

Streszczenie:

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań spektroskopowych, które pozwoliły na eksperymentalną weryfikację optycznych właściwości nowych rozwiązań wspierających rozwój laserów typu VCSEL (ang. Vertical Cavity Surface Emitting Lasers) o emisji w zakresie średniej i długofalowej podczerwieni. Rozwój źródeł światła w tym zakresie spektralnym jest kluczowy między innymi dla zagadnień związanych z tzw. optyczną detekcją gazów. W tym kontekście lasery typu VCSEL stanowią obiecującą alternatywę dla tradycyjnych emiterów krawędziowych, oferując wysoką jakość wiązki, jednomodowość oraz możliwość przestrajania długości fali emisji. Prezentowane w pracy badania skupiają się na kluczowych komponentach tych laserów tworzących wnękę rezonansową, takich jak rozproszone zwierciadła Bragga (DBRs ang. Distributed Bragg Reflectors) oraz podfalowe siatki o wysokim kontraście współczynnika załamania (HCGs ang. High Contrast Gratings). Przeprowadzono liczne badania spektroskopowe wspierane symulacjami numerycznymi, które pozwoliły na dobór i optymalizację parametrów geometrycznych wspomnianych struktur półprzewodnikowych.

Pierwsza część pracy zawiera teoretyczne wprowadzenie do tematyki badań, wyjaśniające motywację i omawiające najważniejsze techniki optycznej detekcji gazów. Następnie opisano półprzewodnikowe źródła światła używane w zakresie spektralnym średniej i długofalowej podczerwieni oraz ich kluczowe komponenty ze szczególnym uwzględnieniem studni kwantowych i elementów odbiciowych (zwierciadeł) tworzących wnękę rezonansową. Kolejna część rozprawy doktorskiej omawia szczegółowo techniki wzrostu epitaksjalnego i modyfikacji struktur półprzewodnikowych oraz techniki spektroskopowe użyte do charakteryzacji optycznej przedstawionej w kolejnej części rozprawy doktorskiej zawierającej otrzymane wyniki eksperymentalne.

Jednym z osiągnięć przedstawionych w pracy jest wykazanie możliwości wytworzenia siatek HCG o wysokim współczynniku odbicia i przestrajalności osiągniętej wyłącznie przy pomocy zmiany głębokości trawienia, działających w zakresie średniej podczerwieni. Natomiast w przypadku badań nad strukturami HCG wytrawionymi w rdzeniu lasera kaskadowego zaobserwowano wzrost intensywności sygnału fotoluminescencji o 1500%, po zastosowaniu odpowiednio wytrawionej siatki. Przeprowadzone badania potwierdziły, że poprzez odpowiednio zaprojektowane siatki można kontrolować polaryzację światła transmitowanego bądź odbijanego, co czyni je potencjalnymi elementami wykorzystywanymi do konstrukcji laserów VCSEL bazujących na schemacie obszarów aktywnych kwantowych laserów kaskadowych.

Dalsze badania koncentrowały się na opracowaniu nowatorskich zwierciadeł Bragga, w tym hybrydowych zwierciadeł DBR z warstwami metalicznymi oraz tzw. zwierciadeł plazmonicznych, w których kontrast współczynników załamania uzyskano poprzez zastosowanie warstw o znacznie różnym poziomie domieszkowania. Zwierciadła te pozwoliły na osiągnięcie odbicia przekraczającego 90%, co otwiera nowe perspektywy dla ich zastosowania w strukturach emitujących w średniej podczerwieni wykorzystujących pionowe wnęki rezonansowe.

Przeprowadzone w ramach pracy pomiary spektroskopowe FTIR (ang. Fourier Transform Infrared Spectroscopy), w połączeniu z pomiarami elipsometrycznymi oraz obrazowaniem mikroskopowym, pozwoliły dodatkowo na wyznaczenie współczynników załamania dla materiałów półprzewodnikowych wykorzystywanych w modelowaniu i projektowaniu urządzeń optoelektronicznych w zakresie średniej i długofalowej podczerwieni. Wyznaczono zależności temperaturowe współczynników załamania dla InP, InGaAs, AlAs i GaAs w zakresie temperatur 10–300 K. Wiedza ta pozwoliła na ograniczenie liczby parametrów wykorzystywanych do symulacji widm odbicia dla DBRów projektowanych na ten zakres spektralny.

Podsumowując, przeprowadzone badania pozwoliły na optymalizację zwierciadeł Bragga i siatek HCG oraz lepsze zrozumienie ich właściwości optycznych. Przedstawione w pracy wyniki otwierają nowe możliwości w projektowaniu komponentów dla laserów VCSEL przeznaczonych do emisji w średniej i długofalowej podczerwieni, co stanowi istotny wkład w rozwój technologii optoelektronicznych, w szczególności w kontekście wytwarzania nowej generacji laserów wykorzystywanych na przykład do precyzyjnej detekcji gazów. Warto również wspomnieć iż, wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych, takich jak Optics Express, Physical Review Applied i Opto-Electronics Review