

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364889

**IDENTIFYING THE STRUCTURE-PROPERTY RELATIONSHIPS IN RECYCLED EXPANDED POLYSTYRENE-COCONUT COIR FIBER BIOCOSMOSITES FOR ACOUSTIC APPLICATIONS (p. 6–17)****I Ketut Gede Sugita**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7205-7572>**Ngakan Putu Gede Suardana**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8146-571X>**Jefri S. Bale**Universitas Nusa Cendana, Nusa Tenggara Timur, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9946-8110>**Cipk Kencanawati**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1555-2804>**I Putu Lokantara**Udayana University, Badung, Bali, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3184-5781>

The object of this study is sustainable acoustic panel materials for building noise-control and sound-insulation applications. The large-scale generation of expanded polystyrene (EPS) waste presents a significant environmental challenge due to its inherent resistance to natural degradation. Recycled expanded polystyrene (EPS) reinforced with coconut coir fibers was investigated as a potential material for these applications. The EPS waste was first dissolved in commercial gasoline (Pertalite) via cold dissolution, subsequently blended with 5–60 vol% coconut coir fibers, and fabricated into composites using standard casting techniques. The acoustic and mechanical properties of the resulting materials were evaluated using an impedance tube (ASTM E1050-98) and flexural testing (ASTM D790-03), respectively. Experimental results demonstrated that the optimal solvent-to-EPS ratio was 3:1, yielding a highly homogeneous matrix ideal for composite fabrication. Acoustic analysis revealed that most specimens achieved a sound absorption coefficient exceeding 0.2; the sole exception was the composite containing a 5 vol% fiber fraction, which recorded a value of 0.1 at 500 Hz. Furthermore, the sound absorption capacity consistently improved with increasing frequency, highlighting the efficacy of the composites across the mid- to high-frequency spectrum. Regarding mechanical performance, evaluations indicated that the composite incorporating a 30 vol% fiber fraction achieved the maximum flexural strength and modulus. Overall, these findings establish that bio composites derived from EPS waste and coconut coir fibers possess substantial potential as sustainable acoustic materials, delivering both functional performance and tangible environmental benefits.

**Keywords:** expanded polystyrene waste, coconut coir fibers, polymer composites, sound absorption, flexural properties.

**References**

- Curiac, A. S., Petre, A., Stoica, A., Sandu, S. (2017). Preparation of adhesives from the expandable polystyrene waste. *Journal of Young Scientist*, V. Available at: [https://journalofyoungscientist.usamv.ro/pdf/vol\\_V\\_2017/Art3.pdf](https://journalofyoungscientist.usamv.ro/pdf/vol_V_2017/Art3.pdf)
- A Global Call for Climate Action. Available at: <https://www.un.org/it/node/71013>
- Seghiri, M., Boutoutaou, D., Kriker, A., Hachani, M. I. (2017). The Possibility of Making a Composite Material from Waste Plastic. *Energy Procedia*, 119, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.065>
- Brahmakumar, M., Pavithran, C., Pillai, R. (2005). Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. *Composites Science and Technology*, 65 (3-4), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2004.09.020>
- Suardana, N. P. G., Sugita, I. K. G., Wardana, I. G. N. (2020). Hybrid acoustic panel: the effect of fiber volume fraction and panel thickness. *Materials Physics and Mechanics*, 44 (1), 77–82. [https://dx.doi.org/10.18720/MPM.4412020\\_9](https://dx.doi.org/10.18720/MPM.4412020_9)
- Moreno, A., Lejniaks, J., Galià, M., Lligadas, G., Percec, V. (2018). Acetone: a solvent or a reagent depending on the addition order in SET-LRP. *Polymer Chemistry*, 9 (45), 5411–5417. <https://doi.org/10.1039/c8py01331d>
- García, M. T., Gracia, I., Duque, G., Lucas, A. d., Rodríguez, J. F. (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Management*, 29 (6), 1814–1818. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.01.001>
- Allard, J. F., Atalla, N. (2009). *Propagation of Sound in Porous Media*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470747339>
- Asdrubali, F., Schiavoni, S., Horoshenkov, K. V. (2012). A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications. *Building Acoustics*, 19 (4), 283–311. <https://doi.org/10.1260/1351-010x.19.4.283>
- Yang, H.-S., Kim, D.-J., Kim, H.-J. (2003). Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology*, 86 (2), 117–121. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00163-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00163-3)
- Bai, P., Yang, X., Shen, X., Zhang, X., Li, Z., Yin, Q. et al. (2019). Sound absorption performance of the acoustic absorber fabricated by compression and microperforation of the porous metal. *Materials & Design*, 167, 107637. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107637>
- Venegas, R., Zieliński, T. G., Núñez, G., Bécot, F.-X. (2021). Acoustics of porous composites. *Composites Part B: Engineering*, 220, 109006. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109006>
- Zaafarani, N. N., Nour, M., El-Kassas, A. M., Elsheikh, A. (2023). A new recycled high-impact polystyrene-rice straw composite: eco-friendly fabrication and characterization. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21 (2), 1193–1202. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05039-9>
- Karaoui, M., Hsissou, R., Alami, M., Assouag, M. (2023). Thermal, flow, and mechanical properties of composites based on polystyrene (PS) and snail shell powder (SSP) biofiller (PS/SSP). *Iranian Polymer Journal*, 32 (5), 621–631. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-01151-2>
- Zhang, J., Shen, Y., Jiang, B., Li, Y. (2018). Sound Absorption Characterization of Natural Materials and Sandwich Structure Composites. *Aerospace*, 5 (3), 75. <https://doi.org/10.3390/aerospace5030075>
- Hassan, T., Jamshaid, H., Mishra, R., Khan, M. Q., Petru, M., Novak, J. et al. (2020). Acoustic, Mechanical and Thermal Properties of Green Composites Reinforced with Natural Fibers Waste. *Polymers*, 12 (3), 654. <https://doi.org/10.3390/polym12030654>
- Hou, Z., Ma, X., Pan, L., Zhang, R., Wang, L. (2024). Study on the sound absorption characteristics and noise reduction mechanism of coconut-shell-activated carbon particles and coconut fiber composite biomass sound-absorption materials. *Materials Research Express*, 11 (11), 115603. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad923f>
- Suardana, N. P. G., Lokantara, I. P., Lim, J. K. (2011). Influence of water absorption on mechanical properties of coconut coir fiber/

