Wpływ profilu domieszkowania warstw falowodowych

na parametry kwantowych laserów kaskadowych na bazie InP

Marek Tłaczała1,\*, Adriana Łozińska1, Mikołaj Badura1, Beata Ściana1

# 1Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska,

# ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław

\*autor korespondencyjny: marek.tlaczala@pwr.edu.pl

 Kwantowe lasery kaskadowe QCL (ang. *Quantum Cascade Laser*) należą do najbardziej zaawansowanych unipolarnych emiterów promieniowania, których działanie oparte jest na przejściach wewnątrzpasmowych. Dzięki temu długość emisji praktycznie nie zależy od materiału, z którego są wykonane a jedynie od geometrii studni kwantowych w obszarze rdzenia. Lasery wytworzone na bazie heterostruktury InGaAs/AlInAs dopasowanej sieciowo do podłoża InP, emitują w zakresie od 3,5 μm do 24 μm, dzięki czemu znajdują zastosowanie w detekcji zanieczyszczeń gazowych, skażeń biologicznych, czy w badaniach spektroskopowych. Są to lasery o emisji krawędziowej zawierające dwie warstwy ograniczające n-InP, między którymi umieszczona jest wyrafinowana heterostruktura rdzenia InGaAs/AlInAs, złożona z setek do tysiąca cienkich warstw rzędu 0,5÷10 nm, co wymaga zaawansowanych technik wytwarzania jak metoda MBE (ang. *Molecular Beam Epitaxy*), czy MOVPE (ang. *Metalorganic Vapour Phase Epitaxy*). W pracy analizowano wpływ grubości i profilu domieszkowania warstw n-InP, na takie parametry lasera jak: uwięzienie modowe  *ΓE*, straty na swobodnych nośnikach *αfc*, wzmocnienie progowe *gth*, czy rezystancja przyrządu *R*. Przeprowadzono szereg symulacji teoretycznych dla długości fali *λ* = 5 μm, stosując różne profile domieszkowania warstw n-InP. Na rys. 1a pokazano wyniki modelowania struktury referencyjnej z falowodami n-InP złożonymi z dwóch obszarów o grubościach 1 µm oraz stałym poziomie domieszkowania, odpowiednio 3×1016 cm-3 (od strony rdzenia) i 1×1017 cm-3 oraz najlepszej modelowanej struktury (rys. 1b) z dwoma warstwami n-InP o grubościach 1 µm i odpowiednio stałym domieszkowaniu 3×1016 cm-3 (od strony rdzenia) oraz sinusoidalnym gradientem domieszkowania od 3×1016 cm-3 do 6×1017 cm-3 (8×1017 cm-3, przy podłożu).

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |

***Rys. 1.*** *Rozkład współczynnika załamania n, intensywności modu podstawowego E2-TM oraz strat na swobodnych nośnikach αfc w strukturze referencyjnej (a) oraz dla gradientowo domieszkowanych falowodów n-InP (b).*

 Przeprowadzone symulacje wykazały, że zmieniając grubość i profil domieszkowania warstw n-InP można znacznie poprawić ograniczenie modowe, zmniejszyć straty optyczne oraz rezystancję struktury. Optymalne falowody gradientowe wytworzono epitaksjalnie metodą LP-MOVPE i zmierzono rzeczywisty rozkład swobodnych elektronów za pomocą profilera EC-V firmy WEP. Falowody te planuje się zastosować docelowo w strukturze przyrządowej QCL, w celu weryfikacji technologicznej wyników symulacji teoretycznych.

Praca współfinansowana przez projekty: NCN projekt OPUS-17 No. 2019/33/B/ST7/02591; NCBR projekt No. TECHMATSTRATEG1/347510/15/NCBR/2018 ″SENSE″; badania statutowe Politechniki Wrocławskiej.