

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Ewelina Blanka Możdżyńska

Struktura oraz właściwości luminescencyjne warstw epitaksjalnych azotku galu z borem (BGaN)

Azotki metali grupy III, inaczej nazywane związkami III-N, stanowią znaną grupę półprzewodników stosowanych w optoelektronice i elektronice. Grupa III-N obejmuje szeroki zakres długości fal, od ultrafioletu (UV), przez światło widzialne (VIS), a nawet po bliską podczerwień (IR) [1]. Do grupy III-N należy przede wszystkim azotek galu (GaN), który wraz z jego związkami trójskładnikowymi ((BAlInGa)N) stanowi podstawę dzisiejszych diod elektroluminescencyjnych (LEDs). GaN charakteryzuje się prostą przerwą energetyczną, której szerokość może być modyfikowana poprzez dodatek metali grupy III, tj. indu (InGaN), aluminium (AlGaN) oraz boru (BGaN). Z tego względu, GaN i jego związki mogą wydajnie emitować światło. Nagroda Nobla w dziedzinie fizyki w 2014 r. „za wynalezienie wydajnych niebieskich diod elektroluminescencyjnych (LEDs), które umożliwiły jasne i energooszczędne źródła białego światła”, przyznana dla Isamu Akasaki, Hiroshi Amano i Shuji Nakamura [2] jeszcze bardziej zwiększyła znaczenie tego materiału w nauce o półprzewodnikach i na światowym rynku optoelektronicznym. Obecne, potencjalne zastosowania optoelektroniczne azotkowych diod LEDs to nie tylko oświetlenie półprzewodnikowe, ale również zastosowania w fotonice (emisja, transmisja i wykrywanie światła), jak i w medycynie (sterylizacja, oczyszczanie wody i powietrza).

W ostatnim czasie, trójskładnikowe związki GaN z borem (BGaN) stały się przedmiotem intensywnych badań ze względu m.in. na możliwość dostrajania przerwy wzbronionej i dostrajania stałej sieci poprzez dodatek B do GaN. Wobec tego dodanie B do związków III-N może przyczynić się do rozwiązania fundamentalnego wyzwania heteroepitaksji związanego z niedopasowaniem sieciowym, np. w wielostudniach InGaN/GaN i związanego z tym problemem z wydajnością diod VIS. Ponadto dodatek B może poprawić funkcjonalność diod UV, poprzez jego wpływ na przerwę energetyczną związków III-N. W końcu ze względu na swoją rezystywność, ultra cienkie bariery na bazie BGaN mogą być wykorzystane do poprawy wydajności tranzystorów o wysokiej ruchliwości elektronów (HEMT) na bazie AlGaN/GaN. Pomimo potencjału związki BGaN, nadal są stosunkowo mało zbadane w stosunku do pozostałych związków trójskładnikowych III-N, o czym świadczy choćby ilość publikacji.

Ponadto, doniesienia literatury wskazują, że tematyka dotycząca związków B GaN jest wielowątkowa.

Niniejsza praca doktorska przedstawia wyniki badań nad trójskładnikowymi związkami azotku galu z borem (B GaN). W pracy przeanalizowano właściwości strukturalne i luminescencyjne warstw epitaksjalnych B GaN wytworzonych metodą epitaksji z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych (MOVPE). Celem pracy było określenie sposobu wbudowania się boru w sieć krystaliczną azotku galu, oraz zbadanie zjawiska pomarańczowo-czerwonej fotoluminescencji w związkach B GaN. W związku z pierwszym celem, niniejsza praca doktorska koncentruje się na wpływie boru na właściwości strukturalne podczas wzrostu związków B GaN. Ponadto, w pracy wysunięto hipotezę dotyczącą możliwości wbudowania B i zestawiono ją z wynikami eksperymentalnymi. Z kolei, w związku z celem drugim przedstawiono analizę widm fotoluminescencji, również względem zastosowanego zakresu temperatur wzrostu. Ponadto, podjęto próbę wytłumaczenia genezy pomarańczowo-czerwonego świecenia związków B GaN.

