

**AGH**AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

Nazwa modułu:	Optoelektronika				
Rok akademicki:	2014/2015	Kod:	IET-1-405-s	Punkty ECTS:	3
Wydział:	Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji				
Kierunek:	Elektronika i Telekomunikacja	Specjalność:	—		
Poziom studiów:	Studia I stopnia	Forma i tryb studiów:	Stacjonarne		
Język wykładowy:	Polski	Profil kształcenia:	Ogólnoakademicki (A)	Semestr:	4
Strona www:	—				
Osoba odpowiedzialna:	Lipiński Marcin (mlipinsk@agh.edu.pl)				
Osoby prowadzące:	dr inż. Buczek Łukasz (lbuczek@agh.edu.pl) Lipiński Marcin (mlipinsk@agh.edu.pl) dr inż. Swatowska Barbara (swatow@agh.edu.pl)				

## 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	ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie fotoniki, w tym wiedzę niezbędną do zrozumienia fizycznych podstaw działania systemów telekomunikacji optycznej oraz optycznego zapisu i przetwarzania informacji;	ET1A_W03	Egzamin
M_W002	ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie zasad działania elementów optoelektronicznych oraz wybranych systemów optoelektronicznych	ET1A_W12	Egzamin
Umiejętności			
M_U001	potrafi pracować indywidualnie i w zespole; umie oszacować czas potrzebny na realizację zleconego zadania; potrafi opracować i zrealizować harmonogram prac zapewniający dotrzymanie terminów potrafi zaprojektować łącze optyczne	ET1A_U20, ET1A_U02	Sprawozdanie
Kompetencje społeczne			

M_K001	ma świadomość odpowiedzialności za pracę własną oraz gotowość podporządkowania się zasadom pracy w zespole i ponoszenia odpowiedzialności za wspólnie realizowane zadania	ET1A_K04	Sprawozdanie
--------	---	----------	--------------

## 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	ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie fotoniki, w tym wiedzę niezbędną do zrozumienia fizycznych podstaw działania systemów telekomunikacji optycznej oraz optycznego zapisu i przetwarzania informacji;	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
M_W002	ma uporządkowaną i podbudowaną teoretycznie wiedzę w zakresie zasad działania elementów optoelektronicznych oraz wybranych systemów optoelektronicznych	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Umiejętności												
M_U001	potrafi pracować indywidualnie i w zespole; umie oszacować czas potrzebny na realizację zleconego zadania; potrafi opracować i zrealizować harmonogram prac zapewniający dotrzymanie terminów potrafi zaprojektować łącze optyczne	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompetencje społeczne												
M_K001	ma świadomość odpowiedzialności za pracę własną oraz gotowość podporządkowania się zasadom pracy w zespole i ponoszenia odpowiedzialności za wspólnie realizowane zadania	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

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

### Wykład

Wykład.(15 g.)

1. Materiały dla optoelektroniki i zjawiska w nich zachodzące (3 g.)

Materiały do budowy półprzewodnikowych źródeł i detektorów światła. Model energetyczny, znaczenie przerwy energetycznej. Możliwości dobierania szerokości przerwy energetycznej w szczególności dla związków III-V grupy układu okresowego. Oddziaływanie światła i materii w półprzewodnikach – absorpcja i emisja, fotony, elektrony, fonony. Warunki emisji promienistej w półprzewodniku. Rodzaje przerw energetycznych, przerwa skośna i prosta. Zasada zachowania pędu w procesie rekombinacji promienistej. Efektywność rekombinacji promienistej. Ogólne rozważania Einsteina na temat emisji i absorpcji w materii, warunek równowagi termodynamicznej. Emisja spontaniczna, emisja wymuszona. Warunki rozkładu boltzmanowskiego i antyboltzmanowskiego, inwersja obsadzeń, wzmacnianie światła, akcja laserowa. Rola gęstości widmowej mocy światła. Dodatkowo sprzężenie zwrotne, rezonans optyczny, budowa i właściwości rezonatora Fabry-Perot.

2. Półprzewodnikowe źródła światła (3 g.)

Budowa i zasada działania diody elektroluminescencyjnej LED (2 g.). Równania bilansu dla LED. Rola heterozłącza w półprzewodnikowych źródłach światła. Właściwości użytkowe LED. Charakterystyka robocza, właściwości modulacyjne i termiczne LED. Właściwości światła emitowanego przez LED. Laser półprzewodnikowy Równania bilansu dla lasera półprzewodnikowego. Budowa lasera półprzewodnikowego o strukturze paskowej i podwójnym heterozłączu. Właściwości użytkowe, elektryczne i optyczne lasera. Charakterystyki robocze, kątowny rozkład emisji, polaryzacja emitowanego światła, zależności termiczne, ogólne właściwości modulacyjne. Porównanie właściwości światła emitowanego przez LED i laser półprzewodnikowy. Podstawowe problemy i konstrukcje laserów. Procesy degradacyjne w LED i laserach półprzewodnikowych. Inne typy laserów – Lasery ciała stałego: rubinowy, Nd:YAG i Nd:YVO4. Laser DPSSL z podwajaniem częstotliwości emitowanego światła.

