Załącznik Nr 5 do Zarz. Nr 33/11/12

(pieczęć wydziału) **KARTA PRZEDMIOTU**

|  |  |
| --- | --- |
| **1. Nazwa przedmiotu:** **Modelowanie i symulacja nano przyrządów MOSFET** | **2. Kod przedmiotu: MOSFET** |
| **3. Karta przedmiotu ważna od roku akademickiego:** 2018/2019 |
| **4. Forma kształcenia:** studia trzeciego stopnia |
| **5. Forma studiów**: studia stacjonarne / niestacjonarne |
| **6. Kierunek studiów**: Interdyscyplinarne studia doktoranckie Symulacje w Inżynierii |
| **7. Profil studiów:** akademicki |
| **8. Dyscyplina: Elektronika** |
| **9. Semestr:** przedmiot obieralny |
| **10. Jednostka prowadząca przedmiot: Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki** |
| **11. Prowadzący przedmiot**: dr hab. inż. Jacek Izydorczyk |
| **12. Przynależność do grupy przedmiotów:** moduł podstawowy/~~fakultatywny~~ |
| **13. Status przedmiotu:**  |
| **14. Język prowadzenia zajęć:** polski/angielski |
| **15. Przedmioty wprowadzające oraz wymagania wstępne:**  |
| **16. Cel przedmiotu:** Przedstawienie technik modelowania współczesnych przyrządów półprzewodnikowych wykonanych w technologiach nanometrowych. W szczególności dotyczy to tranzystorów FinFET oraz FDSOI. Przedstawiony zostanie proces formułowania modelu obwodowego tranzystora począwszy od statystyk kwantowych a skończywszy na analizie szumowej. Na koniec przedstawiona zostanie metodyka symulacji układów elektronicznych z wykorzystaniem przedstawionego modelu w programie LTSpice. |
| **17. Efekty kształcenia:[[1]](#footnote-1)** |
| Nr | Opis efektu kształcenia | Metoda sprawdzenia efektu kształcenia | Forma prowadzenia zajęć | Odniesienie do efektów dla kierunku studiów |
| W1 | Doktorant ma pogłębioną i uporządkowaną wiedzę w zakresie budowy, zasad działania i zastosowań przyrządów półprzewodnikowych wytworzonych w technologii nano. | Dyskusja na wykładzie | wykład | SYMIN\_W05 |
| W2 | Ma wiedzę o trendach rozwojowych i nowych osiągnięciach w zakresie technologii wytwarzania i charakteryzacji przyrządów półprzewodnikowych wytworzonych w technologii nano. | Dyskusja na wykładzie | wykład | SYMIN\_W03 |
| U1 | Posiada umiejętności w zakresie projektowania modeli obwodowych, i analizy parametrów modeli przyrządów półprzewodnikowych  | Dyskusja na wykładzie | wykład | SYMIN\_U06SYMIN\_U09 |
| U2 | Potrafi właściwie dobrać metody badawcze i zaplanować pomiary podstawowych charakterystyk elektrycznych oraz na ich podstawie obliczyć wartości parametrów charakteryzujących elementy półprzewodnikowe | Dyskusja na wykładzie | wykład | SYMIN\_U05 |
| K1 | Potrafi myśleć i pracować w sposób kreatywny | Dyskusja na wykładzie | wykład | SYMIN\_K05 |
| **18. Formy zajęć dydaktycznych i ich wymiar (liczba godzin)** **W. 10 Ćw. - L. - P. - Sem. -** |
| **19** **Treści kształcenia:** Wykład 1. Procesy równowagowe w półprzewodnikach1. Statystyki kwantowe.
2. Półprzewodnik w stanie równowagi termodynamicznej.
	1. Równowagowe koncentracje nośników prądu.
	2. Poziom Fermiego w stanie równowagi termodynamicznej.
	3. Półprzewodnik w stanie quasi-równowagi.
	4. Quasi-poziomy Fermiego.
	5. Rekombinacja.

Wykład 2. Przypowierzchniowy obszar ładunku przestrzennego w półprzewodniku.1. Gęstość powierzchniowa ładunku.
2. Bariera potencjału a gęstość ładunku.
3. Równanie Poissona-Boltzmanna.
4. Rozwiązanie równania Poissona dla półprzewodnika samoistnego.
5. Przybliżone rozwiązania równania Poissona dla półprzewodników niesamoistnych.

