



Materiały wysokoentropowe

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.III1.15908.23 Języki wykładowe polski Obligatoryjność Obowiązkowy Blok zajęciowy Przedmioty specjalnościowe Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi Tak
Koordynator przedmiotu	Elżbieta Godlewska	
Prowadzący zajęcia	Elżbieta Godlewska, Juliusz Dąbrowa, Krzysztof Mars, Marzena Mitoraj-Królikowska, Mirosław Stygar, Ilona Jastrzębska, Marek Zajusz	
Okres Semestr 1	Forma zaliczenia Egzamin Forma prowadzenia i godziny zajęć Wykład: 15 Ćwiczenia laboratoryjne: 15 Zajęcia warsztatowe: 15	Liczba punktów ECTS 4

Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Zapoznanie studentów z nowymi trendami w projektowaniu i wytwarzaniu materiałów wieloskładnikowych
C2	Przekazanie studentom wiedzy na temat rozwoju poglądów na temat materiałów stabilizowanych wysoką entropią konfiguracyjną
C3	Uświadomienie studentom znaczenia krytycznego myślenia oraz współpracy interdyscyplinarnej w rozwoju nauk podstawowych i stosowanych

Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
Wiedzy - Student zna i rozumie:			
W1	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_W01	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Egzamin, Sprawozdanie
W2	Ma pogłębioną wiedzę z zakresu metod numerycznych, jak i narzędzi obliczeniowych stanowiących podstawę współczesnej analizy wyników eksperymentalnych oraz niezbędnych w projektowaniu nowych materiałów i modelowaniu procesów.	IMT2A_W02	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Wykonanie projektu, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Egzamin, Sprawozdanie
W3	Ma pogłębioną, podbudowaną teoretycznie wiedzę dotyczącą technik i metod pomiarowych w inżynierii materiałowej.	IMT2A_W04	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych
Umiejętności - Student potrafi:			
U1	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_U01	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Wykonanie projektu, Sprawozdanie, Zaangażowanie w pracę zespołu
U2	Potrafi dokonać właściwego wyboru narzędzi informatycznych w celu rozwiązania problemu technicznego.	IMT2A_U02	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Wykonanie projektu, Sprawozdanie, Zaangażowanie w pracę zespołu
Kompetencji społecznych - Student jest gotów do:			
K1	Ma świadomość ciągłego doskonalenia się i podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych i społecznych. Potrafi zrozumiale przekazywać wiedzę i jasno wyrażać opinie w dziedzinie inżynierii materiałowej.	IMT2A_K01	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Egzamin, Sprawozdanie, Zaangażowanie w pracę zespołu
K2	Przestrzega zasad etyki zawodowej oraz posiada zrozumienie wpływu inżynierii materiałowej i nowoczesnych technologii na środowisko naturalne, oraz w sposób odpowiedzialny podejmuje z tym związane decyzje.	IMT2A_K03	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Egzamin

Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Moduł umożliwia zdobycie wiedzy na temat budowy i właściwości, metod projektowania i wytwarzania materiałów wysokoentropowych a także ich znaczenia dla rozwoju wielu dziedzin nowoczesnej techniki oraz medycyny.

Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Wykład	15
Ćwiczenia laboratoryjne	15
Zajęcia warsztatowe	15
Przygotowanie do zajęć	14
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	14
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	2
Dodatkowe godziny kontaktowe	5
Przygotowanie projektu, prezentacji, pracy pisemnej, sprawozdania	20
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 100
Liczba godzin kontaktowych	Liczba godzin 45

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	Program ramowy Materiały wysokoentropowe - ewolucja pojęcia, kryteria klasyfikacji, nowe strategie w projektowaniu Teoretyczne podstawy projektowania materiałów (termodynamika układów wieloskładnikowych, kinetyka przemian fazowych) Wysokoentropowe materiały metaliczne (HEA) - klasyfikacja, przykłady, zastosowania (superstopy, stałe, stopy wysokotopliwe, stopy lekkie, fazy międzymetaliczne, szkła metaliczne) Wysokoentropowe materiały zawierające co najmniej jeden składnik niemetaliczny - klasyfikacja, przykłady, zastosowania (HEOx, fazy MAX) Kompozytowe materiały wysokoentropowe (HEA + polimery, HEA + fazy międzymetaliczne) Sposoby wytwarzania materiałów i warstw wysokoentropowych	W1, U1, K2	Wykład

