

Konstrukcja pokrycia tylnego lustra lasera półprzewodnikowego, zwłaszcza z emisją krawędziową i sposób wytwarzania pokrycia tylnego lustra lasera półprzewodnikowego, zwłaszcza z emisją krawędziową

Przedmiotem wynalazku jest konstrukcja pokrycia tylnego lustra lasera półprzewodnikowego, zwłaszcza z emisją krawędziową i sposób wytwarzania pokrycia tylnego lustra lasera półprzewodnikowego, zwłaszcza z emisją krawędziową. Wynalazek ma zastosowanie do zabezpieczenia naturalnych przełomów heterostruktur materiału półprzewodnikowego tworzących lustra lasera, a następnie uformowania oczekiwanego stosunku mocy optycznych emitowanych z obu luster, przedniego i tylnego.

W przypadku laserów półprzewodnikowych dużej mocy, stosowanych na przykład w układach pompowania optycznego, wymagane jest wyprowadzenie całej mocy optycznej przez przednie lustro, zatem tylne lustro powinno być reflektorem o współczynniku odbicia R bliskim jedności. Błąd w wykonaniu pokryć luster skutkuje utratą struktur diodowych, wykonanych podczas wcześniejszego skomplikowanego procesu technologicznego.

Znaną i stosowaną konstrukcją pokrycia tylnego lustra po przeprowadzonym wcześniejszej *in situ* procesie pasywacji powierzchni półprzewodnika jest lustro Bragga, składające się z dwóch do czterech par ćwierćfalowych warstw dielektrycznych o maksymalnej możliwej technologicznie różnicy współczynników załamania, czyli o maksymalnym kontraście. Dzięki zastosowaniu warstw dielektrycznych takie lustra są bezstratne. Jako lustra rezonansowe są one jednak selektywne – współczynnik odbicia R bliski jedności uzyskuje się w stosunkowo wąskim zakresie długości fali λ zbliżonej do podwójnego okresu lustra Bragga, zależnie od kontrastu warstw. W praktyce technologicznej wysoka wartość R w projektowanym paśmie optycznym krytycznie zależy od możliwej do uzyskania dokładności i powtarzalności grubości osadzanych ćwierćfalowych warstw składowych w stosunku do długości fali λ oraz od jednorodności

rozkładu tych grubości w obrębie całego lustra. W zakresie długości fali emisji diod laserowych $\lambda = 1 - 1,6 \mu\text{m}$ najczęściej stosowaną warstwą o wysokim współczynniku załamania $n = 3,5 - 4$ jest warstwa krzemowa. Jednak krzem dla λ poniżej $0,8 \mu\text{m}$ zaczyna wносить straty absorpcyjne. Warstwami o niskim współczynniku załamania $n = 1,5 - 1,7$ stosowanymi najczęściej są Al_2O_3 oraz Si_xN_y .

Znane jest również zastosowanie warstw metalicznych, stwarzające możliwość uzyskania szerokopasmowych pokryw tylnego lustra, o wartości R zbliżonej do jedności, niezależnie od grubości osadzonej warstwy. Dzięki temu obniżone są wymagania co do precyzji procesu technologicznego, a jednocześnie możliwe jest stosowanie jednej konstrukcji – jednej sekwencji warstw w szerokim paśmie optycznym. Przykładowo dla wszystkich laserów półprzewodnikowych konstruowanych na bazie klasycznych związków $\text{A}_{\text{III}}\text{B}_{\text{V}}$, czyli w paśmie $600 - 1800 \text{ nm}$, optymalnym materiałem w szerokim zakresie λ jest warstwa srebrna.

Z publikacji Y. K. Su i in., IEEE PTL, 23, 23, 1793 – 1795 (2011), I. Ju i in., IEEE PTL, 23, 22, 1685 – 1687 (2011) i M. Lin i in., IEEE PTL, 24, 10, 815 – 817 (2012) znane jest stosunkowo proste zastosowanie warstw metalicznych w reflektorach laserów i diod elektroluminescencyjnych z emisją powierzchniową.

