**Nazwa przedmiotu:**

Zaawansowane struktury półprzewodnikowe

**Koordynator przedmiotu:**

prof. dr hab. Tomasz Skotnicki

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny ograniczonego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Elektronika

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty techniczne - zaawansowane

**Kod przedmiotu:**

ZSP

**Semestr nominalny:**

3 / rok ak. 2018/2019

**Liczba punktów ECTS:**

4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

30 h wykładu + 15 h projektu + 15h przygotowania do wykładów + 15h przygotowanie do egzaminu + 25h realizacji projektu = 100h = 4 ECTS

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 15h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

brak

**Limit liczby studentów:**

40

**Cel przedmiotu:**

Zapoznanie studentów z zasadą działania zaawansowanych przyrządów półprzewodnikowych
Zapoznanie studentow z trendencjami rozwoju mikro- i nanoelektroniki

**Treści kształcenia:**

Treść wykładu:
Przypomnienie podstawowych bloków przyrządów półprzewodnikowych (złącze p-n, styk metal-półprzewodnik, kondensator MOS/MIS, itd.). Przegląd przyrządów półprzewodnikowych. Technologia MOS/MIS i technologia bipolarna. (2h)
Tendencje rozwoju współczesnej mikroelektroniki: Siły napędowe rozwoju, wielkie standardy i układy specjalizowane. Integracja mikroelektroniki i mikromechaniki krzemowej. Dojrzałość i zakres zastosowań różnych technologii. (2h)
Tempo wzrostu skali integracji: Prawo Moore'a: wymiar charakterystyczny, powierzchnia struktur, efektywność upakowania (współczynnik udoskonaleń). (1h)
Materiały dla mikro- i nanoelektroniki. Dlaczego krzem? Inne pierwiastki czwartej grupy układu okresowego (german, węgiel). Krzemogerman i węglik krzemu. Związki AIIIBV i inne materiały półprzewodnikowe. Porównanie właściwości, pola zastosowań. (2h)
Ewolucja technologii CMOS: Tranzystor MOS - reguły skalowania i ich konsekwencje. Minimalne rozmiary tranzystora MOS. Grubość dielektryka bramkowego. Materiał bramki. Prąd tunelowy. Prąd drenu indukowany przez bramkę. Przebicie skrośne. Konsekwencje silnego i niejednorodnego domieszkowania. Minimalizacja głębokości złącz. Rezystancja szeregowa. Przebicie drenu. Prąd upływu złącz. Inżynieria źródła i drenu. Efekt gorących nośników. Napięcie progowe - efekty krótkiego i wąskiego kanału. Właściwości tranzystora w zakresie podprogowym. Efekty pasożytnicze w podłożu. Modele submikrometrowych tranzystorów MOS - statyczne i dynamiczne ograniczenia częstotliwościowe. Krzemogerman w technologii MOS. (6h)
Technologia SOI CMOS: Technologie podłoży SOI (Silicon on Insulator) - porównanie, analiza zalet i wad. Rodzaje tranzystorów. MOS SOI - całkowicie zubożony (FD) i częściowo zubożony (PD). Reguły skalowania tranzystora MOS SOI. Modele statyczne i dynamiczne tranzystora MOS SOI. Porównanie właściwości technologii CMOS - konwencjonalnej i SOI. Tranzystory wielobramkowe. Technologia planarna i nieplanarna (FinFET, nanodruty). Powtarzalność produkcji. Napięcie progowe w kanale niedomieszkowanym. Modele tranzystorów wielobramkowych. (5h)
Ewolucja komórki pamięci DRAM: Technologie "trench" i "stacked". Komórki pamięci nieulotnych EPROM i EEPROM, FLASH. Zastosowanie materiałów ferroelektrycznych w komórkach pamięci nieulotnych. (2h)
Przyrządy bipolarne: Ewolucja konstrukcji tranzystora - reguły skalowania. Modele statyczne i dynamiczne tranzystorów bipolarnych. Ograniczenia częstotliwościowe. Ewolucja technologii tranzystorów bipolarnych. Emiter polikrzemowy. Emiter szerokopasmowy (SiC). Krzemogerman w tranzystorze bipolarnym - różne konstrukcje. (4h)
Heterostruktury na związkach AIIIBV. Zastosowanie w tranzystorach bipolarnych (HBT) i polowych (HEMT). Opłacalność. Porównanie z przyrządami SOI oraz HBT z bazą SiGe. (2h)
Ograniczenia rozwoju nanoelektroniki: systemowe, układowe, przyrządowe, materiałowe i fundamentalne. (2h)
Czynniki ekonomiczne jako ograniczenia rozwoju: Jednostkowy koszt tranzystora (bitu). Problemy uzysku. Nowe koncepcje wytwarzania. Nowe materiały (np. grafen). Nowe przyrządy (blokada kulombowska, przyrządy z rezonansem tunelowym, itd.). Prognoza rozwoju nanoelektroniki ("roadmap") według różnych aktualnych przewidywań. (2h)

