

Instytut Technologii Elektronowej
Zakład Mikro- i Nanotechnologii Półprzewodników Szerokoprzerwowych
Mgr Maciej Kozubal

BADANIE WPLYWU IMPLANTACJI JONÓW NA WŁAŚCIWOŚCI AZOTKU GALU I MATERIAŁÓW POCHODNYCH

praca doktorska z dziedziny: elektronika, napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Adama Barcza

Warszawa, 25 kwietnia 2018

Streszczenie

W ramach pracy przedstawiono zastosowania techniki implantacji jonów do modyfikowania właściwości elektrycznych azotku galu, dla technologii przyrządów półprzewodnikowych. Tematyka badawcza obejmowała dwa odmienne zagadnienia, zarówno wytwarzanie obszarów wysokoprzewodzących, dla formowania kontaktów omowych, jak też wysokooporowych, w celu izolacji elektrycznej. Zaprezentowano również proces wytwarzania zagrzebanej warstwy izolacyjnej dla elektrycznej izolacji pionowej. Przedstawiono przegląd literaturowy stanu wiedzy w wymienionych wyżej zagadnieniach. Przeprowadzono charakteryzacje elektryczne oraz strukturalne GaN zmodyfikowanego przez procesy implantacji oraz wygrzewania. Pozwoliły one wyznaczyć parametry strukturalne i elektryczne obszarów izolujących a także obszarów przewodzących i uformowanych na nich kontaktów omowych. Posłużyły też określeniu profili głębokościowych wprowadzonych domieszek oraz wytworzonych defektów, morfologii powierzchni oraz jakości krystalograficznej azotku galu. Poprzez domieszkowanie jonami krzemu w pojedynczym procesie oraz na drodze opracowanego domieszkowania dzielonego, wytworzono obszary wysokoprzewodzące o znacznie obniżonej koncentracji defektów. Oporności powierzchniowe wynosiły $\lesssim 50 \Omega/\square$, natomiast oporności właściwe utworzonych na nich kontaktów omowych wynosiły $\lesssim 0,1 \Omega \cdot \text{mm}$. Z kolei obszary izolujące uzyskane na drodze implantacji jonami Al^+ albo C^+ cechowały się opornościami powierzchniowymi $> 10^{14} \Omega/\square$ oraz były stabilne termicznie do temperatury 600°C . Ponadto zaproponowano metodę wytwarzania zagrzebanej warstwy izolacyjnej, dzięki implantacji wodorem, położonej na głębokości $\approx 1,5 \mu\text{m}$ pod powierzchnią, o oporze skośnym zwiększonym o cztery rzędy wielkości względem GaN referencyjnego. Zaprezentowane techniki pozwoliły na modyfikację właściwości elektrycznych azotku galu w bardzo szerokim zakresie, co potwierdza ich użyteczność w technologii półprzewodnikowych przyrządów elektronicznych oraz optoelektronicznych.

Institute of Electron Technology

Department of Micro- and Nanotechnology of Wide Bandgap Semiconductors

Maciej Kozubal, MsC

STUDY ON THE EFFECTS OF ION IMPLANTATION ON PROPERTIES OF GALLIUM NITRIDE AND ITS DERIVED MATERIALS

doctoral thesis in the field of electronics, written under the supervision of professor Adam Barcz

Warsaw, April 25, 2018

Summary

The application of ion implantation techniques to modify the electrical properties of gallium nitride for semiconductor devices is presented in the frame of this dissertation. Research topics included two distinctive problems, the production of highly conductivity areas for ohmic contacts formation, as well as highly resistive areas for isolation. Additionally, the process of producing a buried highly resistive layer for vertical isolation is also presented. An overview of the state-of-the-art research in the mentioned topics is presented. The electrical and structural characterization of the GaN modified by ion implantation and annealing processes was carried out. It allowed determination of the structural and electrical parameters of isolating and conducting areas, along with ohmic contacts formed on the latter, as well as depth profiles of introduced dopants and defects, surface morphology, and gallium nitride crystallographic quality. Conductive regions with a strongly reduced defect concentration were obtained through the Si⁺ ion implantation, involving single doping process or proposed sequential doping. Sheet resistances were $\lesssim 50 \Omega/\square$, whereas specific resistivity of ohmic contacts formed on them was $\lesssim 0.1 \Omega \cdot \text{mm}$. By contrast, the isolating areas obtained by implantation with Al⁺ or C⁺ ions had sheet resistances $> 10^{14} \Omega/\square$ and were thermally stable up to the temperature of 600°C. Additionally, the process of producing a buried highly resistive layer by the hydrogen implantation was developed. The layer was located at the depth of $\approx 1.5 \mu\text{m}$ under the GaN surface. Its vertical resistance was increased by four orders of magnitude relative to the reference GaN. The techniques presented here allowed us to modify the electrical properties of GaN in a very wide range, which confirms their usefulness in the technology of electronic and optoelectronic semiconductor devices.