

Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)

Opracowanie technologii wytworzenia diody p-i-n w podłożu z SiC

Projekt Badawczy Zamawiany
MEIN 6/2/2006
„Nowe technologie na bazie węgla krzemu i ich zastosowania w elektronice wielkich częstotliwości, dużych mocy i wysokich temperatur”

Andrzej Kubiak
Artur Kalinowski
Łukasz Ruta
Zbigniew Lisik
Janusz Woźny

Seminarium sprawozdawcze odbędzie się
III etap realizacji Projektu Badawczego Zamawianego
21.05.2010

Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)

Harmonogramu na lata 2009-2010

- Opracowanie przewodnika dla realizacji testowych struktur diodowych
- Dobór i przygotowanie podłoża oraz masek do realizacji struktur próbnych diod p-i-n
- Przeprowadzenie procesów domieszkowania przewidzianych w przewodnikach dla wybranych rozwiązań diod p-i-n
- Badania metod wytwarzania kontaktów omowych do obszarów SiC typu n i p z wykorzystaniem procesów wysokotemperaturowych
- Przeprowadzenie procesów pasywacyjnych oraz terminacji złącz w testowych strukturach diodowych
- Wykonanie kontaktów metalicznych w testowych strukturach diodowych
- Charakteryzacja parametrów elektrycznych wykonanych struktur diodowych

Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)


Zadania realizowane w projekcie

- Opracowanie metod prowadzenia procesów wysokotemperaturowych w węglu krzemu ($T > 1800^{\circ}\text{C}$)
 - adaptacja pieca wysokotemperaturowego
 - określenie warunków bezpiecznego wygrzewania SiC
- Opracowanie technologii wytwarzania diod p-i-n w podłożu SiC
 - termiczna dyfuzja domieszek
 - implantacja jonowa i procesy wygrzewania poimplantacyjnego
- Struktury próbne p-i-n SiC
 - symulacje numeryczne struktur wytworzonych metodą dyfuzji i implantacji jonowej
 - opracowanie założeń konstrukcyjnych
 - wykonanie i charakteryzacja struktur

Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)

Przygotowanie przewodnika technologicznego

- Podstawą do opracowanie założeń konstrukcyjnych diody p-i-n SiC była wiedza realizatorów dotycząca realizacji krzemowych diod prostowniczych, wykonywanych obecnie m.in. we współpracy z zakładami Lamina S.I.
- Założono zamknięcie wykonanych struktur w obudowie śrubowej D04 (inny symbol CE11), stosowanej w Laminie w procesie produkcji krzemowych diod BYP680.
- Wykorzystane zostały wyniki symulacji numerycznych diod p-i-n z SiC
- Uwzględniono ograniczenia wynikające z wymogów technologii SiC oraz posiadanej bazy sprzętowej.



Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)

Realizowane struktury diod p-i-n

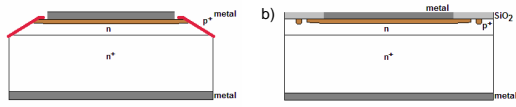
```

    graph TD
      A[Diody p-i-n z SiC] --> B[diody wertykalne DW]
      A --> C[diody planarne DP]
      B --> D[z fazowaniem krawędzi DW-F]
      B --> E[z pierścieniem terminacyjnym DW-P]
      D --> F["domieszkowane:  
- implantacyjnie (Al)  
- dyfuzyjnie (B)"]
      E --> G["domieszkowane:  
- implantacyjnie (Al)"]
      C --> H["domieszkowane:  
- implantacyjnie (Al) oraz N"]
  
