

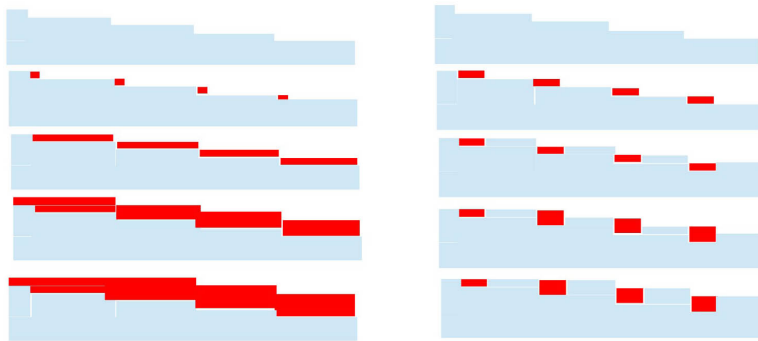
Związki AlGaInN są drugą (po krzemie) grupą półprzewodników, je eli chodzi o wartość przyrządów na ich bazie. Główne obecne zastosowania azotków to białe LEDy, lasery BluRay, tranzystory wysokiej mocy i cz sto ci. W najbliższej przyszłości powstaną nowe wielomiliardowe rynki: projektorów i telewizorów laserowych, komunikacji „Last mile” w samochodach, budynkach, samolotach, czy statkach, a także oświetlenia białego nie przy użyciu LEDów, a matryc laserowych. Polska jest jednym z liderów światowych w opracowywaniu nowych technologii półprzewodników AlGaInN, i jest duża szansa, że technologie te doprowadzą do znaczącej produkcji komercyjnej azotkowych diod laserowych już w najbliższej przyszłości. Przedstawiany Projekt jest pierwszym krokiem do opracowania w ciągu 5-6 lat następnych generacji przyrządów opartych o druty kwantowe InGaN, a także do zrozumienia mikroskopowych mechanizmów wzrostu InGaN.

Obiekty o wymiarach nanometrowych są w elektronice niezwykle atrakcyjne nie tylko ze względu na możliwość miniaturyzacji, ale także ze względu na własności wynikające z tak małych rozmiarów. W większości obecnych przyrządów elektronicznych (diod laserowych, diod LED, tranzystorów, ogniw fotowoltaicznych, sensorów, i in.) stosowane są cienkie warstwy epitaksjalne, których wymiary nanometrowe mają tylko w kierunku prostopadłym do powierzchni. Przyrządy przyszłości będą także zawierały obiekty, które mają małe wymiary w kierunkach równoległych do powierzchni. Są to tzw., druty kwantowe (dwa małe wymiary) oraz kropki kwantowe (trzy małe wymiary).

Wytworzenie takich obiektów jest niezwykle trudne, jako że nawet przy użyciu elektronolitografii można uzyskać rozdzielczość kilkudziesięciu nanometrów, a nie kilku. Dlatego druty i kropki kwantowe wytwarzane są najczęściej poprzez wzrost spontaniczny w kierunku prostopadłym do powierzchni.

W proponowanym Projekcie zaproponowana jest po raz pierwszy na świecie metoda wytwarzania nanodrutów poziomych InGaN w matrycy GaN, używając metody MOVPE (metalorganic chemical vapour phase epitaxy), poprzez zatrzymywanie w budowywania się indu w czasie zapełniania się stopnia atomowego we wzroście w modzie płynięcia stopni (step-flow) na zdeorientowanym podłożu GaN. Dezorientacja oznacza, że na powierzchni są stopnie atomowe o pewnej szerokości tarasu. Idea wytwarzania drutów kwantowych w ten sposób została zaproponowana w pracy Petroff i in. [1] dla układu AlGaAs/GaAs. Odpowiednie dobranie dezorientacji podłoża GaN, momentu włączenia i wyłączenia prekursora indu (lub wodoru, zatrzymującego w budowywanie się indu) oraz przepływu prekursora galu powinno zaowocować wytwarzaniem nanodrutów InGaN o wymiarach poprzecznych do 5 nm.

