

Wielowarstwowe struktury optyczne na zakres spektralny 7-16 μ m do zastosowań w długofalowych kwantowych laserach kaskadowych ze wzmocnioną emisją.

mgr Dominika Niewczas

doktorat wdrożeniowy

promotor dr hab. Rafał Kotyński, prof. UW

(2023-10-01 - 2027-09-30)



Wielowarstwowe struktury optyczne na zakres spektralny 7-16 μ m do zastosowań w długofalowych kwantowych laserach kaskadowych ze wzmocnioną emisją.

Celem projektu jest zaprojektowanie, wytworzenie i zbadanie wielowarstwowych struktur optycznych przeznaczonych do optymalizacji działania długofalowych kwantowych laserów kaskadowych (QCL) w zakresie spektralnym 7-16 μ m. Opracowane struktury optyczne, po integracji z przednimi lustrami laserów kaskadowych, powinny minimalizować odbicie promieniowania laserowego wytworzonego wewnątrz rezonatora, pozostawać transparentne dla długości fali emitowanej przez laser, a także posiadać jak najmniejszą grubość, aby zminimalizować ryzyko złej adhezji i efektów naprężeniowych. Równoczesne spełnienie tych kryteriów wymagać będzie modelowania numerycznego propagacji fal elektromagnetycznych w układzie, oraz badań nad własnościami materiałów optycznych dla zakresu dalekiej podczerwieni. Wyniki projektu umożliwią optymalizację parametrów wyjściowych laserów, w tym zwiększenia mocy optycznej, a także zminimalizowanie niepożądanych efektów termicznych zachodzących na lustrach QCL.

Jednym ze znaczących problemów dotyczących QCL są pojawiające się efekty termiczne, które przyczyniają się do zmniejszenia ich wydajności i żywotności. Obecnie wiedza o procesach odpowiedzialnych za degradację QCL jest wciąż ograniczona, ciężko jest znaleźć w literaturze wiarygodne dane eksperymentalne, zwłaszcza dla długofalowych QCL. Istnieje kilka bardzo aktualnych (2020) doniesień o zjawisku absorpcji emitowanego przez laser promieniowania, na powierzchni warstwy Al₂O₃, która pojawia się na lustrze lasera w wyniku procesu utleniania. Proces ten ostatecznie skutkuje znacznie wyższymi temperaturami na lustrze lasera niż przewidywano, biorąc pod uwagę tylko prawo Joule'a, a tym samym przyczynia się do degradacji QCL. Zbadano również, że efekty termiczne obserwowane w przypadku QCL emitujących promieniowanie z zakresu dalekiej podczerwieni są wielokrotnie większe, niż w przypadku średniej podczerwieni. Dzięki zaprojektowaniu, wytworzeniu i zbadaniu wielowarstwowych struktur optycznych, a następnie ich zintegrowaniu

z lustrami długofalowych QCL, możliwe będzie eksperymentalne zbadanie efektów termicznych, a następnie ich ograniczenie. Jednakże w literaturze można znaleźć tylko nieliczne prace dotyczące struktur optycznych o właściwościach AR przeznaczonych do QCL, szczególnie dla zakresu długości fal 7-16 μ m. Jest to spowodowane między innymi ograniczoną liczbą znanych materiałów, które spełniałyby odpowiednie zależności współczynników załamania światła i jednocześnie nie absorbowałyby promieniowania emitowanego przez laser. Ponadto otrzymane warstwy zmniejszające odbicie powinny być stosunkowo cienkie, aby zapobiegać słabej adhezji pokrycia do powierzchni lasera. Proponowanym w projekcie podejściem jest utworzenie struktury wielowarstwowej, z materiałów dielektrycznych o różnych współczynnikach załamania światła. Dzięki temu możliwe będzie zmniejszenie całkowitej grubości pokrycia.

Wyniki projektu zostaną wdrożone w procesie technologicznym wytwarzanych w Instytucie Mikroelektroniki i Fotoniki Sieci Badawczej Łukasiewicz (Ł-IMIF) QCL. Poprawa parametrów QCL ma kluczowe znaczenie dla ich zastosowań przemysłowych i rozwoju nowych przyrządów. Zastosowanie pokryw AR stanowi ważny krok w kierunku nie tylko zwiększenia wydajności przyrządów, ale również zapewnienia ich zwiększonej niezawodności, poprzez pasywację powierzchni zwierciadeł i redukcję efektów degradacji. Dodatkowo, opanowanie technologii wytwarzania warstw antyrefleksyjnych zostanie wykorzystane dla opracowania pokryw zapewniających bardzo niski współczynnik odbicia ($<1\%$), co znajdzie zastosowanie w laserach kaskadowych wykorzystujących zewnętrzną wnękę do generacji promieniowania jednoczęstotliwościowego strojonego w szerokim zakresie długości fal. Wyniki projektu przyczynią się do zwiększenia konkurencyjności wytwarzanych w Ł-IMIF przyrządów oferowanych polskim przedsiębiorcom. Realizacja projektu przyczyni się również do wzrostu niezależności technologicznej Polski w zakresie powłok antyrefleksyjnych stosowanych w laserach półprzewodnikowych. Co więcej zoptymalizowane długofalowe QCL ze względu na długość fali emitowanego promieniowania, są bardzo atrakcyjnymi źródłami podczerwieni w spektroskopii molekularnej. W obszarze 7-16 μm znajdują się silne linie absorpcyjne dla związków organicznych takich jak toluen, benzen, czy ksyleny. Podane związki organiczne są ważnymi i szeroko stosowanymi rozpuszczalnikami i chemikaliami przemysłowymi. Jako składniki ropy naftowej są również obecne w produktach rafinacji ropy naftowej. Zoptymalizowane długofalowe QCL znajdą zastosowanie w czujnikach do detekcji zanieczyszczeń takich jak wcześniej wymienione węglowodory aromatyczne. Zaletą stosowania QCL jest ich kompaktowość oraz możliwość dopasowania długości fali do konkretnej linii absorpcyjnej, co umożliwi detekcję nawet bardzo małej ilości cząsteczek (ppm) danego gazu.