

Zespół Autorski:

Robert Mroczyński

Ryszard Piramidowicz

Stanisław Stopiński

Ryszard Kisiel

**Integracja Przyrządów Elektroniki i Fotoniki (IPEF)
(Integration of Electronic and Photonic Devices)**

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/obieralny*

Język przedmiotu: *polski*

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych): *3*

Minimalny numer semestru: *2*

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: *Sensory (SEN), Scalone Systemy Cyfrowe VLSI (SSCV), Fotoniczne Układy Scalone (FUS)*

Limit liczby studentów: *50*

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

Cel przedmiotu:

Student po realizacji części wykładowej i laboratoryjnej przedmiotu będzie:

- *posiadał zaawansowaną wiedzę z zakresu metod wytwarzania oraz typów nowoczesnych przyrządów elektronicznych i fotonicznych;*
- *potrafił sklasyfikować podstawowe metody i techniki integracji przyrządów, układów i systemów elektronicznych i fotonicznych;*
- *potrafił zaproponować plan rozwiązania prostych problemów technicznych z zakresu wytwarzania zintegrowanych przyrządów współczesnej elektroniki i fotoniki;*
- *potrafił pracować w grupie, przyporządkowywać poszczególnym członkom zespołu rolę oraz zakres obowiązków w trakcie rozwiązywania problemów technicznych, zabierać krytyczny głos w dyskusji, przedstawiać na forum uzyskaną wiedzę oraz oceniać efekty pracy innych studentów.*

Treść kształcenia:

Informacje ogólne:

Gwałtowny rozwój techniki i technologii w XX wieku, szczególnie związany z rozwojem technologii krzemowych układów scalonych (U. Sc.), doprowadził do rewolucji XXI wieku, jakim jest Internet Rzeczy (ang. Internet of Things – IoT / Internet of Everything – IoE). IoT jest obecnie na świecie najprężniej rozwijającą się gałęzią gospodarki w obszarze wysokich

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

technologii. Fundamentem rozwoju przyrządów IoT jest integracja przyrządów elektronicznych oraz fonicznych w tzw. Systems-on-Chip (SoCs). Jeśli elektronikę można uznać za technologię XX wieku, która napotkała już w wielu miejscach ograniczenia fundamentalne, to o fotonice mówi się jako o technologii XXI wieku. W fotonice, szczególnie w fotonice scalonej, wciąż drzeźnią nie do końca wykorzystane możliwości, dlatego integracja technologii przyrządów elektronicznych i fonicznych w tzw. przyrządy Mikro-Opto-Elektromechaniczne (ang. Micro-Opto-Electromechanical Systems – MOEMS) stwarza nową klasę przyrządów i nieograniczone możliwości zastosowań we wszystkich gałęziach gospodarki. Na wykładzie przybliżę rozwiązania techniczne i technologiczne integracji elementów, przyrządów oraz systemów elektronicznych i fonicznych. Omówię podstawowe technologie i typy materiałów wykorzystywanych do realizacji tego typu struktur zintegrowanych, przybliżę specyficzne warunki wytwarzania takich przyrządów oraz omówię dalsze kierunki rozwoju, które mogą doprowadzić do cywilizacyjnego przełomu w XXI wieku. Przedstawię problemy i wyzwania integracji współczesnych przyrządów typu SoCs.

Zagadnienia poruszane na wykładzie są niezmiernie interdyscyplinarne oraz reprezentują specyficzną dziedzinę techniki. W związku z tym, aby ułatwić studentom proces zdobywania i przyswajania wiedzy, wykłady będą prowadzone przy wykorzystaniu nowoczesnych metod kształcenia i tutoringu, takich jak: „flipped class”, „blended learning”, czy „jigsaw”. Metody te z pewnością uatrakcyjnią proces uczenia się oraz zaktywizują studentów do samodzielnego zdobywania wiedzy z zakresu przedmiotu. Pozwoli to na znacznie skuteczniejsze ugruntowanie wiedzy po realizacji przedmiotu i przygotowanie słuchaczy do kolejnych etapów kariery zawodowej. Studenci będą mieli również znaczny wpływ na zagadnienia, które będą sprawdzane na kolokwium poprzez wspólną dyskusję i definiowanie najważniejszych zagadnień (np. wykorzystanie metod ankietowych lub wspólnego przygotowywania kryteriów oceny, tzw. „rubric”). Przedmiot będzie prowadzony przy wykorzystaniu wykładów multimedialnych bogato wzbogaconych o zdjęcia oraz filmy multimedialne ułatwiające zrozumienie przedstawianych na wykładzie treści. Szczególny nacisk w trakcie wykładów będzie położony na liczne dyskusje i prace w grupach oraz samodzielne zdobywanie wiedzy przez studentów przy wykorzystaniu źródeł elektronicznych. W ramach wykładu planowana jest również organizacja wycieczki do Centrum Zaawansowanych materiałów i Technologii (CEZAMAT), aby studenci mogli przekonać się, jak wyglądają nowoczesne laboratoria technologiczne, w których prowadzone są prace naukowo-badawcze oraz wdrożeniowe związane z produkcją zintegrowanych elementów i przyrządów elektronicznych i fonicznych omawianych na wykładach.

