

OCENA JAKOŚCI MONTAŻU DIOD LASEROWYCH NA PASMO 808 nm POPRZEZ POMIAR REZYSTANCJI TERMICZNEJ I CHARAKTERYSTYK SPEKTRALNYCH

Elżbieta Dąbrowska, Marian Teodorczyk, Grzegorz Sobczak, Andrzej Małąg

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa; e-mail: elzbieta.dabrowska@itme.edu.pl

W pracy przeanalizowano przesuwanie się charakterystyk spektralnych w diodach laserowych (DL) z różną rezystancją termiczną (R_T), a także zmianę ich charakterystyk mocowo-prądowych na różnych etapach montażu. Mierzono wzrost temperatury złącza DL podczas przyłożonego impulsu prądowego poprzez dynamiczne (z rozdzielczością czasową) pomiary spektralne przy pomocy kamery ICCD. Porównano przesunięcia widm DL w czasie trwania impulsu o długości 1 ms w pomiarach dynamicznych i przesunięcia widm w czasie pomiarów przy stałej repetycji i zwiększającym się czasie trwania impulsu w zależności od wartości R_T . Wyniki te posłużyły do opracowania metody oceny jakości montażu na etapie pomiarów impulsowych.

Słowa kluczowe: dioda laserowa, rezystancja termiczna, złącze p-n, pomiar termowizyjny, pomiar dynamiczny, charakterystyka spektralna

Evaluation of the mounting quality of laser diodes emitting at 808nm by thermal resistance and spectral characteristics measurements

In this paper, the shift of spectral characteristics measured at a constant rate of bias pulse repetition and various pulse duration for laser diodes (LDs) with different thermal resistances has been presented. The temperature increase of the p-n junction of LDs during the current pulse has been investigated by dynamic (time-resolved) spectral measurements using an ICCD camera. For LDs with a different thermal resistance spectral shift during a 1 ms long pulse in dynamic measurements and in the measurements at a constant rate of pulse repetition with variable pulse duration has been demonstrated.

Key words: laser diode, thermal resistance, p-n junction, thermovision measurement, dynamics measurement, spectral characteristic

1. WPROWADZENIE

Jedną z głównych barier rozwoju laserów półprzewodnikowych dużej mocy jest problem odprowadzania ciepła z obszaru aktywnego. Wzrost tempe-

ratury DL wpływa na pogorszenie jej charakterystyk elektrooptycznych, podwyższenie prądu progowego, zmniejszenie sprawności kwantowej, przesunięcie widma emisji, a także na przyspieszenie procesów degradacyjnych. Parametrem określającym ilościowo skuteczność odprowadzania ciepła generowanego przez diodę laserową jest rezystancja termiczna R_T , która określa zmiany temperatury przyrządu przy zmianie rozproszonej mocy.

Istnieje kilka sposobów wyznaczania R_T zmontowanej diody laserowej [1]. Są to:

- 1) porównanie prądów progowych przy zasilaniu impulsowym i przy pracy ciągłej (cw),
- 2) pomiar przesunięcia maksimum charakterystyki widmowej emisji spontanicznej (podprogowej) $\Delta\lambda$ w pracy ciągłej i impulsowej,
- 3) wyznaczenie położenia maksimum charakterystyki widmowej i mocy optycznej w funkcji współczynnika wypełnienia η (przy stałej długości impulsu prądowego i rosnącej repetycji) – metoda Pauliego,
- 4) pomiar zmian położenia maksimum charakterystyki spektralnej ze zmianą prądu przy pracy ciągłej,
- 5) pomiar temperatury złącza T_j przy pracy ciągłej,
- 6) obserwację oscyloskopowego zapisu przebiegu zmian napięcia na diodzie po wyłączeniu impulsu prądowego.

Najbardziej wiarygodną i najczęściej stosowaną metodą jest metoda 4, chociaż jest ona bezużyteczna w przypadku diod, które nie są w stanie pracować w reżimie pracy ciągłej (cw). Dla takich diod wykorzystywana jest metoda 3. Najmniej użyteczną metodą jest porównywanie prądów progowych diody laserowej pracującej w warunkach pracy impulsowej i ciągłej. Ponieważ zdarzają się DL z tzw. „miękkim progim” określenie prądu progowego jest dla nich niejednoznaczne. Również z powodu strat w rezonatorze np. wskutek nieoptymalnych pokryć luster obliczone tą metodą R_T może ≤ 0 [1]. Także metoda pomiaru przesunięcia maksimum charakterystyki

widmowej emisji spontanicznej w pracy ciągłej i impulsowej (przede wszystkim ze względu na ich dużą szerokość) jest obarczona dużym błędem [1].

Autorzy pokazują, że dla oceny montażu nie są konieczne pracochłonne pomiary niezbędne dla wyznaczania rezystancji termicznej, lecz wystarczą pomiary charakterystyk spektralnych w pomiarach impulsowych. W pracy porównano wyniki dla 3 metod pomiarowych dla 6 diod różniących się jakością montażu.

