

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227929**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412496**

(22) Data zgłoszenia: **27.05.2015**

(51) Int.Cl.

*H01S 5/00 (2006.01)*

*H01L 21/00 (2006.01)*

*H01L 21/265 (2006.01)*

---

(54) **Sposób wykonania ograniczenia promieniowania w strukturach laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**05.12.2016 BUP 25/16**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**31.01.2018 WUP 01/18**

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT TECHNOLOGII ELEKTRONOWEJ,  
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ANNA SZERLING, Warszawa, PL  
KAMIL KOSIEL, Warszawa, PL  
MACIEJ KOZUBAL, Rzeszów, PL  
MARCIN MYŚLIWIEC, Chylice-Kolonia, PL  
RENATA KRUSZKA, Warszawa, PL**

---

**PL 227929 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykonania ograniczenia promieniowania w strukturach laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym.

Dla zapewnienia poprawnego działania półprzewodnikowych laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym zachodzi potrzeba stosowania ograniczenia przestrzennego promieniowania w kierunku pionowym i w kierunku poziomym bocznym (czyli w kierunkach prostopadłych do osi rezonatora) a także ograniczenia przestrzennego rozptyłu nośników w kierunku poziomym bocznym. Możliwe jest uzyskanie tego poprzez zastosowanie implantacji w kierunku prostopadłym do powierzchni warstw tworzących falowód laserowy (w kierunku prostopadłym do powierzchni międzyfazowej struktury laserowej), czyli w kierunku pionowym.

Lasery kaskadowe (*Quantum Cascade Lasers, QCLs*) stanowią klasę unipolarnych laserów półprzewodnikowych, których działanie oparte jest na promienistych przejściach wewnątrzpasmowych. W odróżnieniu od klasycznych, bipolarnych laserów półprzewodnikowych, wykorzystujących przejścia międzypasmowe w studniach kwantowych, długość fali emitowanego przez nie promieniowania silnie zależy od geometrii jam kwantowych stanowiących ich obszar czynny niż od materiału, z którego są wykonane. Pozwala to na pokrycie szerokiego spektrum długości fal od średniej do dalekiej podczerwieni za pomocą struktur wytwarzanych np. na podłożach GaAs i InP. Lasery kaskadowe są wydajnym źródłem promieniowania w układach detekcji substancji gazowych w ramach spektroskopii molekularnej, w medycynie i do wczesnego wykrywania skażeń i zanieczyszczeń oraz w systemach telekomunikacji w swobodnej przestrzeni.

W znanych konstrukcjach ograniczenie promieniowania i rozptyłu nośników w strukturach laserów kaskadowych w kierunku poziomym bocznym uzyskuje się w ramach odpowiednio prowadzonych końcowych etapów wytwarzania przyrządu (*processingu*). Najczęściej, po wytworzeniu obszaru czynnego w warstwie półprzewodnika wytrawia się mesy, których ściany boczne izoluje się elektrycznie za pomocą odpowiedniej warstwy dielektryka, np. SiO<sub>2</sub> czy Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Sposób wykonania takiego *processingu* znany jest z publikacji IEEE Journal of Quantum Electronics, 38, (2002), 547. Wykonanie przyrządu o takiej konstrukcji wymaga wykonania ponad 40 operacji technologicznych.

Z publikacji IEEE Journal of Quantum Electronics, 38, (2002), 547 znany jest sposób, w którym ograniczenie rozptyłu nośników ładunku w kierunku bocznym, prowadzi się wykorzystując implantację jonów. W sposobie tym jony aplikuje się w obszary boczne wytrawionej mesy i dzięki temu uzyskuje się obszary odizolowane elektrycznie a tym samym ogranicza się rozptył nośników w strukturze lasera. Zastosowana tu implantacja zastępuje osadzania warstw dielektrycznych na ścianach bocznych mesy.

