

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej pt: „Procesy wytwarzania trójwymiarowych struktur mikro- i nanometrowych przy użyciu techniki litografii NIL oraz elektronolitografii w zastosowaniu do przyrządów na bazie GaN” przedstawiono wyniki badań nad procesami wytwarzania struktur funkcyjnych dla technologii tranzystorów HEMT oraz diod DEL na bazie półprzewodników III-N. Przedmiotem opracowania były bramki typu T oraz kryształy foniczne.

We wprowadzeniu do rozprawy opisano techniki wytwarzania mikro- i nanostruktur z podziałem na techniki generowania wzoru oraz przenoszenia go do strukturyzowanego materiału. Ponadto, omówione zostały główne wyzwania technologiczne procesów strukturyzacji azotków grupy III ze szczególnym uwzględnieniem procesów trawienia w technologii tranzystorów HEMT i diod DEL.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki prac eksperymentalnych dotyczących technologii wytwarzania nanostruktur w GaN technikami nanostemplowania oraz elektronolitografii. Prace eksperymentalne obejmowały dwa zagadnienia: (1) wytwarzanie struktur submikrometrowych w azotku galu z wykorzystaniem technik litografii NIL, (2) wytwarzanie struktur submikrometrowych w warstwach aktywnych III-N z wykorzystaniem technik litografii NIL. W ramach pracy badawczej opracowano metody wytwarzania matryc oraz stempli niezbędnych do prowadzenia procesów nanostemplowania, zoptymalizowano procesy nanostemplowania pod kątem uzyskiwania wysokiej jakości odwzorowania stempla oraz opracowano procesy przenoszenia wzoru wytworzonego NIL do GaN z wykorzystaniem techniki trawienia ICP. Uzyskane wyniki pozwoliły na zastosowanie techniki NIL w technologii przyrządów półprzewodnikowych na przykładzie tranzystora HEMT oraz diody DEL na bazie GaN. Opracowano procesy wytworzenia struktur funkcyjnych: bramek T dla tranzystora oraz kryształów fonicznych dla DEL. W efekcie przeprowadzono integrację opracowanej technologii z cyklem technologicznym wytwarzania tych przyrządów oraz wykonano ich demonstratory.

Dopełnienie badań nad wytwarzaniem nanostruktur techniką nanostemplowania stanowią procesy wytwarzania struktur 3D techniką elektronolitografii. W rezultacie opracowano procesy wytwarzania stabilnych mechanicznie struktur bramek o długości od 65 do około 220 nm oraz mostków powietrznych o długości pomostu do 300 μm .. Opracowane cząstkowe technologie wdrożono do istniejącej w Zakładzie Technologii Mikro- i Nanotechnologii Półprzewodników Szerokoprzerwowych technologii wytwarzania tranzystorów HEMT AlGaIn/GaN oraz technologii DEL opartych o GaN.

Abstract

The doctoral thesis “Fabrication of three-dimensional micro- and nanometer structures using nanoimprint and electron-beam lithography for GaN-based applications” presents the results of research on the fabrication of functional structures for HEMT and LED technology based on III-N group semiconductors. The goal of the work was to develop the fabrication processes of T-gates and photonic crystals structures.

In the introduction to the thesis, the techniques for the fabrication of micro- and nanostructures were described, in groups related to pattern generation and pattern transfer techniques. Additionally, the main technological challenges of processing of III-N group materials and structures, in particular etching processes for HEMTs and LEDs, are identified and discussed.

The next chapters cover the results of own research on the fabrication of GaN nanostructures using nanoimprint (NIL) and electron-beam lithography. The experimental work concerns two aspects: (1) fabrication of GaN sub-micrometer structures using nanoimprint lithography, and (2) patterning of III-N-based active layers using nanoimprint lithography. As a part of the work, methods for the fabrication of matrices and stamps necessary for the nanoimprint process have been developed. The parameters of the nanoimprint process were optimized and NIL-fabricated pattern transfer into GaN using ICP etching was developed. The achieved results allowed to implement the nanoimprint technique in the technology of fabrication of semiconductors devices, in particular GaN-based HEMTs and LEDs. For this task, the fabrication processes of functional structures such as T-gates for transistors and photonic crystals for LEDs have been developed. As a result, the developed technology was integrated with the production technology cycle of these devices.

Complementary to the research on nanoimprint lithography is the fabrication process of 3D structures using electron-beam lithography. Fabrication process of mechanically stable gate structures with a length of 65 to 220 nm and bridge with a length of up to 300 m was demonstrated. The developed technology steps were implemented in the HEMT AlGaIn/GaN transistor and GaN-based DEL technology at the Department of Micro- and Nanotechnology of Wide Bandgap Semiconductors.