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
2.	Program ramowy Kryteria empiryczne projektowania stopów o wysokiej entropii konfiguracyjnej Projektowanie stopów o określonych właściwościach użytkowych w oparciu o dane termodynamiczne i układy równowag fazowych Kryteria tworzenia związków jonowych o wybranych strukturach - podstawy projektowania materiałów funkcjonalnych Projektowanie materiałów tlenkowych o określonych właściwościach użytkowych w oparciu o dane termodynamiczne, geometryczne i układy równowag fazowych	W2, U1, U2	Zajęcia warsztatowe
3.	Wytwarzanie metalicznych materiałów wysokoentropowych drogą reaktywnego spiekania i przetapiania łukowego Wytwarzanie warstw wysokoentropowych techniką rozpylania magnetronowego w gazie obojętnym lub gazie reaktywnym Synteza tlenkowych materiałów wysokoentropowych Charakterystyka struktury, składu chemicznego i fazowego otrzymanych materiałów i warstw (LM, SEM, EDS, XRD) Charakterystyka wybranych właściwości użytkowych (właściwości elektryczne, termomechaniczne, odporność chemiczna) Konfrontacja wyników badań doświadczalnych z przewidywaniami teoretycznymi	W1, W3, U1, K1	Ćwiczenia laboratoryjne

Informacje rozszerzone

Metody i techniki kształcenia :

Praca z materiałem źródłowym, Metoda warsztatowa (ang. workshop), Metoda problemowa (ang. Problem Based Learning), Praca grupowa, Studium przypadku (ang. case study), Dyskusja

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Wykład	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Egzamin	pozytywna ocena z egzaminu
Ćwiczenia laboratoryjne	Wykonanie ćwiczeń laboratoryjnych, Sprawozdanie, Zaangażowanie w pracę zespołu	prawidłowe wykonanie zaplanowanych ćwiczeń i opracowanie sprawozdania, zaliczenie laboratorium
Zajęcia warsztatowe	Aktywność na zajęciach, Wykonanie projektu, Zaangażowanie w pracę zespołu	poprawne wykonanie planowanych zadań, zaliczenie zajęć warsztatowych

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu

Warunki są zgodne z regulaminem studiów. Szczegóły są podawane na pierwszych zajęciach.

Sposób obliczania oceny końcowej

ocena końcowa: 0,1 frekwencja + 0,2 laboratorium + 0,2 warsztaty + 0,5 egzamin

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach

Do uzgodnienia z prowadzącym przedmiot.

Wymagania wstępne i dodatkowe

znajomość podstaw nauki o materiałach i technologii chemicznej

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

Wykład i seminarium/warsztaty: Zajęcia mają charakter konwersatorium, studenci poznają kolejne treści nauczania zgodnie z sylabusem. Przygotowują się do kolejnych zajęć, studiując polecane pozycje literaturowe, biorą aktywny udział w dyskusji, na bieżąco wyjaśniają wątpliwości. Rejestracja audiowizualna zajęć wymaga zgody prowadzącego.

Laboratorium/warsztaty: Studenci wykonują ćwiczenia zgodnie z przedstawionym harmonogramem. W części warsztatowej pogłębiają wiedzę związaną z tematyką ćwiczeń, projektują materiały w oparciu o dostępne dane termodynamiczne, geometryczne i układy równowag fazowych. Zapoznają się z metodyką, technikami i aparaturą niezbędną do przeprowadzenia badań.

Obecność na zajęciach jest obowiązkowa.

Literatura

Obowiązkowa

1. Y Zhang, High-Entropy Materials: A Brief Introduction, ISBN: 978-981-1385-26-1; 978-981-1385-25-4
2. R-Z Zhang, M J Reece, Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties, J. Mater. Chem. A, 2019, 7, 22148
3. D.B. Miracle, O.N. Senkov, A critical review of high entropy alloys and related concepts, Acta Materialia 122 (2017) 448-511
4. W Steurer, Single-phase high-entropy alloys – A critical update, Materials Characterization, 2020, 162 110179

Dodatkowa

1. notatki z wykładów i artykuły z czasopism naukowych polecane przez prowadzących zajęcia

Badania i publikacje

Badania

1. Projektowanie, wytwarzanie i charakterystyka metalicznych i ceramicznych materiałów wysokoentropowych
2. Materiały i warstwy z fazami międzymetalicznymi - synteza, struktura i właściwości

Publikacje

1. M Zajusz, M Jawańska, J Dąbrowa, K Berent, G Cieślak, T Kulik, K Mroczka, Evaluation of phase stability and diffusion kinetics in novel BCC-structured high entropy alloys, Materials Research Letters, 2022, 10, 8, 556-565; J Dąbrowa, M Zajusz, W Kucza, G Cieślak, K Berent, T Czeppe, T Kulik, M Danielewski, Demystifying the sluggish diffusion effect in high entropy alloys, Journal of Alloys and Compounds, 2019, 783, 193-207; J Dąbrowa, J Adamczyk, A Stępień, M Zajusz, K Bar, K Berent, K Świerczek, Synthesis and properties of the gallium-containing ruddlesden-popper oxides with high-entropy B-site arrangement, Materials, 2022, 15, 18 art. no. 6500, 1-16; J Dąbrowa, K Zielińska, A Stępień, M Zajusz, M Nowakowska, M Moździerz, K Berent, M Szymczak, K Świerczek, Formation of solid solutions and

