photovoltaic business because of the great potential for the development of sunlight-based cells with high proficiency and a critical decrease in expenses.

Keywords: silicon, mono-like, solar cells, directional crystallization, light degradation, total efficacy, output voltage, photovoltaic, crystalline, conductivity.

References

- Anakhin, N. Y., Groshev, N. G., Onopriyuchuk, D. A. (2018). Solar panels - reality or fantasy? Questions of science and education, 26, 1–4.
- Geipel, T., Meinert, M., Kraft, A., Eitner, U. (2018). Optimization of Electrically Conductive Adhesive Bonds in Photovoltaic Modules. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8 (4), 1074–1081. doi: <https://doi.org/10.1109/jphotov.2018.2828829>
- Cascant, M., Enjalbert, N., Monna, R., Dubois, S. (2012). Harvesting Sunshine: Solar Cells, Photosynthesis and the Thermodynamics of Light. 27th European Solar Photovoltaic Conference and Exhibition. Available at: <https://eprints.soton.ac.uk/344396/>
- Guerrero, I., Parra, V., Carballo, T., Black, A., Miranda, M., Cancellito, D., Moralejo, B. et. al. (2012). About the origin of low wafer performance and crystal defect generation on seed-cast growth of industrial mono-like silicon ingots. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 22 (8), 923–932. doi: <https://doi.org/10.1002/pip.2344>
- Luque, A., Hegedus, S. (Eds.) (2010). Handbook of photovoltaic science and engineering. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470974704>
- Soref, R. (2010). Mid-infrared photonics in silicon and germanium. *Nature Photonics*, 4 (8), 495–497. doi: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2010.171>
- Kearns, J. K. (2019). Silicon single crystals. *Single Crystals of Electronic Materials*, 5–56. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102096-8.00002-1>
- Rybalev, A. N. (2014). Solar cell positioning system. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*, 4, 111–120.
- Whittles, T. J. (2018). Electronic Characterisation of Earth-Abundant Sulphides for Solar Photovoltaics. *Springer*, 362. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91665-1>
- Sampaio, P. G. V., González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Maurits, J. E. A. (2014). Silicon Production. *Treatise on Process Metallurgy*, 919–948. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096988-6.00022-5>
- Becker, C., Amkreutz, D., Sontheimer, T., Preidel, V., Lockau, D., Haschke, J. et. al. (2013). Polycrystalline silicon thin-film solar cells: Status and perspectives. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 119, 112–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.05.043>
- Mohammad Bagher, A. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3 (5), 94. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>
- Malinin, G. V., Serebryannikov, A. V. (2016). Tracking the maximum power point of the solar battery. *Bulletin of the Chuvash University*, 3, 76–91.
- Betekbaev, A. A., Mukashev, B. N., Pelissier, L., Lay, P., Fortin, G., Bounaas, L. et. al. (2016). Comparison of the characteristics of solar cells fabricated from multicrystalline silicon with those fabricated from silicon obtained by the monolike technology. *Semiconductors*, 50 (8), 1085–1091. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063782616080091>
- Debbichi, L., Lee, S., Cho, H., Rappe, A. M., Hong, K., Jang, M. S., Kim, H. (2018). Mixed Valence Perovskite Cs₂Au₂I₆: A Potential Material for Thin-Film Pb-Free Photovoltaic Cells with Ultrahigh Efficiency. *Advanced Materials*, 30 (12), 1707001. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201707001>
- Mukashev, B. N., Betekbaev, A. A., Kalygulov, D. A., Pavlov, A. A., Skakov, D. V. (2015). Comparison of the characteristics of solar cells manufactured from multicrystalline silicon, and silicon obtained by monolike technology. *FTP*, 49 (10), 14–21.
- Paulus, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dziubenko, O., Ponikarovska, S. (2018). Determination of the best load parameters for productive operation of PV panels of series FS-100M and FS-110P for sustain-

able energy efficient road pavement. 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCon). doi: <https://doi.org/10.1109/rtucon.2018.8659829>