W przypadku laserów półprzewodnikowych z emisją krawędziową takich, jak przykładowo diody laserowe lub lasery z kaskadą kwantową, dla uniknięcia elektrycznego zwarcia strony n i strony p konieczna jest cienka warstwa izolująca pomiędzy powierzchnią tylnego lustra lasera półprzewodnikowego a osadzaną warstwą metaliczną. To jednak powoduje pojawienie się problemów z adhezją warstw. Jednocześnie podczas osadzania warstwy metalicznej na powierzchni lustra zachodzi nieintencjonalne osadzanie cienkich warstw metalu na powierzchniach p - i n -kontaktów przy ich stykach z lustrem. Są to tak zwane „podpylenia”, stopniowo zanikające w miarę oddalania się od lustra. To z kolei jest przyczyną prądów upływnościowych w tak wytworzonych diodach laserowych, co pogarsza charakterystyki elektro-optyczne przyrządów i podobnie jak zła adhezja jest przyczyną ich przyspieszonej degradacji.

Konstrukcja i sposób według wynalazku rozwiązują problemy niedostatecznej adhezji oraz podpyleń i umożliwiają uzyskanie uniwersalnego rozwiązania.

Konstrukcja według wynalazku charakteryzuje się tym, że począwszy od powierzchni lustra półprzewodnikowego stanowi sekwencję sześciu warstw w kolejności:

warstwa adhezyjna, warstwa izolacyjna, druga warstwa adhezyjna, warstwa metaliczna, trzecia warstwa adhezyjna i druga warstwa izolacyjna.

Korzystnie konstrukcja zawiera warstwy adhezyjne z tlenków lub azotków tytanu, krzemu lub chromu, takich jak TiO_2 , Cr_2O_3 , TiO_x , TiN , Si_xN_y , przy czym wszystkie trzy warstwy adhezyjne najkorzystniej są z tego samego materiału.

Najkorzystniej konstrukcja zawiera warstwy adhezyjne z dwutlenku tytanu TiO_2 lub TiO_x .

Korzystnie konstrukcja zawiera warstwy izolacyjne z tlenków lub azotków aluminium lub krzemu, takich jak Al_2O_3 , AlN , SiO_2 , Si_xN_y , przy czym obydwie warstwy izolacyjne najkorzystniej są z tego samego materiału.

Najkorzystniej konstrukcja zawiera warstwy izolacyjne z azotku glinu AlN . Jego duża przewodność cieplna wspomaga rozływ ciepła z obszaru szczeliny emitującej lasera krawędziowego na całą powierzchnię czołową chipa laserowego.

Korzystnie konstrukcja zawiera warstwę metaliczną o współczynniku odbicia R zbliżonym do 1 w zakresie widmowym emisji lasera, najkorzystniej ze srebra Ag lub złota Au .

Pierwsza warstwa adhezyjna korzystnie ma grubość 1 – 100 nm, najkorzystniej 5 – 15 nm, druga – 1 – 100 nm, najkorzystniej 5 – 15 nm, trzecia – 1 – 100 nm, najkorzystniej 5 – 15 nm.

Korzystnie mała grubość warstw adhezyjnych, zwłaszcza z TiO_2 powoduje, że w przypadku składu niestechiometrycznego nie spowodują one pogorszenia własności optycznych pokrycia, czyli spadku współczynnika odbicia R .

Pierwsza warstwa izolacyjna korzystnie ma grubość 5 – 500 nm, najkorzystniej 40 – 50 nm, druga – 5 – 500 nm, najkorzystniej 100 – 250 nm.

Warstwa metaliczna korzystnie ma grubość 20 – 500 nm, najkorzystniej 100 – 150 nm.