Zaliczenie przedmiotu będzie przeprowadzone na podstawie ocen uzyskanych z dwóch kolokwium sprawdzających (w sumie 70 pkt.) oraz trzech ćwiczeń laboratoryjnych (30 pkt.). Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest uzyskanie co najmniej 36 punktów z części wykładowej oraz 16 punktów z części laboratoryjnej. Realizacja przedmiotu, zarówno w części wykładowej, jak i laboratoryjnej, będzie przygotowana w taki sposób, aby nauka była realizowana w całości w formie zdalnej (w uzasadnionych przypadkach).

Opis wykładu:

1. Wprowadzenie

Pojęcie „Integracja” w kontekście przyrządów elektronicznych i fonicznych, rys historyczny i rozwój technologii przyrządów półprzewodnikowych dla elektroniki i fotoniki, granice i bariery rozwoju oraz prognozy, pojęcia: „skalowanie”, „More Moore”, „More than Moore” i „beyond CMOS/Si”, nowe technologie, nowe materiały, nowe architektury przyrządów, rynek przyrządów elektronicznych i fonicznych, perspektywy rozwoju na świecie i w Polsce.

2. Warunki wytwarzania elementów i przyrządów elektronicznych i fonicznych

Warunki wytwarzania przyrządów elektronicznych i fonicznych, laboratoria i fabryki, w których prowadzone są procesy wymagające wysokiej skali czystości pomieszczeń, podstawowe procesy technologiczne, przykładowe sekwencje procesów technologicznych, uzysk produkcyjny, metody optymalizacji, metody charakteryzacji materiałów i struktur elektronicznych i fonicznych.

3. Podstawowe materiały i procesy technologii planarnej

Materiały wykorzystywane do wytwarzania elementów oraz przyrządów elektronicznych i fonicznych, podstawowa klasyfikacja metod wytwarzania, uwarunkowania stosowalności tych metod.

4. Technologia SOI/SON i elektroniczne układy scalone

Metody wytwarzania podłoży typu „Silicon-On-Insulator” (SOI), klasyfikacja, zalety technologii, ograniczenia, porównanie do klasycznych technologii planarnych i innych stosowanych współcześnie w produkcji układów scalonych. Rozwój technologii (PD-, FD-) SOI -> SON -> UTB-SOI. Przykłady przyrządów, sekwencje i metody wytwarzania w kontekście przyrządów elektronicznych i fonicznych.

5. Przyrządy i układy fotoniki zintegrowanej

Podstawowe bloki funkcjonalne, przyrządy pasywne i aktywne, elementy i układy technologii krzemowej (Si), fosforu indu (InP) i innych materiałów (np. azotku krzemu – Si_3N_4), cechy charakterystyczne tych technologii i zakresy stosowalności. Przykłady technologii podstawowych elementów aktywnych i pasywnych. Propagacja i detekcja promieniowania. Aplikacje.

6. Przyrządy MOEMS – technologia hybrydowa

Klasyfikacja i podział przyrządów. Podstawowe bloki i elementy mikromechaniczne i elektro-optyczne, podstawowe technologie i metody obróbki powierzchniowej i objętościowej materiałów. Przykłady sekwencji technologicznych. Współczesne aplikacje przyrządów.

7. Metody integracji struktur elektronicznych i fonicznych

Technologie montażu struktur półprzewodnikowych elektronicznych i fonicznych, metody, przykłady, ograniczenia. Montaż struktur półprzewodnikowych do obudów oraz zagadnienia hermetyzacji, odprowadzanie ciepła. Technologie połączeń elektrycznych i optycznych.

8. Kolokwia sprawdzające wiedzę studentów

9. Zajęcia w „terenie” – wycieczka

Laboratorium:

Część laboratoryjna przedmiotu poświęcona jest zaznajomieniu studentów z zaawansowanymi technikami realizacji elementów półprzewodnikowych, ich charakteryzacji elektrycznej i optycznej oraz metodami integracji. W ramach laboratoriów studenci pod okiem wykwalifikowanej kadry będą samodzielnie realizować. Laboratorium składa się z trzech części:

1. *Elektronika: sekwencja procesów wytwarzania podstawowych elementów półprzewodnikowych (zajęcia w laboratorium o podwyższonej czystości typu "clean-room" w IMiO PW);*
2. *Fotonika: pomiary i charakteryzacja struktur falowodowych i/lub przyrządów pasywnych wykonanych w laboratoriach technologicznych IMiO PW oraz CEZAMAT;*
3. *Integracja: metody montażu elementów, wykonywania mikropołączeń, hybrydowa integracja.*

Projekt:

brak

Egzamin: NIE

Literatura:

1. *Robert Doering and Yoshio Nishi "Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology", CRC Press (2008).*
2. *Stanley Wolf and Richard N. Tauber "Silicon Processing for the VLSI Era, Vol. 1: Process Technology", Lattice Press (2000).*
3. *J.P. Collinge, "Silicon-On-Insulator Technology: Materials to VLSI", Kluwer (1991).*
4. *Tapan K. Gupta; "Handbook of Thick- and Thin-Film Hybrid Microelectronics", J. Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey (2003).*
5. *G.T. Reed and A.P. Knights, "Silicon Photonics: an introduction", J. Wiley & Sons Inc. (2004).*
6. *Źródła dostępne w sieci www (serwisy TED, MOOCs, YouTube, knowledge clips, itp.)*
7. *Publikacje dostępne w czasopismach i bazach naukowych oraz prezentacje multimedialne w sieci www.*

Oprogramowanie: brak

Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P
2 (30)	-	1 (15)	- (45)

Wymiar w jednostkach ECTS: 4

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

1. *liczba godzin kontaktowych – 55 godz., w tym:*

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- obecność na wykładach 30 godz.,
 - obecność na ćwiczeniach audytoryjnych 0 godz.,
 - obecność na laboratorium 15 godz.,
 - udział w konsultacjach 10 godz.
2. praca własna studenta – 45 godz., w tym:
- przygotowanie do laboratoriów 10 godz.,
 - przygotowanie do kolokwiów 12 godz.,
 - przygotowanie prezentacji na zajęcia zgodnie z metodyką kształcenia 11 godz.,
 - przygotowanie sprawozdań (laboratoria) 12 godz.

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

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 2.1 pkt ECTS, co odpowiada 55 godz. kontaktowym.

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 1.48 pkt ECTS, co odpowiada 37 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 student, który zaliczył przedmiot:	forma zajęć/ technika kształcenia	sposób weryfikacji (oceny)	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
WIEDZA			
W02. Ma szczegółową wiedzę w zakresie wybranych kierunków rozwijających się w ścisłym związku z elektroniką.	Wykład	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
W03. Ma uporządkowaną, podbudowaną teoretycznie wiedzę ogólną obejmującą kluczowe zagadnienia zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki.	Wykład	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
W04. Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z wybranymi zagadnieniami z zakresu nanoelektroniki, fotoniki zintegrowanej, materiałów i nanotechnologii oraz charakteryzacji i diagnostyki materiałów i struktur nanoelektronicznych i nanofotonicznych.	Wykład	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
W05. Ma wiedzę o trendach rozwojowych i najistotniejszych nowych osiągnięciach z zakresu elektroniki.	Wykład	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
UMIĘTNOŚCI			
U01. Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych właściwie	Wykład	Wykład	I.P7S_UK

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

dobrych 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.			
U02. Potrafi porozumiewać się przy użyciu różnych technik w środowisku zawodowym oraz w innych środowiskach, także w języku angielskim.	Laboratorium	Laboratorium	I.P7S_UK
U04. Potrafi przygotować i przedstawić w języku polskim i języku angielskim prezentację ustną, dotyczącą szczegółowych zagadnień z zakresu elektroniki.	Wykład	Wykład	I.P7S_UK
U07. Potrafi planować i przeprowadzać eksperymenty, w tym zaawansowane pomiary i symulacje komputerowe oraz opracować i interpretować uzyskane wyniki i wyciągać wnioski w zakresie modelowania i charakteryzacji zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki, wytwarzania struktur mikroelektroniki i fotoniki.	Laboratorium	Laboratorium Kolokwium	I.P7S_UW.o III.P7S_UW. o
U09. Potrafi przy formułowaniu i rozwiązywaniu zadań inżynierskich – integrować wiedzę z zakresu mikroelektroniki, fotoniki i nanotechnologii.	Wykład Laboratorium	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_UW. o
U11. Potrafi ocenić przydatność i możliwość wykorzystania nowych technologii w zakresie elektroniki i jej zastosowań.	Wykład Laboratorium	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_UW. o
U12. Potrafi dokonać krytycznej analizy sposobu funkcjonowania i ocenić istniejące rozwiązania techniczne w zakresie zaawansowanych materiałów i struktur mikroelektroniki i fotoniki oraz metod ich charakteryzacji i wytwarzania.	Wykład Laboratorium	Wykład Kolokwium Laboratorium	III.P7S_UW. o