

Nazwa w języku polskim: Nowoczesna energetyka – ogniwa i baterie
Nazwa w jęz. angielskim: Modern energy – cells and batteries

Dane dotyczące zajęć:
Information on course:

Jednostka oferująca: Wydział Mechaniczny Technologiczny // dr hab. inż. Mirosława Pawłyta, Prof. PŚ / dr inż. Dariusz Łukowiec
Course offered by: Faculty of Mechanical Engineering // dr hab. inż. Mirosława Pawłyta, Prof. PŚ / dr inż. Dariusz Łukowiec

Język wykładowy:
polski
Language:
Polish
Strona WWW: Course homepage:
Skrócony opis:
Wykład koncentruje się na kluczowej roli, jaką odgrywają zaawansowane materiały w rozwoju i wdrażaniu technologii magazynowania i konwersji energii, niezbędnych dla transformacji energetycznej i odejścia od paliw kopalnych. Omówione zostaną fundamentalne wyzwania materiałowe stojące przed nowoczesnymi bateriami (akumulatorami) oraz ogniwami paliwowymi, które są sercem pojazdów elektrycznych, przenośnej elektroniki, systemów stabilizacji sieci energetycznej współpracującej z OZE oraz potencjalnych systemów opartych na wodorze. Po ukończeniu kursu student powinien rozumieć podstawowe wymagania stawiane materiałom stosowanym w kluczowych komponentach baterii i ogniw paliwowych, znać główne klasy stosowanych materiałów i ich ograniczenia, a także orientować się w najważniejszych wyzwaniach i kierunkach badań w dziedzinie materiałów dla elektrochemicznej konwersji i magazynowania energii.
Short description:
The lecture focuses on the key role played by advanced materials in the development and implementation of energy storage and conversion technologies, which are essential for the energy transition and the transition away from fossil fuels. Fundamental material challenges facing modern batteries (accumulators) and fuel cells, which are the heart of electric vehicles, portable electronics, grid stabilization systems cooperating with renewable energy sources and potential hydrogen-based systems, will be discussed. After completing the course, the student should understand the basic requirements for materials used in key components of batteries and fuel cells, know the main classes of materials used and their limitations, and be oriented to the most important challenges and directions of research in the field of materials for electrochemical energy conversion and storage.
Opis:
Treści programowe Wykład 1. Materiały w Sercu Transformacji Energetycznej: Rola magazynowania i konwersji energii w nowoczesnych systemach (OZE, elektromobilność, sieci). Wprowadzenie do baterii i ogniw paliwowych. Jak właściwości materiałów determinują wydajność, koszt i bezpieczeństwo systemów elektrochemicznych? 2. Podstawy Elektrochemii i Wymagania Materiałowe: Zasady działania ogniw galwanicznych i elektrolitycznych. Termodynamika i kinetyka procesów elektrodowych. Mechanizmy transportu jonów i ładunku. Kluczowe parametry (napięcie, pojemność, gęstość energii/mocy) i jak zależą od właściwości materiałowych. 3. Materiały Katodowe dla Baterii Litowo-Jonowych (Li-ion): Funkcja, wymagania. Przegląd głównych klas: tlenki warstwowe (LCO, NMC, NCA), oliwiny (LFP), spinele (LMO). Zależności struktura-właściwości, stabilność cykliczna, bezpieczeństwo. Problem kobaltu. 4. Materiały Anodowe dla Baterii Litowo-Jonowych (Li-ion): Funkcja, wymagania. Grafit jako standard – mechanizm interkalacji i ograniczenia. Anody o wysokiej pojemności: krzem (Si), stopy, kompozyty – wyzwania związane ze zmianą objętości. Inne materiały (LTO, tlenki konwersyjne). Rola warstwy pasywnej SEI. 5. Elektrolity i Separatory w Bateriach Li-ion: Wymagania dla elektrolitów ciekłych (przewodnictwo