3. Fotodetektory (2 g.). Fotodetektor złączowy p-n. Absorpcja światła, efekt rozdzielania nośników, fotoprąd. Struktura p-i-n. Czułość i efektywność kwantowa. Charakterystyka U/I fotodiody p-i-n. Zależność chromatyczna czułości. Właściwości dynamiczne, charakterystyka częstotliwościowa fotodiody p-i-n. Odczyt i przetwarzanie prądu z fotodiody – układy przedwzmacniaczy. Konstrukcja i właściwości fotodiody z heterozłączem. Fotodioda lawinowa. Zjawiska, budowa i podstawowe parametry. Szumy w fotodiodach p-i-n i lawinowej.

4. Ogniwa fotowoltaiczne (2 g.)

Energia słoneczna i widmo promieniowania. Efekt fotowoltaiczny i początki fotowoltaiki. Procesy zachodzące w ogniwach. Budowa ogniwa i rodzaje złącz. Przykładowe struktury ogniw. Najważniejsze parametry ogniw. Rola warstwy antyrefleksyjnej i jej najważniejsze parametry – poprawa sprawności ogniw. Charakterystyki I-V ogniw i inne parametry elektryczne. Połączenie szeregowe i równoległe ogniw. Programy symulacyjne parametrów ogniw, na przykładzie PC1D. Uwarunkowania prawne instalowania systemów PV w Polsce. Instalacje PV na AGH i na świecie.

5. Podstawy, budowa i właściwości światłowodów (2g.)

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia, jako mechanizm działania światłowodu. Apertura numeryczna. Rozchodzenie się światła w światłowodzie – mody jako rozwiązania równań propagacyjnych. Współzależności apertury numerycznej, wymiarów geometrycznych, konstrukcji, parametrów optycznych i warunków

propagacji fal. Światłowód wielomodowy, liczba modów propagujących, dyspersja międzymodowa i jej skutki. Warunek propagacji jednomodowej. Mechanizmy tłumienia światła, absorpcja i rozpraszanie Rayleigha, odbicie Fresnela i ich skutki.

Niatelekomunikacyjne zastosowania światłowodów. Optyka włóknista, obrazowód.

6. Urządzenia oparte na zjawisku fotoemisji (1 g.).

Zjawisko fotoemisji. Właściwości i materiały fotokatod. Fotopowielacz próżniowy, budowa, zasada działania, właściwości. Wzmacniacze i przetworniki obrazu.

Noktowizor. Fotopowielacz półprzewodnikowy SiPM . Budowa, zasada działania.

Właściwości, parametry, układy odczytu sygnału.

7. Displeje i przetworniki obrazu (2 g.).

Rys historyczny – lampa oscyloskopowa i obrazowa. Współczesne rozwiązania – Displej z pikselami LED. Displeje LCD – zjawiska i materiały do konstrukcji wyświetlaczy LCD.

Właściwości materiałów ciekłokrystalicznych. Rozpraszanie dynamiczne, nematyk skręcony. Budowa i właściwości wyświetlacza barwnego LCD. Półprzewodnikowe przetworniki obrazów. Budowa elementu ładunkowego CCD, zasada działania,

sterowanie i odczyt sygnału. Struktury analizujące obraz dwuwymiarowy – linijka i matryca. Systemy sterowania i odczytu sygnału. Struktury CMOS – porównanie obydwu kategorii.

### **Ćwiczenia laboratoryjne**

Ćwiczenia laboratoryjne – 15 g

1.LED.(4 g.)

Badanie mikroskopowe i omówienie budowy, materiałów, właściwości emisyjnych diod LED sygnalizacyjnych oraz diody o konstrukcji Burrusa do aplikacji światłowodowej.

Pomiary i porównanie charakterystyk I/U oraz roboczych diod LED o różnych barwach emitowanego światła. Biała dioda LED.

Podstawowe aplikacje. Pixel barwny zbudowany z diod RGB – budowa, zasilanie, możliwości sterowania jasnością i barwą świecenia. Displeje oparte na diodach LED.

Displej numeryczny siedmiosegmentowy i matryca, metody sterowania.

Optoizolatory – budowa, przegląd konstrukcji. Pomiar podstawowych właściwości różnych typów optoizolatorów.

2. Laser półprzewodnikowy.(4 g.)

Badanie mikroskopowe i omówienie budowy czerwonego lasera półprzewodnikowego paskowego z rezonatorem Fabry-Perrot oraz lasera VCSEL, rola wbudowanego monitora, emisja światła, zakres emisji spontanicznej i wymuszonej. Obserwacja i

omówienie właściwości emitowanego światła w obszarze emisji wymuszonej. Interferencja i spekle, jako przejawy spójności światła. Badanie polaryzacji światła laserowego. Uproszczony pomiar charakterystyki roboczej i orientacyjne wyznaczenie

wartości prądu progowego z wykorzystaniem efektu wrażliwości termicznej emisji. Pomiary charakterystyk kątowych emisji w dwóch ortogonalnych płaszczyznach.