19. Kozhevnikova, L. A. (2018). Solar cells and batteries for space applications. *Reshetnev readings*, 4, 120–127.
20. Betekbaev, A. A., Mukashev, B. N., Pellicer, L., Lay, P., Fortin, G., Bunas, L. et. al. (2016). *Electronic technics materials*. Moscow, 256.
21. Muller, G., Metois, J., Rudolph, R. (2004). *Crystal Growth - From Fundamentals to Technology*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-51386-1.x5001-6>
22. Burakov, M. V., Shishlakov, V. F. (2017). Fuzzy solar panel control. *Information and control systems*, 14, 62–69.
23. Herguth, A., Hahn, G. (2010). Kinetics of the boron-oxygen related defect in theory and experiment. *Journal of Applied Physics*, 108 (11), 114509. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3517155>
24. Inglese, A., Laine, H. S., Vähänissi, V., Savin, H. (2018). Cu gettering by phosphorus-doped emitters in p-type silicon: Effect on light-induced degradation. *AIP Advances*, 8 (1), 015112. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5012680>
25. Gerus, A. A., Kuznetsov, A. D., Volkov, M. V. (2017). The mechanical device of the solar fan-type battery. *Reshetnev readings*, 21, 106–108.
26. Coletti, G., Bronsveld, P. C. P., Hahn, G., Warta, W., Macdonald, D., Ceccaroli, B. et. al. (2011). Impact of Metal Contamination in Silicon Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 21 (5), 879–890. doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.201000849>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265861

DESIGNING A VOLTAGE CONTROL SYSTEM OF THE MAGNETOELECTRIC GENERATOR WITH MAGNETIC FLUX SHUNTING FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS (p. 16–25)

Mykola Ostroverkhov

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7322-8052>

Vadim Chumack

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>

Oksana Tymoshchuk

Institute of Applied System Analysis, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-3095>

Mykhailo Kovalenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

Yevhen Ihnatiuk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4675-8728>

The object of research in this work is a three-phase magnetoelectric generator with magnetic flux shunting based on industrial induction electric motors.

The presence of a magnetic shunt makes it possible to control the voltage of the generator by changing the excitation current in the non-contact electrical winding of the magnetic shunt, which is powered by direct current. Thus, the problem of stabilization of the

output voltage of the generator with permanent magnets is solved when the speed of rotation and load change.

This paper reports the construction of a three-dimensional field mathematical model of the generator, which allows for electromagnetic calculations of the generator with specified parameters, taking into consideration the influence of final effects, magnetic scattering fields, as well as their radial-axial nature. The results of the calculation of the electromagnetic field are the initial parameters for building a simulation model in the MATLAB-Simulink environment. A simulation model of a magnetoelectric generator with magnetic flux shunting under conditions of changing rotational speed and load has been constructed in the MATLAB-Simulink environment.

On the basis of the built models, the performance characteristics of a magnetoelectric generator with magnetic flux shunting were established, which show the limits of control of the output voltage. Adjusting characteristics were determined at zero and rated shunt current for different types of load. The adjusting characteristics of the generator are presented at the rated voltage of the generator for different types of load and with an increase to 150 % of the rated value. The study's results show the high efficiency of the voltage control system of a magnetoelectric generator with a magnetic shunt at different speeds of rotation and load

Keywords: magnetoelectric generator, magnetic shunt, voltage control, load change, speed change

References

1. Asfirane, S., Hlioui, S., Amara, Y., Gabsi, M. (2019). Study of a Hybrid Excitation Synchronous Machine: Modeling and Experimental Validation. *Mathematical and Computational Applications*, 24 (2), 34. doi: <https://doi.org/10.3390/mca24020034>
2. Mbayed, R., Salloum, G., Monmasson, E., Gabsi, M. (2016). Hybrid excitation synchronous machine finite simulation model based on experimental measurements. *IET Electric Power Applications*, 10 (4), 304–310. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2015.0473>
3. Bernatt, J., Gawron, S. A., Glinka, M. (2012). Experimental Validation of Hybrid Excited Permanent Magnet Synchronous Generator. *Przegląd elektrotechniczny*, 88 (12a), 66–70. Available at: <http://pe.org.pl/articles/2012/12a/14.pdf>
4. Xu, L., Liu, G., Zhao, W., Ji, J. (2016). Hybrid excited vernier machines with all excitation sources on the stator for electric vehicles. *Progress In Electromagnetics Research M*, 46, 113–123. doi: <https://doi.org/10.2528/pierm15120305>
5. Wardach, M., Bonislowski, M., Palka, R., Paplicki, P., Prajzencanc, P. (2019). Hybrid Excited Synchronous Machine with Wireless Supply Control System. *Energies*, 12 (16), 3153. doi: <https://doi.org/10.3390/en12163153>
6. Sabioni, C. L., Ribeiro, M. F. O., Vasconcelos, J. A. (2018). Robust Design of an Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Based on Many-Objective Optimization Approach. *IEEE Transactions on Magnetics*, 54 (3), 1–4. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2017.2766229>
7. Nedjar, B., Hlioui, S., Amara, Y., Vido, L., Gabsi, M., Lecrivain, M. (2011). A New Parallel Double Excitation Synchronous Machine. *IEEE Transactions on Magnetics*, 47 (9), 2252–2260. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2011.2134864>
8. Wardach, M., Paplicki, P., Palka, R. (2018). A Hybrid Excited Machine with Flux Barriers and Magnetic Bridges. *Energies*, 11 (3), 676. <https://doi.org/10.3390/en11030676>
9. Jian, L., Liang, J., Shi, Y., Xu, G. (2013). A novel double-winding permanent magnet flux modulated machine for stand-alone wind power

