



Materiały termoelektryczne

Karta opisu przedmiotu

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Inżynieria Materiałowa Specjalność Wszystkie Jednostka organizacyjna Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Poziom kształcenia Studia magisterskie inżynierskie II stopnia Forma studiów Stacjonarne Profil studiów Ogólnoakademicki		Cykl dydaktyczny 2023/2024 Kod przedmiotu CIMAS.III2.05152.23 Języki wykładowe polski Obligatoryjność Do wyboru Blok zajęciowy Przedmioty specjalnościowe Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi Tak
Koordynator przedmiotu	Krzysztof Wojciechowski	
Prowadzący zajęcia	Krzysztof Wojciechowski	
Okres Semestr 2	Forma zaliczenia Zaliczenie Forma prowadzenia i godziny zajęć Wykład: 15 Zajęcia warsztatowe: 15	Liczba punktów ECTS 2

Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Zapoznanie studentów ze zjawiskami związanymi z jednoczesnym transportem ciepła i ładunku elektrycznego w materii
C2	Zapoznanie studentów z metodami syntezy i preparatyki materiałów termoelektrycznych
C3	Zapoznanie studentów ze sposobami optymalizacji właściwości materiałów termoelektrycznych
C4	Zapoznanie studentów ze sposobami charakterystyki właściwości cieplnych i elektrycznych materiałów

Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
Wiedzy - Student zna i rozumie:			
W1	Zna podstawowe zjawiska związane z jednoczesnym transportem ładunku, ciepła i elektryczności	IMT2A_W01, IMT2A_W03	Kolokwium
W2	Posiada wiedzę związaną z metodami syntezy i preparatyki materiałów termoelektrycznych	IMT2A_W01	Kolokwium
W3	Posiada wiedzę na temat sposobów optymalizacji właściwości materiałów termoelektrycznych	IMT2A_W01	Kolokwium
W4	Posiada wiedzę na temat charakterystyki właściwości cieplnych i elektrycznych materiałów	IMT2A_W03	Kolokwium
Umiejętności - Student potrafi:			
U1	Potrafi ocenić wpływ modyfikacji nanostruktury na właściwości termoelektryczne materiałów.	IMT2A_U01	Kolokwium
Kompetencji społecznych - Student jest gotów do:			
K1	Student prawidłowo interpretuje i rozstrzyga problemy technologiczne.	IMT2A_K01	Kolokwium

Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Opis fenomenologiczny zjawisk termoelektrycznych, podstawy termodynamiki nierównowagowej, zastosowania materiałów termoelektrycznych relacje pomiędzy struktura elektronową a własnościami transportowymi; materiały nanostrukturalne, metody wytwarzania materiałów, metody charakterystyki własności termoelektrycznych

Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Wykład	15
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	3
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2
Przygotowanie projektu, prezentacji, pracy pisemnej, sprawozdania	10
Zajęcia warsztatowe	15
Dodatkowe godziny kontaktowe	5
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 50
Liczba godzin kontaktowych	Liczba godzin 30

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	Materiały termoelektryczne: Opis fenomenologiczny zjawisk termoelektrycznych; podstawy termodynamiki nierównowagowej; jednoczesny transport ładunku i ciepła w materii, równania Onsagera; zależności pomiędzy współczynnikami kinetycznymi a współczynnikami transportowymi, współczynnik Seebecka a entropia transportu nośników, uogólnione prawa Fouriera i Ohma, efekty termoelektryczne w półprzewodnikach i metalach, wpływ zewnętrznego pola magnetycznego, efekty skrośne, czynniki anizotropowe, udział efektów termoelektrycznych w procesach dyfuzji oraz spiekania i degradacji materiałów, zastosowanie materiałów termoelektrycznych w sensorach, generatorach termoelektrycznych oraz pompach ciepła, sprawność urządzeń termoelektrycznych, parametr efektywności termoelektrycznej ZT, mechanizmy transportu ciepła w ciałach stałych, struktura krystaliczna a przewodzenie ciepła, sieciowa i elektronowa składowa przewodnictwa cieplnego, gałąź optyczna i akustyczna przewodnictwa sieciowego, mechanizmy rozpraszania fononów, procesy umklapp, oddziaływania fonon - elektron, mechanizmy powstawania siły termoelektrycznej w metalach, półprzewodnikach i przewodnikach jonowych, mechanizm dyfuzyjny, unoszenie fononowe, unoszenie magnonowe, związki pomiędzy strukturą elektronową a parametrem ZT, optymalizacja parametrów materiałów termoelektrycznych, optymalna szerokość przerwy wzbronionej, poziomu Fermiego oraz koncentracji nośników, klasyczne materiały termoelektryczne, stopy Bi₂Te₃, Sb₂Te₃, PbTe, Mg₂Si, TAGS, stopy półHeuslera, materiały tlenkowe, polimery termoelektryczne, metody preparatyki materiałów termoelektrycznych, materiały polikrystaliczne, metodyka hodowli monokryształów związków podwójnych i potrójnych, termoelektryczne materiały gradientowe FGTM, koncepcja szkieł fononowych - kryształów elektronowych, klatraty, skutterudyty; nanostrukturalne materiały termoelektryczne, wykorzystanie kwantowych efektów rozmiarowych do podniesienia parametru ZT, koncepcja Dresselhaus, kropki kwantowe, nanodruły, supersieci z materiałów termoelektrycznych, metody preparatyki nanostrukturalnych materiałów termoelektrycznych, wpływ mikrostruktury na właściwości termoelektryczne, metody charakterystyki właściwości termoelektrycznych materiałów, pomiar współczynnika Seebecka, metody pomiarów przewodnictwa cieplnego; metoda LFA, metoda Angstroma, metoda 3-omega, metody pomiarów przewodnictwa elektrycznego, pomiar koncentracji nośników, bezpośredni pomiar parametru ZT, metoda Harmana, skaningowa sonda termoelektryczna	W1, W2, W3, W4, U1, K1	Wykład, Zajęcia warsztatowe

