***Wzrost i charakteryzacja materiału wzmocnienia optycznego opartego na kropkach kwantowych InAs/InP dla zastosowań telekomunikacyjnych i optoelektronicznych,* Politechnika Wrocławska**

Streszczenie popularnonaukowe

Nanotechnologia półprzewodnikowa to prężnie rozwijająca się gałąź nauki i przemysłu, bazująca na unikalnych właściwościach struktur o obniżonej wymiarowości. Dyskretne widmo energii obszaru aktywnego charakterystyczne dla nanostruktur kwazi-zerowymiarowych pozwala na konstrukcję nowego typu przyrządów nanofotonicznych, takich jak nieklasyczne źródła światła (emitery pojedynczych lub splątanych fotonów). Takie źródła są m. in. niezbędnymi elementami protokołów komunikacji kwantowej, której przewaga polega na braku możliwości podsłuchu przesyłanej informacji bez wiedzy porozumiewających się stron. Ograniczenie to wynika z praw mechaniki kwantowej i jest kluczowe dla funkcjonowania współczesnego społeczeństwa informacyjnego. Dla zastosowań dalekozasięgowych, w celu skorzystania z krzemionkowych sieci światłowodowych w obszarze ich minimalnego tłumienia promieniowania, wymagane jest użycie światła w zakresie 1,5-1,6 µm, nazywanym trzecim oknem telekomunikacyjnym.

Jednymi z najbardziej obiecujących kandydatów na praktyczne źródła nieklasycznych stanów światła w tym zakresie spektralnym są epitaksjalne kropki kwantowe z InAs na podłożu z InP, a najatrakcyjniejsza pod kątem aplikacyjnym metoda ich wzrostu to epitaksja z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych (MOVPE). Na jej korzyść przemawiają względnie niskie koszty i szybkość procesu przy jednocześnie wysokiej jakości otrzymywanych struktur. W standardowej epitaksji, kropki InAs/InP wzrastają silnie wydłużone i płaskie. Długość fali emisji z takich kropek wpasowuje się w obszar trzeciego okna telekomunikacyjnego, jednak wysoka asymetria oraz płytki potencjał wiążący skutkują strukturą elektronową niekorzystną z punktu widzenia niektórych aplikacji – ze względu na obniżoną stabilność temperaturową, wydajność emisji oraz czystość emisji jednofotonowej. Standardowo, takie kropki mają wysoką gęstość powierzchniową ($\sim 10^{10}/cm^2$), co utrudnia badanie pojedynczych obiektów i realizację opartych na nich nieklasycznych źródeł światła w strukturach fotonicznych.

Z punktu widzenia zastosowań, kluczowym parametrem jest jasność kropek, ograniczana głównie przez niewielki odsetek fotonów opuszczających heterostrukturę z kropkami (kilka procent). Ważnym aspektem badań jest zatem zwiększenie ich jasności poprzez polepszenie ekstrakcji promieniowania z heterostruktury. Można to zrobić w sposób niedeterministyczny (np. umieszczenie zwierciadła pod warstwą kropek), lub w sposób deterministyczny, który wymaga uprzedniego zidentyfikowania interesującej kropki w ich zbiorze, określenia jej pozycji, a następnie wytworzenie nad taką kropką zaprojektowanej nanostruktury fotonicznej.

Kropki InAs/InP są atrakcyjne nie tylko dla światłowodowych aplikacji telekomunikacyjnych, ale także jako źródła fotonów dla schematów obliczeń w mikro-układach optycznych wytworzonych na platformie krzemowej. Ponieważ krzem nie jest dobrym źródłem światła, dla rozwoju współczesnej optoelektroniki bazującej na krzemie, konieczna jest integracja źródeł światła z tym materiałem.

Badania prowadzone w ramach rozprawy doktorskiej aplikanta skupiają się na poszukiwaniu potencjalnych rozwiązań następujących wyzwań: (i) uzyskanie kropek InAs/InP o dobrej jakości optycznej i niskiej gęstości powierzchniowej, (ii) maksymalizacja wydajności ekstrakcji emisji ze struktury z kropkami, (iii) integracja kropek InAs/InP z podłożem krzemowym. Doktorat realizowany jest we współpracy pomiędzy zespołami z Politechniki Wrocławskiej (PWr) i z Duńskiego Uniwersytetu Technicznego (DTU) w Kopenhadze. Struktury badane przez aplikanta są uzyskiwane przez niego w DTU metodą MOVPE. Następnie, aplikant poddaje struktury kolejnym procesom przetwarzania w celu m. in. uzyskania zwierciadła oraz innych struktur fotonicznych (elektronolitografia, trawienie suche i mokre, osadzanie cienkich warstw etc.). Dodatkowym aspektem prowadzonych badań jest integracja kropek z podłożem krzemowym, w celu weryfikacji potencjału konkretnych metod łączenia tych materiałów.

Aplikant weryfikuje osiągnięcie zamierzonych właściwości optycznych poprzez badania podstawowe kropek InAs/InP w laboratoriach PWr z wykorzystaniem zaawansowanych metod spektroskopowych, takich jak mikrofotoluminescencja, spektroskopia czasowo-rozdzielcza i korelacyjna. Dla pozycjonowania pojedynczych kropek aplikant rozwija metodę obrazowania ich emisji (nowatorskie w tym zakresie spektralnym), co umożliwi w następnym kroku wytworzenie w DTU dedykowanych struktur nad wyselekcjonowanymi emiterami w celu znacznego zwiększenia ekstrakcji ich emisji.