Sposób według wynalazku polega na tym, że po wcześniejszej pasywacji półprzewodnikowej powierzchni lustrzanej osadza się na niej w procesie próżniowym kolejne warstwy pokrycia wysoko-odbiciowego metodą cieniową z zastosowaniem wystających ponad płaszczyznę pokrywanego lustra przekładek z materiału o współczynniku rozszerzalności cieplnej zbliżonym do współczynnika rozszerzalności cieplnej materiału laserującego, przy czym w pierwszym etapie osadza się kolejno pierwszą warstwę adhezyjną, pierwszą warstwę izolacyjną i drugą warstwę adhezyjną,

pozycjonując uchwyt z linijkami laserowymi tak, że wiązki materiałów osadzanych padają prostopadle do pokrywanej powierzchni lustrzanej, zaś w drugim etapie po uprzednim nachyleniu uchwyty z linijkami o kąt θ równy $0 - 45^\circ$, korzystnie 15° , od normalnej do powierzchni lustrzanej, osadza się kolejno warstwę metaliczną, trzecią warstwę adhezyjną i drugą warstwę izolacyjną.

Korzystnie kolejne warstwy pokrycia tylnego lustra osadza się w temperaturze $20 - 400^\circ\text{C}$, najkorzystniej w temperaturze $150 - 160^\circ\text{C}$.

Jako przekładki korzystnie stosuje się przekładki krzemowe lub GaAs o grubości $100 - 250\ \mu\text{m}$, najkorzystniej $120 - 150\ \mu\text{m}$ i szerokości $d = (d_L + d_x)\ \text{mm}$, gdzie d_L – szerokość linijki laserowej, $d_x = 0,05 - 0,2\ \text{mm}$, najkorzystniej $0,1\ \text{mm}$

Konstrukcja pokrycia tylnego lustra według wynalazku niweluje zjawisko podpyleń oraz dzięki wprowadzeniu warstw adhezyjnych zapewni dobrą adhezję warstw, co decydująco wpływa na polepszenie charakterystyk elektrooptycznych wytwarzanych przyrządów.

Podwyższenie temperatury osadzania warstw pozwala na przeprowadzenie uprzedniego procesu pasywacji lusterek półprzewodnikowych w jednym procesie próżniowym bez konieczności zapowietrzania komory reakcyjnej oraz osadzenie warstw o lepszych właściwościach optycznych. Zastosowanie w sposobie według wynalazku metody cieniowej i przekładek półprzewodnikowych, tworzących „cień” dla wiązki osadzanego materiału w pobliżu n-kontaktu uniemożliwia podpylenie od strony n. Sposób według wynalazku zapewnia nieciągłość warstwy metalicznej pomiędzy kontaktami p i n diody laserowej, eliminując problem upływności, zapewniając jednocześnie bliski jedności współczynnik odbicia R w obszarze heterostruktury. Uzyskano stałą wartość współczynnika odbicia R w szerokim zakresie długości fali emisji λ diod laserowych. Przykładowo dla diod laserowych emitujących w pasmach $630\ \text{nm}$, $810\ \text{nm}$, $885\ \text{nm}$ i $980\ \text{nm}$, których tylne lustra naparowano w tym samym procesie, uzyskano w przybliżeniu dwukrotny wzrost nachylenia charakterystyk mocowo-prądowych w stosunku do diod z tych samych serii z lustrem bez pokryć.

Podany niżej przykład przedstawia rozwiązanie według wynalazku w konkretnym przypadku jego wykonania, nie ograniczając zakresu jego stosowania.