```

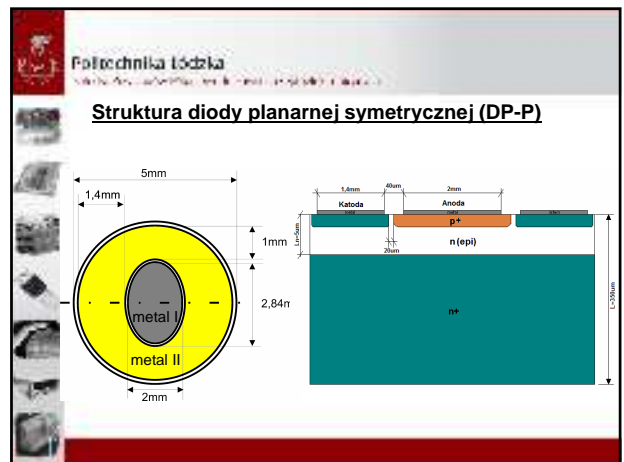
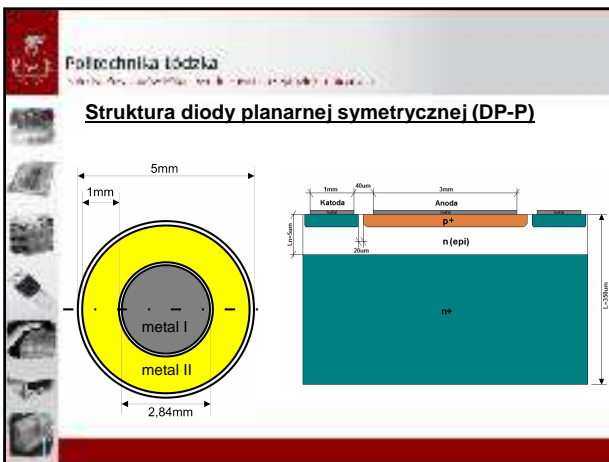
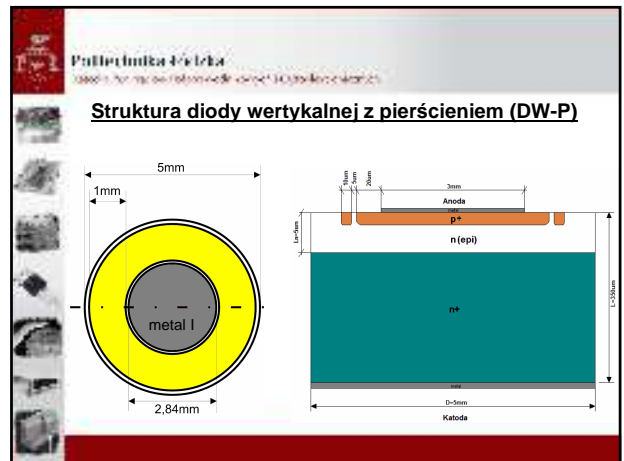
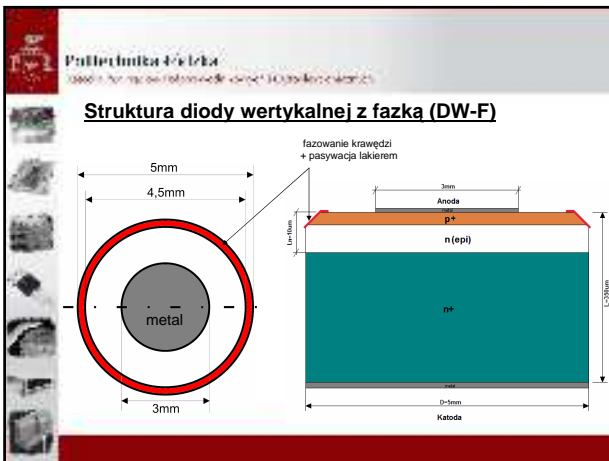
Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii i Techniki Wzrostu i Ciężkich (Dobroczynski 420202)

Struktura diody DW-F

- Podstawowym przyrządem realizowanym w ramach projektu była wertykalna dioda p-i-n o kształcie kołowym
- przyjęto dwa rozwiązania zabezpieczenia złącza wysokonapięciowego:
 - poprzez fazowanie krawędzi (DW-F)
 - poprzez wykonanie pierścienia ochronnego (DW-P)



Dodatkowo realizowane były diody o konstrukcji planarnej symetrycznej (DP-P) oraz asymetrycznej (DP-O).



Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii Wyrobów i Techniki Łączności

Procesy fotolitografii

- wykonywania znaczników na powierzchni SiC
- definiowania obszarów implantowanych typu p dla diod wertykalnych oraz p i n dla diod planarnych
- wykonywania kontaktów anody dla diod wertykalnych oraz anody i katody dla diod planarnych

obszary wykorzystywane podczas realizacji diody DW-P

projekt wykonawczy maski oraz jej wygląd

Politechnika Łódzka
Katedra Inżynierii Wyrobów i Techniki Łączności

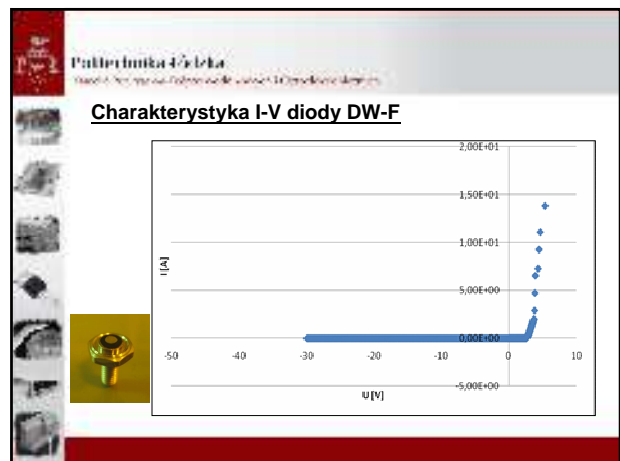
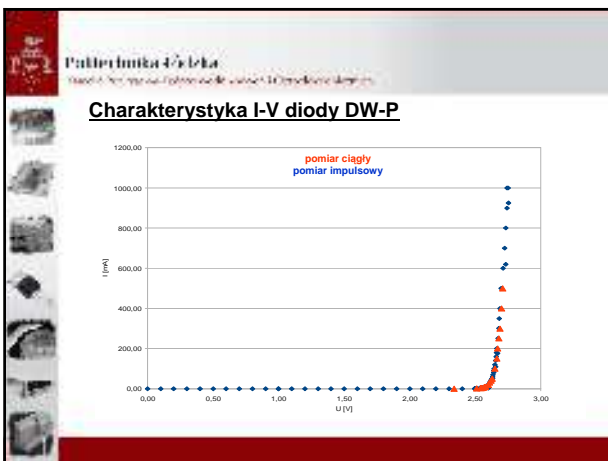
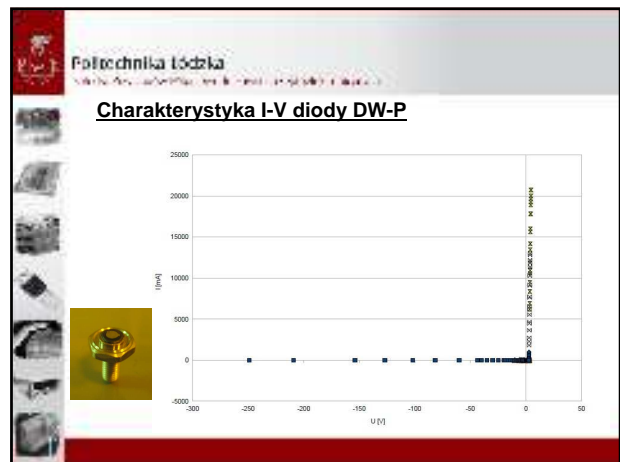
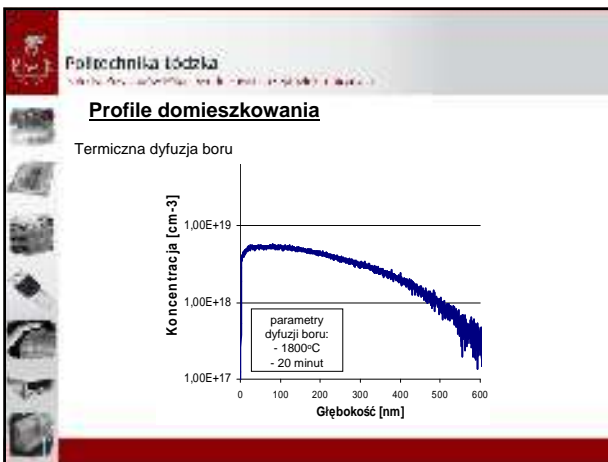
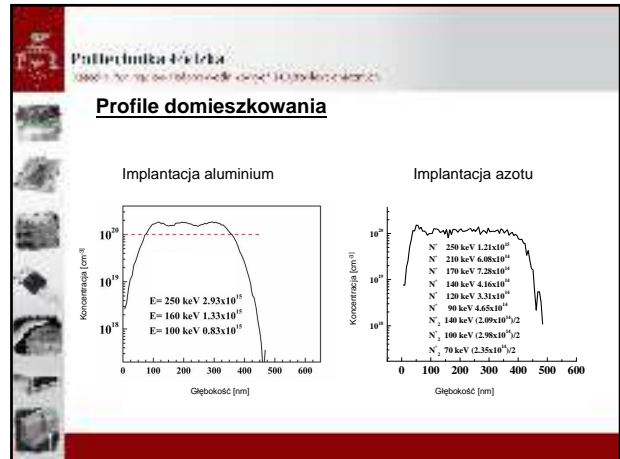
Wykorzystywane podłoża