- physicochemical properties of the high-entropy perovskites, *Materials*, 2021, 14, 18 art. no. 5264, 1–16; J Dąbrowa, G Cieślak, M Stygar, M. Zajusz, M Jawańska, A Gil, J Jedliński, K Mroczka, K Matsuda, T Kulik, M Danielewski, Oxidation behavior of high-entropy alloys under thermal-cycling conditions, *Oxidation of Metals*, 2021, 96, 3–4, 307–321; Keyun Li, A Niemczyk, K Świerczek, A Stępień, Y Naumovich, J Dąbrowa, M Zajusz, K ZHENG, B Dabrowski, Co-free triple perovskite as a promising air electrode material for solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 2022, 532 art. no. 231371, 1–11; E M Godlewska, M Mitoraj-Królikowska, J Czerski, M Jawańska, S Gein, U Hecht, Corrosion of Al(Co)CrFeNi high-entropy alloys, *Frontiers in Materials*, 2020, 7 art. no. 566336, 1–12; D Vogiatzief, A Evirgen, M Pedersen, J Czerski, M Mitoraj-Królikowska, E Godlewska, E Eshed, U Hecht, Effect of heat treatment on mechanical and corrosion properties of an Al_{0.8}CrFe₂Ni₂ alloy processed by laser powder bed fusion, *Journal of Alloys and Compounds*, 2023, art. no. 69816
2. E. Godlewska, Materiały zawierające fazę międzymetaliczną β -NiAl-otrzymywanie i odporność chemiczna w wysokich temperaturach, *Ceramika*; ISSN 0860-3340; vol. 68 E. Godlewska, S. Szczepanik, R. Mania, J. Krawiarz, S. Koziński, FeAl materials from intermetallic powders, *Intermetallics*, 2003 11, 307–312 E. Godlewska, R. Mania, K. Mars, Sposób wytwarzania krzemku magnezu — Opis patentowy ; PL 217574 B1 ; Udziel. 2013-12-19 ; Opubl. 2014-07-31. <http://patenty.bg.agh.edu.pl/pelneteksty/PL217574B1.pdf> E. Godlewska, K. Mars, K. Zawadzka, Alternative route for the preparation of CoSb₃ and Mg₂Si derivatives, *Journal of Solid State Chemistry*, 2012 vol. 193, s. 109–113 E. Godlewska, K. Mars, R. Mania, S. Zimowski, Combustion synthesis of Mg₂Si, *Intermetallics*, 2011 vol. 19 iss. 12, 1983–1988 G. S. Polymeris, A. Theodorakakos, K. Mars, E. Godlewska, Ch. B. Lioutas, E. Hatzikraniotis, K. M. Paraskevopoulos, Comparing doping methodologies in Mg₂Si/AgMg system, *Journal of Electronic Materials*, 2014 vol. 43 no. 10, 3876–3883 E. Godlewska, M. Mitoraj, K. Leszczynska, Hot corrosion of Ti–46Al–8Ta (at.%) intermetallic alloy, *Corrosion Science*, 2014 vol. 78, 63–70 A. Prytuliak, E. Godlewska, K. Mars, D. Berthebaud, Synchrotron study of Ag-doped Mg₂Si: correlation between properties and structure, *Journal of Electronic Materials*, 2014 vol. 43 no. 10, 3746–3752

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 inżynierii materiałowej.
IMT2A_K03	Przestrzega zasad etyki zawodowej oraz posiada zrozumienie wpływu inżynierii materiałowej i nowoczesnych technologii na środowisko naturalne, oraz w sposób odpowiedzialny podejmuje z tym związane decyzje.
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_U02	Potrafi dokonać właściwego wyboru narzędzi informatycznych w celu rozwiązania problemu technicznego.
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_W02	Ma pogłębioną wiedzę z zakresu metod numerycznych, jak i narzędzi obliczeniowych stanowiących podstawę współczesnej analizy wyników eksperymentalnych oraz niezbędnych w projektowaniu nowych materiałów i modelowaniu procesów.
IMT2A_W04	Ma pogłębioną, podbudowaną teoretycznie wiedzę dotyczącą technik i metod pomiarowych w inżynierii materiałowej.