

Zespół Autorski:

Ryszard Piramidowicz

Anna Jusza

Krzysztof Anders

Stanisław Stopiński

**Fotoniczne układy scalone (FUS)
(Photonic integrated circuits)**

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: *obowiązkowy*

Język przedmiotu: *polski*

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych): *2*

Minimalny numer semestru: *2*

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: *(wpisać, wraz z kodami przedmiotów)*

Limit liczby studentów: *48*

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

Cel przedmiotu: Celem przedmiotu jest wprowadzanie studentów w zagadnienia współczesnej fotoniki scalonej, zapewnienie wiedzy na temat podstaw fizycznych działania, konstrukcji podstawowych i zaawansowanych bloków funkcjonalnych oraz głównych platform technologicznych. Studenci zostaną gruntownie wprowadzeni w zagadnienia projektowania, wytwarzania, charakteryzacji i implementacji układów fotoniki scalonej. Ambicją autorów przedmiotu jest przede wszystkim przygotowanie studentów do podejmowania ról projektantów i użytkowników układów fotoniki zintegrowanej, ale również przedstawienie trendów rynkowych i perspektyw biznesowych.

Treść kształcenia:

Informacje ogólne:

Przedmiot składa się części wykładowej oraz laboratoryjnej. Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest uzyskanie co najmniej 50% punktów z każdej części. Laboratorium punktowane jest w skali od 0 do 40 punktów, egzamin od 0 do 60 punktów. Łącznie można uzyskać 100 punktów, zaś ocena końcowa z przedmiotu jest wystawiana według poniższej reguły:

91 - 100 punktów	ocena: 5,0
81 - 90 punktów	ocena: 4,5
71 - 80 punktów	ocena: 4,0
61 - 70 punktów	ocena: 3,5
51 - 60 punktów	ocena: 3,0
do 50 punktów	ocena: 2,0

Opis wykładu:

1. Wstęp do fotoniki scalonej

Część wstępna wykładu posłuży do przedstawienia istniejącego stanu wiedzy nt. technologii fotoniki scalonej. Najważniejsze poruszane tematy będą dotyczyły samej koncepcji integracji w fotonice, technologii wytwarzania (krzemowej, fosforu indu, azotku krzemu i innych), metodom i narzędziom modelowania i projektowania układów scalonych, technikom charakteryzacji, potencjalnym dziedzinom zastosowania z konkretnymi przykładami układów PIC, technologiom montowania układów w hermetyczne obudowy z wyprowadzeniami elektrycznymi i światłowodowymi (packaging).

2. Podstawy propagacji światła w falowodach planarnych/prostokątnych

W ramach tej części wykładu zostaną omówione podstawowe warunki propagacji sygnałów optycznych w falowodach (półprzewodnikowych) wytworzonych w technologii planarnej. Analiza teoretyczna będzie bazowała na równaniach Maxwella, równaniu falowym oraz równaniu dyspersyjnym. Omówione zostaną podstawowe struktury falowodów – odcinki proste, zakręty oraz przewężenia. Przedstawione zostaną podstawowe metody (EIM, BPM, FDTD) używane do wyznaczania rozkładu pola elektromagnetycznego oraz analizy propagacji sygnałów optycznych.

3. Podstawowe elementy pasywne – struktury MMI, (de)multiplexery AWG, sprzęgacze kierunkowe, struktury periodyczne

Ta część wykładu poświęcona jest podstawowym właściwościom struktur pasywnych, z uwzględnieniem zasady działania, metod i narzędzi projektowania, ich wykorzystania w obwodach scalonych. Zostaną omówione takie elementy jak sprzęgacze i zwierciadła MMI, (de)multiplexery AWG, sprzęgacze kierunkowe, struktury periodyczne. Dodatkowo, zostaną przedstawione problemy związane z technologią wytwarzania danych struktur (np. dla zwierciadeł Bragga).

4. Wzmacniacze optyczne

Na wykładzie zostaną przedstawione fundamentalne właściwości fizyki półprzewodników (kryształów i złącz p-n), z uwzględnieniem teorii struktury pasmowej, procesów elektro-optycznych (absorpcja i emisja światła), technologii wytwarzania. Właściwości wzmacniacza

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

SOA (semiconductor optical amplifier) zostaną omówione w sposób szczegółowy. W szczególności zostaną przedstawione np. równania bilansu, wzmocnienie małosygnałowe, procesy wpływające na krzywą wzmocnienia, techniki pomiaru wzmocnienia, podstawowe metody numeryczne służące do modelowania wzmacniaczy półprzewodnikowych.

5. Struktury laserów

W tej części wykładu zostanie przedstawiona zasada działania i projekty struktur laserowych stosowanych typowo w układach optoelektroniki zintegrowanej. Omówione będą lasery wykorzystujące rezonatory Fabry-Perot, rezonatory ze zwierciadłami Bragga (DBR), rezonatory z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym (DFB), lasery z filtrowanym sprzężeniem zwrotnym, lasery wielokanałowe, lasery pierścieniowe, lasery z synchronizacją modów.

