

**Zespół Autorski:**

*Ryszard Piramidowicz*

*Anna Jusza*

*Krzysztof Anders*

*Stanisław Stopiński*

**Wzmacniacze i lasery światłowodowe (WLS)  
(Fiber lasers and amplifiers)**

**Poziom kształcenia:** *II stopień*

**Forma i tryb prowadzenia przedmiotu:** *stacjonarna*

**Kierunek studiów:** *Elektronika*

**Specjalność:** *Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*

**Klasy programowe:**

**Poziom przedmiotu:** *zaawansowany*

**Status przedmiotu:** *obieralny*

**Język przedmiotu:** *polski*

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):**

**Minimalny numer semestru:** *(wpisać wg poprzedników wymaganych przez zespół autorski)*

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:**

**Limit liczby studentów:** *26*

**Powód zgłoszenia przedmiotu:** *nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

**Cel przedmiotu:** *Głównym celem przedmiotu jest zaznajomienie studentów z aktualnym stanem wiedzy na temat aktywnych układów światłowodowych, zarówno od strony teoretycznej, jak i z punktu widzenia zastosowań w układach telekomunikacji i optoelektroniki zintegrowanej. Wykład zaznajamia studentów z nowoczesnym formalizmem opisu zjawisk oddziaływania fal elektromagnetycznych z ośrodkami liniowymi, nieliniowymi i wzmacniającymi, opartym na półklasycznej teorii promieniowania, rachunku operatorowym oraz metodami rozwiązywania nieliniowych równań Schrödingera. Omawiane zagadnienia stanowią rozszerzenie wiadomości z wybranych działów fizyki, szczególnie teorii pola elektromagnetycznego i optyki kwantowej. Materiał wykładu obejmuje analizę parametrów spektroskopowych ośrodków aktywnych, teorię propagacji promieniowania w światłowodowych strukturach aktywnych oraz zaawansowany teoretyczny opis parametrów wzmocnienia i generacji dla pracy impulsowej i CW, z odniesieniami do konkretnych zastosowań. Wykład bazuje na najnowszych doniesieniach z literatury światowej, jak również na wynikach prac własnych autorów*

**Treść kształcenia:**

**Informacje ogólne:**

Przedmiot składa się z części wykładowej, projektowej oraz laboratorium. Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest uzyskanie co najmniej 50% punktów z każdej ww. części.

**Opis wykładu:**

**1. Wstęp**

Zastosowanie światłowodów do transmisji sygnałów optycznych, uwarunkowania technologiczne i konstrukcyjne. Zastosowania aktywnych struktur światłowodowych - wzmacniacze i lasery. Przypomnienie zjawisk prowadzących do generacji promieniowania w strukturach aktywnych. Równania Maxwella. Przejście do równania falowego.

**2. Podstawy propagacji światła w światłowodach**

Opis propagacji światła w światłowodach włóknowych i planarnych o różnych profilach współczynnika załamania. Mody prowadzone, mody wypromieniowania, mody upływowe. Równanie dyspersyjne i metody jego rozwiązywania.

**3. Dielektryczne ośrodki czynne domieszkowane jonami ziem rzadkich**

Przejścia optyczne w jonach aktywatora w matrycy dielektrycznej. Podstawy spektroskopii optycznej lantanowców w szklach i kryształach. Zjawiska związane z oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego z jonami aktywnymi - procesy absorpcji, emisji spontanicznej i wymuszonej, bezpromienistego wygaszania fluorescencji, konwersji wzbudzenia.

**4. Pompowanie optyczne**

Zagadnienie pobudzania optycznego wzmacniaczy i laserów światłowodowych. Teoria sprzężenia układów włóknowych i planarnych ze źródłami pompującymi. Światłowody wielopłaszczyznowe, pompowanie płaszczyznowe. Realizacje źródeł pompujących.

**5. Teoria pracy wzmacniaczy włóknowych i planarnych**

Określenie wzmocnienia małosygnałowego w układach trzy- i cztero-poziomowych na podstawie równań bilansu. Zależność wzmocnienia od mocy pompującej oraz geometrii pompowania. Uwzględnienie efektu nasycenia wzmocnienia. Tłumienność oraz starty związane z procesami wielojonowymi i wielofotonowymi.

**6. Wzmacniacze światłowodowe**

Światłowodowe wzmacniacze telekomunikacyjne na pasmo 1.3 i 1.55  $\mu\text{m}$  (pasma S, C, L). Materiały, technologia i właściwości optyczne. Pompy optyczne do wzmacniaczy telekomunikacyjnych. Charakterystyki wzmocnienia. Zagadnienie wzmocnionej emisji spontanicznej (ASE). Metody pomiarowe parametrów wzmacniaczy optycznych.

**7. Teoria generacji we włóknach optycznych i strukturach planarnych**

Trzy- i cztero-poziomowe układy pracy, warunki progowe i ponad progowe generacji, oddziaływanie modu pompującego i laserowego. Wpływ rezonatora na parametry generowanego promieniowania. Analiza mocy wyjściowej przy pomocy całki mocy.

**8. Lasery światłowodowe**

Lasery włóknowe wielkiej mocy - generacja promieniowania w laserze  $\text{Yb}^{3+}$ . Lasery włóknowe na zakres widzialny, w tym lasery z konwersją wzbudzenia. Lasery włóknowe na zakres UV. Zastosowania.

**9. Rezonatory w laserach światłowodowych**

Podstawy teorii rezonatorów siatkowych. Dielektryczne lasery planarne oraz włóknowe z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym (DFB) i z rozłożonym zwierciadłem braggowskim

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

(DBR). Kształtowanie charakterystyk wzmacniacza przy pomocy struktur siatkowych. Siatki braggowskie jako filtry częstotliwościowe.

