



**Politechnika  
Śląska**

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY  
KATEDRA OPTOELEKTRONIKI

**Magdalena Zięba**

ROZPRAWA DOKTORSKA

***Warstwy falowodowe wytwarzane metodą zol-żel aktywowane  
jonami wybranych lantanowców – technologia  
i charakteryzacja***

*Promotor:* dr hab. inż. Paweł Karasiński, prof. PŚ

*Promotor pomocniczy:* dr Katarzyna Wojtasik

Gliwice 2024

Streszczenie rozprawy doktorskiej Magdaleny Zięba  
*pt.: Warstwy falowodowe wytwarzane metodą zol-żel aktywowane jonami wybranych  
lantanowców – technologia i charakteryzacja*  
przygotowanej pod opieką promotorską dr hab. inż. Pawła Karasińskiego, prof. PŚ oraz  
dr Katarzyny Wojtasik

Technologie cienkowarstwowe są podstawą rozwoju wielu dziedzin nauki i techniki, odgrywają szczególną rolę w optoelektronice. Komórki fotowoltaiczne, źródła światła i detektory są układami wielowarstwowymi budowanymi z cienkich warstw. Szczególnie intensywnie rozwijaną w ostatnim czasie dziedziną optoelektroniki jest fotonika scalona, której podstawą są warstwy falowodowe i optyka światłowodów. Z warstw falowodowych, poprzez zastosowanie procesów selektywnego maskowania i trawienia wytwarzane są funkcjonalne układy fotoniki scalonej, które obecnie stosowane są głównie w centrach przetwarzania danych i w telekomunikacji światłowodowej. Układy te pracują w zakresie spektralnym bliskiej podczerwieni (NIR) i są wytwarzane z użyciem platform materiałowych krzemowej (Si) i z fosforu indu (InP). Trzecią sprawdzoną platformą materiałową na zakres spektralny Vis-NIR jest platforma TriPlex firmy Lionix. Czwartą dojrzałą platformą fotoniki scalonej są warstwy falowodowe  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  opracowane w Katedrze Optoelektroniki Politechniki Śląskiej z przeznaczeniem do wytwarzania biernych elementów fotoniki scalonej.

Opracowanie dojrzałej platformy materiałowej dla fotoniki scalonej jest bardzo poważnym wyzwaniem technologicznym, w którym najpoważniejszym problemem do rozwiązania jest osiągnięcie akceptowalnie niskich strat propagacyjnych. Osiągnięcie niskich strat optycznych możliwe jest jedynie w warstwach falowodowych monokrystalicznych bądź amorficznych. Praca doktorska bazuje na platformie materiałowej  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  a jej realizacja podyktowana była potrzebą poszerzenia tej platformy o aktywne warstwy światłowodowe. Stąd **założonym celem pracy doktorskiej było opracowanie metody wytwarzania aktywnych warstw falowodowych, otrzymywanych poprzez domieszkowanie kompozytowych warstw  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  jonami wybranych lantanowców**. Warstwy falowodowe wytwarzane były metodą zol-żel i techniką dip-coating.

Osiągnięcie założonego celu pracy doktorskiej wymagało weryfikacji następujących tez:

- ❖ Domieszkowanie kompozytowych warstw falowodowych  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  jonami wybranych lantanowców nie wpływa destrukcyjnie na strukturę materiału matrycy.
- ❖ Domieszkowanie kompozytowych warstw falowodowych  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  jonami wybranych lantanowców nie powoduje istotnego wzrostu strat optycznych.
- ❖ Aktywne warstwy falowodowe mogą być skutecznie pobudzone z użyciem sprzęgacza siatkowego.
- ❖ W warstwach falowodowych  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  domieszkowanych jonami lantanowców może wystąpić efekt fotoluminescencji.
- ❖ Metoda zol-żel i technika dip-coating są odpowiednie do wytwarzania aktywnych warstw falowodowych o wysokiej jednorodności parametrów.

W ramach pracy doktorskiej opracowano metody syntezy zoli domieszkowanych wybranymi lantanowcami (erbem lub europem), których wytwarzano warstwy falowodowe. Wytworzone warstwy rutynowo charakteryzowano metodami: elipsometrii monochromatycznej, spektrofotometrii

transmisyjnej i odbiciowej, metodą *m*-linii oraz metodą spektrofluorymetrii. Morfologię powierzchni warstw zbadano metodą mikroskopii sił atomowych (AFM), profilometrii optycznej i metodą SEM/TEM. Na podstawie widm reflektanci określana była jednorodność optyczna warstw a na podstawie widm transmisyjnych metodą Tauc'a wyznaczone były szerokości optycznych przerw zabronionych, które wykorzystano do oszacowania średnicy nanokrystalitów anatazu ( $\text{TiO}_2$ ). Strukturę materiału warstw falowodowych zbadano metodą HRTEM. Uzyskane wyniki potwierdziły amorficzny charakter materiałów warstw i równomierny rozkład domieszek. Wyznaczone z obrazów TEM średnice nanokrystalitów potwierdziły ich rozmiary wyznaczone z kwantowego efektu rozmiarowego.

Efektom zrealizowanej pracy doktorskiej są procedury technologiczne wytwarzania warstw falowodowych domieszkowanych erbem i warstw falowodowych domieszkowanych europem o ultra niskich stratach propagacyjnych, poniżej 0,2 dB/cm. Zbadany został wpływ parametrów technologicznych na strukturę materiału warstw, rozkład domieszek i morfologię powierzchni warstw. Wykazano, że domieszkowanie lantanowcami kompozytowych warstw  $\text{SiO}_x:\text{TiO}_y$  falowodowych nie wpływa niekorzystnie na ich właściwości propagacyjne a ultra niskie straty osiągnęte są dzięki amorficznej strukturze materiału, równomiernym rozkładom domieszek i bardzo gładkim powierzchniom warstw. Wyznaczone zostały pasma fotoluminescencji i czasy jej zaniku w zolach i kserożelach domieszkowanych europem.

Uzyskane wyniki zrealizowanej pracy doktorskiej pokazują, że założony cel pracy doktorskiej został osiągnięty a postawione tezy zostały udowodnione.