



Nazwa modułu: Rzeczywista struktura materii

Rok akademicki: 2017/2018      Kod: JFT-1-616-s      Punkty ECTS: 4

Wydział: Fizyki i Informatyki Stosowanej

Kierunek: Fizyka Techniczna      Specjalność: —

Poziom studiów: Studia I stopnia      Forma i tryb studiów: Stacjonarne

Język wykładowy: Polski      Profil kształcenia: Ogólnoakademicki (A)      Semestr: 6

Strona www: <http://www.fis.agh.edu.pl/~wierzbanowski/Rsm.htm>

Osoba odpowiedzialna: prof. dr hab. inż. Wierzbanowski Krzysztof (wierzban@agh.edu.pl)

Osoby prowadzące: prof. dr hab. inż. Wierzbanowski Krzysztof (wierzban@agh.edu.pl)

### Krótką charakterystyka modułu

Student zdobywa podstawowa wiedzę oraz umiejętności w zakresie własności rzeczywistych materiałów. Są one przydatne w dalszym studiowaniu.

### Opis efektów kształcenia dla modułu zajęć

Kod EKM	Student, który zaliczył moduł zajęć wie/umie/potrafi	Powiązania z EKK	Sposób weryfikacji efektów kształcenia (forma zaliczeń)
Wiedza			
M_W001	Student posiada wiedzę o naprężeniach oraz odkształceniach sprężystych i plastycznych materiałów, Student zna i rozumie zasady pomiarów dyfrakcyjnych tekstur krystalograficznych oraz naprężeń wewnętrznych i własnych, ich zastosowania i związek z własnościami materiałów.	FT1A_W01, FT1A_W06, FT1A_W01, FT1A_W06	Egzamin, Udział w dyskusji, Aktywność na zajęciach
M_W002	Student posiada wiedzę o defektach kryształów i polikryształów oraz o mechanizmach rekrytalizacji w materiałach, Student zna charakterystyki procesów technologicznych formowania materiałów (odkształcenie plastyczne, rekrytalizacja).	FT1A_W04, FT1A_W08, FT1A_W06, FT1A_W06, FT1A_W04	Egzamin, Udział w dyskusji, Aktywność na zajęciach
Umiejętności			

M_U001	Student potrafi prowadzić obliczenia odkształceń i naprężeń używając opisu tensorowego i macierzowego oraz stosować prawa sprężystości i plastyczności kryształów	FT1A_U01, FT1A_U05, FT1A_U05, FT1A_U01	Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Udział w dyskusji, Wykonanie ćwiczeń
M_U002	Student potrafi posługiwać się różnymi parametrami opisującymi orientację sieci krystalicznej i składowe tekstury.	FT1A_U01, FT1A_U04, FT1A_U04, FT1A_U01	Wykonanie ćwiczeń, Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Udział w dyskusji
M_U003	Student używa odpowiednich relacji i parametrów charakteryzujących defekty kryształów, odkształcenie plastyczne oraz rekrytalizację w materiałach polikrystalicznych	FT1A_U02, FT1A_U02	Aktywność na zajęciach, Kolokwium, Udział w dyskusji, Wykonanie ćwiczeń
Kompetencje społeczne			
M_K001	Student potrafi konstruktywnie współpracować w zespole rozwiązującym problemy rachunkowe	FT1A_K04, FT1A_K05, FT1A_K01, FT1A_K01	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Zaangażowanie w pracę zespołu
M_K002	Student angażuje się w dyskusję w grupie, jak również z prowadzącym, i potrafi dobrze sformułować swoje argumenty	FT1A_K04, FT1A_K05, FT1A_K01, FT1A_K01	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Zaangażowanie w pracę zespołu