generation. *Progress In Electromagnetics Research*, 142, 275–289. doi: <https://doi.org/10.2528/pier13072304>

10. Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. (2020). Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (103)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193495>
11. Chumack, V., Bazenov, V., Tymoshchuk, O., Kovalenko, M., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, I., Tkachuk, I. (2021). Voltage stabilization of a controlled autonomous magnetoelectric generator with a magnetic shunt and permanent magnet excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 56–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246601>
12. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Kovalenko, M., Kovalenko, I. (2022). Development of the control system for taking off the maximum power of an autonomous wind plant with a synchronous magnetoelectric generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (118)), 67–78. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263432>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266267

IMPROVING TOOLS FOR DIAGNOSING TECHNICAL CONDITION OF SHIP ELECTRIC POWER INSTALLATIONS (p. 25–33)

Albert Sandler

National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0709-0542>

Vitalii Budashko

National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4873-5236>

Existing information-measuring systems (IMS) do not fully correspond to the tasks of monitoring electric power installations (EPI) in terms of their characteristics. The capabilities of IMS have certain limitations regarding the probability of measurement results and the degree of invariance to the influence of operational factors. This proves that for modern failure-free EPI technical operation, new diagnostic tools are in demand. Such means should be seamlessly integrated in IMS to enable high operational efficiency and performance reliability. Therefore, it is of particular relevance to tackle the scientific and technical issue of rational combination of protection and preservation of the characteristics of fiber-optic sensors of relative humidity control systems in ship EPI. To solve the problem, the chosen object of this study is the processes of formation and transformation of the diagnostic signal in the means of humidity control. It has been established that the improvement of the characteristics of the control means can be achieved through the synthesis of known optical circuits and the latest materials. To register the parameters of relative humidity, a new circuitry solution was proposed for the sensor based on fiber-optic and elements made of nanomaterials. The main feature of the proposed monitoring tool is invariance to operational destabilizing factors. The scope of application of the obtained research results involves distributed fiber-optic systems for monitoring the technical condition of ship electric power systems. The introduction of a new means for measuring humidity will make it possible to achieve an increase in the efficiency of use and reliability of EPI by reducing the accident rate by 6...11 %, as well as a decrease in operating costs by USD 8...10 per 1 kWh of generated power per year of operation with an average load.

Keywords: electric power installations, relative humidity, optical fiber, refractive index, layered structure.

