

Według Światowej Organizacji Zdrowia ponad 0,8 mln ludzi umiera każdego roku z powodu biegunki, która jest wynikiem braku dostępu do bezpiecznej wody, nieodpowiedniej higieny rąk i złych warunków sanitarnych. Większość z tych przypadków można by zapobiec, stosując odpowiednią dezynfekcję. Dodatkowo, rozwój ludzkości i zmiany klimatyczne wymagają jeszcze szybszego postępu w dziedzinie technik sterylizacji. Jedną z bardziej skutecznych metod jest zastosowanie światła o długości fali około 250 nm. Okazuje się, że takie światło jest bardzo skuteczne w niszczeniu kwasów nukleinowych mikroorganizmów (takich jak bakterie, wirusy, pleśnie czy innych patogeny) i rozbija ich DNA, uniemożliwiając im przeprowadzanie istotnych funkcji komórkowych. Dlatego też jedną z możliwych ścieżek rozwiązań problemów związanych ze sterylizacją są źródła światła w zakresie dalekiego ultrafioletu (DUV) (200-280 nm, co odpowiada energiom 4,4-6,2 eV). Niestety efektywność półprzewodnikowych źródeł światła drastycznie spada wraz ze zmniejszaniem się długości fali i w zakresie DUV wynosi zaledwie kilka procent, co jest niewystarczające do powszechnie stosowanych zastosowań.

W ramach tego projektu planujemy wykonać badania nad heksagonalnym azotkiem boru zmieszonym z glinem i galem ($\text{hB}_{1-x-y}\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$, x i y odpowiadają odpowiednio koncentracji Al i Ga). Heksagonalny azotek boru (hBN) posiada strukturę plastrów miodu z warstwami ułożonymi jedna nad drugą analogicznie do grafitu. Jednak w przeciwieństwie do świetnie przewodzącego grafitu hBN jest izolatorem o przerwie energetycznej około 6 eV, co umożliwia emisję światła w zakresie DUV. W celu zwiększenia efektywności emisji światła, zwykle stosuje się studnie kwantowe. Wymaga to doboru warstw materiału o różniących się przerwach energetycznych. W tym projekcie chcemy tego dokonać poprzez umiejętne mieszanie hBN z glinem (Al) oraz galem (Ga). Przewidywania teoretyczne sugerują, że dodawanie Al lub Ga do hBN powinno obniżać przerwę energetyczną hBN. Tak przygotowana warstwa hBAlGaN można umieścić pomiędzy warstwami materiału o większej przerwie energetycznej - takimi jak czysty hBN lub hBAlGaN o innej koncentracji Al i Ga, tworząc strukturę studni kwantowej.

Mimo że przewidywania teoretyczne sugerują, że studnie kwantowe oparte o hBAlGaN są możliwe do wykonania, to nadal istnieją pewne wyzwania eksperymentalne. Po pierwsze, aby wytworzyć hBN potrzebujemy znacząco innych warunków niż do wytworzenia AlN lub GaN. Dlatego będziemy poszukiwać bardzo konkretnych kombinacji parametrów wzrostu, które pozwolą na otrzymywanie materiału o pożądanej koncentracji Al i Ga. Po drugie, hBN należy do klasy materiałów dwuwymiarowych z silnym wiązaniem kowalencyjnym (sp^2) w płaszczyźnie atomowej oraz słabym wiązaniem van der Waalsa między kolejnymi warstwami atomowymi. Natomiast AlN oraz GaN charakteryzują się silnym wiązaniem sp^3 . Nie jest jasne, czy przy dodawaniu Al oraz Ga do hBN układ spontanicznie nie przejdzie do fazy o wiązaniach sp^3 . A jeśli tak będzie to przy jakiej granicznej koncentracji tych pierwiastków. Kolejnym niezbadanym obszarem, nad którym chcielibyśmy się skupić, jest odpowiedź na pytanie jak dodawanie Al i Ga wpłynie na szerokość przerwy energetycznej hBAlGaN oraz na efektywność światła emitowanego podczas przejść ekscytonowych. Dotychczasowa wiedza na temat kryształów mieszanych hBAlGaN pochodzi głównie z symulacji i nie została potwierdzona eksperymentalnie. Dlatego w tym projekcie postaramy się eksperymentalnie zweryfikować poprawność obliczeń teoretycznych. Nasze wstępne wyniki pokazują, że jesteśmy w stanie mieszać hBN z Ga, co wpływa na współczynnik absorpcji jak również na szerokość przerwy energetycznej przy zachowaniu warstwowej struktury sp^2 .

W celu znalezienia odpowiedzi na powyższe pytania, planujemy przeprowadzić systematyczne badania na próbkach hBAlGaN wyhodowanych przez nas na dwucalowych podłożach szafirowych przy użyciu epitaksji z fazy gazowej związków metaloorganicznych (MOVPE). Następnie będziemy je kompleksowo charakteryzować przy użyciu metod spektroskopowych (spektroskopia UV-Vis, spektroskopia Ramana, fourierowska spektroskopia w podczerwieni, fotoluminescencja), rentgenowskich (dyfrakcja rentgenowska, rentgenowska spektrometria fotoelektronów, spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii) oraz mikroskopii elektronowej (skaningowa mikroskopia elektronowa, transmisyjna mikroskopia elektronowa). Przeprowadzane eksperymenty pozwolą nam wyciągnąć wnioski na temat zależności szerokości przerwy energetycznej, a w szczególności na temat możliwości zmiany charakteru przerwy ze skośnej na prostą, co skutkowałoby zwiększeniem efektywności emisji w DUV. Będziemy również prowadzić optymalizację procesu wzrostu kryształów mieszanych hBAlGaN tak, aby otrzymywać dobrej jakości materiał o zawartości boru na poziomie 90-100%. To wszystko prowadzi do poznania sposobu na efektywne mieszanie hBN z Al i Ga oraz relacji między składem hBAlGaN i jego strukturą elektronową, włączając w to mieszanie prostej-skośnej natury przerwy energetycznej. Ten aspekt jest szczególnie interesujący w kontekście poznania podstawowych własności kryształów mieszanych hBAlGaN jak również z punktu widzenia przyszłych zastosowań w optoelektronice w zakresie DUV, takich jak efektywne źródła światła umożliwiające skuteczną sterylizację.