- jonowe, okno stabilności, bezpieczeństwo). Składniki: sole, rozpuszczalniki, dodatki. Elektrolity stałe (polimerowe, ceramiczne, kompozytowe) – potencjał dla bezpieczeństwa i gęstości energii, wyzwania technologiczne. Rola i materiały separatorów.
6. Materiały dla Baterii Sodowo-Jonowych (Na-ion): Motywacja (dostępność Na), porównanie z Li-ion. Wyzwania i rozwiązania materiałowe dla katod (np. tlenki warstwowe, polianionowe, błękity pruskie) i anod (np. węgle twarde). Perspektywy zastosowań.
 7. Materiały dla Baterii Przyszłości (Li-S, Metal-Powietrze): Baterie litowo-siarkowe (Li-S): zasada działania, potencjał wysokiej gęstości energii, wyzwania materiałowe (efekt "shuttle", anoda litowa). Baterie metal-powietrze (Li-Air, Zn-Air): potencjał i bariery materiałowe (kataliza ORR/OER, stabilność).
 8. Materiały dla Niskotemperaturowych Ogniw Paliwowych (PEMFC): Zasada działania, komponenty. Membrany jonoprzewodzące (Nafion® i alternatywy). Katalizatory na bazie platyny – aktywność, trwałość, koszt, alternatywy. Warstwy dyfuzyjne gazu (GDL).
 9. Materiały dla Wysokotemperaturowych Ogniw Paliwowych (SOFC): Zasada działania, zalety wysokiej temperatury. Ceramiczne elektrolity stałe (YSZ, GDC). Anody cermetaliczne (Ni-YSZ/GDC). Katody – przewodniki mieszane (LSM, LSCF). Interkonektory i uszczelnienia – wyzwania materiałowe w agresywnym środowisku.
 10. Degradacja i Żywotność Materiałów w Systemach Elektrochemicznych: Mechanizmy starzenia baterii Li-ion (zanik pojemności, wzrost oporu). Degradacja komponentów w ogniwach PEMFC i SOFC. Metody badania degradacji i wydłużania żywotności systemów.
 11. Zaawansowane Metody Charakterystyki Materiałów Elektrochemicznych: Techniki elektrochemiczne (CV, EIS, GCPL). Mikroskopia (SEM, TEM, FIB-SEM) w badaniu morfologii i interfejsów. Spektroskopia i dyfrakcja (XRD, XPS, Raman). Techniki in situ i operando – obserwacja materiałów podczas pracy.
 12. Zrównoważony Rozwój i Recykling Materiałów dla Energetyki: Dostępność i wpływ wydobywania surowców (Li, Co, Ni, Pt). Analiza cyklu życia (LCA). Technologie i wyzwania recyklingu baterii. Poszukiwanie materiałów bardziej przyjaznych środowisku.
 13. Przyszłość i Nowe Kierunki Badań Materiałowych: Rola modelowania komputerowego i AI w projektowaniu materiałów. Trendy w rozwoju baterii (solid-state, baterie przepływowe) i ogniw paliwowych. Integracja systemów. Podsumowanie kluczowych wyzwań materiałowych.

Wykłady:

- stacjonarne: 30 h

Liczba punktów ECTS: 2

Description:

Lecture

1. Materials at the Heart of Energy Transformation: The role of energy storage and conversion in modern systems (RES, electromobility, grids). Introduction to batteries and fuel cells. How do material properties determine the efficiency, cost and safety of electrochemical systems?
2. Electrochemistry Fundamentals and Material Requirements: Principles of operation of galvanic and electrolytic cells. Thermodynamics and kinetics of electrode processes. Ion and charge transport mechanisms. Key parameters (voltage, capacity, energy/power density) and how they depend on material properties.
3. Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries (Li-ion): Function, requirements. Overview of the main classes: layered oxides (LCO, NMC, NCA), olivines (LFP), spinels (LMO). Structure-property relationships, cyclic stability, safety. The cobalt problem.
4. Anode Materials for Lithium-Ion Batteries (Li-ion): Function, requirements. Graphite as a standard – intercalation mechanism and limitations. High-capacity anodes: silicon (Si), alloys, composites – challenges related to volume change. Other materials (LTO, conversion oxides). The role of the SEI passive layer.
5. Electrolytes and Separators in Li-ion Batteries: Requirements for liquid electrolytes (ionic conductivity, stability window, safety). Ingredients: salts, solvents, additives. Solid electrolytes (polymeric, ceramic, composite) – potential for safety and energy density, technological challenges. The role and materials of separators.
6. Materials for Sodium-Ion Batteries (Na-ion): Motivation (Na availability), comparison with Li-ion. Challenges and material solutions for cathodes (e.g. layered oxides, polyanionic, Prussian blues) and anodes (e.g. hard carbons). Application prospects.
7. Materials for Future Batteries (Li-S, Metal-Air): Lithium-Sulfur Batteries (Li-S): Principle of Operation, High Energy Density Potential, Material Challenges (Shuttle Effect, Lithium Anode). Metal-Air Batteries (Li-Air, Zn-Air): Potential and Material Barriers (ORR/OER Catalysis, Stability).
8. Materials for Low Temperature Fuel Cells (PEMFC): Principle of Operation, Components. Ion-

Conducting Membranes (Nafion® and Alternatives). Platinum-Based Catalysts – Activity, Durability, Cost, Alternatives. Gas Diffusion Layers (GDL).

