

Warszawa 10 sierpnia 2008 r.

Prof. dr hab. Marek Godlewski
Instytut Fizyki
Polskiej Akademii Nauk
02-668 Warszawa
Al. Lotników 32/46

Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Tomasza Świetlika zatytułowanej:

„Laser diodes based on gallium nitride – investigation of carrier injection mechanisms, gain and distribution of the electromagnetic field”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska magistra Tomasza Świetlika napisana została w języku angielskim. Promotorem rozprawy jest doc. dr hab. Piotr Perlin. Rozprawa dotyczy aktualnego zagadnienia optymalizacji parametrów diod laserowych wytwarzanych na bazie azotku galu.

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów i podsumowania. Praca napisana została w oparciu o częściowo opublikowane wyniki badań autora, który dokumentuje się poważnym dorobkiem naukowym. Magister Świetlik jest autorem 12 prac oryginalnych i konferencyjnych, w tym ma w dorobku prace opublikowane w tak prestiżowych pismach jak Applied Physics Letters i Journal of Applied Physics. Zawartość kolejnych części rozprawy omawiam poniżej.

W pierwszym rozdziale (zatytułowanym Wstęp) autor opisuje diody laserowe (LD) oparte o azotek galu oraz omawia ich zastosowania. Jak na wstęp do rozprawy, ten rozdział jest zaskakująco krótki (tylko 4 strony) i dlatego rozczarowuje. Jednakże kolejne trzy rozdziały mają też charakter wprowadzenia do tematu rozprawy.

W rozdziale drugim autor opisuje podstawy fizyczne akcji laserowej w półprzewodnikowych LD. Z kolei w rozdziale trzecim przedstawione są główne trudności w rozwoju azotkowych LD. Technologia podłoży i struktur laserowych omówiona jest w rozdziale czwartym. Autor podkreśla tutaj zalety homoepitaksji. Użyte podłoża GaN wytwarzane w IWC PAN zawierają bardzo niskie gęstości dyslokacji. Autor podkreśla jednakowoż fakt, że gęstość dyslokacji w strukturze rośnie do $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-2}$ w czasie depozycji kolejnych warstw w procesie epitaksji.

Oryginalne wyniki uzyskane w rozprawie prezentowane są w rozdziałach: od 5 do 9. W rozdziale piątym autor prezentuje wyniki badań zależności temperaturowych emisji LD. Opisany jest ciekawy efekt przesuwania się (w stronę niższych prądów progowych) progów akcji laserowej przy wygrzewaniu struktur w temperaturach powyżej $113 \text{ }^\circ\text{C}$. Autor dyskutuje możliwe mechanizmy tłumaczące to zjawisko.

Bardzo istotne wyniki omówione są w części trzeciej rozdziału piątego. Autor omawia możliwości poprawy stabilności temperaturowej emisji badanych LD. W tej części analizowany jest wpływ składu indu w obszarze studni kwantowych, a następnie porównane są struktury LD z jedną (SQW) i kilkoma (MQW) studniami kwantowymi. Szczególnie ciekawym wynikiem tej części rozprawy jest wykazanie zadziwiającej poprawy stabilności temperaturowej i wydajności emisji obserwowane dla struktur SQW z relatywnie szeroką studnią kwantową (9.5 nm). W wyniku przeprowadzonej symulacji numerycznej autor odrzuca dwa możliwe modele, że za obserwowane zjawisko odpowiedzialny jest: 1) efekt kwantowego ograniczenia, i 2) poprawiona w wyniku wygrzewania dysocjacja centrów Mg-H. Uzyskane w rozprawie wyniki sugerują, że za poprawę stabilności temperaturowej odpowiedzialna jest zwiększona wydajność wychwytu nośników przez szeroką studnię kwantową.

Weryfikując ten model autor porównuje wydajność wychwytu nośników dla trzech typów struktur LD ze studnią InGaN (2% In) o różnej szerokości (w zakresie 5.5 – 10 nm). Badany był także wpływ warstwy EBL (electron blocking layer) na wydajność wychwytu nośników, a tym samym akcji laserowej. Autor wykazuje, że wprowadzenie warstwy EBL jest konieczne dla osiągnięcia akcji laserowej.