## Matryca efektów kształcenia w odniesieniu do form zajęć

Kod EKM	Student, który zaliczył moduł zajęć wie/umie/potrafi	Forma zajęć										
		Wykład	Ćwiczenia audytoryjne	Ćwiczenia laboratoryjne	Ćwiczenia projektowe	Konwersatorium	Zajęcia seminaryjne	Zajęcia praktyczne	Zajęcia terenowe	Zajęcia warsztatowe	Inne	E-learning
Wiedza												
M_W001	Student posiada wiedzę o naprężeniach oraz odkształceniach sprężystych i plastycznych materiałów, Student zna i rozumie zasady pomiarów dyfrakcyjnych tekstur krystalograficznych oraz naprężeń wewnętrznych i własnych, ich zastosowania i związek z własnościami materiałów.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W002	Student posiada wiedzę o defektach kryształów i polikryształów oraz o mechanizmach rekrytalizacji w materiałach, Student zna charakterystyki procesów technologicznych formowania materiałów (odkształcenie plastyczne, rekrytalizacja).	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności												

M_U001	Student potrafi prowadzić obliczenia odkształceń i naprężeń używając opisu tensorowego i macierzowego oraz stosować prawa sprężystości i plastyczności kryształów	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U002	Student potrafi posługiwać się różnymi parametrami opisującymi orientację sieci krystalicznej i składowe tekstury.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_U003	Student używa odpowiednich relacji i parametrów charakteryzujących defekty kryształów, odkształcenie plastyczne oraz rekrytalizację w materiałach polikrystalicznych	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompetencje społeczne												
M_K001	Student potrafi konstruktywnie współpracować w zespole rozwiązującym problemy rachunkowe	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M_K002	Student angażuje się w dyskusję w grupie, jak również z prowadzącym, i potrafi dobrze sformułować swoje argumenty	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Treść modułu zajęć (program wykładów i pozostałych zajęć)

### Wykład

#### Dyfrakcyjne badania materiałów

Zastosowanie dyfrakcji rentgenowskiej, promieniowania synchrotronowego, neutronów i elektronów do badania własności mechanicznych i charakterystyk materiałów polikrystalicznych. Opis ilościowy odkształcenia sprężystego i plastycznego metali oraz obróbki termicznej (rekrytalizacja).

#### Tekstura krystalograficzna

Tekstura, sposoby jej reprezentacji (orientacje idealne, figura biegunowa, funkcja rozkładu orientacji), Dyfrakcyjne pomiary tekstury, Metody wyznaczania trójwymiarowej funkcji rozkładu orientacji ze zmierzonych figur biegunowych, Laboratoryjne i technologiczne zastosowania tekstur.

#### Tensory naprężenia i odkształcenia

Własności tensorów, Tensory naprężenia i odkształcenia, Typowe stany naprężeń i odkształceń, Miara dużego odkształcenia, Zastosowania.

#### Sprężystość ciał stałych

Potencjał międzyatomowy a sprężystość, Tensory C i S, notacja tensorowa i macierzowa, Wpływ symetrii na postać tensora sprężystości, Stałe sprężyste dla ciała izotropowego i dla kryształów, Energia sprężysta.

#### Dyfrakcyjne wyznaczanie naprężeń wewnętrznych

Zasada dyfrakcyjnego wyznaczania naprężeń, Wpływ anizotropii sprężystej – dyfrakcyjne stałe sprężyste, Wpływ symetrii materiału oraz tensora naprężeń, Anizotropia plastyczna – rozdzielenia naprężeń wewnętrznych I i II rzędu przy użyciu modelu odkształcenia polikryształu.

#### Drgania i defekty punktowe w kryształach

Fale sprężyste w kryształach: a) podejście ciągłe, b) podejście dyskretne (fonony), Defekty punktowe, równowagowa koncentracja defektów; Centra barwne.

#### Defekty liniowe i powierzchniowe w kryształach

Dyslokacje: własności, pole naprężeń, energia, siły działające na dyslokacje, mnożenie się dyslokacji, Defekty powierzchniowe: błędy ułożenia; granice ziaren, bliźniaków i granice międzyfazowe.