Wykład 3. Model EKV tranzystora MOS.1. Model wielkosygnałowy.
	1. Definicje.
	2. Ładunek powierzchniowy w stanie silnej inwersji.
	3. Ładunek powierzchniowy w stanie słabej inwersji.
	4. Stany pośrednie między silną i słabą inwersją.
	5. Prąd drenu – wzór ogólny.
	6. Prąd drenu w stanie silnej i słabej inwersji.
	7. Normalizacja prądu drenu i obszar przejścia między silną i słabą inwersją.
2. Model małosygnałowy.
	1. Transkonduktancje w stanie silnej i w stanie słabej inwersji.
	2. Normalizacja transkonduktancji i obszar przejścia między silną i słabą inwersją.
	3. Dopasowanie do danych pomiarowych.
	4. Pojemności w stanie silnej inwersji.
	5. Pojemności w stanie słabej inwersji.
3. Szumy termiczne.
	1. Gęstość widmowa mocy szumów tranzystora w stanie silnej i słabej inwersji.
	2. Interpolacja szumów w stanie pośrednim między silną i słabą inwersją.
4. Efekty drugiego rzędu.
	1. Redukcja ruchliwości w pionowym polu elektrycznym.
	2. Nasycanie ruchliwości nośników.
	3. Modulacja długości kanału.
	4. Efekty pojawiające się dla wąskich i krótkich kanałów.

Wykład 4. Uproszczony model EKV przeznaczony do modelowania 1. Współczynnik inwersji.
2. Uproszczony model EKV tranzystora MOSFET.
	1. Stałoprądowy model wielkosygnałowy.
	2. Współczynnik jakości transkonduktancji.
	3. Ekstrakcja parametrów.
3. Zastosowanie do tranzystorów FDSOI i FinFET.

Wykład 5. Współczynnik inwersji jako kluczowy parametr symulacji.1. Kompromisy typowe dla projektowania analogowych układów scalonych.
2. Stała-$G\_{m}$.
3. Stały współczynnik szumów.
4. Współczynnik jakości transkonduktancji $G\_{m}/I\_{D}$
5. Częstotliwość graniczna $f\_{T}$
 |
| **20. Egzamin:** brak |

|  |
| --- |
| **21. Literatura podstawowa:**1. C.C.Enz, F.Krummenacher, A.E.Vittoz, An analytical MOS transistor model valid in all regions of operation and dedicated to low-voltage and low-current applications, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Vol. 8, No. 1, Jul. 1995.
2. R.H.Kingstone, Semiconductor Surface Physics, University of Pennsylvania Press; Reprint 2016
3. W.Mönch, Semiconductor Surfaces and Interfaces, Springer, 1995.
4. Y.Omura; A.Mallik; N.Matsuo, Promising MOS Devices for Low-Voltage and Low-Energy Applications, Wiley-IEEE Press 2016.
5. K.Seeger, Semiconductor Physics, Springer-Verlag, Berlin 2004.
6. H.Tsuchiya; Y.Kamakura, Carrier Transport in Nanoscale MOS Transistors, Wiley-IEEE Press 2016.
 |
| **22. Literatura uzupełniająca:**1. L.J.Brillson, Surfaces and Interfaces of Electronic Materials, Wiley-VCH 2010.
2. K.Hess, Advanced Theory of Semiconductor Devices, Wiley-IEEE Press 2000.
 |
| **23. Nakład pracy studenta potrzebny do osiągnięcia efektów kształcenia**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Lp. | Forma zajęć  | Liczba godzin kontaktowych / pracy studenta |
| 1 | Wykład | 10/10 |
| 2 | Ćwiczenia | / |
| 3 | Laboratorium | / |
| 4 | Projekt | / |
| 5 | Seminarium | / |
| 6 | Inne (przygotowanie do zajęć) | 0 /15 |
|  | Suma godzin | 10 / 25 |

 |
| **24. Suma wszystkich godzin:** 10 |
| **25. Liczba punktów ECTS: 1** |
| **26. Liczba punktów ECTS uzyskanych na zajęciach z bezpośrednim udziałem nauczyciela akademickiego: 1** |
| **27. Liczba punktów ECTS uzyskanych na zajęciach o charakterze praktycznym (laboratoria, projekty):** |
| **26. Uwagi:** |

 Zatwierdzono:

 …………………………………………………

 (*data i podpis kierownika studiów doktoranckich)*

1. należy wskazać ok. 4 – 5 efektów kształcenia [↑](#footnote-ref-1)