References

1. Udd, E., Spillman, W. B. (Eds.) (2011). *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, Inc. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118014103>
2. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. (2022). Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16 (1), 105–111. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11>
3. Myrhorod, V., Hvozdeva, I., Budashko, V. (2020). Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240905>
4. Szirczak, D., Rohacs, D., Rohacs, J. (2022). Review of using small UAV based meteorological measurements for road weather management. *Progress in Aerospace Sciences*, 134, 100859. doi: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2022.100859>
5. Budashko, V., Golikov, V. (2017). Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (3 (88)), 11–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107244>
6. Guachamin-Acero, W., Portilla, J. (2022). Prediction of dynamic responses for execution of marine operations using partitioning of multimodal directional wave spectra and machine learning regression models. *Ocean Engineering*, 262, 112157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112157>
7. Butov, O. V., Bazakutsa, A. P., Chamorovskiy, Y. K., Fedorov, A. N., Shevtsov, I. A. (2019). All-Fiber Highly Sensitive Bragg Grating Bend Sensor. *Sensors*, 19 (19), 4228. doi: <https://doi.org/10.3390/s19194228>
8. Kolpakov, S., Gordon, N., Mou, C., Zhou, K. (2014). Toward a New Generation of Photonic Humidity Sensors. *Sensors*, 14 (3), 3986–4013. doi: <https://doi.org/10.3390/s140303986>
9. Hvozdeva, I., Myrhorod, V., Budashko, V., Shevchenko, V. (2020). Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets. 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). doi: <https://doi.org/10.1109/tcset49122.2020.235453>
10. Cavalcanti, E. J. C. (2021). Energy, exergy and exergoenvironmental analyses on gas-diesel fuel marine engine used for trigeneration system. *Applied Thermal Engineering*, 184, 116211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116211>
11. Velasco-Gallego, C., Lazakis, I. (2022). RADIS: A real-time anomaly detection intelligent system for fault diagnosis of marine machinery. *Expert Systems with Applications*, 204, 117634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117634>
12. Katok, V. B., Rudenko, I. E., Odnoroh, P. M. (2016). Volokonno-optychni systemy zviazku. Kyiv: Velar, 445. Available at: <https://docplayer.net/65638724-V-b-katok-i-e-rudenko-p-m-odnorog.html>
13. Zhao, J., Xia, L., Chamorovskii, Yu. K., Popov, S. M., Butov, O. V., Wen, Y. (2022). A temperature compensation method of FBG based on OFDR fiber sensing system. Conference on Lasers and Electro-Optics, Technical Digest Series (Optica Publishing Group, 2022), JW3B.55. doi: https://doi.org/10.1364/CLEO_AT.2022.JW3B.55
14. Wang, L., Fang, N., Huang, Z. (2012). Polyimide-Coated Fiber Bragg Grating Sensors for Humidity Measurements. *High Performance Polymers - Polyimides Based - From Chemistry to Applications*. doi: <https://doi.org/10.5772/53551>

15. Berruti, G., Consales, M., Giordano, M., Sansone, L., Petagna, P., Buontempo, S., Breglio, G., Cusano, A. (2013). Radiation hard humidity sensors for high energy physics applications using polyimide-coated fiber Bragg gratings sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 94–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.10.047>
16. Massaroni, C., Caponero, M., D'Amato, R., Lo Presti, D., Schena, E. (2017). Fiber Bragg Grating Measuring System for Simultaneous Monitoring of Temperature and Humidity in Mechanical Ventilation. *Sensors*, 17 (4), 749. doi: <https://doi.org/10.3390/s17040749>
17. Sandler, A. K., Danchuk, D. P. (2021). Means of increasing the efficiency of cargo condition monitoring on gas carriers based on fiber-optic technologies. *Automation of Technological and Business Processes*, 13 (4), 18–26. doi: <https://doi.org/10.15673/atbp.v13i4.2202>
18. Wang, Q., Wang, C., Zhang, M., Jian, M., Zhang, Y. (2016). Feeding Single-Walled Carbon Nanotubes or Graphene to Silkworms for Reinforced Silk Fibers. *Nano Letters*, 16 (10), 6695–6700. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b03597>
19. Yeo, T. L., Tong Sun, Grattan, K. T. V., Parry, D., Lade, R., Powell, B. D. (2005). Polymer-coated fiber Bragg grating for relative humidity sensing. *IEEE Sensors Journal*, 5 (5), 1082–1089. doi: <https://doi.org/10.1109/jсен.2005.847935>
20. Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (109)), 45–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517>
21. Zhu, X., Wang, K., Yang, J., Huang, L., Shen, B., Sun, M. (2022). Research on the control strategy of grid connection between shore power supply and ship power grid. *Energy Reports*, 8, 638–647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.164>
22. Kistner, L., Bensmann, A., Hanke-Rauschenbach, R. (2022). Optimal Design of a Distributed Ship Power System with Solid Oxide Fuel Cells under the Consideration of Component Malfunctions. *Applied Energy*, 316, 119052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119052>
23. Sandler, A. (2019). Sensitive element of fiber optical accelerometer based on sapphire glass. *Materials of the 9th international scientific and practical conference: ships' electrical engineering, electronics and automation*. Odessa, 27–33. Available at: <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2019.05.11.19.pdf>
24. Okda, H. A., Kandas, I., Aly, M. H., El Osairy, M. (2018). Solution of dispersion relations of multilayer optical fibers: a comprehensive study. *Applied Optics*, 57 (14), 3788. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.57.003788>
25. Dai, L., Sun, J. (2016). Mechanical Properties of Carbon Nanotubes-Polymer Composites. *Carbon Nanotubes - Current Progress of Their Polymer Composites*. doi: <https://doi.org/10.5772/62635>
26. Kramarev, D. V., Osipchik, V. S., Chalaya, N. M., Berezina, A. B., Kolesnikov, A. V. (2018). A Study of the Laws Governing the Modification of Polyimide Materials used in Multilayer Structures of Space Vehicles. *International Polymer Science and Technology*, 45 (5), 221–225. doi: <https://doi.org/10.1177/0307174x1804500508>
27. Snyder, A. W., Love, J. (1983). *Optical Waveguide Theory*. Springer, 738. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2813-1>
28. Sadd, M. H. (2014). *Elasticity: Theory, Applications, and Numerics*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06981-5>
29. Gerasimenko, A. Yu., Kuksin, A. V., Shaman, Y. P., Kitsyuk, E. P., Fedorova, Y. O., Murashko, D. T. et al. (2022). Hybrid Carbon Nanotubes-Graphene Nanostructures: Modeling, Formation, Characterization. *Nanomaterials*, 12 (16), 2812. doi: <https://doi.org/10.3390/nano12162812>
30. Budashko, V., Shevchenko, V. (2021). Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (110)), 54–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033>
31. Tretyakov, E., Istomin, S., Avdienko, E., Denisov, I. (2022). Development of the system of coordinated control of traction power supply equipment and electric rolling stock. *Transportation Research Procedia*, 63, 1970–1978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.218>
32. Barreiro, J., Zaragoza, S., Diaz-Casas, V. (2022). Review of ship energy efficiency. *Ocean Engineering*, 257, 111594. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111594>
33. Budashko, V. (2020). Thrusters Physical Model Formalization with regard to Situational and Identification Factors of Motion Modes. *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icecce49384.2020.9179301>
34. Ning, Z., Liu, C., Zhu, X., Wang, Y., An, B., Yu, D. (2021). Diagnostic and modelling investigation on the ion acceleration and plasma throttling effects in a dual-emitter hollow cathode micro-thruster. *Chinese Journal of Aeronautics*, 34 (12), 85–98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.02.007>
35. Thyri, E. H., Bitar, G., Breivik, M. (2021). A 3DOF Path-Following Controller for a Non-Directionally Stable Vessel with Slow Thruster Dynamics. *IFAC-PapersOnLine*, 54 (16), 288–294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.106>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266359