#### Odształcenie plastyczne kryształów i polikryształów

Plastyczność monokryształu: poślizg, bliźniakowanie, odkształcenie oraz rotacja ziarna i sieci krystalicznej, Modele odkształcenia sprężysto-plastycznego polikryształu.

#### Odształcenie plastyczne materiałów izotropowych

Opis odkształcenia plastycznego dla ośrodka ciągłego: Kryteria płynięcia plastycznego (Treski i Von Misesa), Pojęcie naprężeń efektywnych, Relacje naprężenie-odkształcenie plastyczne (równania Levy-Misesa i Hencky'ego), Typowe wyniki doświadczalne.

#### Kompozyty

Kompozyty, ich budowa, własności fizyczne oraz zastosowania.

#### Rekrytalizacja w metalach i stopach

Zdrowienie a rekrytalizacja, Zarodkowanie, Rekrytalizacja I i II rzędu, Modyfikacja mikrostruktury i własności materiałów podczas rekrytalizacji, Modelowanie rekrytalizacji

#### Efekt pamięci kształtu

Opis efektu, podstawy fizyczne, typowe materiały, Przemiana martenzytyczna, opis mechaniczny i termodynamiczny, Zastosowania.

#### Zastosowanie algorytmów genetycznych do doboru optymalnej tekstury

Schemat obliczeniowy algorytmów genetycznych, Reprezentacja tekstury przez zestaw współczynników, Funkcja doskonałości, Przykładowe rezultaty.

#### Technika wstecznego rozpraszania elektronów (EBSD) w badaniach materiałowych

Podstawy fizyczne metody wstecznego rozpraszania elektronów (EBSD). Transformacja Hough'a. Wyznaczanie charakterystyk materiałów.

### **Ćwiczenia audytoryjne**

#### Ćwiczenia rachunkowe

- Zastosowanie różnych opisów orientacji sieci kryształu względem układu próbki,
- Obliczania naprężeń i odkształceń przy różnych geometriach deformacji,
- Opis sprężystości ciał krystalicznych.

### **Sposób obliczania oceny końcowej**

Ocena końcowa (OK) obliczana jest jako średnia ważona ocen z egzaminu (E) i z ćwiczeń audytoryjnych (C):

$$OK = 0.5 \times E + 0.5 \times C$$

Uzyskanie pozytywnej oceny końcowej (OK) wymaga uzyskania pozytywnej oceny z ćwiczeń

audytoryjnych (C) i egzaminu (E).

### **Wymagania wstępne i dodatkowe**

- Znajomość podstaw teorii dyfrakcji i krystalografii
- Znajomość podstaw algebry liniowej (operacje na wektorach i macierzach)
- Znajomość rachunku różniczkowego i całkowego w zakresie podstawowym

### **Zalecana literatura i pomoce naukowe**

- K. Wierzbanowski – Materiały pomocnicze do przedmiotu: Rzeczywista Struktura Materiałów (<http://www.ftj.agh.edu.pl/~wierzbanowski/Rsm.htm>)
- M. Blicharski, „Wstęp do inżynierii materiałowej”, WNT, Warszawa, 2003
- A.G. Guy, „Wprowadzenie do nauki o materiałach”, PWN, Warszawa, 1977
- K. Przybyłowicz, „Metaloznawstwo teoretyczne”, Akademia Górniczo-Hutnicza, Skrypty uczelniane, Kraków, 1990
- R.E. Reed-Hill, „Physical Metallurgy Principles”, Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1964 (i późniejsze)