Sposób ten wymaga wykonania na potrzeby implantacji odpowiedniej maski, która po zakończeniu implantacji zostanie usunięta (wytrawiona). Najczęściej maskę taką wykonuje się osadzając na powierzchni struktury warstwę emulsji fotolitograficznej. Konieczność usunięcia maski oznacza wydłużenie procesu technologicznego i zwiększa możliwość uszkodzenia struktury.

W przypadku laserów kaskadowych z tzw. falowodem plazmonowym (*plasmon waveguide*) ograniczenie promieniowania w kierunku pionowym uzyskuje się poprzez zastosowanie odpowiedniego profilu koncentracji nośników w strukturze przyrządu, czyli na wytworzeniu odpowiednio wyższej koncentracji nośników w warstwach płaszczka falowodu niż w rdzeniu falowodu. Dlatego też rolę płaszczka falowodu w takich strukturach pełni metal lub półprzewodnik o odpowiednio wysokiej koncentracji domieszki typu *n*.

Z publikacji Applied Physics Letters, 86, (2005), 071109 znany jest inny niż powyżej przedstawiony sposób ograniczenia promieniowania w kierunku bocznym w laserach kaskadowych z falowodem plazmonowym działających w zakresie promieniowania terahercowego za pomocą paska metalizacji o odpowiedniej szerokości umieszczonego na wierzchu struktury.

W sposobie tym dla boczno ograniczenia promieniowania do obszaru o szerokości *d* zastosowano pasek metalizacji o takiej samej szerokości (*d*).

W tej samej pracy Applied Physics Letters, 86, (2005), 071109 opisano także sposób ograniczenia rozptyłu nośników ładunku w kierunku bocznym polegający na przeprowadzeniu implantacji protonów do struktury półprzewodnikowej lasera kaskadowego. Zastosowanie takiego ograniczenia wymagało jednak wykonania struktury laserowej typu *ridge*, to znaczy wytrawienia mesy, gdyż było to uwarunkowane koniecznością wykonania dolnego kontaktu omowego dla struktury osadzonej na podłożu półizolacyjnym (nieprzewodzącym).

Celem wynalazku jest opracowanie takiego ograniczenia promieniowania w strukturach laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym, które nie spowoduje komplikacji a zwłaszcza nie zwiększy ilości wykonywanych operacji technologicznych.

Sposób według wynalazku przeznaczony jest do stosowania w strukturach laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym. W sposobie tym, po wykonaniu struktury półprzewodnikowej z obszarem czynnym, na ostatnią warstwę podkontaktową nakłada się, korzystnie za pomocą procesu sputteringu i/lub złączenia galwanicznego metaliczną maskę o grubości większej niż  $1,5 \mu\text{m}$ . Następnie w obszarach odkrytych maski prowadzi się implantację jonami wodoru na głębokość  $\geq$  niż głębokość obszaru aktywnego lasera. Implantację prowadzi się jonami wodoru ( $\text{H}^+$ ) z energią od  $350\text{keV}$  do  $1000\text{keV}$  stosując dawkę większą niż  $4 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$ .

Proponowane w sposobie według wynalazku zastosowanie implantacji jonów do ograniczenia promieniowania pozwoliło na uzyskanie odpowiedniego ograniczenia promieniowania a także ograniczenia rozptyłu nośników w kierunku bocznym i uprościło technologię wytwarzania przyrządu. Zastosowana w charakterze maski warstwa metaliczna, nie jest usuwana i stanowi element konstrukcyjny przyrządu pełniąc funkcję kontaktu elektrycznego. Natomiast w znanych rozwiązaniach maska metaliczna jest usuwana (wytrawiana) po przeprowadzeniu implantacji.

Sposób według wynalazku zostanie bliżej objaśniony na przykładzie wykonania ograniczenia promieniowania i ograniczenia rozptyłu nośników ładunku w strukturach laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym GaAs/AlGaAs zawierającym 36 modułów obszaru aktywnego. Na rysunku przedstawiono strukturę epitaksjalną przykładowego lasera kaskadowego, z pojedynczym modułem obszaru aktywnego pokazanym z prawej strony.