Znaczenie pracy doktorskiej polega na zauważeniu zależności pomiędzy temperaturą wzrostu B GaN, a podstawieniową lub międzywęzłową inkorporacją boru. Zależność ta nie została dotychczas wykazana w literaturze. Ponadto, badania pozwolą na określeniu genezy pomarańczowo-czerwonej fotoluminescencji w B GaN, co również nie zostało do tej pory przedstawione w literaturze. Z tego względu, badania prowadzone w ramach niniejszej pracy, umożliwią rozwój nauki o azotku galu i jego związkach i jego zastosowaniu w optoelektronice i elektronice.

[1] Schubert EF (2006) Light-Emitting Diodes, Second Edition. Cambridge University Press.

[2] źródło: www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/press-release/; dostęp: 24.03.2022.

Słowa kluczowe: B GaN, MOVPE, wbudowywanie boru

Summary of PhD thesis

Ewelina Blanka Mozdzyńska, MSc Eng.

Structure and luminescence properties of boron gallium nitride (BGaN) epitaxial layers

Group III nitrides, known as III-N compounds, are among the most commonly studied and used semiconductors in optoelectronics and photonics. Group III-N covers a wide range of wavelengths, from ultraviolet (UV), visible light (VIS), and even near-infrared (IR) [1]. Group III-N primarily includes gallium nitride (GaN), which, along with its ternary compounds ((AlInGa)N), is the basis of today's light-emitting diodes (LEDs). GaN is characterized by a direct bandgap, the width of which can be modified by the addition of group III metals, i.e., indium (InGaN), aluminum (AlGaN), and boron (BGaN). For this reason, GaN and its compounds can emit light efficiently. The 2014 Nobel Prize in Physics *"for the invention of efficient blue light-emitting diodes (LEDs) that enabled bright and energy-saving sources of white light,"* awarded to Isamu Akasaki, Hiroshi Amano, and Shuji Nakamura [2] has further increased the importance of this material in science and on the global optoelectronics market. Current potential applications of nitride LEDs are not only solid-state lighting but also applications in photonics (emission, transmission, and detection of light) and medicine (sterilization, purification of water, and air).

Recently, ternary GaN compounds with boron (BGaN) have become the subject of intense research due to the possibility of tuning the band gap and tuning the lattice constant through the addition of B to GaN. In view of this, the addition of B to III-N compounds may contribute to solving the fundamental challenge of heteroepitaxy related to lattice mismatch, such as in InGaN/GaN multiple quantum wells, and the related problem of VIS diode performance. In addition, B can improve the functionality of UV diodes through its effect on the bandgap energy of III-N compounds. Finally, due to its resistivity, BGaN-based ultra-thin barriers can be used to improve the performance of AlGaN/GaN-based high electron mobility transistors (HEMTs). Despite the potential, BGaN compounds are still relatively unexplored compared to other III-N ternary compounds, as evidenced by the number of publications. In addition, literature reports indicate that the topics concerning BGaN compounds are multifaceted.

This dissertation presents the results of a study of ternary boron gallium nitride (BGaN) compounds. The thesis analyzed the structural and luminescence properties of BGaN epitaxial films produced by metalorganic vapor-phase epitaxy (MOVPE). The aim of this study was to

determine how boron is incorporated into the gallium nitride crystal lattice and to investigate the orange-red photoluminescence phenomenon in BGaN compounds. In connection with the first objective, this dissertation focuses on the effect of boron on structural properties during the growth of BGaN compounds. In addition, the thesis puts forward a hypothesis on the possibility of interstitial incorporation of boron into the GaN lattice and confronts it with experimental results. In turn, in connection with the second objective, an analysis of photoluminescence spectra was presented, also in relation to the applied growth temperature range. In addition, an attempt was made to explain the genesis of the orange-red glow of BGaN compounds.

The significance of the dissertation lies in noting the relationship between BGaN growth temperature and substitutional or interstitial boron incorporation. This relationship has not yet been demonstrated in the literature. In addition, the research will help determine the genesis of orange-red photoluminescence in BGaN, which has not been shown in the literature to date. Therefore, the research conducted within the framework of this work will enable the development of the science of gallium nitride and its compounds.

[1] Schubert EF (2006) Light-Emitting Diodes, Second Edition. Cambridge University Press.

[2] źródło: www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/press-release/; dostęp: 24.03.2022.

Keywords: BGaN, MOVPE, boron incorporation