9. Materials for High Temperature Fuel Cells (SOFC): Principle of Operation, High Temperature Advantages. Ceramic Solid Electrolytes (YSZ, GDC). Cermet Anodes (Ni-YSZ/GDC). Cathodes – Mixed Conductors (LSM, LSCF). Interconnects and seals – material challenges in aggressive environment.
10. Degradation and Life of Materials in Electrochemical Systems: Aging mechanisms of Li-ion batteries (capacity loss, resistance increase). Degradation of components in PEMFC and SOFC cells. Methods for studying degradation and extending the life of systems.
11. Advanced Methods of Characterization of Electrochemical Materials: Electrochemical techniques (CV, EIS, GCPL). Microscopy (SEM, TEM, FIB-SEM) in the study of morphology and interfaces. Spectroscopy and diffraction (XRD, XPS, Raman). In situ and operando techniques – observation of materials during operation.
12. Sustainable Development and Recycling of Materials for Energy: Availability and impact of raw material extraction (Li, Co, Ni, Pt). Life Cycle Analysis (LCA). Battery recycling technologies and challenges. Search for more environmentally friendly materials.
13. Future and New Directions in Materials Research: The role of computer modeling and AI in materials design. Trends in the development of batteries (solid-state, flow batteries) and fuel cells. Systems integration. Summary of key materials challenges.

Lecture:

- full-time studies: 30 h

Number of ECTS credits: 2

Literatura:

1. Schmiegel, A. U. (2023). Energy Storage Systems: System Design and Storage Technologies. Oxford University Press.
2. Swain, B. P. (Ed.). (2023). Energy Materials: Structure, Properties and Applications. Springer Nature.
3. Dhoble, S. J., Kalyani, N. T., Vengadaesvaran, B., & Arof, A. K. (Eds.). (2021). Energy Materials: Fundamentals to Applications. Elsevier.
4. Zhang, X., Cheng, X., & Zhang, Q. (2016). Nanostructured energy materials for electrochemical energy conversion and storage: a review. Journal of energy chemistry, 25(6), 967-984.
5. Zhang, Q., Uchaker, E., Candelaria, S. L., & Cao, G. (2013). Nanomaterials for energy conversion and storage. Chemical Society Reviews, 42(7), 3127-3171.
6. MacFarlane, D. R., Forsyth, M., Howlett, P. C., Kar, M., Passerini, S., Pringle, J. M., ... & Zhang, J. (2016). Ionic liquids and their solid-state analogues as materials for energy generation and storage. Nature Reviews Materials, 1(2), 1-15.

Bibliography:

1. Schmiegel, A. U. (2023). Energy Storage Systems: System Design and Storage Technologies. Oxford University Press.
2. Swain, B. P. (Ed.). (2023). Energy Materials: Structure, Properties and Applications. Springer Nature.
3. Dhoble, S. J., Kalyani, N. T., Vengadaesvaran, B., & Arof, A. K. (Eds.). (2021). Energy Materials: Fundamentals to Applications. Elsevier.
4. Zhang, X., Cheng, X., & Zhang, Q. (2016). Nanostructured energy materials for electrochemical energy conversion and storage: a review. Journal of energy chemistry, 25(6), 967-984.
5. Zhang, Q., Uchaker, E., Candelaria, S. L., & Cao, G. (2013). Nanomaterials for energy conversion and storage. Chemical Society Reviews, 42(7), 3127-3171.
6. MacFarlane, D. R., Forsyth, M., Howlett, P. C., Kar, M., Passerini, S., Pringle, J. M., ... & Zhang, J. (2016). Ionic liquids and their solid-state analogues as materials for energy generation and storage. Nature Reviews Materials, 1(2), 1-15.

Efekty uczenia się:

Zna wymagania stawiane nowym materiałom w najbardziej rozwijających się dziedzinach gospodarki
Zna podstawowe właściwości, zastosowanie oraz technologie wytwarzania wybranych materiałów
Zna podstawowe zjawiska fizyczne odpowiedzialne za wyjątkowe właściwości materiałów
Potrafi wskazać kierunki rozwoju wybranych materiałów oraz potencjalne obszary ich zastosowania
Potrafi samodzielnie planować i realizować własne uczenie się przez całe życie

Learning outcomes:

The student knows and understand: requirements for new materials in the most developing areas of the industry basic properties, applications and production technologies of selected materials basic physical phenomena responsible for the unique properties of materials Skills The student is able to indicate the directions of development of selected materials and potential areas of their application Social competence The student is ready to independently plan and implement his/her own lifelong learning
Metody i kryteria oceniania:
Wykład Zaliczenie pisemne w formie testu zawierającego pytania otwarte lub wielokrotnego wyboru. Kryterium zaliczenia: minimum 50% poprawnych odpowiedzi.
Assessment methods and assessment criteria:
Lecture Written test with open or multiple choice questions. Passing criterion: minimum 50% correct answers.

Przynależność do grup przedmiotów w cyklach:
Element of course groups in various terms:

Opis grupy przedmiotów Course group description	Cykl pocz. First term	Cykl kon. Last term
przedmioty obieralne studia stacjonarne stopień studiów – dowolny kierunek studiów – dowolny, semestr dowolny elective courses full-time degree - any field of study - any semester - any	2025/2026	