Rys. 1 przedstawia ideę zaproponowaną przez Petroffa wzrostu warstwy (nanodrutów) InGaN w matrycy GaN. Po lewej, pokazany jest wzrost litej warstwy w modzie płynięcia stopni, gdzie atomy są dołączane tylko do stopni. Dystans między stopniami (szerokość tarasu) zależy od dezorientacji podłoża, i na przykład, wynosi 14,5 nm dla dezorientacji 1 stopień. Idea Petroffa (rysunek po prawej), którą chcemy zastosować, polega na zatrzymaniu w budowywania się indu w czasie wzrostu monowarstwy, dopełnieniu jej GaNem, a następnie włączeniu powtórnego w budowywania się indu idealnie nad miejscem, w którym wcześniej wyrósł InGaN.



Ryss. 1

Z lewej: Wzrost warstwy InGaN (czerwona) w modzie płynięcia stopni na podłożu GaN (niebieski). Z prawej: wzrost warstwy InGaN jest czasowo zatrzymany poprzez wyłączenie prekursora indu TMI lub/i włączenie wodoru zatrzymującego w budowywanie się indu. Na rysunku pokazana jest krawędź próbki, przy której utworzone nanodruty będą miały mniejszą grubość niż pozostałe, jednak ich ilość będzie zanedbywalnie mała. Wysokość stopnia wynosi 0.25 nm, podczas gdy długości planowane tarasów 10-30 nm.

Do wykonania takich eksperymentów potrzebne są podłoża GaN o minimalnej gęstości defektów oraz o zadanej dezorientacji. Wnioskodawca Projektu, Instytut Wysokich Ciśnień PAN posiada jedyną na świecie opatentowaną technologię wytwarzania takich materiałów. Dodatkowo, w technologii tej, na jednej próbce można wytworzyć kilkanaście różnych dezorientacji (szerokości tarasów), co bardzo potania i przyspiesza badania.

Planowane badania powinny dostarczyć wielu cennych informacji na temat mechanizmów wzrostu warstw InGaN- w jaki sposób płynięcie stopni atomowe, co się z nimi dzieje po wyłączeniu przepływu prekursora indu, co powoduje zwiększenie ciśnienia, temperatura, dodatek wodoru, czy całkowity przepływ gazów.

Należy też podkreślić, że wyhodowanie planowanych drutów kwantowych będzie wymagało bardzo wielu eksperymentów optymalizacyjnych, w których nie zmieniając parametry wzrostu. Przykładowo, dodatek jedynie kilku procent wodoru do gazu nie spowoduje zmniejszenia średniej zawartości indu o ponad połowę, ale jednocześnie nie spowoduje wygładzenia stopnia atomowego, co jest warunkiem niezbędnym do otrzymania drutu kwantowego. Ilość potrzebnego wodoru oraz moment jego włączenia i wyłączenia, zależą od użytej temperatury, ciśnienia oraz całkowitego przepływu.

Drugim elementem badawczym w Projekcie będzie opracowanie nowych technik badawczych metod wysokorozdzielczej

dyfrakcji rentgenowskiej (HR XRD), która jest podstawowym narzędziem badawczym do oceny struktury krystalograficznej półprzewodników. W przypadku niemal idealnych materiałów, na przykład, AlGaAs na GaAs otrzymuje się idealnie zgodnie z uogólnioną powszechnie teorię rozpraszania promieni rentgenowskich. W przypadku warstw i drutów kwantowych InGaN, metody analizy danych wymagają nowego podejścia ze względu na silne rozsegregowanie indu oraz na obecność defektów strukturalnych. Dlatego w Projekcie zostaną opracowane nowe techniki pomiarowe i obliczeniowe HR XRD, adekwatne do badania nanostruktur (w tym drutów kwantowych) InGaN. Nowe metody HR XRD zostaną zweryfikowane poprzez dużo bardziej pracochłonne metody wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej (HR TEM).

Trzecim elementem Projektu będzie wytworzenie testowych diod laserowych na bazie nanodrutów kwantowych. Spodziewamy się, że tego rodzaju przyrządy będą miały lepsze własności użytkowe (mniejszy próg progowy, lepsza sprawność zamiany prądu elektrycznego na światło).

Jesteśmy przekonani, że nowa technologia znajdzie zastosowanie w wielu innych przyrządach: tranzystorach, czy sensorach. Ze względu na fakt, że dezorientacja może wytworzyć w różnych kierunkach, może na sobie wyobrazić połączenia drutów kwantowych (a na ich styku powstawanie kropek kwantowych), co mogłoby prowadzić do technologii nanoukładów scalonych..

[1] P. M. Petroff, A.C. Gossard, W. Wiegmann, Applied Physics Letters 45, 622 (1984).