### 10. Generacja krótkich impulsów

Generacja krótkich impulsów optycznych w laserach światłowodowych. Przełączanie dobroci rezonatora i synchronizacja modów. Kompresja impulsów. Lasery w konfiguracji MOPA (master oscillator power amplifier).

### 11. Mikrolasery

Indukowany termicznie efekt światłowodowy w ośrodkach dielektrycznych. Mikrolasery. Zasada działania, materiały i konstrukcje. Praca jednomodowa i sposoby modulacji promieniowania mikrolaserów.

**Laboratorium:** (zakres laboratorium, tematy i opis ćwiczeń laboratoryjnych itp.)

1. Ośrodki aktywne do laserów włóknowych cz. 1
2. Ośrodki aktywne do laserów włóknowych cz. 2
3. Badanie parametrów światłowodowych wzmacniaczy optycznych
4. Badanie parametrów laserów światłowodowych

**Projekt:** (sposób prowadzenia, opis zajęć projektowych)

Indywidualny projekt obejmujący modelowanie podstawowych parametrów propagacyjnych, wzmocnieniowych i generacyjnych wybranych światłowodowych elementów czynnych i układów generacyjnych.

**Egzamin:** nie

**Literatura:** (wpisać zestaw literatury do przedmiotu, to pole jest obowiązkowe)

1. M.J.F. Digonnet, Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifiers, Revised and Expanded, 2ed, Marcel Dekker, Inc., 2001
2. E. Desurvire, Erbium doped fiber amplifiers - principles and applications, Wiley, 1994 (lub nowsze)
3. L. Dong, B. Samson, Fiber Lasers: Basics, Technology, and Applications, CRC Press, 2016
4. A. Majewski: Teoria i projektowanie światłowodów, WNT, 1991.

**Oprogramowanie:** *Optiwave Optisystem, Origin* (dostęp do obu programów zapewniony przez prowadzących zajęcia)

<b>Wymiar godzinowy zajęć:</b>	W	C	L	P	
	30	-	15	15	(60)

**Wymiar w jednostkach ECTS:** (5)

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):**

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

1. *liczba godzin kontaktowych – (65) godz., w tym*
  - *obecność na wykładach (30) godz.,*
  - *obecność na laboratorium (15) godz.,*
  - *obecność na zajęciach projektowych (15) godz.,*
  - *udział w konsultacjach (5) godz.*
2. *praca własna studenta – (65) godz., w tym*
  - *przygotowanie do laboratoriów (10) godz.,*
  - *przygotowanie do kolokwiów (10) godz.,*
  - *wykonywania zadań projektowych (25) godz.,*
  - *przygotowanie sprawozdań (projekty i laboratoria) (20) godz.*

**Łączny nakład pracy studenta wynosi (130) godz., co odpowiada (5) pkt ECTS.**

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: (2,5) pkt ECTS, co odpowiada (65) godz. kontaktowym.**

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: (2,9) pkt ECTS, co odpowiada (15) godz. ćwiczeń laboratoryjnych i (60) godz. zadań projektowych**

### **Efekty kształcenia/uczenia się:**

*(tabelę wypełniamy wyszukując najbliższe efekty wykazane w pliku*

*<https://www.bip.pw.edu.pl/var/pw/storage/original/application/bd44a5022df461a12fbc406ce776042f.pdf>*

<b>Efekty kształcenia/uczenia się</b>	<b>forma zajęć/ technika kształcenia</b>	<b>sposób weryfikacji (oceny)</b>	<b>odniesienie do efektów uczenia się dla programu</b>
student, który zaliczył przedmiot:			
<b>WIEDZA</b>			
Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia z zakresu zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki.	Wykład	Kolokwia wykładowe	P7U_W03
Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z wybranymi zagadnieniami z zakresu techniki laserowej.	Wykład	Kolokwia wykładowe	P7U_W04
Zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały stosowane przy rozwiązywaniu złożonych zadań inżynierskich z zakresu techniki laserowej.	Wykład, projekt	Kolokwia wykładowe, projekt	P7U_W06
<b>UMIĘJĘTNOŚCI</b>			

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych właściwie dobranych źródeł, także w języku angielskim; potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji i krytycznej oceny, a także wyciągać wnioski oraz formułować i wyczerpująco uzasadniać opinie.	Projekt	Projekt	P7U_U01
Potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym zaawansowane pomiary i symulacje komputerowe z zakresu analizy i modelowania laserów.	Laboratorium, projekt	Laboratorium, projekt	P7U_U07
Potrafi wykorzystać metody analityczne, symulacyjne oraz eksperymentalne do formułowania i rozwiązywania zadań inżynierskich i prostych problemów badawczych z zakresu analizy, modelowania, charakteryzacji i projektowania laserów.	Projekt	Projekt	P7U_U08
Potrafi formułować i testować hipotezy związane z problemami inżynierskimi i prostymi problemami badawczymi z zakresu analizy, modelowania, charakteryzacji i projektowania laserów.	Laboratorium, projekt	Laboratorium, projekt	P7U_U10
<b>KOMPETENCJE SPOŁECZNE</b>			
Potrafi myśleć i działać w sposób kreatywny i przedsiębiorczy.	Laboratorium, projekt	Laboratorium, projekt	P7U_K01
Ma świadomość roli społecznej absolwenta uczelni technicznej, a zwłaszcza rozumie potrzebę formułowania i przekazywania społeczeństwu, w szczególności poprzez środki masowego przekazu, informacji i opinii dotyczących osiągnięć techniki i innych aspektów działalności inżynierskiej; podejmuje starania, aby przekazać takie informacje i opinie w sposób powszechnie zrozumiały, z uzasadnieniem różnych punktów widzenia.	Laboratorium, projekt	Laboratorium, projekt	P7U_K02