- poly-lactic acid biocomposites. *Materials Physics and Mechanics*, 12 (2), 113–125. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/268267847\\_Influence\\_of\\_water\\_absorption\\_on\\_mechanical\\_properties\\_of\\_coconut\\_coir\\_FiberPolyLactic\\_acid\\_biocomposites](https://www.researchgate.net/publication/268267847_Influence_of_water_absorption_on_mechanical_properties_of_coconut_coir_FiberPolyLactic_acid_biocomposites)
19. ASTM E1050-98. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones, and a Digital Frequency Analysis System (1998). ASTM International.
  20. Rusli, M., Nanda, R. S., Dahlan, H., Bur, M., Okuma, M. (2021). Sound Absorption Characteristics of Composite Panel Made from Coconut Coir and Oil Palm Empty Fruit Bunches Fibre with Polyester. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 18 (3), 9022–9028. <https://doi.org/10.15282/ijame.18.3.2021.14.0691>
  21. ASTM D790-25. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International. <http://doi.org/10.1520/D0790-25>
  22. Sun, W., Pan, B., Song, X., Xiao, H., Zhou, J., Sui, D. (2022). A novel sound absorber design of nanofibrous composite porous material. *Materials & Design*, 214, 110418. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110418>
  23. Hosseini, M., H., M., Ghassem, M., Shamel, M., Yeng, S., Yi, S., Zong, P., Mohd Nor, M. J. (2013). Utilizing Malaysian Natural Fibers as Sound Absorber. Modeling and Measurement Methods for Acoustic Waves and for Acoustic Microdevices. <https://doi.org/10.5772/53197>
  24. Kiran, M. C., Mamatha, B. S., Anand, N., Prakash, V., Murthy, N. (2019). Efficiency of Coir Particle Board for Acoustic & Thermal Applications. *Open Journal of Acoustics*, 09 (03), 39–47. <https://doi.org/10.4236/oja.2019.93004>
  25. Chin Vui Sheng, D. D., Yahya, M. N. B., Che Din, N. B. (2020). Sound Absorption of Microperforated Panel Made from Coconut Fiber and Polylactic Acid Composite. *Journal of Natural Fibers*, 19 (7), 2719–2729. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1821290>
  26. Mohammed, A., Rao, D. N. (2023). Investigation on mechanical properties of flax fiber/expanded polystyrene waste composites. *Heliyon*, 9 (3), e13310. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13310>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359420

**IDENTIFYING THE HARDNESS LEVEL OF RECYCLED ALUMINUM WITH THE ADDITION OF CU POWDER THROUGH A MELTING MECHANISM BELOW THE MELTING POINT AND PRECIPITATION REINFORCEMENT (p. 18–27)**

**Erwin**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2755-6215>

**Juan Pratama**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-0045-3120>

**Didik Sugiyanto**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4064-0235>

**Yefri Chan**

Darma Persada University  
 Taman Malaka Selatan str., 8, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6205-2322>

**Trisna Ardi Wiradinata**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-2479-1026>

**M. Arik Febrian**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-2741-3318>

**Dien Alma Ariz**

Darma Persada University, Pondok Kelapa, Duren Sawit, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-4163-0765>

The object of this study is the alloy of Al–Cu with recycled aluminum and the addition of copper powder. The current problem is the use of aluminum waste, which is still very limited, and the mechanical properties of aluminum waste are declining, so material manufacturing engineering technology is needed to process the aluminum waste into new materials used for various applications, so that it can reduce the energy consumption of the manufacturing process and improve mechanical properties.

This study aims to increase alloy hardness by adding recycled aluminum in the form of copper powder, using sub-melting-point processing and precipitation. It addresses rising industrial demand for aluminum and the need for superior mechanical properties, focusing on eco-friendly products, recycled materials, and energy-saving smelting practices. Results show that aluminum combined with copper powder can be processed below copper's melting point via diffusion in Al<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub> and Al<sub>95</sub>Cu<sub>5</sub> at 1000°C and 1050°C, respectively, with both aged at 300°C. Hardness increased from 25 HBW to 94 HBW in Al<sub>90</sub>Cu<sub>10</sub> over the temperature range of 1000°C to 1050°C.

This research addresses the growing problem of aluminum waste by recycling it into products with enhanced mechanical properties. Adding copper powder and melting at a low temperature reduces energy use during smelting. The aging strengthening mechanism increases the hardness of aluminum alloys, meeting industrial needs. The increased hardness and wear resistance of the recycled products of Al–Cu alloys developed in this study can have the potential to be applied to non-structural mechanical elements that have an impact on environmentally friendly and energy-efficient manufacturing processes.

