

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego
Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

Rozprawa Doktorska

Epitaksja i charakteryzacja struktur półprzewodnikowych AlGaIn z wysoką
zawartością glinu

Karolina Moszak

promotor

prof. dr hab. Detlef Hommel

promotor pomocniczy

dr Edyta Piskorska-Hommel

WROCLAW 2021

Epitaksja i charakteryzacja struktur półprzewodnikowych AlGaIn z wysoką zawartością glinu

Streszczenie. Przedstawiona rozprawa doktorska poświęcona jest zagadnieniom związanym z epitaksją i charakteryzacją struktur półprzewodnikowych z warstwami o wysokiej zawartości glinu. W ramach pracy wytworzono struktury półprzewodnikowe przy wykorzystaniu techniki epitaksji z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych MOVPE. Głównym celem pracy była optymalizacja wzrostu heterostruktur GaN/AlGaIn/AlN zawierających warstwy trójskładnikowych stopów AlGaIn. Heterostruktury te są wykorzystywane m.in. do wytwarzania supersieci i studni kwantowych, które często pełnią rolę obszarów aktywnych w strukturach przyrządów półprzewodnikowych. Ich optymalizacja jest niezbędna z punktu widzenia rozwoju technologii i konstrukcji wielu urządzeń m.in. diod elektroluminescencyjnych, diod laserowych oraz tranzystorów.

Technologia wytwarzania urządzeń opartych na azotkach grupy III wciąż zmagają się z wieloma problemami: dużą liczbą defektów, małą ilością swobodnych nośników w domieszkowanych warstwach oraz efektami piezoelektrycznymi. Z tego powodu istnieje potrzeba ciągłego udoskonalania technologii struktur półprzewodnikowych, a w szczególności diod elektroluminescencyjnych emitujących promieniowanie w zakresie ultrafioletu (UVC-LED), w przypadku których sprawności zewnętrzne są niewielkie. Stąd zaczerpnięto motywację do podjęcia badań prowadzących do poprawy właściwości struktur przyrządowych z warstwami AlGaIn. Opracowana technologia heterostruktur GaN/AlGaIn/AlN będzie mogła zostać wykorzystana do rozwoju UVC-LED.

W pracy przedstawiono wyniki z przeprowadzonych badań. Omówiono wpływ podłoża i rodzaju bufora AlN na jakość strukturalną warstw AlGaIn. Przeanalizowano wpływ warunków panujących wewnątrz reaktora MOVPE na wzrost warstw AlGaIn. Osadzone struktury GaN/AlGaIn scharakteryzowano za pomocą metody mokrego trawienia przy użyciu mieszaniny eutektycznej. Przeanalizowano wpływ typu naprężeń i desorpcji galu z powierzchni struktury w trakcie chłodzenia struktur, po ich wzroście, na redukcję grubości warstwy końcowej GaN. Przedyskutowano także badania przewodnictwa cieplnego struktur wielowarstwowych, w tym supersieci AlGaIn/GaN. Omówiono również wpływ właściwości warstw pośrednich AlGaIn na wzrost i parametry optyczne studni kwantowych GaN/AlGaIn.

Abstract. The presented dissertation is devoted to topics related to the epitaxy and characterisation of semiconductor structures with high aluminium content. In this work, semiconductor structures have been fabricated using Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (MOVPE). The main goal of the work was to optimise the growth of GaN/AlGaN/AlN heterostructures containing AlGaN ternary layers. These heterostructures are used e.g. for the fabrication of superlattices and quantum wells, which play a key role as active regions in semiconductor devices. Their optimisation is essential for the technology development and construction of many devices, including light-emitting diodes (LEDs), laser diodes (LDs) and transistors.

The device technology based on group III-nitrides still faces several problems: a high defect density, a small number of free carriers in doped layers and piezoelectric effects. For this reason, there is a need for continuous improvement in the technology of semiconductor structures, in particular ultraviolet light-emitting diodes (UVC-LEDs), where external efficiencies are still very low. The motivation for this research was to improve the properties of structures with AlGaN layers. The developed technology of GaN/AlGaN/AlN heterostructures can be used in UVC-LED technology.

The work presents the results of these studies. The influence of the substrate and type of AlN buffer on the structural quality of the AlGaN layers has been discussed. The impact of conditions inside the MOVPE reactor on the growth of AlGaN layers was analysed. The results obtained from wet etching GaN/AlGaN structures were discussed. The influence of the role of stress and gallium desorption from the surface of the structure during the cooling process after growth is also discussed. Thermal conductivity studies of structures with AlGaN/GaN superlattices are also reviewed. The effect of AlGaN interlayer properties on the growth and optical parameters of GaN/AlGaN quantum wells was also commented.