

DYNAMIKA PROCESÓW CIEPLNYCH ZACHODZĄCYCH W OBSZARZE AKTYWNYM LINIOWYCH MATRYC DIOD LASEROWYCH

Sylvia Wróbel¹, Anna Kozłowska¹, Andrzej Małag¹

Sprawność przetwarzania energii elektrycznej, dostarczonej laserowi, na energię emitowanego promieniowania jest znacznie mniejsza od jedności. Straty energii powodują wzrost temperatury, którego maksimum wypada w obszarze aktywnym lasera. Pomiar temperatury w obszarze aktywnym jest możliwy przez pomiar widma promieniowania lasera. W warunkach pracy impulsowej oraz pracy *quasi-ciągłej*, dynamikę zmian temperatury obszaru aktywnego można wyznaczyć poprzez pomiar serii charakterystyk spektralnych w wybranych momentach czasowych, w trakcie trwania impulsu prądowego. Pomiaru takie są ważne dla optymalizacji, technologii i konstrukcji matryc diod laserowych.

1. WSTĘP

Diody laserowe (DL) oraz *matryce diod laserowych (DML)* wykorzystywane jako pompy optyczne laserów na ciele stałym muszą spełniać szereg wymagań, w tym szczególnie krytycznych dotyczących szerokości połówkowej widma emisji (<3 nm) oraz centralnej długości fali (808 nm w temperaturze 15 °C) [1].

Na własności eksploatacyjne diod i matryc laserowych bardzo duży wpływ mają efekty termiczne.

Grzanie się obszaru aktywnego powoduje: podwyższenie prądu progowego, zmniejszenie sprawności kwantowej, przesunięcie widma emisji, przyspieszenie procesów degradacyjnych.

Powyższe efekty mają związek z faktem, iż w wyższej temperaturze wzrasta ilość swobodnych nośników o energii na tyle dużej by móc opuścić studnię kwantową. Nośniki te odprowadzane są z obszaru aktywnego i poza nim rekombinują niepromieniście lub promieniście z energią kwantu spoza pasma wzmocnienia. W efekcie obniża się wzmocnienie optyczne w obszarze aktywnym przy ustalonym poziomie wysterowania.

¹⁾ Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, 01-919 Warszawa, ul. Wólczyńska 133
e-mail: wrobel-s@sp.itme.edu.pl

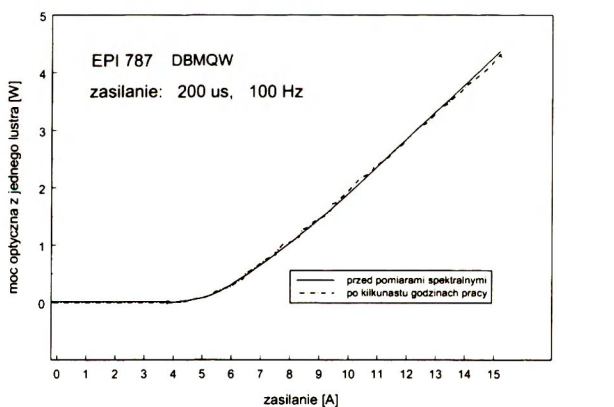
Temperaturowe przesunięcie spektrum wynika przede wszystkim ze zwężenia szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika w obszarze aktywnym ze wzrostem temperatury. Dodatkowo przesunięcie spektralne wynika w mniejszym stopniu ze zmiany współczynnika załamania materiału rezonatora, temperaturowej zmiany wzmocnienia progowego (zmiany separacji quasi-poziomów Fermiego) oraz rozszerzenia cieplnego [1-3].

Generacja ciepła dotyczy w największym stopniu obszaru aktywnego lasera. Dlatego mówiąc o temperaturze pracy przyrządu należy przede wszystkim odnosić się do temperatury tego obszaru. Ze względu na tak duży wpływ temperatury na parametry emisji promieniowania powinna być ona uwzględniona przy wszelkich pomiarach charakterystyk elektroptycznych.

