

W ostatnich latach obserwujemy gwałtowny rozwój technologii komputerowych, który sprawia, że coraz więcej aspektów naszego życia podlega komputeryzacji. Towarzyszy temu dynamiczny postęp w dziedzinie optoelektroniki, obejmującej urządzenia elektroniczne, które także emitują, absorbują lub modyfikują sygnał świetlny. Należą do nich między innymi lasery półprzewodnikowe, które odgrywają kluczową rolę w wielu nowoczesnych technologiach. Są łatwe w integracji z układami elektronicznymi i znajdują zastosowanie w telekomunikacji, systemach pomiarowych, medycynie, w technologii LiDAR wykorzystywanej np. w pojazdach autonomicznych, a także elektronice użytkowej. Rynek laserów półprzewodnikowych, którego wartość w 2023 roku szacowano na około 9 miliardów dolarów, rośnie w tempie ponad 7% rocznie, napędzany przez rozwój tych technologii.

Szczególną uwagę w ostatnich latach zyskały lasery VCSEL (ang. Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers), które emitują światło w kierunku prostopadłym do powierzchni urządzenia. Ich główne zalety to możliwość tworzenia dwuwymiarowych matryc, łatwość testowania i produkcji oraz dobra jakość emitowanej wiązki. Lasery VCSEL przeżywają obecnie prawdziwy boom technologiczny i są coraz częściej stosowane w rozpoznawaniu twarzy w smartfonach, systemach trójwymiarowej detekcji, technologii rozszerzonej rzeczywistości (VR/AR) oraz systemach komunikacji optycznej.

Aby zwiększyć moc emitowaną przez laser VCSEL można zwiększyć obszar, w którym jest generowane promieniowanie laserowe. Obszar ten, nazywany aperturą, ma kształt kółkawylnikający z symetrii cylindrycznej, w której są projektowane lasery VCSEL. Niestety, zwiększenie apertury powoduje emisję modów wyższych rzędów i obniżenie jakości emitowanej wiązki. Mod w kontekście lasera to sposób, w jaki fale elektromagnetyczne rozchodzą się wewnątrz wnęki lasera, tworząc określony rozkład intensywności światła o dobrze określonej długości fali. Bardzo duże apertury potęgują ten problem, prowadząc do powstawania modów typu whispering-gallery, w których pole optyczne jest skoncentrowane w pobliżu krawędzi apertury, co skutkuje nieefektywnym wykorzystaniem wnęki, ograniczoną mocą wyjściową i obniżoną sprawnością urządzenia.

Celem naszego projektu jest przełamanie tego ograniczenia poprzez zaprojektowanie i wykonanie laserów VCSEL o kształtach apertur inspirowanych badaniami nad chaosem falowym. Zamiast tradycyjnych, okrągłych apertur, zaprojektujemy urządzenia o asymetrycznych kształtach, takich jak wnęki w kształcie litery D, stadionu czy inne zupełnie niesymetryczne. Takie zmiany pozwolą na lepszy rozkład modów we wnęce lasera, zwiększenie mocy wyjściowej oraz poprawę jednorodności przestrzennej emitowanego światła. Dodatkowo chcemy sprawdzić, jak na dalsze poprawienie tych właściwości laserów VCSEL wpłynie takie zaprojektowanie kolejnych warstw epitaksjalnych tworzących laser, które sprzyja wzbudzaniu większej ilości modów w strukturze.

Nasze badania będą miały szerokie zastosowanie w technologii LiDAR, optycznej tomografii koherentnej (OCT), systemach VR/AR oraz oświetleniu o wysokiej jednorodności. Mogą również przyczynić się do rozwoju optycznych sieci neuronowych i zaawansowanych systemów przesyłania danych. Projekt realizowany będzie przez zespół naukowców z Politechniki Łódzkiej, Łukasiewicz – Instytutu Mikroelektroniki i Fotoniki oraz Politechniki Wrocławskiej. Dzięki połączeniu zaawansowanych symulacji komputerowych, precyzyjnego wzrostu epitaksjalnego, nowoczesnych procesów technologicznych oraz szczegółowej eksperymentalnej charakteryzacji wykonanych laserów, nasz projekt może zrewolucjonizować projektowanie laserów VCSEL, tworząc podstawy dla technologii optoelektronicznych nowej generacji.