Informacje rozszerzone

Metody i techniki kształcenia :

Pytania sokratejskie, Ocenianie rówieśnicze (ang. peer assessment), Dyskusja

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Wykład	Kolokwium	
Zajęcia warsztatowe		

Sposób obliczania oceny końcowej

Ocena średnia ważona z prezentacji i kolokwium (pisemnych i ustnych) ocena końcowa = prezentacje * 0.4 + kolokwia * 0.6

Wymagania wstępne i dodatkowe

Ukończony kurs fizyki ciała stałego lub chemii fizycznej ciała stałego

Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa

Wykład: Studenci uczestniczą w zajęciach poznając kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem przedmiotu. Studenci winni na bieżąco zadawać pytania i wyjaśniać wątpliwości. Rejestracja audiowizualna wykładu wymaga zgody prowadzącego.

Literatura

Obowiązkowa

1. A.F. Ioffe, Physics of Semiconductors, Infosearch, London 1960
2. B.R. Nag, Electron Transport in Compound Semiconductors, Springer, Berlin 1980
3. D.M. Rowe, Thermoelectrics Handbook – Macro to Nano, CRC Taylor & Francis, 2005
4. D.M. Rowe, CRC Handbook of Thermoelectrics, CRC Press LLC, London, 1995
5. G.S. Nolas, J. Sharp, H.J. Goldsmid, Thermoelectrics – Basic Principles and new Materials Developments, Springer - Verlag, Berlin, 2001
6. M.G. Kanatzidis, Chemistry Physics and Materials Science of Thermoelectric Materials, Kluwer Academic, Michigan, 2003
7. J. Przyłuski, Materiały termoelektryczne, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1983
8. S. Filin S. Termoelektryczne urządzenia chłodzące, IPPU Masta, Gdańsk, 2002

Dodatkowa

1. Publikacje podane przez prowadzącego na zajęciach

Badania i publikacje

Badania

1. Badania właściwości strukturalnych i transportowych materiałów termoelektrycznych
2. Wytwarzanie i zagęszczanie materiałów termoelektrycznych metodą SPS
3. Wytwarzanie i barier dyfuzyjnych metodą magnetronową i badania ich właściwości
4. Konstrukcja modułów termoelektrycznych i charakterystyka parametrów wydajnościowych
5. Projektowanie i konstrukcja generatorów termoelektrycznych
6. Projektowanie i charakterystyka parametrów termoelektrycznych pomp ciepła

Publikacje

1. K.T. Wojciechowski, Wpływ modyfikacji strukturalnych na właściwości termoelektryczne materiałów z grupy skutterudytów, Ceramika, vol. 106, 2008 – monografia habilitacyjna
2. Marcin BORCUCH, Michał MUSIAŁ, Stanisław GUMUŁA, Karol SZTEKLER, Krzysztof WOJCIECHOWSKI, Analysis of the fins geometry of a hot-side heat exchanger on the performance parameters of a thermoelectric generation system,