**Keywords:** aluminum recycling, mechanical properties, Al Cu precipitation, below melting point.

**References**

1. Cui, L., Liu, K., Chen, X.-G. (2025). Recent advances in cost-effective aluminum alloys with enhanced mechanical performance for high-temperature applications: A review. *Materials & Design*, 253, 113869. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.113869>
2. Starink, M. J., Yan, J. L. (2006). Precipitation Hardening in Al-Cu-Mg Alloys: Analysis of Precipitates, Modelling of Kinetics, Strength Predictions. *Materials Science Forum*, 519-521, 251–258. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.519-521.251>
3. Hu, Y., Wang, G., Jiang, Q., Xiao, W., Rong, Y. (2017). Precipitation Strengthening Behavior of Al-Cu-Mn Alloys with the Effect of Casting Segregation. *Contributed Papers from MS&T17*, 193–200. [https://doi.org/10.7449/2017/mst\\_2017\\_193\\_200](https://doi.org/10.7449/2017/mst_2017_193_200)
4. Amer, S., Yakovtseva, O., Loginova, I., Medvedeva, S., Prosviryakov, A., Bazlov, A. et al. (2020). The Phase Composition and Mechanical Properties of the Novel Precipitation-Strengthening Al-Cu-Er-Mn-Zr Alloy. *Applied Sciences*, 10 (15), 5345. <https://doi.org/10.3390/app10155345>
5. Yang, M., Liu, S., Zhang, Y., Tang, J., Zhang, M. (2023). Mechanism for enhanced precipitation strengthening due to the addition of copper to Al-Zn-Mg alloys with high Zn/Mg ratio. *Materials & Design*, 234, 112295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112295>
6. Uzun, M., Karabiyik, S., Alemdag, Y., Savaşkan, T. (2025). Effect of thermomechanical treatment on the microstructure and mechanical properties of Al-40Zn-3Cu alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 1022, 179894. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.179894>

7. Xu, X., Tong, X., Wu, G., Zhang, L. (2025). Ameliorating the microstructure and mechanical properties of Al-Cu-Li alloy through aging temperature in a novel thermo-mechanical treatment. *Microstructures*, 5 (4). <https://doi.org/10.20517/microstructures.2024.143>
8. Bui, T. N. M., Vu, A. T., Nguyen, D. N., Tran, D. H. (2022). Research on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloy when modified by La, Ce and thermo-mechanical treatment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 101–111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001792>
9. Chang, K.-C., Miu, C.-F., Hung, F.-Y. (2025). Enhanced microstructure, mechanical properties, and thermal stability of powder metallurgy Al-Ni-Cu-Fe alloy through thermomechanical processing and recrystallization. *Materials Today Advances*, 26, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2025.100581>
10. JIS H 4000. Aluminium and aluminium alloy sheets, strips and plates. Japanese Standards Association. Available at: [https://webdesk.jsa.or.jp/preview/pre\\_jis\\_h\\_04000\\_000\\_000\\_2014\\_e\\_ed10\\_i4.pdf](https://webdesk.jsa.or.jp/preview/pre_jis_h_04000_000_000_2014_e_ed10_i4.pdf)
11. JIS H 2501. Phosphor copper metal. Japanese Standards Association.
12. ASTM E3. Standard guide for preparation of metallographic specimens. ASTM International.
13. ASTM E407. Standard practice for microetching metals and alloys. ASTM International.
14. ASTM E10-23. Standard test method for Brinell hardness of metallic materials. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/e0010-23>
15. Chen, P., Li, X., Lin, H., Wen, K., Li, Y., Wang, S. et al. (2025). Influence of Cu Content on Precipitation Behavior and Mechanical Properties Under Aging Treatment of Al-Cu-Li Alloys. *Materials*, 18 (10), 2172. <https://doi.org/10.3390/ma18102172>
16. Shen, G., Xiang, Z., Ma, X., Huang, J., Li, J., Wang, B. et al. (2023). Microstructures and Mechanical Properties of a Nanostructured Al-Zn-Mg-Cu-Zr-Sc Alloy under Natural Aging. *Materials*, 16 (12), 4346. <https://doi.org/10.3390/ma16124346>
17. Soeprapto, W., Erwin, Sudjito, Irawan, Y. S., Lubay, A., Rasta Satya, I. (2025). Effect of nickel solubility in ADC12 melt on its characteristic. *Journal of Physics: Conference Series*, 2972 (1), 12043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2972/1/012043>
18. Erwin, Suprpto, W., Sugiarto, Setyarini, P. H. (2025). Ternary diagram of Cu-Zn-Ni alloy fabricated by casting process. The 5th International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering, 3320, 60003. <https://doi.org/10.1063/5.0286919>
19. Erwin, E., Sugiyanto, D., Faturahman, D., Chan, Y., Asbanu, H. (2024). Effect of the brass waste recycling process on mechanical properties with investment casting for gear materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (130)), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299764>
20. Erwin, Suprpto, W., Sugiarto, Setyarini, P. H. (2024). Comparison of the accuracy of OES and EDX tests on nickel dissolving in brass casting. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 148–158. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003284>
21. Erwin, Suprpto, W., Sugiarto, Setyarini, P. H. (2025). Effect of lead elimination by adding nickel to brass on mechanical properties through a permanent casting process. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 192–206. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003477>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365569

#### DETERMINATION OF THE EFFECT OF THE ELECTROHYDRAULIC METHOD ON THE CRUSHING OF METALLURGICAL SILICON (p. 28–35)

**Bekbolat Nussupbekov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2907-3900>

**Gulden Bulkairova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-2214>

**Gulzira Mussina**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3857-6597>

**Saule Sakipova**

Karaganda national research university named after Ye.A. Buketov,  
Karaganda, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7505-8413>

**Aizada Muratova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-4909>

The object of the study is metallurgical silicon obtained from the «Tau-KenTemir» LLP plant, located in the Karaganda Region of the Republic of Kazakhstan. The problem that needs to be solved in the framework of this study is the high technological complexity, multi-stage nature and significant cost of traditional processes for cleaning metallurgical silicon from related chemical impurities.

An electrohydraulic unit was designed and assembled for the grinding of metallurgical silicon. The processing of metallurgical silicon was carried out with an increase in the discharge voltage of the storage device from 16 kV to 27 kV, the length of the interelectrode distance from 5mm to 11 mm, the capacitor capacity of 0.4 UF and the processing time of 5 min. Using the electrohydraulic method, particles of metallurgical silicon with an initial fraction of 3 mm, 5 mm and 10 mm were crushed to 0.074 mm. The results of crushing metallurgical silicon under the influence of the electrohydraulic method in a liquid medium allowed to determine the degree of grinding of the material.