6. Modulatory światła

Ta część wykładu będzie poświęcona omówieniu różnych technik modulacji światła, zarówno fazy, jak i amplitudy sygnału optycznego. Przedstawione zostaną takie techniki jak wstrzykiwanie i wymiatanie nośników, elektro-absorpcja, efekt termo-optyczny, efekt elektro-optyczny. W ramach wykładu zostanie zarówno omówiona fizyka poszczególnych efektów, jak również praktyczne aspekty projektowania zintegrowanych modulatorów światła.

7. Zintegrowane fotodetektory

W tej części wykładu zostaną przedstawione podstawowe struktury fotodetektorów używanych w fotonicznych układach scalonych, czyli fotodiody p-i-n. Omówione zostaną takie parametry opto-elektroniczne jak m.in. wydajność kwantowa, czułość detektora i szумы.

8. Fotoniczne układy scalone

Ostatnia część wykładu będzie poświęcona najważniejszym praktycznym aplikacjom fotonicznych układów scalonych w różnych dziedzinach nauki i techniki (np. telekomunikacja, sensoryka, metrologia). Zostanie omówiona zasada działania i architektura przykładowych urządzeń, takich jak wielokanałowe nadajniki, odbiorniki i modulatory wykorzystujące metodę zwielokrotniania falowego WDM, multipleksery optyczne w dziedzinie czasu, interrogatory sieci czujnikowych, spektrometry, żyroskopy optyczne, konwertery długości fali i in.

Laboratorium:

Laboratorium obejmuje zaprojektowanie i przeprowadzenie symulacji trzech projektów elementów/ układów fotoniki scalonej.

1. Projekt i symulacja struktur falowodów planarnych i sprzęgaczy falowodowych
2. Projekt topografii fotonicznego układu scalonego do aplikacji w systemach komunikacji optycznej lub sieci czujnikowych
3. Projekt i symulacja systemu komunikacji światłowodowej ze zintegrowanymi nadajnikami i odbiornikami WDM

Egzamin: tak

Literatura:

1. L.A. Coldren, S.W. Corzine "Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits," Wiley; 2 ed., 2012
2. C. Pollock, M. Lipson, "Integrated Photonics," Springer, 2003

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

3. G. Lifante, "Integrated Photonics: Fundamentals," Wiley, 2007
4. H. Zimmermann, „Integrated Silicon Optoelectronics,” Springer; 2ed. 2010
5. J. Gao, "Optoelectronic Integrated Circuit Design and Device Modeling," Wiley, 2011
6. L. Vivien, L. Pavesi, "Handbook of Silicon Photonics", CRC Press, 2013

Oprogramowanie: (wpisać używane oprogramowanie – o ile jest potrzebne)

1. Synopsys OptoDesigner
2. Nazca Design
3. Optiwave Optisystem

Wymiar godzinowy zajęć: W C L P
 30 - 30 - (60)

Wymiar w jednostkach ECTS:(4)

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

1. liczba godzin kontaktowych: 65 godz., w tym
 - obecność na wykładach: 30 godz.,
 - obecność na laboratorium: 30 godz.,
 - udział w konsultacjach: 5 godz.
2. praca własna studenta: 35 godz., w tym
 - przygotowanie do laboratoriów: 10 godz.,
 - przygotowanie sprawozdań z laboratoriów: 15 godz.
 - przygotowanie do egzaminu: 10 godz.,

Łączny nakład pracy studenta wynosi (100) godz., co odpowiada (4) pkt ECTS.

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: (2,6) pkt ECTS, co odpowiada (65) godz. kontaktowym.

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: (1,8) pkt ECTS, co odpowiada (45) godz. ćwiczeń laboratoryjnych

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>

Efekty kształcenia/uczenia się	forma zajęć/ technika kształcenia	sposób weryfikacji (oceny)	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
student, który zaliczył przedmiot:			
WIEDZA			

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia z zakresu zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki.	Wykład	Egzamin	P7U_W03
Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z wybranymi zagadnieniami z zakresu projektowanie złożonych fonicznych układów scalonych.	Wykład, laboratorium	Egzamin, laboratorium	P7U_W04
Zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały stosowane przy rozwiązywaniu złożonych zadań inżynierskich z zakresu analizy, projektowania, modelowania, charakteryzacji i wytwarzania zaawansowanych struktur fotoniki, analizy i charakteryzacji materiałów fotoniki oraz analizy i projektowania złożonych fonicznych układów scalonych.	Wykład	Egzamin	P7U_W06
UMIĘJĘTNOŚCI			
Potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym symulacje komputerowe z zakresu weryfikacji złożonych fonicznych układów scalonych.	Laboratorium	Laboratorium	P7U_U07
Potrafi wykorzystać metody analityczne, symulacyjne oraz eksperymentalne do formułowania i rozwiązywania zadań inżynierskich i prostych problemów badawczych z zakresu analizy i projektowania złożonych fonicznych układów scalonych.	Laboratorium	Laboratorium	P7U_U08
Potrafi formułować i testować hipotezy związane z problemami inżynierskimi i prostymi problemami badawczymi z zakresu analizy, projektowania i modelowania zaawansowanych struktur fotoniki oraz analizy i projektowania złożonych fonicznych systemów scalonych.	Laboratorium	Laboratorium	P7U_U09
KOMPETENCJE SPOŁECZNE			
Potrafi myśleć i działać w sposób kreatywny i przedsiębiorczy.	Laboratorium	Laboratorium	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.	Wykład, laboratorium	Egzamin, laboratorium	P7U_K02