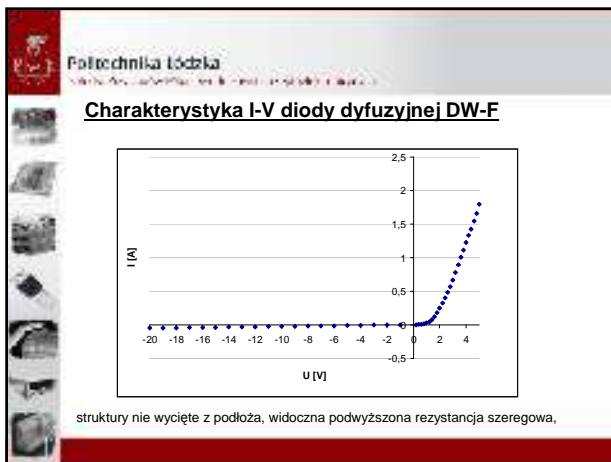
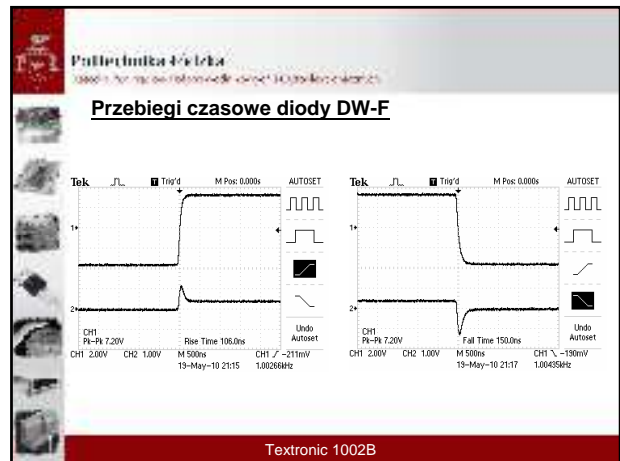
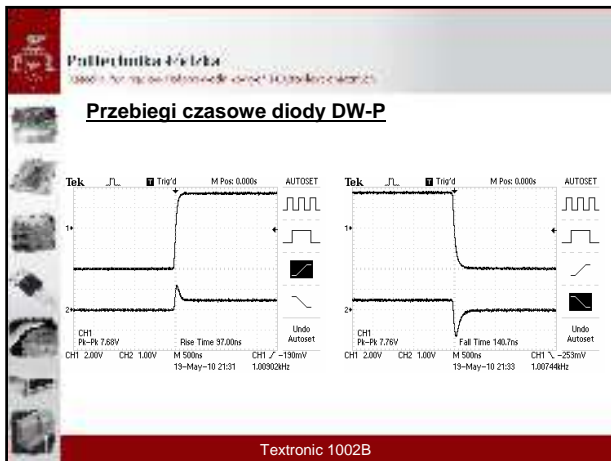
	dioda wertykalna	dioda planarna
Podłoże:	typ domieszka koncentracja domieszki grubość	n, 4H-SiC azot 1E18 cm ⁻³ 340 µm
Warstwa epitaksjalna:	typ domieszka koncentracja domieszki grubość	n, 4H-SiC azot 3E15 cm ⁻³ 5 µm