W podrozdziale 5.5 autor omawia główne mechanizmy rekombinacji, w szczególności wymienia możliwe procesy nieradiacyjne w strukturze LD. Następnie analizuje rolę różnych procesów radiacyjnych i nieradiacyjnych, wykazując, że przy niskich prądach dominują procesy nieradiacyjne. Rola procesów radiacyjnych rośnie przy zwiększaniu natężenia prądu w strukturze LD. W dalszej części tego podrozdziału autor przedstawia wyniki unikatowego eksperymentu TIM (transient interferometric mapping), co umożliwiło mu badanie jednorodności procesu wstrzykiwania nośników do struktur LD.

W rozdziale szóstym dyskutowane jest zjawisko tzw. wzmocnienie optycznego. Istotną zaletą tej rozprawy jest dostępność do badań porównawczych analogicznych struktur LD otrzymywanych dwiema konkurencyjnymi metodami epitaksjalnymi – metodą MBE i MOCVD (a pro pos, przez cały doktorat autor nie może się zdecydować czy używać nazwy MOCVD, czy też MOVPE dla tej drugiej metody).

Autor analizuje rolę tzw. gorących nośników, konkludując, że efekty grzania nośników nie są istotne w badanych strukturach LD. W moim odczuciu jest to zaskakujący wynik, biorąc pod uwagę używane moce przy pobudzeniu akcji laserowej.

Inny bardzo ciekawy ale także zaskakujący wynik został otrzymany z porównania wyników dla struktur MBE i MOCVD. Jest to konkluzja o pięciokrotnie większej wydajności przejść nieradiacyjnych w strukturach MOCVD (niż w strukturach MBE). Jest to o tyle zaskakujący wynik, że wszystkie skomercjalizowane struktury LD robione są metodą MOCVD. Szkoda, że autor nie zweryfikował swoich wyników w warunkach zbliżonych do pracy komercyjnych LD, czyli badając wydajności procesów nieradiacyjnych w warunkach wstrzykiwania elektrycznego nośników.


W rozdziale siódmym autor omawia kluczowe dla stabilności akcji laserowej efekty cieplne. Bardzo ciekawym wynikiem prezentowanym w tym rozdziale jest uzyskanie map rozkładu temperatury w strukturach LD. Autor stwierdza, że dla osiągnięcia ciągłej akcji laserowej najważniejszy jest odpowiedni montaż struktury w celu wydajnego odprowadzania ciepła.

Rozdział ósmy dotyczy strat związanych z propagacją światła. Przedstawione są tu wyniki nowoczesnych eksperymentów przeprowadzonych z wykorzystaniem rozdzielczo-czasowej spektroskopii SNOM. Pomiar SNOM (przeprowadzone we współpracy z partnerem zagranicznym) umożliwiły analizę skomplikowanej ewolucji przestrzennej i czasowej modów laserowych. Rozdział dziewiąty poświęcony jest optymalizacji wnęki laserowej.

Podsumowując, złożony doktorat demonstruje jak skomplikowaną pracą jest optymalizacja parametrów diod LD. Po przeczytaniu rozprawy doceniłem „tytaniczną” pracę kolegów z „Unipressu” prowadzoną w celu wyprodukowania wydajnych diod LD. Tylko praca dużych zespołów ludzkich może doprowadzić do końcowego sukcesu. Tym samym złożony doktorat powstał niewątpliwie jako praca zbiorowa. Duża fachowość opisu wyników wskazuje jednak na znaczący wkład doktoranta do prowadzonych badań.

Praca nie tylko zawiera bardzo cenny materiał badawczy, ale także napisana jest bardzo starannie, z dużą fachowością. Dlatego też z pełnym przekonaniem wnioskuję nie tylko o dopuszczenie mgr Świetlika do jej publicznej obrony, ale także wnioskuję o wyróżnienie tej rozprawy.

Prof. dr hab. Marek Godlewski

A handwritten signature in black ink, reading "Godlewski." with a period at the end. The signature is written in a cursive, flowing style.