DEVELOPMENT OF THE DESIGN AND TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING A COMBINED FIBER-OPTIC SENSOR USED FOR EXTREME OPERATING CONDITIONS (p. 34–43)

Assem Kabdoldina

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6416-1979>

Zhomart Ualiyev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5021-2154>

Nurzhigit Smailov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Feruza Malikova

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0527-322X>

Kuralay Oralkanova

CSI D. Kunayev Secondary School, Praporshikova, East Kazakhstan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6813-0889>

Murat Baktybayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5931-3149>

Dinara Arinova

Auezov University, Shymont, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7074-9904>

Askar Khikmetov

International Information Technology University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3045-7592>

Aktoty Shaikulova

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6121-123X>

Lashin Bazarbay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8694-8622>

The objects of research are the designs and manufacturing technologies of a combined fiber-optic sensor. It is used in extreme operating conditions. The essence of the task is to study the constructive and technological compatibility of optical and micromechanical principles of simultaneous measurement of several heterogeneous physical quantities. In this regard, the chosen modular conversion principle solves the problem of combined conversion. The developed design and technology of the electro-adhesive connection make it possible to significantly reduce the internal mechanical stresses in the sensor and thereby increase the stability of the combined sensors in extreme operating conditions. Analytical models linking the magnitude and orientation of internal mechanical stresses with the characteristics of temporary stability for complex structures, as a rule, are absent. In practice, the obtained research results can be applied to combined pressure and temperature sensors, pressure and vibration, etc.

Keywords: fiber optic, sensor, formation, electro-adhesive, connection, etching, stability, combination of functions

