

INSTYTUT TECHNOLOGII ELEKTRONOWEJ

Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Nanostructure and Transport Properties
of In-Ga-Zn-O Amorphous Thin Films
and Their Applications
in
Transparent and Flexible Electronics

Jakub Kaczmarek

Dissertation submitted as a partial fulfillment of the requirements for the degree
of Doctor of Philosophy (Electronics) at the Instytut Technologii Elektronowej

Supervisor: Professor Eliana Kamińska

Warsaw 2017



Abstract

This dissertation summarizes studies on the fabrication and properties of oxide functional materials and their application in transparent and flexible electronic devices. An overview of the current state-of-the-art in the area of amorphous oxide semiconductors is given, and by taking advantage of the magnetron sputtering technique along with wide array of characterization methods the formation of In-Ga-Zn-O thin films is studied, and their structural, chemical, transport and optical properties are discussed and related to the process conditions, in order to develop reliable fabrication technology. It is showed that transport properties of amorphous In-Ga-Zn-O (a-IGZO) could be precisely tuned in a wide range by varying such deposition parameters as oxygen content in sputtering atmosphere, total deposition pressure and cathode current, which is attributed to changes in the overlapping of the cation s-orbitals. In order to overcome the challenge of fabrication of metal/a-IGZO Schottky barrier, the technology of amorphous transparent conducting oxide, namely Ru-Si-O is developed and successfully applied in a Schottky contact structure without additional thermal nor plasma treatment of a-IGZO surface. Based on above experiments a-IGZO/Ru-Si-O MESFET are fabricated on rigid and flexible substrates. To the best of knowledge, this is the first demonstration of transparent and flexible a-IGZO MESFETs, making them potential candidates for modern electronics appliances. Finally, in order to study the possibility of mobility enhancement the amorphous Zn-O-N films are fabricated and characterized proving the anion site substitution as a prospective solution.

Streszczenie

W ramach pracy przedstawiono wyniki badań nad wytwarzaniem i własnościami funkcjonalnych materiałów tlenkowych jak również ich zastosowanie w przyrządach dla elektroniki przezroczystej i elastycznej. Zaprezentowano istniejący stan wiedzy w dziedzinie amorficznych półprzewodników tlenkowych, a także wykorzystując technikę magnetronowego rozpylania katodowego wraz z szerokim wachlarzem metod charakteryzacji zbadano mechanizmy formowania się cienkich warstw In-Ga-Zn-O, a ich własności strukturalne, chemiczne, transportowe i optyczne przedyskutowano w kontekście warunków procesu osadzania w celu opracowania niezawodnej technologii. Udowodniono, że właściwości transportowe amorficznego In-Ga-Zn-O (a-IGZO) mogą być precyzyjnie sterowane w szerokim zakresie poprzez kontrolę składu i ciśnienia plazmy oraz prądu katody. Zostało to powiązane ze zmianą w przekryciu się orbitali s kationów. Podjęto wyzwanie opracowania technologii barier Schottky'ego do a-IGZO w oparciu o przezroczysty amorficzny tlenek przewodzący Ru-Si-O. Wytworzono wysokiej jakości złącza prostujące bez wygrzewania poosadzeniowego ani obróbki plazmowej półprzewodnika. W oparciu o opracowane technologie zademonstrowano tranzystory cienkowarstwowe na sztywnych i giętkich podłożach. Według stanu wiedzy jest to pierwsza demonstracja przezroczystych i elastycznych struktur a-IGZO MESFET co czyni je potencjalnymi kandydatami do zastosowań we współczesnej elektronice. Dla zweryfikowania możliwości zwiększenia ruchliwości nośników na drodze podstawień anionów wytworzono i scharakteryzowano amorficzne cienkie warstwy Zn-O-N udowadniając perspektywiczność tego rozwiązania.