2. METODA POMIARU ZMIAN TEMPERATURY OBSZARU AKTYWNEGO

W celu zbadania dynamiki procesów cieplnych wykonano pomiary spektralne dla liniowej matrycy diod laserowych (DML). Przyrząd ten jest złożony z 11 diod laserowych, ułożonych równolegle w formie tzw. "linijki laserowej", zasilanych równolegle.

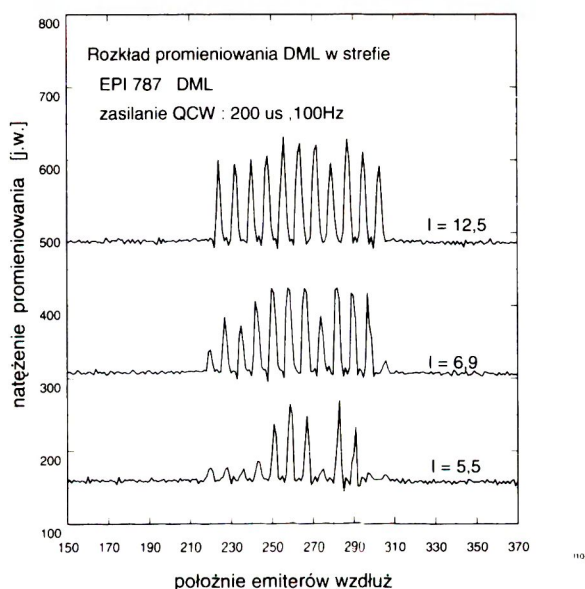
Badana matryca zbudowana jest na heterostrukturze - *Double Barrier Multi Quantum Well (DBMQW)*, wyhodowanej metodą - *Metallorganic Vapour Phase Epitaxy (MOVPE)*. Charakterystykę P(I) mierzonej linijki przedstawiono na Rys.1. W badanej linijce nie zastosowano dielektrycznych pokryć luster, zatem wynikająca z Rys. 1 sprawność 0,45 W/A odpowiada całkowitej sprawności (z obu luster) 0,9 W/A.



Rys. 1. Charakterystyka P(I) linijki laserowej złożonej z 11 emiterów o szerokości paska 100 μm z modułem 200 μm .

Fig.1. P(I) characteristics of linear array (containing 11 emitters). Stripe width 100 μm on 200 μm .

Rozkład promieniowania w strefie bliskiej (zarejestrowany kamerą CCD) pokazano na Rys. 2. Widać, że moc optyczna jest emitowana jednorodnie z całej linijki dla poziomu wysterowania $I > 12$ A. Zastosowano impulsy prądowe o szerokości $200 \mu\text{s}$ i repetycji 100 Hz o amplitudzie $10 - 25$ A. Takie warunki zasilania nazywano pracą *quasi ciągłą* (QCW). Mała repetycja impulsów powoduje, że przyrząd "startuje" przy dość niskiej temperaturze. Zastosowanie długiego impulsu ($200 \mu\text{s}$) powoduje z kolei, że przyrząd może przejść z cieplnego stanu przejściowego prawie do stanu ustalonego (określonego przez *warunki pracy CW*). Opisana sytuacja jest znana z badań indywidualnych *diod laserowych (DL)*. W linijkach laserowych ze względu na wielokrotnie większą objętość przyrządu, większą moc zasilania i większą moc optyczną, a także ze względu na znacznie większą gęstość mocy wynikającą z gęstego upakowania elementów w przyrządzie zintegrowanym, dynamika procesów cieplnych może być odmienna [1].



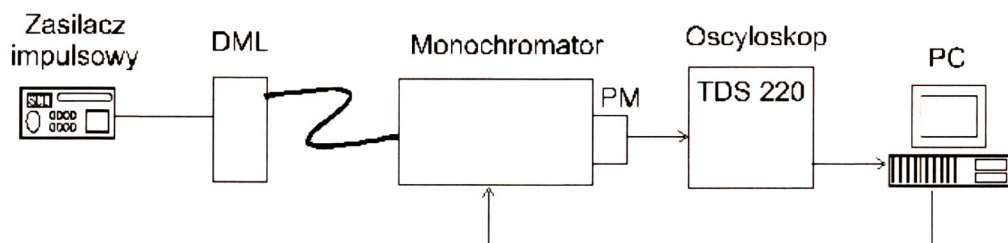
Rys. 2. Rozkład promieniowania w strefie bliskiej dla poziomów wysterowania impulsami prądowymi: $I = 5,5$ A; $6,9$ A; $12,5$ A.