W przykładowym sposobie, najpierw na ostatniej warstwie podkontaktowej struktury półprzewodnikowej, oznaczonej na rysunku gwiazdką, wytwarza się maskę. Maskę tą stanowi warstwa metaliczna – AuGe/Ni/Au o sumarycznej grubości  $560 \text{nm}$  osadzana sputteringowo i pokryta galwanicznie warstwą złota o grubości  $4 \mu\text{m}$ . Maskę tą wykonano w postaci pasków metalicznych o różnej szerokości ( $15 \mu\text{m}$ ,  $25 \mu\text{m}$ ,  $35 \mu\text{m}$ ). Wytworzenie takiej maski metalicznej sprawia, że zapewniony jest kontakt omowy ze strukturą półprzewodnikową.

Następnie, w obszarach odkrytych maski, prowadzi się implantację jonami wodoru ( $\text{H}^+$ ). Jony wodoru implantuje się z energią od  $600\text{keV}$  stosując dawkę  $1 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-2}$ . W przykładowej strukturze jony wodorowe ( $\text{H}^+$ ) zostały zaimplantowane na głębokość  $6,3 \mu\text{m}$  czyli o ok.  $200 \text{nm}$  poniżej obszaru czynnego, którego dolna granica w tej strukturze jest na głębokości  $6,1228 \mu\text{m}$ .

W ten sposób efektywnie ograniczono promieniowanie i rozptył nośników ładunku w kierunku poziomym bocznym. Zaimplantowane jony wodorowe ( $\text{H}^+$ ) zmieniły warstwę implantowaną na wysokorezystywną warstwę półprzewodnikową, a warstwę metaliczną (maskę) wykorzystano jako element konstrukcyjny przyrządu (kontakt elektryczny), ponieważ w podanych warunkach implantacji właściwości elektryczne złota nie uległy zmianie.

Ograniczenie promieniowania i ograniczenie rozptyłu nośników w kierunku poziomym bocznym w przykładowej strukturze zostało wykonane, bez konieczności trawienia metalicznej maski i bez konieczności formowania mesy.

Przeprowadzony na głębokość większą niż głębokość obszaru aktywnego lasera proces implantacji, ograniczył wystarczająco rozptył prądu w kierunku poziomym bocznym. Ograniczenie promieniowania w kierunku poziomym bocznym wynika z ograniczenia przez obszar zaimplantowany (nieprzewodzący) powierzchni międzyfazowej pomiędzy górnym płaszczem a rdzeniem falowodu. Po wykonaniu takiego ograniczenia, w kolejnym kroku wykonuje się pocienianie podłoża oraz wytwarzanie spodniego kontaktu omowego. Dzięki zastosowaniu proponowanego rozwiązania możliwe było ograniczenie etapów technologicznych do trzech, a tym samym zredukowanie procesów technologicznych do około 20.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykonania ograniczenia promieniowania w strukturach półprzewodnikowych laserów kaskadowych z falowodem plazmonowym, **znamienny tym**, że po wykonaniu struktury półprzewodnikowej z obszarem czynnym, na górną warstwę podkontaktową nakłada się, korzystnie za pomocą procesu sputteringu i/lub złączenia galwanicznego metaliczną maskę o grubości większej niż  $1,5 \mu\text{m}$  i szerokości  $\geq 14 \mu\text{m}$ , następnie w obszarach odkrytych maski prowadzi się implantację jonami wodoru na głębokość  $\geq$  niż głębokość obszaru aktywnego lasera.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że implantację jonami wodoru ( $\text{H}^+$ ) prowadzi się z energią od  $350\text{keV}$  do  $1000\text{keV}$  stosując dawkę większą niż  $4 \cdot 10^{14} \text{cm}^{-2}$ .

### Rysunek