Applied Thermal Engineering ; ISSN 1359-4311. — 2017 vol. 127, s. 1355-1363

3. Sahil Tippireddy, Raju CHETTY, Krushna Kumari RAUT, Mit H. Naik, Prashanta K. Mukharjee, Manish Jain, R. Nath, Krzysztof WOJCIECHOWSKI, Ramesh Chandra Mallik , Electronic and thermoelectric properties of Zn and Se double substituted tetrahedrite, Physical Chemistry Chemical Physics ;ISSN 1463-9076. — 2018 vol. 20 iss. 45, s. 28667-28677. — Bibliogr. s. 28677.
4. T. Parashchuk, Z. Dashevsky, K. WOJCIECHOWSKI, Feasibility of a high stable PbTe:In semiconductor for thermoelectric energy applications, Journal of Applied Physics ; ISSN 0021-8979. — 2019 vol. 125 iss. 24 art. no. 245103, s. 245103-1-245103-10.
5. Krzysztof T. WOJCIECHOWSKI, Taras Parashchuk, Bartłomiej WIENDŁOCHA, Oleksandr CHERNIUSHOK, Zinovi Dashevsky, Highly efficient n-type PbTe developed by advanced electronic structure engineering, ISSN 2050-7526. — 2020 vol. 8 iss. 38, s. 13270-13285. — Bibliogr. s. 13283-13285. — Publikacja dostępna online od: 2020-08-19.
6. Taras Parashchuk, Ihor Horichok, Artur KOSONOWSKI, Oleksandr CHERNIUSHOK, Piotr Wyzga, Grzegorz CEMPURA, Adam KRUK, Krzysztof T. WOJCIECHOWSKI, Insight into the transport properties and enhanced thermoelectric performance of n-type $Pb_{1-x}Sb_xTe$, Journal of Alloys and Compounds ; ISSN 0925-8388. — 2020 vol. 860 art. no. 158355, s. 1-13. — Bibliogr. s. 12-13,
7. Shriparna Mukherjee, Raju CHETTY, P.V. Prakash Madduri, Ajaya K. Nayak, Krzysztof WOJCIECHOWSKI, Tanmoy Ghosh, Kamanio Chattopadhyay, Satyam Suwase, Ramesh Chandra Mallik, Investigation on the structure and thermoelectric properties of Cu_xTe binary compounds, Dalton Transactions ; ISSN 1477-9226. — 2019 vol. 48 iss. 3, s. 1040-1050. — Bibliogr. s. 1049-1050.
8. N. Gostkowska-Lekner, B. Trawinski, A. KOSONOWSKI, B. Bochentyn, M. Lapinski, T. Miruszewski, K. WOJCIECHOWSKI, B. Kusz, New synthesis route of highly porous $In_xCo_4Sb_{12}$ with strongly reduced thermal conductivity, Journal of Materials Science ; ISSN 0022-2461. — 2020 vol. 55 iss. 28, s. 13658-13674
9. Paweł Wyzga, Igor Veremchuk, Ulrich Burkhardt, Paul Simon, Yuri Grin, Krzysztof T. WOJCIECHOWSKI, Thermal stability and tuning of thermoelectric properties of $Ag_{1-x}Sb_1+xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0.4$) alloys, Applied Sciences (Basel) [Dokument elektroniczny]. - Czasopismo elektroniczne ; ISSN 2076-3417. — 2018 vol. 8 iss. 1 art. no. 52, s. 1-18
10. Sayan Das, Raju CHETTY, Krzysztof WOJCIECHOWSKI, Satyam Suwas, Ramesh Chandra Mallik, Thermoelectric properties of Sn doped BiCuSeO, Applied Surface Science ; ISSN 0169-4332. — Tytuł poprz.: Applications of Surface Science. — 2017 vol. 418 pt. A, s. 238-245. — Bibliogr. s. 244-245

Kierunkowe efekty uczenia się

Kod	Treść
IMT2A_K01	Ma świadomość ciągłego dokształcania się i podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych i społecznych. Potrafi zrozumiale przekazywać wiedzę i jasno wyrażać opinie w dziedzinie inżynieria materiałowa.
IMT2A_U01	Potrafi korzystać z wiedzy literaturowej oraz posiada umiejętności korzystania z baz danych i innych źródeł. Potrafi na podstawie uzyskanych informacji dokonać analizy oraz interpretacji, zakończonej uzasadnionymi wnioskami i oceną krytyczną.
IMT2A_W01	Ma pogłębioną i poszerzoną wiedzę w dziedzinie nauk podstawowych takich jak chemia, fizyka, matematyka itp., która jest niezbędna do rozumienia efektów i zjawisk powiązanych z wytwarzaniem, badaniem i aplikacją materiałów inżynierskich.
IMT2A_W03	Ma pogłębioną wiedzę o teoretycznej stronie inżynierii materiałowej oraz posiada poszerzoną wiedzę w dziedzinie projektowania złożonej struktury i właściwości użytkowych materiałów wraz z modelowaniem zachodzących procesów.