Surface and quantitative analyses of powdered metallurgical silicon samples were performed using a scanning electron microscope and a Rigaku Simultix 15 spectrometer (Rigaku Corporation, produced in Japan).

The results obtained can be used in the study of the grinding characteristics of metallurgical silicon. High-purity silicon (polycrystalline and monocrystalline silicon) is widely used as a base material in the production of semiconductor devices and photovoltaic cells. It is also used in ferrous and non-ferrous metallurgy to produce alloys, as well as a raw material to produce high-purity silicon.

**Keywords:** metallurgical silicon, electrohydraulics, cell, grinding, voltage, fraction, analysis, microscope, spectrometer.

#### References

1. Mukashev, B., Betekbaev, A., Skakov, D., Pellegrin, I., Pavlov, A., Bektemirov, Zh. (2014). Upgrading Metallurgical Grade Silicon to Solar Grade Silicon. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 16 (4), 309–313. <https://doi.org/10.18321/ectj11>
2. Serikkanov, A., Pavlov, A., Mukashev, B., Turmagambetov, T., Kantarbayeva, D., Zholdybayev, K. (2022). The Possibility of Silicon Purification by Metallurgical Methods: Part I. Processes, 10 (7), 1353. <https://doi.org/10.3390/pr10071353>
3. Safarian, J., Tranell, G., Tangstad, M. (2012). Processes for Upgrading Metallurgical Grade Silicon to Solar Grade Silicon. *Energy Procedia*, 20, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.011>
4. Serikkanov, A., Shongalova, A., Zholdybayev, K., Tokmoldin, N., Turmagambetov, T., Pavlov, A., Mukashev, B. (2022). Integration of Kazakhstan Technologies for Silicon and Monosilane Production with the Suitable World Practices for the Production of Solar Cells and Panels. Processes, 10 (7), 1303. <https://doi.org/10.3390/pr10071303>
5. Eshfahani, S., Barati, M. (2011). Purification of metallurgical silicon using iron as an impurity getter part I: Growth and separation of Si. *Metals and Materials International*, 17 (5), 823–829. <https://doi.org/10.1007/s12540-011-1021-3>

6. Yang, J., Zhu, P., Li, H., Li, Z., Huo, X., Ma, S. (2022). Research on the Relationship between Multi-Component Complex Ore and Its Component Minerals' Grinding Characteristics under Abrasion Force. *Minerals*, 13 (1), 6. <https://doi.org/10.3390/min13010006>
7. Zeng, R., Wang, Y. H., Zhang, J. X., Xu, J. Q., Li, H. Y., Chen, X. F., Xing, W. D. (2012). Hydrometallurgical Purification of Metallurgy Grade Silicon by Acid Leaching. *Advanced Materials Research*, 549, 428–431. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.549.428>
8. Rizun, A. R., Curkin, V. N. (2002). Elektrorazryadnoe razrushenie nemetallicheskih materialov. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 38 (1), 83–85. Available at: <https://com.ifa.md/en/journal/shortview/1638>
9. Gribov, B. G., Zinov'ev, K. V. (2003). Preparation of High-Purity Silicon for Solar Cells. *Inorganic Materials*, 39 (7), 653–662. <https://doi.org/10.1023/a:1024553420534>
10. Chigondo, F. (2017). From Metallurgical-Grade to Solar-Grade Silicon: An Overview. *Silicon*, 10 (3), 789–798. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9532-7>
11. Luo, D. (2017). Study on the Preparation of Solar Grade Silicon by Metallurgical Method. *New Research on Silicon - Structure, Properties, Technology*. <https://doi.org/10.5772/67643>
12. Li, J.-W., Guo, Z.-C., Tang, H.-Q., Li, J.-C. (2013). Removal of Impurities from Metallurgical Grade Silicon by Liquefaction Refining Method. *Httmp*, 32 (5), 503–510. <https://doi.org/10.1515/htmp-2012-0157>
13. Mei, J., Yu, W., Hou, P., Xue, Y., Xin, Y., Yan, K. (2020). Purification of Metallurgical Grade Silicon Via the Mg-Si Alloy Refining and Acid Leaching Process. *Silicon*, 13 (2), 341–350. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00439-9>
14. Alpysbay Z., Abilkaiyr, Z. (2024). Mechanical gearbox production technology. *Journal of Energy, Mechanical Engineering and Transport*, 1 (3), 6–12. Available at: <https://met.journal.satbayev.university/index.php/journal/article/view/1250>
15. Denisuk, T. D., Rizun, A. R., Blashchenko, A. D. (2024). Study of Hydrodynamic Characteristics of the Pulse-Wave Action under Various Process Conditions in Electric-Discharge Machines for the Destruction of Nonmetallic Materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 60 (6), 874–882. <https://doi.org/10.3103/s1068375524700480>
16. Rizun, A. R., Kosenkov, V. M., Holen, U. V., Denisuk, T. D. (2010). Development and introduction of electro-bit process of metallurgical silicon disintegration металлургического кремния. *Nauka ta innovatsiyi*, 6 (6), 25–30. Available at: <http://scinn.org.ua/sites/default/files/pdf/2010/N6/Rizun.pdf>
17. Khassenov, A., Bulkaïrova, G., Karabekova, D., Bolatbekova, M., Alpyssova, G., Kudussov, A., Kissabekova, P. (2024). Identification of the impact of electric pulse action on the disintegration of a natural mineral. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (127)), 54–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.289556>
18. Bulkaïrova, G., Nussupbekov, B., Bolatbekova, M., Khassenov, A., Nussupbekov, U., Karabekova, D. (2023). A research of the effect of an underwater electric explosion on the selectivity of destruction of quartz raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (123)), 30–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279009>
19. Nussupbekov, B., Duisenbayeva, M., Oshanov, Y., Satybalidin, A., Turlybekova, R. (2025). Identifying the effect of the temperature regime of a heat generating unit on the efficiency of the electrohydroimpulse degreasing of organic materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (138)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.347018>
20. Khassenov, A., Karabekova, D., Bolatbekova, M., Nussupbekov, B., Kissabekova, P., Orzabayev, R. (2025). Development of an Electric Pulse Device for Coal Grinding. *Applied Sciences*, 15 (10), 5548. <https://doi.org/10.3390/app15105548>
21. Wang, C., Niu, X., Wang, D., Zhang, W., Shi, H., Yu, L. et al. (2022). Simple preparation of Si/CNTs/C composite derived from photovoltaic waste silicon powder as high-performance anode material for Li-ion batteries. *Powder Technology*, 408, 117744. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117744>
22. Marguí, E., Queral, I., Van Grieken, R. (2016). Sample preparation for X-ray fluorescence analysis. *Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation*. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a6806m.pub3>
23. Pavani, S., Pavani, G., Veit, H. (2025). Separating materials from photovoltaic panels through thermomechanical processes and laser beams for the extraction of metals. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 60. <https://doi.org/10.5327/z2176-94782331>
24. Khassenov, A. K., Karabekova, D. Z., Bolatbekova, M. M., Kudussov, A. S., Kassymov, S. S., Chirkova, L. V. (2025). Development of Electrode of Electric Impulse Chamber for Coal Grinding. *Applied Sciences*, 15 (7), 3607. <https://doi.org/10.3390/app15073607>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365363