Dla ilustracji podano również rysunek, na którym fig. 1 przedstawia zależność współczynnika odbicia R od długości fali λ dla najczęściej stosowanych metali w dotąd znanej technologii, fig. 2 ilustruje dwa etapy prowadzenia procesu – kierunek

naparowywania warstw 1 – 3: $\text{TiO}_2/\text{AlN}/\text{TiO}_2$ prostopadle do naparowywanej powierzchni oraz warstw 4 – 6: $\text{Ag}/\text{TiO}_2/\text{AlN}$ pod kątem $\theta = 15^\circ$ od normalnej do powierzchni luster i tworzenie „cienia” dla wiązki osadzanego materiału w pobliżu n-kontaktu przy zastosowaniu przekładek krzemowych, fig. 3 przedstawia przykładowe tylne lustro diody laserowej, naparowane w napylarce elektronowiązkowej model INTEGRITY 29 firmy Denton w jednym procesie próżniowym, bez konieczności zapowietrzania komory, przy zastosowaniu warunków podanych w przykładzie, zaś fig. 4 przedstawia płaskie charakterystyki współczynnika R w szerokim zakresie λ dla struktury warstwowej konstrukcji według wynalazku, napylonej na podłoże szklane przy zastosowaniu warunków podanych w przykładzie, przy czym wzrost R dla $\lambda < 680 \text{ nm}$ wynika z własności lustra referencyjnego zainstalowanego w spektrofotometrze i nie jest cechą mierzonego pokrycia $\text{AlN}/\text{TiO}_2/\text{Ag}$.

Przykład

Stos linijek laserowych o szerokości $d_L = 2$ i 3 mm , zamocowanych w uchwycie wraz z przekładkami Si o grubości $0,15 \text{ mm}$ tak, że $d_x = 0,1 \text{ mm}$, umieszcza się w komorze próżniowej napylarki elektronowiązkowej model INTEGRITY 29 firmy Denton, następnie po uzyskaniu próżni $6,67 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ podgrzewa do temperatury 160°C , po czym poddaje się powierzchnię przełomu – lustra półprzewodnikowego pasywacji azotem w czasie 10 min za pomocą działła jonowego przy przepływie azotu 40 scm przez działło i 5 scm przez komorę, przy natężeniu prądu wiązki $1,5 \text{ A}$ i wynikowym napięciu na dziale około 85 V .

Po wstępnym procesie pasywacji, nie zapowietrzając komory i utrzymując temperaturę 160°C rozpoczyna się proces napyłania warstw. W pierwszym etapie procesu uchwyt ze stosem linijek pozycjonuje się tak, aby wiązki osadzanych materiałów padały prostopadle do pokrywanej powierzchni lustrzanej. Jako pierwszą warstwę napyła się na powierzchnię lustra pierwszą warstwę adhezyjną TiO_2 o grubości 5 nm . Następnie prowadzi się reaktywne ze źródła Al napylenie pierwszej warstwy izolacyjnej AlN o grubości 45 nm z szybkością naparowania $0,15 \text{ nm/s}$ przy natężeniu prądu wiązki $1,5 \text{ A}$ i napięciu na dziale poniżej 100 V . Po osadzeniu tej warstwy AlN napyła się drugą warstwę adhezyjną TiO_2 o grubości 15 nm .

W drugim etapie procesu napyłania uchwyt z linijkami pochyla się o kąt $\theta = 15^\circ$ od normalnej do powierzchni lustrzanej, po czym naparowuje metodą cieniową odbijającą warstwę srebrną o grubości 120 nm , a na nią trzecią warstwę adhezyjną TiO_2 o grubości

5 nm. Następnie prowadzi się reaktywne napylenie drugiej warstwy izolującej AlN o grubości 250 nm z szybkością naparowania 0,15 nm/s przy natężeniu prądu wiązki 1,5 A i napięciu poniżej 100 V.

Po zakończonym procesie pozostawia się komorę napyłarki do wystygnięcia. Po zapowietrzeniu komory wyjmuje się stos linijek z uchwytu i separuje linijki laserowe od przekładek.

INSTYTUT TECHNOLOGII
MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH
01-919 Warszawa, ul. Wólczyńska 133
000039025

RZECZNIK PATENTOWY

mgr inż. Barbara Kehl