Politechnika Łódzka
Wydział Inżynierii Produkcji i Inżynierii Materiałowej

Etapy realizacji implantacyjnej struktury DW-F

1	Czyszczenie	trzyetapowa procedura RCA
2	Wytworzenie tlenku buforowego	utlenianie termiczne 1200°C, 60min, grubość tlenku ok. 35nm
3	Parowanie warstwy chromu	warstwa chromu o grubości 100nm
4	Fotolitografia I (wykonanie znaczników)	selektywne trawienie chromu
5	Trawienie RIE powierzchni SiC	plazma SF ₆ – wykonanie znaczników o głębokości ok. 700nm
6	Czyszczenie	usunięcie chromu, trzyetapowa procedura RCA
7	Wytworzenie tlenku buforowego	utlenianie termiczne 1200°C, 60min, grubość tlenku ok. 35nm
8	Parowanie warstwy aluminium	warstwa aluminium o grubości 850nm
9	Fotolitografia II (obszar implantacji)	selektywne trawienie aluminium
10	Implantacja jonów	implantacja jonów aluminium + wygrzewanie poimplantacyjne
11	Czyszczenie	usunięcie aluminium, trzyetapowa procedura RCA
12	Naparowanie metalizacji	wykonanie kontaktu anody (1µm Al) oraz katody (300nm Ni)
13	Fotolitografia III i trawienie metalizacji	selektywne trawienie Al
14	Wygrzewanie	Wtopianie metalizacji - wykonanie kontaktów omowych
15	Ciepłe struktury, wykonanie taski i jej pasywacja lakierem	
16	Montaż w obudowie	lutowanie + bonding





- Politechnika Łódzka
Instytut Techniki Elektroniki i Inżynierii Informatycznej
- ### Podsumowanie
- Zrealizowane zostały wszystkie zadania ujęte w harmonogramie projektu PBZ SiC
 - Opracowano przewodnik dla realizacji testowych struktur diodowych uwzględniający specyfikę procesów pasywacji i terminacji złącza, wykonywania kontaktów omowych, lutowania oraz bondingu struktur z SiC
 - Wykonano demonstratory diod p-i-n w technologii implantacyjnej oraz dyfuzyjnej
 - Wykonane struktury diodowe charakteryzują się napięciem przewodzenia rzędu 3 V przy prądzie przewodzenia rzędu 10-20A oraz napięciami blokowania rzędu kilkuset woltów.

Politechnika Łódzka
Instytut Techniki Elektroniki i Inżynierii Informatycznej

Zestawienie publikacji 2007-2008:

- Z. Lisak, A. Kubiak "Opracowanie technologii wytworzenia diody p-i-n w podłożu z SiC", VI Krajowa Konferencja Elektroniki, KKE 2007, Dańkówko Wschodnie, ISBN 978-83-918622-5-4 11-13 czerwca 2007, 2007, str. 539
- Z. Lisak, A. Kubiak, J. Kubiak "Procesy wygrzewania wysokotemperaturowego SiC", VI Krajowa Konferencja Elektroniki, KKE 2007, Dańkówko Wschodnie, ISBN 978-83-918622-5-4 11-13 czerwca 2007, 2007, str. 567
- Z. Lisak "Opracowanie metod projektowania oraz wytwarzania struktur i przyrządów w podłożu z węgla krzemu", VI Krajowa Konferencja Elektroniki, KKE 2007, Dańkówko Wschodnie, ISBN 978-83-918622-5-4 11-13 czerwca 2007, 2007, str. 569-570
- J. Szmidi, A. Konczakowska, M. Tlaczala, Z. Lisak, Z. Luczyński, A. Olszyna "Nowe technologie na bazie węgla krzemu i ich zastosowania w elektronice wielkich częstotliwości, dużych mocy i wysokich temperatur", VI Krajowa Konferencja Elektroniki, KKE 2007, Dańkówko Wschodnie, ISBN 978-83-918622-5-4 11-13 czerwca 2007, 2007, str. 67
- Z. Lisak, M. Bakowski, M. Sochacki, P. Śniegocki, J. Szmidi, A. Jakubowski "Silicon carbide microelectronics - technology and design challenges", IX Konferencja Naukowa Technologia Elektronowa ELTE 2007, Kraków, Book of Abstracts, Invited Lectures; 4-7 września 2007, 2007, str. 43
- J. Woźny, G. Donnarumma, Z. Lisak "Monte Carlo modelling of the hall effect in 4H-SiC", IX Konferencja Naukowa Technologia Elektronowa ELTE 2007, Kraków, Book of Abstracts, Posters; 4-7 września 2007,
- A. Kubiak, E. Raj, P. Perek, "Termiczny model procesów w piecu wysokotemperaturowym", KKE'08, Dańkówko 2-4.VI.08, ss.278-280
- Z. Lisak, A. Kubiak, "Opracowanie technologii wytwarzania diody p-i-n w podłożu SiC, KKE'08, Dańkówko 2-4.VI.08, ss.210-217
- G. Donnarumma, J. Woźny, Z. Lisak, "Monte Carlo Simulation of Bulk Semiconductors for Accurate Calculation of Drift Velocity as a Parameter for Drift-Diffusion, Hydrodynamic Models, EXMATEC'08, Łódź 1-4.VI.08, ss. 75-76
- A. Kubiak, A. Kalinowski, "Doping by High-Temperature Diffusion Processes in SiC", EXMATEC'08, Łódź 1-4.VI.08, ss.63
- A. Kubiak, Z. Lisak, J. Szmidi, M. Sochacki, "National Polish Silicon Carbide Project", EXMATEC'08, Łódź 1-4.VI.08, ss.51-52
- M. Sochacki, A. Kubiak, Z. Lisak, J. Szmidi, "Power Devices in Polish National Silicon Carbide Project", IEEE PEMC, Poznań 1-3.IX.08, ss.2483-2487.

Politechnika Łódzka
Instytut Techniki Elektroniki i Inżynierii Informatycznej

Zestawienie publikacji 2009-2010:

- A. Kubiak, M. Sochacki, Z. Lisak, J. Szmidi, A. Konczakowska, R. Barik, Power Devices in Polish National Silicon Carbide Program, Materials Science and Engineering B, 2009 vol. 165, p18-22
- Perek P., Raj E., Kubiak A.: Importance of Convective Transport Mechanism in Modeling of High-Temperature Reactor, p. 313-318, 8th International Conference Microtechnology and Thermal Problems in Electronics MICROTHERM 2009, Politechnika Łódzka, 28.06-01-07.2009, Łódź: 2009
- A. Kubiak, Z. Lisak, "Opracowanie technologii wytworzenia diody p-i-n w podłożu z SiC, VIII KKE Dańkówko 2009
- A. Kubiak, J. Rogowski, Boron and aluminum diffusion into 4H-SiC substrates, Łódź, Microtherm 2009 s.336-343, artykuł przyjęty do publikacji w roku 2010 w Materials Science and Engineering B
- A. Kubiak, A. Kalinowski, Z. Lisak, Ł. Ruta, J. Woźny, Technology of SiC P-i-N diode fabrication, EXMATEC 2010, 19-21.05.2010, Darmstadt/Seeheim, Niemcy

Zgłoszenia na zbliżające się konferencje:

- KKE (Dańkówko Wsch., V.2010)
- SiC Wide Bandgap Materials (Zakopane, V-VI2010)
- ELTE (Wrocław IX.2010)