**IDENTIFICATION THE IMPACT OF CARBON ADDITION ON PHASE FORMATION AND ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE OF LiFePO<sub>4</sub>/C SYNTHESIZED FROM FERRONICKEL-DERIVED FEPO<sub>4</sub> (p. 36–47)**

**Vita Astini**

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1499-8364>

**Anne Zulfia Syahrial**

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3949-8437>

**Achmad Subhan**

National Research and Innovation Agency, Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0774-9220>

**Johny Wahyuadi Mudaryoto Soedarsono**

Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

The object of this study was LiFePO<sub>4</sub>/C cathode material synthesized using a ferronickel-derived FePO<sub>4</sub> precursor, with the main focus is the effect of carbon addition on phase formation and electrochemical performance. The problem was how carbon addition affects olivine LiFePO<sub>4</sub> phase formation, impurity suppression, microstructure, and electrochemical performance when a non-commercial ferronickel-derived iron precursor is used. The precursor was mixed with LiOH as a lithium source and varying amounts of carbon from Super P: 5 wt.%, 7 wt.%, and 9 wt.%. Carbon addition influenced the formation of olivine LiFePO<sub>4</sub>. At 7 wt.% LFP/C, the diffraction pattern was dominated by the LiFePO<sub>4</sub> phase, around 99.60% based on Rietveld refinement. The absence of detectable Ni by EDX suggests that Ni carryover from the ferronickel-derived precursor was minimized. The results suggest that ferronickel-derived FePO<sub>4</sub> can be used as a precursor for LiFePO<sub>4</sub>/C synthesis, and carbon addition promotes phase development with 7 wt.% as the optimum composition. The results can be practically used as a basis for developing value-added LiFePO<sub>4</sub>/C cathode materials from ferronickel-derived iron resources under controlled synthesis conditions, particularly when the FePO<sub>4</sub> precursor purity is maintained, Super P carbon is used in the range of 5–9 wt.%, and the material is processed by ball milling, preheating at 300°C, and calcination at 650°C under an argon atmosphere. The 7 wt.% LFP/C sample had a specific capacity of 140 mAh g<sup>-1</sup> at 0.1 C, but electrochemical performance still requires optimization due to particle interconnection and agglomeration. EIS data show that 7 wt.% carbon is the most favorable composition in terms of charge-transfer resistance (34.91 Ω) and conductivity (2.79 × 10<sup>-4</sup> S/cm), while 9 wt.% carbon provided the best lithium-ion diffusion characteristics (1.96 × 10<sup>-13</sup> cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>). These results indicate that ferronickel-derived iron resources have strong potential to be converted into value-added battery cathode materials.

**Keywords:** LiFePO<sub>4</sub>, ferronickel-derived FePO<sub>4</sub>, carbon addition, phase formation, cathode materials.