Fig.2. Near - field radiation distribution of laser array for current pulses $I = 5.5$ A; 6.9 A; 12.5 A.

Do pomiaru temperatury w obszarze aktywnym w warunkach *CW* wystarczy jedna charakterystyka spektralna dla ustalonych warunków zasilania. W warunkach impulsowych (w tym dla *QCW*) dynamikę zmian temperatury obszaru aktywnego można wyznaczyć przez serię charakterystyk spektralnych odpowiadającym kolejnym punktom czasowym w trakcie trwania impulsu prądowego.

Do przedstawienia dynamiki procesów cieplnych zachodzących w obszarze aktywnym linijek laserowych opracowany został specjalny program komputerowy oparty na

standardowych modułach oprogramowania zawartych w pakiecie LabView 5.1 firmy National Instrument. Pakiet ten jest przydatny przy oprogramowaniu urządzeń wykorzystujących interfejs GPIB. Program umożliwia wizualizację charakterystyk spektralnych w dowolnym momencie trwania impulsu prądowego. Schemat układu pomiarowego przedstawiony został na Rys. 3 .



Rys.3. Schemat układu pomiarowego.

Fig.3. The scheme of measurement set up.

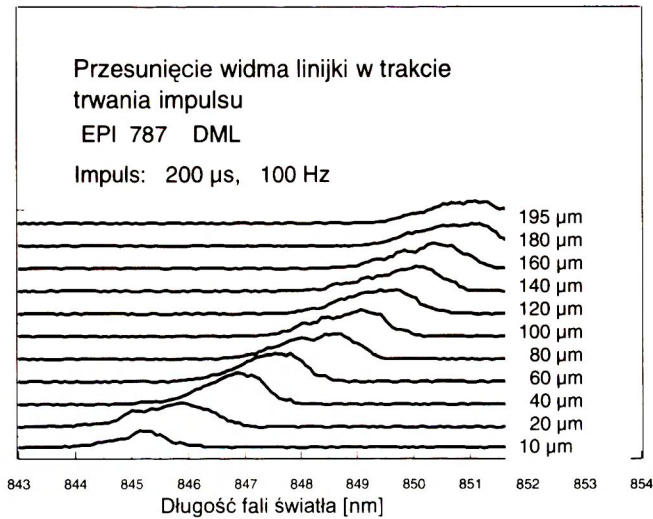
Do rejestracji widma zastosowano wielomodowy światłowód kwarcowy PCS produkcji Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych o średnicy 0,9 mm i NA = 0,28 ustawiony w odległości 2 mm od badanej linijki laserowej. Oznacza to, że rejestrowane jest widmo promieniowania z 1,16-milimetrowego fragmentu linijki o całkowitej długości 2,5 mm. W trakcie pomiaru, w momentach ustawienia monochromatora na kolejne zaprogramowane długości fal rejestrowane są oscylogramy odpowiedniej składowej spektralnej impulsu optycznego. Następnie za pomocą opracowanego programu komputerowego, z tego zbioru oscylogramów formowane są serie charakterystyk spektralnych odpowiadającym kolejnym dowolnie wybranym punktom czasowym impulsu, mierzonym od czoła impulsu prądowego.

W układzie pomiarowym wykorzystany został Monochromator Spectra Pro - 750 firmy Acton Rec. Corp., oscyloskop TDS - 3012 firmy Tektronix, generator impulsowy *QCW* model SDL 928-10. Po dobraniu odpowiednich stałych czasowych w obwodzie fotopowielacza, wymieniony układ pomiarowy jest dostatecznie szybki co rejestracji impulsów *QCW* oraz nadaża za szybkością "skanowania" spektrum przez monochromator. Przez cały czas trwania pomiaru, linijka była chłodzona za pomocą mikrochłodziarki Peltier'a z zasilaczem Amrel LPS 302 .

