

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Autor: **Paweł Wyborski**

Promotorzy: **Prof. dr hab. inż. Grzegorz Sęk, dr hab. inż. Paweł Podemski, prof. PWr.**

Tytuł rozprawy: **GaAs-based quantum dots grown by MBE on metamorphic buffers as a platform for single-photon emitters in the telecommunication spectral range**

Tytuł rozprawy w j. polskim: **Kropki kwantowe bazujące na podłożu GaAs wytworzone z zastosowaniem MBE na metamorficznej warstwie buforowej jako platforma do realizacji emiterów pojedynczych fotonów w zakresie telekomunikacyjnych okien spektralnych**

Jak wielokrotnie dowiedziono eksperymentalnie, półprzewodnikowe kropki kwantowe mogą służyć jako wydajne, niemal idealne źródła pojedynczych fotonów. Ponadto współczesna technologia wzrostu metodami epitaksjalnymi pozwala na kontrolę właściwości morfologicznych i optycznych, umożliwiając, między innymi, sterowanie długością fali emitowanego promieniowania. W celu uzyskania emiterów w zakresie telekomunikacyjnym, czyli w obszarze widmowym przypadającym na minima strat przy transmisji w sieciach światłowodowych, konieczny jest odpowiedni dobór materiałów półprzewodnikowych. Jednym z najbardziej dopracowanych technologicznie jest układ InAs/GaAs, jednakże ze względu na znaczną różnicę w stałych sieci krystalicznej, kropki kwantowe w tym układzie materiałowym emitują zwykle poniżej 1 μm . Przesunięcie emisji do zakresu telekomunikacyjnego wymaga dodatkowych zabiegów technologicznych oraz związanej z tym inżynierii struktury pasmowej i naprężeń. Jednym z podejść jest zastosowanie dodatkowej metamorficznej warstwy buforowej pozwalającej na zredukowanie odkształceń w warstwie kropek kwantowych, co skutkuje przesunięciem emisji w kierunku podczerwieni. Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie właściwości optycznych oraz powiązanie ich z własnościami strukturalnymi dla kropek kwantowych z materiału InAs na podłożu z GaAs, otrzymanych metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) i wytwarzanych na metamorficznej warstwie buforowej z InGaAs o różnym gradiencie składu. W szczególności prace koncentrowały się na określeniu warunków przesunięcia emisji do zakresu trzeciego okna telekomunikacyjnego oraz na uzyskaniu emisji pojedynczych fotonów z takich kropek kwantowych.

W rozprawie wykazano doświadczalnie możliwość sterowania długością fali emisji w szerokim zakresie widmowym poprzez modyfikacje metamorficznej warstwy buforowej, osiągając emisję również w zakresie okna 1.55 μm . Wyniki pomiarów spektroskopowych skonfrontowane z obliczeniami struktury energetycznej wykorzystującymi zgromadzone parametry morfologiczne dla takich kropek, pozwoliły na wskazanie głównych czynników odpowiadających za zmianę energii przejść optycznych. W szczególności, uzyskano niezerową wartość stopnia polaryzacji liniowej emisji, wynikającą z mieszania stanów walencyjnych wskutek występowania anizotropii potencjału wiążącego nośniki w płaszczyźnie kropki, dodatkowo wzmocnioną przez zredukowane odkształcenia oraz spłycony potencjał wiążący. Zależność fotoluminescencji od temperatury wskazała na możliwość występowania redystrybucji nośników pomiędzy kropkami kwantowymi oraz pozwoliła określić ucieczkę nośników do warstwy buforowej jako główny mechanizm strat termicznych i spadku intensywności fotoluminescencji. Obserwacja wzrostu intensywności emisji w zakresie niskich temperatur dla pojedynczych kropek kwantowych powiązana została z obecnością płytkich stanów pułapkowych w strukturze. Pomiarzy w funkcji gęstości mocy pobudzenia i polaryzacji pozwoliły zidentyfikować podstawowe kompleksy ładunkowe (ekscytonowe), a ich pochodzenie zostało potwierdzone poprzez wyznaczenie funkcji korelacji drugiego rzędu aktów emisji z różnych kompleksów (korelacji wzajemnej różnych linii emisyjnych). Wyniki charakteryzacji czasów życia ekscytonu i bieksytonu oraz obliczeń struktury energetycznej wskazały na występowanie tzw. pośredniego ograniczenia przestrzennego ekscytonów w badanych kropkach. Zaś niewielkie wartości energii rozszczepienia struktury subtelnej ekscytonu potwierdziły występowanie nieznacznej anizotropii potencjału wiążącego w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku wzrostu.

Pomiary autokorelacji emisji fotonów potwierdziły jednoznacznie jej jednofotonowy charakter. W szczególności, uzyskano emisję pojedynczych fotonów o dużej czystości w zakresie zarówno drugiego jak i trzeciego okna telekomunikacyjnego, dowodząc tym samym, że ten rodzaj kropek kwantowych wytwarzanych metodą MBE może konkurować z innymi emiterami jednofotonowymi w tym zakresie spektralnym. Rezultaty pomiaru funkcji autokorelacji drugiego rzędu w reżimie impulsowym potwierdziły występowanie procesów wychwytu i uwalniania nośników przez pułapki z otoczenia kropek, w zgodzie z wynikami wcześniejszych eksperymentów, co też wskazuje na kierunek dalszej optymalizacji tych nanostruktur.