Zakres ćwiczeń, laboratorium, projektu:
Będą to indywidualne problemy projektowania przyrządów i procesów technologicznych. Ich realizacja będzie wymagała skorzystania z literatury źródłowej i rozwiązania konkretnego zadania. Przykłady:
1. Zaprojektuj tak tranzystor z bazą z krzemogermanu, aby uzyskać maksymalną wartość iloczynu: wzmocnienie prądowe () x napięcie Early'ego przy zadanych m.in. koncentracji domieszek w emiterze, napięciu dopuszczalnym BUCEO.
2. Dokonaj ilościowego porównania efektów krótkokanałowych w tranzystorach MOS: konwencjonalnym, SOI (FD) i SOI (PD) na przykładzie zmian napięcia progowego. Uzasadnij wybór zastosowanego modelu.
3. Wykorzystując dane doświadczalne kinetyki procesu utleniania dobierz korzystając z programu ATHENA parametry tego procesu.

**Metody oceny:**

Zaliczenie przedmiotu składa się z dwóch etapów, tj. projektu oraz egzaminu. W sumie można uzyskać 100p (40p – projekt, 60p – egzamin). Do zaliczenia przedmiotu wymagane jest uzyskanie przynajmniej 51 p.

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

Materiały dydaktyczne: materiały dedykowane, literatura, inne zasoby
1. S.M. Sze (ed.), High Speed Semiconductor Devices", Wiley, New York (1990).
2. S.M. Sze, K.K. Ng, “Physics of Semiconductor Devices”, Wiley, New York (2007)
3. A. Amara, O.Roseau, eds., “Planar Double-Gate Transistor”, Springer (2009)
4. M. Lundstrom, J. Guo, “Nanoscale Transistor”, Springer (2006)
5. J.-P. Collinge, ed., “FinFETs and Other Mulit-Gate Transistors”, Springer (2008)
6. F. Balestra, “Nanoscale CMOS. Innovative Materials, Modeling and Characterization”, Wiley, (2010)
7. P. Ashburn, “SiGe Heterojunction Bipolar Transistors”, Wiley, New York, 2003
8. A. Jakubowski i in., Artykuły na temat tendencji rozwoju mikroelektroniki, Elektronika (1995, 1996, 1997).
9. Materiały Konferencji IEDM, Artykuły: Semiconductor International, IEEE Trans. on Electron Devices, Solid State Electronics i in.
10. K. Iniewski, A. Jakubowski, B. Majkusiak, Przyrządy MOS w zadaniach", WPW, Warszawa (1991).
11. Kwok K. Ng, Complete Guide to Semiconductor Devices", McGraw - Hill, Inc. New York (1995).
12. J.P. Collinge, Silicon - on Insulator Technology: Materials to VLSI", Kluwer (1991).
13. R.F. Pierret, Semiconductor Device Fundamentals", Addison-Wesley, (1995).

**Witryna www przedmiotu:**

www.

**Uwagi:**

brak

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka ZSP\_W01:**

Rozumie zasady działania zaawansowanych przyrządów półprzewodnikowych

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W04, K\_W06

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ZSP\_W02:**

Rozumie tendencje rozwojowe mikroelektroniki i nanoelektroniki

Weryfikacja:

egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W02, K\_W05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka ZSP\_U01:**

Potrafi dokonać analizy wpływu parametrów materiałowo-konstrukcyjnych na działanie zaawansowanych przyrządów półprzewodnikowych

Weryfikacja:

egzamin, projekt

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08, K\_U09, K\_U12

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**

**Charakterystyka ZSP\_U02:**

Potrafi zaprojektować elementy zaawansowanej struktury półprzewodnikowej zgodnie ze specyfikacją

Weryfikacja:

egzamin, projekt

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U08, K\_U16

**Powiązane charakterystyki obszarowe:**