Zarejestrowane przez komputer charakterystyki spektralne zostały przedstawione na Rys.4 i Rys.5. Oba rysunki pokazują, jak przesuwa się widmo linijki laserowej w trakcie trwania impulsu zasilającego. Przesunięcie to jest najbardziej widoczne na początku trwania impulsu, później charakterystyki spektralne zaczynają się na siebie nakładać, co jest związane z początkiem stabilizacji temperatury lasera.

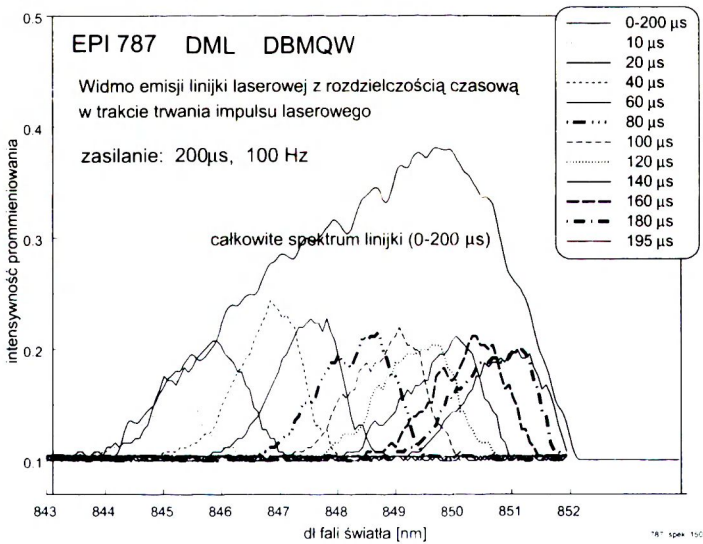
Przedstawione wykresy ilustrują wzrost temperatury obszaru aktywnego dla poszczególnych punktów czasowych impulsu prądowego. Jeżeli przyjmiemy, że współczynnik przesunięcia temperaturowego wynosi 0,3 nm/C [1,5], to w trakcie trwania

jednego impulsu prądowego ($200 \mu\text{s}$), temperatura obszaru aktywnego wzrasta o 20°C , przy wystawieniu DML impulsami o amplitudzie $9,5 \text{ A}$.



Rys. 4. Przesunięcie widma linii laserowej w trakcie trwania impulsu laserowego; czasy ($10 \mu\text{s}$ - $195 \mu\text{s}$) mierzone względem czoła impulsu prądowego.

Fig.4. Spectrum shift of the linear array emission in the time moments of 10 to $195 \mu\text{s}$ measured with respect the current pulse leading edge.



Rys.5. Widmo emisji linii laserowej z rozdzielczością czasową w trakcie trwania impulsu laserowego.

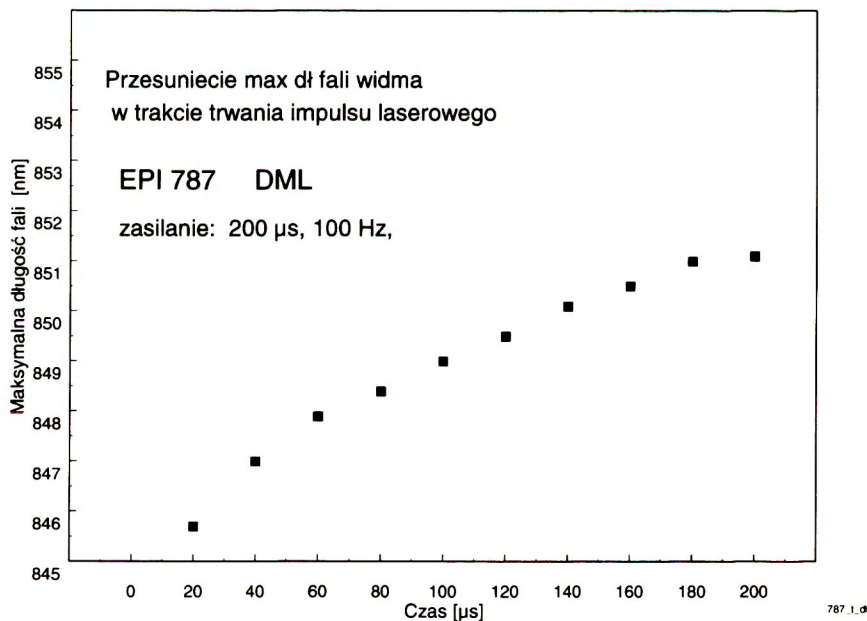
Fig.5. Time - resolved emission spectrum of the pulsed linear array operation.