## References

- Mohamed, N., Allam, N. K. (2020). Recent advances in the design of cathode materials for Li-ion batteries. *RSC Advances*, 10 (37), 21662–21685. <https://doi.org/10.1039/d0ra03314f>
- Seher, J., Fröba, M. (2021). Shape Matters: The Effect of Particle Morphology on the Fast-Charging Performance of LiFePO<sub>4</sub>/C Nanoparticle Composite Electrodes. *ACS Omega*, 6 (37), 24062–24069. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03432>
- Lara, C., Maril, M., Tobosque, P., Núñez, J., Pizarro, L., Carrasco, C. (2025). Comprehensive analysis of improved LiFePO<sub>4</sub> kinetics: Understanding barriers to fast charging. *Journal of Power Sources*, 640, 236747. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236747>
- Kaur, G., Gates, B. D. (2022). Review – Surface Coatings for Cathodes in Lithium Ion Batteries: From Crystal Structures to Electrochemical Performance. *Journal of the Electrochemical Society*, 169 (4), 43504. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac60f3>
- Chen, S.-P., Lv, D., Chen, J., Zhang, Y.-H., Shi, F.-N. (2022). Review on Defects and Modification Methods of LiFePO<sub>4</sub> Cathode Material for Lithium-Ion Batteries. *Energy & Fuels*, 36 (3), 1232–1251. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c03757>
- Kang, H., Wang, G., Guo, H., Chen, M., Luo, C., Yan, K. (2012). Facile Synthesis and Electrochemical Performance of LiFePO<sub>4</sub>/C Composites Using Fe–P Waste Slag. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (23), 7923–7931. <https://doi.org/10.1021/ie300088p>
- Kumar, K., Kumar, S., Sen, A., Mediboyana, H., Bag, S. S., Kundu, R. (2024). Utilizing Cold Rolling Mill Iron Oxide To Synthesize Lithium Iron Phosphate for Li-Ion Batteries. *ACS Sustainable Resource Management*, 1 (6), 1185–1194. <https://doi.org/10.1021/acssusresmg.4c00065>
- Khalil, S. B., Broughel, A. (2025). Stainless success, battery lag: Evaluation of Indonesia's resource nationalism in nickel. *The Extractive Industries and Society*, 23, 101677. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2025.101677>
- Jeong, T., Mohanty, S. K., Kwon, W. J., Reddy, S. C., Pati, A. R., Ryu, J. H., Yoo, H. D. (2025). Tailoring iron phosphate precursors via microcrystallization for high-performance lithium iron phosphate cathodes in lithium-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 13 (22), 16694–16703. <https://doi.org/10.1039/d5ta00679a>
- Yuan, Y., Hu, J., Wang, L., Li, Y., Yao, Y. (2024). Structural properties and electrochemical performance of different polymorphs of FePO<sub>4</sub> as raw materials for lithium ion electrodes. *Journal of Materials Chemistry C*, 12 (18), 6511–6518. <https://doi.org/10.1039/d4tc00957f>
- Song, Y., Fu, Z. (2024). Mini-Review on the Preparation of Iron Phosphate for Batteries. *Energy & Fuels*, 38 (19), 18194–18207. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c02533>
- Shen, Z.-Z., Wang, R.-X., Yuan, H.-Y., Guo, Y., Xiao, D., Meng, Y. (2025). Waste to treasure: A sustainable technic to prepare high-performance lithium iron phosphate from laterite nickel tailings. *Separation and Purification Technology*, 353, 128489. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128489>
- Chang, L., Wei, A., Luo, S., Bi, X., Yang, W., Yang, R., Liu, J. (2023). Preparation of LiFePO<sub>4</sub>/C cathode material by extracting Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from laterite nickel ore by ammonium jarosite method. *Journal of Alloys and Compounds*, 936, 168078. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168078>
- Ishtiaq, S., Majid, A., Qadeer, A., Alkhedher, M., Bulut, N. (2025). Recent progress in carbon coating and surface modification of LiFePO<sub>4</sub> cathodes. *RSC Advances*, 15 (50), 42331–42346. <https://doi.org/10.1039/d5ra05833c>
- Yuan, Y., Zhou, W., Dai, X., Wu, F., Chen, H., Mai, Y. et al. (2025). Regulation of nano FePO<sub>4</sub> precursors and exploration of influencing mechanisms in LiFePO<sub>4</sub>/C cathode. *New Journal of Chemistry*, 49 (5), 1802–1813. <https://doi.org/10.1039/d4nj04412f>
- Zhi, X., Liang, G., Wang, L., Ou, X., Gao, L., Jie, X. (2010). Optimization of carbon coatings on LiFePO<sub>4</sub>: Carbonization temperature and carbon content. *Journal of Alloys and Compounds*, 503 (2), 370–374. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.02.173>
- Ma, G., Luo, X., Cheng, M., Ju, D. (2025). Effect of impurities in FePO<sub>4</sub> raw materials on the performance of LiFePO<sub>4</sub> cathode materials. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99729-8>
- Syahrial, A. Z., Astini, V., M.S, J. W. (2025). Electrolysis and precipitation-based purification of ferronickel for high-purity nickel production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (135)), 46–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324608>
- Astini, V., Meirawati, S., Nengsih, S., -, A., -, H., Soedarsono, J. W. M., Zulfia, A. (2024). Influence of Electrolyte Molarity and Applied Voltage on the Purification of Ferronickel by Electrolysis Method. *Metalurgi*, 39 (1), 7. <https://doi.org/10.55981/metalurgi.2024.742>
- Kashi, R., Khosravi, M., Mollazadeh, M. (2018). Effect of carbon precursor on electrochemical performance of LiFePO<sub>4</sub>-C nano composite synthesized by ultrasonic spray pyrolysis as cathode active material for Li ion battery. *Materials Chemistry and Physics*, 203, 319–332. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.10.021>
- Li, B., Xiao, J., Zhu, X., Wu, Z., Zhang, X., Han, Y. et al. (2024). Enabling high-performance lithium iron phosphate cathodes through an interconnected carbon network for practical and high-energy lithium-ion batteries. *Journal of Colloid and Interface Science*, 653, 942–948. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.09.133>
- Zhang, T., Lin, S., Yu, J. (2022). Influence Mechanism of Precursor Crystallinity on Electrochemical Performance of LiFePO<sub>4</sub>/C Cathode Material. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61 (15), 5181–5190. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c04784>
- Zhang, S. M., Zhang, J. X., Xu, S. J., Yuan, X. J., Tian, T. (2013). Synthesis of Nano-Sized FePO<sub>4</sub> Cathode Material via a Microemulsion Technique. *Applied Mechanics and Materials*, 320, 675–682. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.320.675>
- Hsieh, C.-T., Pai, C.-T., Chen, Y.-F., Chen, I.-L., Chen, W.-Y. (2014). Preparation of lithium iron phosphate cathode materials with different carbon contents using glucose additive for Li-ion batteries. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45 (4), 1501–1508. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.12.017>
- Rajoba, S. J., Jadhav, L. D., Kalubarme, R. S., Yadav, S. N. (2019). Influence of synthesis parameters on the physicochemical and electrochemical properties of LiFePO<sub>4</sub> for Li-ion battery. *Journal of Alloys and Compounds*, 774, 841–847. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.09.325>
- Ravet, N., Gauthier, M., Zaghbi, K., Goodenough, Mauger, A., Gendron, F. (2007). Mechanism of the Fe<sup>3+</sup> Reduction at Low Temperature for LiFePO<sub>4</sub> Synthesis from a Polymeric Additive. *Chemistry of Materials*, 19 (10), 2595–2602. <https://doi.org/10.1021/cm070485r>
- Feng, H., Milev, A. S., Kannangara, G. S. K. (2014). Novel Co-Precipitation Method for Synthesis of Carbon-Free LiFePO<sub>4</sub>. *ECS Meeting Abstracts*, MA2014-01 (2), 250. <https://doi.org/10.1149/ma2014-01/2/250>
- Zhang, S. S., Allen, J. L., Xu, K., Jow, T. R. (2005). Optimization of reaction condition for solid-state synthesis of LiFePO<sub>4</sub>-C composite cathodes. *Journal of Power Sources*, 147 (1-2), 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.01.004>
- Scaccia, S., Carewska, M., Wisniewski, P., Prosini, P. P. (2003). Morphological investigation of sub-micron FePO<sub>4</sub> and LiFePO<sub>4</sub> particles for rechargeable lithium batteries. *Materials Research Bulletin*, 38 (7), 1155–1163. [https://doi.org/10.1016/s0025-5408\(03\)00110-7](https://doi.org/10.1016/s0025-5408(03)00110-7)
- Dadwal, K., Fábíán, M., Tolnai, I., Sharma, S., Kaur, R., Gracheva, M. et al. (2025). Neutron, X-ray diffraction, DSC, Raman, Mössbauer and leaching studies of iron phosphate glasses and crystalline phases. *RSC Advances*, 15 (7), 5286–5304. <https://doi.org/10.1039/d5ra00295h>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364889

### ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ СТРУКТУРОЮ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ БІОКОМПОЗИТІВ З ПЕРЕРОБЛЕНОГО ПІНОПОЛІСТИРОЛУ ТА КОКОСОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ АКУСТИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ (с. 6–17)

I Ketut Gede Sugita, Ngakan Putu Gede Suardana, Jefri S Bale, Cipk Kencanawati, I Putu Lokantara

Об'єктом цього дослідження є екологічно чисті акустичні панелі для використання в будівництві, що забезпечують шумоізоляцію та звукоізоляцію. Масштабне виробництво відходів пінополістиролу (EPS) створює значну екологічну проблему через його стійкість до природного розкладання. Перероблений пінополістирол (ППС), армований кокосовими волокнами, досліджувався як потенційний матеріал для цих застосувань. Відходи ППС спочатку розчинялись в комерційному бензині (перталіті) методом холодного розчинення, потім змішувались з 5–60 об.% кокосових волокнами та перетворювались на композити за стандартними методами лиття. Акустичні та механічні властивості отриманих матеріалів оцінювались за допомогою імпедансної трубки (ASTM E1050-98) та випробувань на згин (ASTM D790-03) відповідно. Експериментальні результати показали, що оптимальне співвідношення розчинника до EPS становило 3:1, що давало високооднорідну матрицю, ідеальну для виготовлення композитів. Акустичний аналіз показав, що більшість зразків досягли коефіцієнта звукопоглинання, що перевищує 0,2; єдиним винятком був композит, що містив 5 об.% фракції волокон, який зафіксував значення 0,1 при 500 Гц. Крім того, звукопоглинальна здатність постійно покращувалася зі збільшенням частоти, що підкреслює ефективність композитів у всьому спектрі від середніх до високих частот. Щодо механічних характеристик, оцінки показали, що композит з 30 об.% волокна досяг максимальної міцності на згин та модуля пружності. Загалом, ці результати підтверджують, що біокомпозити, отримані з відходів пінополістиролу та кокосових волокон, мають значний потенціал як екологічні акустичні матеріали, забезпечуючи як функціональні характеристики, так і відчутні екологічні переваги.

**Ключові слова:** відходи пінополістиролу, кокосові волокна, полімерні композити, звукопоглинання, властивості на згин.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359420

### ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ТВЕРДОСТІ ПЕРЕРОБЛЕНОГО АЛЮМІНІЮ З ДОДАВАННЯМ ПОРОШКУ МІДІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕХАНІЗМУ ПЛАВЛЕННЯ НИЖЧЕ ТОЧКИ ПЛАВЛЕННЯ ТА АРМУВАННЯ ОСАДЖЕННЯМ (с. 18–27)

Erwin, Juan Pratama, Didik Sugiyanto, Yefri Chan, Trisna Ardi Wiradinata, M. Arik Febrian, Dien Alma Ariz

Об'єктом цього дослідження є сплав Al-Cu з переробленим алюмінієм та додаванням мідного порошку. Поточна проблема полягає в використанні алюмінієвих відходів, яке все ще дуже обмежене, а механічні властивості алюмінієвих відходів погіршуються, тому необхідна технологія виробництва матеріалів для переробки алюмінієвих відходів у нові матеріали, що використовуються для різних застосувань, щоб зменшити енергоспоживання виробничого процесу та покращити механічні властивості.

Це дослідження спрямоване на підвищення твердості сплаву шляхом додавання переробленого алюмінію у вигляді мідного порошку, використовуючи обробку нижче точки плавлення та осадження. Воно відповідає на зростаючий промисловий попит на алюміній та потребу в покращених механічних властивостях, зосереджуючись на екологічно чистих продуктах, перероблених матеріалах та енергозберігаючих методах плавлення. Результати показують, що алюміній у поєднанні з мідним порошком може бути оброблений нижче точки плавлення міді шляхом дифузії в  $Al_{90}Cu_{10}$  та  $Al_{95}Cu_5$  при 1000°C та 1050°C відповідно, з витримкою обох при 300°C. Твердість збільшилася з 25 за шкалою HBW до 94 за шкалою HBW в  $Al_{90}Cu_{10}$  в діапазоні температур від 1000°C до 1050°C.