### **Publikacje naukowe osób prowadzących zajęcia związane z tematyką modułu**

- 1.S. Wronski, M. Wróbel, A. Baczmański, K. Wierzbanowski, Effects of cross-rolling on residual stress, texture and plastic anisotropy in f.c.c. and b.c.c. metals, *Materials Characterization*, 77 (2013) 116 – 126
- 2.S. Wronski, J. Tarasiuk, B. Bacroix, K. Wierzbanowski, H. Paul, Microstructure heterogeneity after the ECAP process and its influence on recrystallization in aluminium, *Materials Characterization*, 78 (2013) 60-68
- 3.M. Wronski, K. Wierzbanowski, S. Wronski, B. Bacroix, P. Lipinski, Texture variation in asymmetrically rolled titanium. Study by Finite Element Method with implemented crystalline model, *International Journal of Mechanical Sciences*, 87 (2014) 258-267
- 4.A. Uniwersał, M. Wróbel, K. Wierzbanowski, S. Wroński, M. Wroński, I. Kalemba-Rec, T. Sak, B. Bacroix, Microstructure, texture and mechanical characteristics of asymmetrically rolled polycrystalline copper, *Materials Characterization*, 118 (2016) 575-583
- 5.A. Uniwersał, M. Wroński, M. Wróbel, K. Wierzbanowski, A. Baczmański, texture effects due to asymmetric rolling of polycrystalline copper, *Acta Materialia*, 139 (2017) 30-38
- 6.M. Wroński, K. Wierzbanowski, D. Wojtas, E. Szyfner, R. Z. Valiev, J. Kawałko, K. Berent, K. Sztwiertnia, Microstructure, Texture and Mechanical Properties of Titanium Grade 2 Processed by ECAP (Route C), *Metal and Materials International*, 24 (2018)
- 7.M. Marciszko, A. Baczmański, M. Wróbel, W. Seiler, C. Braham and K. Wierzbanowski, New developments of multireflection grazing incidence diffraction, *Advanced Materials Research*, 996 (2014) 147-154
- 8.S. Wronski, K. Wierzbanowski, M. Jędrychowski, J. Tarasiuk, M. Wronski, A. Baczmański, B. Bacroix, Microstructure evolution of titanium after tensile test, *Materials Science and Engineering A*, 656 (2016) 1-11
- 9.M. Arul Kumar, M. Wronski, R.J. McCabe, L. Capolungo, K. Wierzbanowski, C.N. Tomé, Role of microstructure on twin nucleation and growth in HCP titanium: A statistical study, *Acta Materialia* 148 (2018) 123-132
- 10.M. Wronski, M. Arul Kumar, L. Capolungo, R.J. McCabe, K. Wierzbanowski, C.N. Tomé, Deformation behavior of CP-titanium: Experiment and Crystal plasticity modeling, *Materials Science and Engineering A*, 724 (2018) 289-297

### **Informacje dodatkowe**

Sposób i tryb wyrównania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na ćwiczenia audytoryjne:

Nieobecność na jednym ćwiczeniu wymaga od studenta samodzielnego opanowania przerabianego na tych zajęciach materiału.

Nieobecność na więcej niż jednym ćwiczeniu wymaga od studenta samodzielnego opanowania przerabianego na tych zajęciach materiału i jego zaliczenia w formie pisemnej w wyznaczonym przez prowadzącego terminie, lecz nie później jak w ostatnim tygodniu trwania zajęć.

Student który bez usprawiedliwienia opuścił więcej niż dwa ćwiczenia i jego częściowe wyniki w nauce były negatywne może zostać pozbawiony, przez prowadzącego zajęcia, bez możliwości wyrównania zaległości.

Zasady zaliczania ćwiczeń audytoryjnych:

Ocena z ćwiczeń audytoryjnych wyliczana jest w oparciu o dwa zbiorcze kolokwia przeprowadzone w trakcie semestru oraz o aktywność studenta podczas zajęć (rozwiązywanie zadań przy tablicy).

Warunkiem przystąpienia do egzaminu jest wcześniejsze uzyskanie zaliczenia z ćwiczeń audytoryjnych.

## **Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)**

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Egzamin lub kolokwium zaliczeniowe	4 godz
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	42 godz
Przygotowanie do zajęć	28 godz
Udział w wykładach	30 godz
Udział w ćwiczeniach audytoryjnych	15 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	119 godz
Punkty ECTS za moduł	4 ECTS