3. WNIOSKI

W przypadku charakterystyk spektralnych zmierzonych dla poszczególnych momentów czasowych szerokość połówkowa widma jest rzędu 1,5 nm.

Widmo zmierzone "standardowo" (bez rozdzielczości czasowej) dla impulsu prądowego o czasie trwania 200 μ s, ma szerokość połówkową równą \sim 7 nm. Widać że jest to widmo "kumulative" i obejmuje całą ewolucję czasową emisji promieniowania w trakcie trwania impulsu. Pik tego widma w okolicy 850 nm jest związany z tym, że linijka "najdłużej przebywa" w tym obszarze spektralnym na skutek stopniowego stabilizowania się temperatury obszaru aktywnego.

Wykonane pomiary zostały przedstawione dla linijki laserowej zmontowanej "stroną p do góry" za pomocą folii eutektycznej In-Sn. Na Rys 6. przedstawione jest przesunięcie się pików emisji promieniowania w trakcie trwania impulsu oraz stopniowe wejście w nasycenie pod koniec impulsu spowodowane stabilizacją temperatury. Widać jednak, że linijka nie osiągnęła jeszcze pełnej stabilizacji temperatury. Jest to prawdopodobnie spowodowane wspomnianym montażem "stroną p do góry". Można zatem oczekiwać, że w przypadku linijek zmontowanych "stroną p do dołu" wyniki będą bardziej zadowalające.



Rys.6. Przesunięcie punktu maksimum widma w trakcie trwania impulsu laserowego.
Fig.6. Spectrum peak shift during the laser pulse on.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować kolegom z Pracowni Epitaksji Związków Półprzewodnikowych i z Zakładu Zastosowań Materiałów $A^{III}B^V$ i z Zakładu Technologii Chemicznych i Ochrony Środowiska oraz z Pracowni Technologii Podzespołów Piezoelektronicznych za współpracę w zakresie epitaksji heterostruktur i wytwarzania matryc diod laserowych (DML).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kozłowska A.: Badania zależności pomiędzy charakterystykami elektrooptycznymi oraz niezawodnością linijek diod laserowych, a temperaturą ich pracy w warunkach QCW. Warszawa: ITME 1992. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej
- [2] Mroziewicz B., Bugajski M., Nakwaski W.: Physics of semiconductor lasers. Warszawa: PWN, 1991
- [3] Nakwaski W.: Przyrost temperatury obszaru czynnego laserów homozłączowych GaAs w stanie ustalonym. Rozprawy Elektroniczne, 1976, 4, 877-898
- [4] Beach R., Benett W.J., Lfreitas B., Mundinger D., Comaskey B., Solarz R.W., Aemanuel M.: Modular microchannel cooled heatsinks for high average power laser diode arrays. IEEE J.Quatum Electron., 28, 1992, 4, 966-974
- [5] Sakamoto M., Endriz J.G., Csires D.R.: 20 W CW monolithic AlGaAs (810 nm) laser diode arrays. Electron. Lett. 28, 1992, 2

THERMAL PROCESSES DYNAMICS IN ACTIVE REGIONS OF LASER DIODES IN LINEAR ARRAYS

SUMMARY

The transformation efficiency of an electrical into optical power in laser diodes is much lower than unity. The energy dissipation causes heat generation in the laser and the rise of its temperature. This especially concerns the laser active region, the temperature measurement of which is possible by measurements of the laser radiation spectrum. In the pulse (including QCW) regime the dynamics of temperature changes in the active region may be recording a series of spectra corresponding with successive time moments (points) during the pulse, on starting from leading edge, for fixed pulse amplitude. Such measurements may appear to be very important for laser diode matrix construction as well as technology optimisation.