Це дослідження вирішує зростаючу проблему алюмінієвих відходів шляхом їх переробки у вироби з покращеними механічними властивостями. Додавання мідного порошку та плавлення за низької температури зменшує споживання енергії під час плавлення. Механізм зміцнення старінням підвищує твердість алюмінієвих сплавів, задовольняючи промислові потреби. Підвищена твердість та зносостійкість перероблених продуктів зі сплавів Al-Cu, розроблених у цьому дослідженні, може мати потенціал для застосування до неструктурних механічних елементів, що впливає на екологічно чисті та енергоефективні виробничі процеси.

**Ключові слова:** переробка алюмінію, механічні властивості, осадження AlCu, нижче точки плавлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365569

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО МЕТОДУ НА ДРОБЛЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО КРЕМНІЮ (с. 28–35)

Bekbolat Nussupbekov, Gulden Bulkairova, Gulzira Mussina, Saule Sakipova, Aizada Muratova

Об'єктом дослідження є металургійний кремній, отриманий на заводі ТОО «Тау-КенТемір», розташованому в Карагандинській області Республіки Казахстан. Проблема, яку необхідно вирішити в рамках цього дослідження, полягає у високій технологічній складності, багатостадійності та значній вартості традиційних процесів очищення металургійного кремнію від супутніх хімічних домішок.

Було розроблено та зібрано електрогідрравлічний агрегат для подрібнення металургійного кремнію. Обробка металургійного кремнію проводилася зі збільшенням напруги розряду накопичувача з 16 кВ до 27 кВ, довжиною міжелектродної відстані з 5 мм до 11 мм, ємністю конденсатора 0,4 мкФ та часом обробки 5 хв. За допомогою електрогідрравлічного методу частинки металургійного кремнію з початковою фракцією 3 мм, 5 мм та 10 мм подрібнювалися до 0,074 мм. Результати подрібнення металургійного кремнію під впливом електрогідрравлічного методу в рідкому середовищі дозволили визначити ступінь подрібнення матеріалу.

Поверхневий та кількісний аналіз зразків порошкоподібного металургійного кремнію проводилися за допомогою скануючого електронного мікроскопа та спектрометра Rigaku Simultix 15 (Rigaku Corporation, виробництво Японія).

Отримані результати можуть бути використані при дослідженні характеристик подрібнення металургійного кремнію. Високоочищений кремній (полікристалічний та монокристалічний кремній) широко використовується як базовий матеріал у виробництві напівпровідникових приладів та фотоелектричних елементів. Він також використовується в чорній та кольоровій металургії для виробництва сплавів, а також як сировина для виробництва високоочищеного кремнію.

**Ключові слова:** металургійний кремній, електрогідрравліка, елемент, подрібнення, напруга, фракція, аналіз, мікроскоп, спектрометр.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365363**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАВАННЯ ВУГЛЕЦЮ НА ФАЗОУТВОРЕННЯ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ , СИНТЕЗОВАНОГО З $\text{FePO}_4$ , ОТРИМАНОГО З ФЕРОНІКЕЛЮ (с. 36–47)**

**Vita Astini, Anne Zulfia Syahrial, Achmad Subhan, Johny Wahyuadi Mudaryoto Soedarsono**

Об'єктом цього дослідження є катодний матеріал  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ , синтезований з використанням прекурсора  $\text{FePO}_4$ , отриманого з феронікелю, при цьому основна увага приділялася впливу додавання вуглецю на формування фази та електрохімічні характеристики. Проблема полягала в тому, як додавання вуглецю впливає на формування фази олівину  $\text{LiFePO}_4$ , придушення домішок, мікроструктуру та електрохімічні характеристики при використанні некомерційного залізного прекурсора, отриманого з феронікелю. Прекурсор змішували з  $\text{LiOH}$  як джерелом літію та різною кількістю вуглецю з SuperP: 5 мас.%, 7 мас.% та 9 мас.%. Додавання вуглецю впливало на формування олівину  $\text{LiFePO}_4$ . При 7 мас.% LFP/C на дифракційній картині домінувала фаза  $\text{LiFePO}_4$ , близько 99,60% на основі уточнення Рітвельда. Відсутність виявленого Ni за допомогою EDX свідчить про те, що перенесення Ni з прекурсора, отриманого з феронікелю, було мінімізовано. Результати дослідження свідчать про те, що  $\text{FePO}_4$ , отриманий з феронікелю, може бути використаний як прекурсор для синтезу  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ , а додавання вуглецю сприяє розвитку фази з оптимальним складом 7 мас.%. Результати можуть бути практично використані як основа для розробки катодних матеріалів  $\text{LiFePO}_4/\text{C}$  з доданою вартістю з залізних ресурсів, отриманих з феронікелю, в контрольованих умовах синтезу, особливо коли чистота прекурсора  $\text{FePO}_4$  підтримується, вуглець Super P використовується в діапазоні 5–9 мас.%, а матеріал обробляється кульовим млином, попереднім нагріванням при 300°C та прожарюванням при 650°C в атмосфері аргону. Зразок LFP/C з концентрацією 7 мас.% мав питому ємність 140 мАг  $\text{г}^{-1}$  при 0,1°C, але електрохімічні характеристики все ще потребують оптимізації через взаємозв'язок частинок та агломерацію. Дані електроімпедансного аналізу показують, що 7 мас.% вуглецю є найсприятливішим складом з точки зору опору переносу заряду (34,91 Ом) та провідності ( $2,79 \times 10^{-4}$  См/см), тоді як 9 мас.% вуглецю забезпечило найкращі характеристики дифузії літій-іонів ( $1,96 \times 10^{-13}$  см<sup>2</sup> с<sup>-1</sup>). Ці результати вказують на те, що залізні ресурси, отримані з феронікелю, мають великий потенціал для перетворення на катодні матеріали для акумуляторів з доданою вартістю.

**Ключові слова:**  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ , отриманий з феронікелю, додавання вуглецю, утворення фази, катодні матеріали.