References

- Ghorat, M., Gharehpetian, G. B., Latifi, H., Hejazi, M. A., Bagheri, M. (2019). High-Resolution FBG-Based Fiber-Optic Sensor with Temperature Compensation for PD Monitoring. *Sensors*, 19 (23), 5285. doi: <https://doi.org/10.3390/s19235285>
- Mikhailov, P., Ualiyev, Z., Kabdoldina, A., Smailov, N., Khikmetov, A., Malikova, F. (2021). Multifunctional fiber-optic sensors for space infrastructure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 80–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242995>
- Song, P., Ma, Z., Ma, J., Yang, L., Wei, J., Zhao, Y., Zhang, M., Yang, F., Wang, X. (2020). Recent Progress of Miniature MEMS Pressure Sensors. *Micromachines*, 11 (1), 56. doi: <https://doi.org/10.3390/mi11010056>
- Bai, L., Zheng, G., Sun, B., Zhang, X., Sheng, Q., Han, Y. (2021). High-precision optical fiber pressure sensor using frequency-modulated continuous-wave laser interference. *AIP Advances*, 11 (2), 025038. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0035643>
- Korolev, V. A., Potapov, V. T. (2011). Volokonno-opticheskie datchiki temperatury i davleniya v biomedicine. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii tom. XVIII*, 3, 256–258.
- Pevec, S., Donlagic, D. (2014). Miniature fiber-optic sensor for simultaneous measurement of pressure and refractive index. *Optics Letters*, 39 (21), 6221–6224. doi: <https://doi.org/10.1364/ol.39.006221>
- Mendoza, E. A., Esterkin, Y., Kempen, C., Sun, Z. (2011). Multi-channel monolithic integrated optic fiber Bragg grating sensor interrogator. *Photonic Sensors*, 1 (3), 281–288. doi: <https://doi.org/10.1007/s13320-011-0021-8>
- Zhou, N., Jia, P., Liu, J., Ren, Q., An, G., Liang, T., Xiong, J. (2020). MEMS-Based Reflective Intensity-Modulated Fiber-Optic Sensor for Pressure Measurements. *Sensors*, 20 (8), 2233. doi: <https://doi.org/10.3390/s20082233>
- Tcaplin, A. I., Repin, V. N. (2004). Pat. No. 2269755 RU. Volokonno-opticheskie datchiki davleniya. MPK: G01L11/02. declared: 07.07.2004; published: 10.02.2006.
- Stoesh, K. U., Boid, K. D. (2013). Pat. No. 2473874 RU. Raspredelenye opticheskie datchiki davleniya i temperatury. MPK: G01L11/02. declared: 29.06.2009; published: 27.01.2013.
- Mikhailov, P., Ualiyev, Z. (2020). Sensor stability assurance problems and their relationship with the overall problems of providing system performance quality. *MATEC Web of Conferences*, 329, 03032. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903032>
- Timoshenkov, S. P., Boiko, A. N., Simonov, B. M. (2010). Metody sborki i montazha maketnykh obraztsov mikroelektromekhanicheskikh sistem. *Izvestiya vuzov. Elektron*, 84, 58–63.
- Ozhikenov, K., Mikhailov, P., Kabdoldina, A., Ualiyev, Zh. (2018). The forming processes of local removal of semiconductor materials in micro-mechanical devices manufacturing technologies *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9 (10), 1356–1367.
- Andreev, K. A., Vlasov, A. I., Shakhnov, V. A. (2014). Kremniyevye preobrazovateli davleniya s zashchitoy ot peregruzki. *Datchiki i sistemy*, 10, 54–57.
- Sinev, L. S. (2014). Osobennosti ispolzovaniia elektrostatcheskikh soedinenii kremniia so steklom v tekhnologii mikrosistem. *Inzhenernyi vestnik. MGTU im. N.E.Baumana*, 5, 501–509.
- Khandan, O., Stark, D., Chang, Alexander., Rao, M. P. (2014). Wafer-scale titanium anodic bonding for microfluidic applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 205, 244–248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.08.083>
- Ushkov, A. V., Kozlov, A. N. (2007). Design, manufacture and research of silicon pressure sensing elements with built-in protection against overload. *Nano- and microsystems. tech.*, 5, 49–51.
- Dragoi, V., Pabo, E., Burggraf, J., Mittendorfer, G. (2012). CMOS-compatible wafer bonding for MEMS and wafer-level 3D integration. *Microsystem Technologies*, 18 (7–8), 1065–1075. doi: <https://doi.org/10.1007/s00542-012-1439-7>
- Ran, Z., He, X., Rao, Y., Sun, D., Qin, X., Zeng, D. et al. (2021). Fiber-Optic Microstructure Sensors: A Review. *Photonic Sensors*, 11 (2), 227–261. doi: <https://doi.org/10.1007/s13320-021-0632-7>
- Mikhailov, P. G. (2021). Modeling the Influence of the Edge Electrostatic Effect on the Transformation Function of Thin-Film Quasi-Differential Capacitive Sensitive Elements. *Journal of Physics: Conference Series*, 2096 (1), 012143. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012143>
- Wang, Y. (2012). Fiber-Optic Sensors for Fully-Distributed Physical, Chemical and Biological Measurement. Blacksburg. Available at: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/19222/Wang_Y_D_2013.pdf?sequence=1
- Bachin, V. A. (1986). *Diffuzionnaya svarka stekla i keramiki s metalami*. Moscow: Mashinostroenie, 184.
- Ouyang, Y., Guo, H., Ouyang, X., Zhao, Y., Zheng, Z., Zhou, C., Zhou, A. (2017). An In-Fiber Dual Air-Cavity Fabry–Perot Interferometer for Simultaneous Measurement of Strain and Directional Bend. *IEEE Sensors Journal*, 17 (11), 3362–3366. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2693501>
- Pargfrieder, S. et al. (2004) New low temperature bonding technologies for the MEMS Industry. The 6th Korean MEMS Conf.
- Yufeng, J., Jiayun, Z. (2005). MEMS Vacuum Packaging Technology and Applications. 2005 6th International Conference on Electronic Packaging Technology. doi: <https://doi.org/10.1109/icept.2005.1564710>
- Chernov, A. S., Samorodov, A. L., Khabarov, S. P., Gridchin, V. A. (2016). Fotochuvstvitelnyi element dlia sensora davleniya s opticheskoj prostranstvennoy moduliaciei. *Nano- i mikrosistemnaia tekhnika*, 18 (7), 416–423.
- Sinev, L. S., Riabov, V. T. (2011). Soglasovanie koeffitientov termicheskogo rasshireniia pri elektrostatcheskom soedinenii kremniia so steklom. *Mikro- i nanosistemnaia tekhnika*, 5, 24–27.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265771