Kolimacja wiązki światła i jej właściwości.

3. Ogniwo fotowoltaiczne (4 g.)

Pomiary sprawności krzemowych ogniw słonecznych na bazie krzemu mono- i multi-krystalicznego z wykorzystaniem urządzenia do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych ogniw słonecznych wraz z oprogramowaniem – I-V Curve Traser for Solar Cells Qualification, v. 4.1.1. Ocena jakości ogniw na podstawie uzyskanych

parametrów elektrycznych. Pomiary w warunkach STC a także przy zmiennej temperaturze oraz zmiennym oświetleniu.

Możliwości programu symulacyjnego PC1D (producent: University of New South Wales) oraz jego obsługa: znając parametry materiału bazowego ogniw słonecznych lub

warstwy antyrefleksyjnej dopasowujemy parametry pracy samych ogniw słonecznych i optymalizować rozwiązania konstrukcyjne tego typu urządzeń. Analiza wpływu

warunków zewnętrznych na parametry pracy ogniwa przy określonej konstrukcji ogniwa, na określonym podłożu (głównie temperatury).

Literatura do fotowoltaiki:

1. Strona internetowa: Fotowoltaika Polska, [www.pv.pl](http://www.pv.pl)
2. Z.M. Jarzębski, Energia Słoneczna. Konwersja Fotowoltaiczna, PWN, Warszawa 1990
3. E. Klugmann, E. Klugmann-Radziemska, Alternatywne źródła energii, energetyka fotowoltaiczna, wyd. Białystok: Wydaw. Ekonomia i Środowisko, 1999
4. Światłowód.(3 g.)

Obserwacja efektu całkowitego wewnętrznego odbicia, pokazowe struktury światła wiodące. Demonstracja efektu granicznego kąta akceptacji, efekt wyciekania światła ze struktury. Światłowód plastikowy i plastikowo-szklany – obserwacja przewodzenia światła widzialnego, pomiar apertury numerycznej, pokaz wpływu warunków sprzężenia ze źródłem na propagację grup modowych. Efekt separacji grup modowych. Pomiar charakterystyki katowej akceptacji i emisji. Wyznaczenie apertury numerycznej NA. Światłowód szklany telekomunikacyjny, wielodomowy gradientowy. Mikroskopowa obserwacja struktury. Badanie udziału rozpraszania Rayleigha i absorpcji w tłumieniu światłowodu. Pomiar tłumienia światłowodu wielomodowego w funkcji długości fali światła propagującego. Sprawdzenie zgodności zależności z funkcją  $\lambda^{-4}$  – wnioski.

### **Sposób obliczania oceny końcowej**

1. Warunkiem uzyskania pozytywnej oceny końcowej jest uzyskanie pozytywnej oceny z laboratorium oraz z egzaminu.

2. Obliczamy średnią ocen z laboratorium i egzaminu uzyskanych we wszystkich terminach.

3. Wyznaczymy ocenę końcową na podstawie zależności:

if  $sr > 4.75$  then OK:=5.0 else

if  $sr > 4.25$  then OK:=4.5 else

if  $sr > 3.75$  then OK:=4.0 else

if  $sr > 3.25$  then OK:=3.5 else OK:=3

Jeżeli pozytywną ocenę z laboratorium i egzaminu uzyskano w pierwszym terminie i dodatkowo student był aktywny na wykładach, to ocena końcowa jest podnoszona o 0.5.

### **Wymagania wstępne i dodatkowe**

1. Rachunek różniczkowy i całkowy.

2. Podstawy fizyki ciała stałego.

3. Podstawy optyki.

4. Podstawy teorii obwodów.

5. Teoria sygnałów.

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

1. B.E.A. Saleh, M.C. Teich – Fundamentals of Photonics – Wiley 2007.

2. J. Siuzdak – Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej – WKŁ 1999.

3. K. Booth – Optoelektronika – WKŁ 2001.

4. G. Einarsson – Podstawy telekomunikacji światłowodowej – WKŁ 1998.

Literatura do fotowoltaiki:

1. Strona internetowa: Fotowoltaika Polska, [www.pv.pl](http://www.pv.pl)

2. Z.M. Jarzębski, Energia Słoneczna. Konwersja Fotowoltaiczna, PWN, Warszawa 1990

3. E. Klugmann, E. Klugmann-Radziemska, Alternatywne źródła energii, energetyka fotowoltaiczna, wyd. Białystok: Wydaw. Ekonomia i Środowisko, 1999

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

Nie podano dodatkowych publikacji

### Informacje dodatkowe

Brak

### Nakład pracy studenta (bilans punktów ECTS)

Forma aktywności studenta	Obciążenie studenta
Udział w wykładach	14 godz
Udział w ćwiczeniach laboratoryjnych	14 godz
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	30 godz
Przygotowanie sprawozdania, pracy pisemnej, prezentacji, itp.	10 godz
Przygotowanie do zajęć	10 godz
Sumaryczne obciążenie pracą studenta	78 godz
Punkty ECTS za moduł	3 ECTS