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КРЕМНІЮ З ТОЧКИ ЗОРУ ТЕХНІЧНОЇ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПОРІВНЯННЯ З ТРАДИЦІЙНИМ МЕТОДОМ ОТРИМАННЯ (с. 6–15)

Dastan Kalygulov, Sergei Plotnikov, Philippe Lay

У роботі досліджується потенціал для створення фотоелементів з казахстанських напівпровідників р-типу за металургійною стратегією з використанням переваг інноваційної технології виробництва монокристалічного кремнію. Згідно з дослідницькою інформацією, можна побачити, що термін служби має низькі показники на фотоелементі, взятому з верхньої частини злитків перед процесом геттерування. Це відноситься до багат шарових склоподібних кремнієвих елементів. Після диспергування фосфору можна спостерігати збільшення загальної ефективності, в незалежності від досліджуваного матеріалу. Взагалі кажучи, зменшення дійсного терміну служби носіїв заряду в кремнії може статися через присутність великої кількості металевих домішок, які можуть створювати утворення у вигляді відкладень в дефектах кристалів або розчинятися в кремнії. Показано, що кремній, розроблений за допомогою інноваційної технології виробництва монокристалічного кремнію, має більш тривалий термін служби носія в порівнянні зі стандартним полікристалічним кремнієм. Також було показано, що протягом часу, витраченого на виготовлення фотоелемента, термін служби носіїв заряду збільшується через вплив геттерування без додаткових процесів очищення. Переваги створеної інноваційної технології були помічені в ступені фотоелементів, проявилися у підвищенні продуктивності та зниженні передачі ефективності на рівні злитка. В цілому, показано, що фотоелемент, виготовлений з монокристалічного кремнію, має досить низьке зниження продуктивності при впливі світла. Монокристалічний кремній рано чи пізно може стати проривом у фотоелектричній галузі через великий потенціал для розробки фотоелементів з високою продуктивністю і критичним зниженням витрат.

Ключові слова: кремній, монокристалічний, фотоелементи, спрямована кристалізація, погіршення властивостей під дією світла, загальна ефективність, вихідна напруга, фотоелектричний, кристалічний, провідність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265861

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА З ШУНТУВАННЯМ МАГНІТНОГО ПОТОКУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ (с. 16–25)

М. Я. Островерхов, В. В. Чумак, О. Л. Тимошук, М. А. Коваленко, Є. С. Ігнатюк

Об'єктом дослідження в роботі є трифазний магнітоелектричний генератор із шунтуванням магнітного потоку на основі серійних асинхронних електродвигунів.

Наявність магнітного шунта дозволяє керувати напругою генератора за допомогою зміни струму збудження в безконтактній електричній обмотці магнітного шунта, яка живиться постійним струмом. Таким чином вирішується проблема стабілізації вихідної напруги генератора із постійними магнітами при зміні швидкості обертання та навантаження.

У роботі розроблено тривимірну польову математичну модель генератора, що дозволяє здійснювати електромагнітні розрахунки генератора з заданими параметрами з урахуванням впливу кінцевих ефектів, магнітних полів розсіювання та їх радіально-аксіального характеру. Результати розрахунку електромагнітного поля є вихідними параметрами для розробки імітаційної моделі в середовищі MATLAB-Simulink. Розроблено імітаційну модель магнітоелектричного генератора із шунтуванням магнітного потоку в умовах зміни швидкості обертання та навантаження в середовищі MATLAB-Simulink.

На основі розроблених моделей отримано робочі характеристики магнітоелектричного генератора із шунтуванням магнітного потоку, які показують межі керування вихідною напругою. Отримано регульовальні характеристики при нульовому та номінальному струмі шунта для різного типу навантаження. Представлено регульовальні характеристики генератора при номінальній напрузі генератора для різного типу навантаження та при збільшенні до 150 % від номінального значення. Результати дослідження показують високу ефективність системи керування напругою магнітоелектричного генератора з магнітним шунтом при різних швидкостях обертання та навантаження.

Ключові слова: магнітоелектричний генератор, магнітний шунт, керування напругою, зміна навантаження, зміна швидкості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266267

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК (с. 25–33)

А. К. Сандлер, В. В. Будашко

Існуючі інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) за своїми характеристиками не повною мірою відповідають завданням моніторингу електроенергетичних установок (ЕЕУ). Можливості ІВС мають певні обмеження щодо вірогідності результатів вимірювання та ступені інваріантності до впливу експлуатаційних факторів. Це доводить, що для сучасної технічної експлуатації ЕЕУ до передвідомного стану затребувані нові засоби діагностування. Такі засоби повинні органічно імплементитися до

ІВС, забезпечувати високу експлуатаційну ефективність та надійність функціонування. Тому особливої актуальності набуває розв'язання науково-технічної проблеми раціонального сполучення захисту та збереження характеристик волоконно-оптичних датчиків відносної вологості систем контролю суднових ЕЕУ. Для вирішення проблеми визначено об'єкт дослідження – процеси формування й перетворення діагностичного сигналу у засобі контролю вологості. Встановлено, що вдосконалення характеристик засобів контролю може бути досягнуто за рахунок синтезу відомих оптичних схем та новітніх матеріалів. Для реєстрації параметрів відносної вологості запропоновано нове схематехнічне рішення датчика на основі волоконно-оптичних та елементів з наноматеріалів. Основна відмінність запропонованого засобу моніторингу полягає в інваріантності до експлуатаційних дестабілізуючих факторів. Сфера використання отриманих результатів дослідження залучає до себе розподілені волоконно-оптичні системи моніторингу технічного стану суднових електроенергетичних систем. Впровадження нового засобу вимірювання вологості дозволить досягти підвищення ефективності використання та надійності ЕЕУ за рахунок зниження аварійності на 6...11 %, та зменшення експлуатаційних витрат на 8...10 ам. дол. на 1 кВт-г генерованої потужності за рік роботи зі середньостатистичним навантаженням.

Ключові слова: електроенергетичні установки, відносна вологість, оптичне волокно, показник заломлення, шарувата структура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266359

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (с. 34–43)

Assem Kabdoldina, Zhomart Ualiyev, Nurzhigit Smailov, Feruza Malikova, Kuralay Oralkanova, Murat Baktybayev, Dinara Arinova, Askar Khikmetov, Aktoty Shaikulova, Lashin Bazarbay

Об'єктами дослідження є конструкції та технології виготовлення комбінованого волоконно-оптичного датчик, що використовується в екстремальних умовах експлуатації. Суть завдання полягає у дослідженні конструктивної та технологічної сумісності оптичних та мікромеханічних принципів одночасного вимірювання кількох різнорідних фізичних величин. У зв'язку з цим обраний модульний принцип перетворення вирішує проблему комбінованого перетворення. Розроблена конструкція та технологія електроадгезійного з'єднання дозволяють значно знизити внутрішні механічні напруги в датчику і тим самим підвищити стійкість комбінованих датчиків в екстремальних умовах експлуатації. Аналітичні моделі, що пов'язують величину та спрямованість внутрішніх механічних напруг з характеристиками тимчасової стійкості складних конструкцій, як правило, відсутні. На практиці отримані результати досліджень можуть бути застосовані до комбінованих датчиків тиску та температури, тиску та вібрації та ін.

Ключові слова: оптоволокно, датчик, формування, електроадгезія, з'єднання, травлення, стабільність, суміщення функцій.