2. OPIS ZASTOSOWANYCH METOD POMIAROWYCH

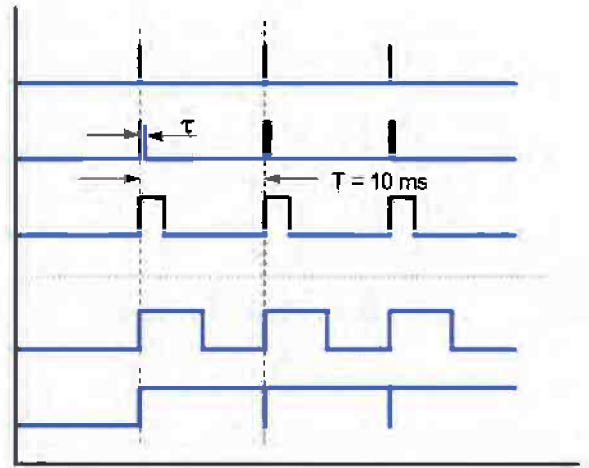
Do badań przeznaczono diody z paskiem aktywnym o szerokości $w = 100 \mu\text{m}$ i długością rezonatora $L = 1 \text{ mm}$ z heterostruktur wykonanych w ITME. Diody montowano do złożonej chłodnicy miedzianej o wymiarach $2 \times 4 \times 7 \text{ mm}^3$. Wszystkie pomiary prowadzono przy $I = 1 \text{ A}$, przy stabilizowanej temperaturze stolika pomiarowego 15°C .

Diody poddano badaniom na każdym etapie montażu (chip przed montażem, po przylutowaniu do chłodnicy Cu, po montażu drutowym, po relaksacji naprężeń). Pomiary impulsowe prowadzono przy długości impulsu $0,4 \mu\text{s}$ z repetycją $T = 0,19 \text{ ms}$, w temperaturze 15°C . Pomiary spektralne wykonano przy pomocy kamery ICCD firmy Andor. Pozwoliło to, na podstawie charakterystyk mocowo-prądowych i spektralnych na wstępną ocenę jakości tych diod [2]. Jednak taka ocena jest pracochłonna i naraża diody na dodatkowe uszkodzenia.

Następnie diody badano poniższymi metodami:

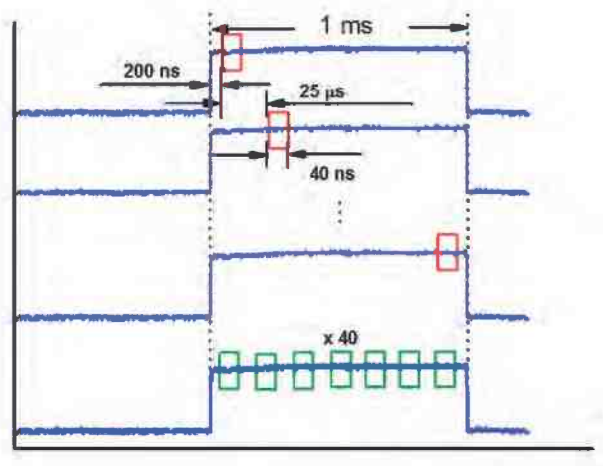
1. Pomiaru R_T
 R_T wyznaczono na podstawie metody Pauliego dla diod pracujących tylko przy zasilaniu impulsowym, a dla diod pracujących w cw z pomiaru mocy rozproszonej w diodzie i przesunięcia charakterystyk spektralnych przy różnych prądach (metoda 4).
2. Pomiaru widm przy wydłużanym impulsie prądowym
Zbadano przesuwanie się i kształt widma DL przy stałej repetycji $T = 10 \text{ ms}$ i wydłużającym się czasie impulsu $\tau = 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 \mu\text{s}$ i $0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5$ i 10 ms (Rys. 1)
3. Przesuwania się widma w pomiarach dynamicznych.
Mierzono wzrost temperatury złącza DL po włączeniu impulsu prądowego poprzez dynamiczne (z rozdzielczością czasową) pomiary spektralne przy pomocy kamery ICCD firmy Andor. W cza-

nie trwania impulsu o długości 1 ms z repetycją 20 ms wykonano 40 pomiarów widm z szerokością bramki 40 ns (Rys. 2) kolejno przesuwanych co $25 \mu\text{s}$. Pierwszy pomiar widma wykonywano z opóźnieniem 200 ns od czola impulsu.



Rys. 1. Idea wykonywania pomiarów przy stałej repetycji $T = 10 \text{ ms}$ i wydłużającym się czasie impulsu $\tau = 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 \mu\text{s}$ i $0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5$ i 10 ms .

Fig. 1. Measurements at $T = 10 \text{ ms}$ and $\tau = 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 \mu\text{s}$ and $0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5$ and 10 ms .



Rys. 2. Idea wykonywania pomiarów dynamicznych. Przy impulsie o długości 1 ms wykonywanych jest 40 pomiarów (co $25 \mu\text{s}$) trwających 40 ns .

Fig. 2. The idea of dynamic measurements. At a pulse of duration 1 ms 40 measurements are performed with a constant time shift of $25 \mu\text{s}$ and with a gate time of 40 ns .

Poniżej zostały opisane szczegółowe wyniki pomiarów DL różniących się jakością montażu. W ten sposób znaleziono związek pomiędzy obliczonymi różnymi wartościami R_T a przesunięciem charakterystyk spektralnych w opisanych warunkach pomiarowych. Określono graniczne wartości R_T , oraz

przesuwania się widm dla diod, powyżej których diody nie będą pracowały w warunkach cw.

3. PORÓWNANIE PARAMETRÓW DIOD LASEROWYCH RÓŻNIĄCYCH SIĘ R_T

Dwa pierwsze opisane przypadki z Rys. 3 dotyczą diod laserowych, które ostatecznie nie pracowały w cw ze względu na wadliwy montaż. Dla diody oznaczonej A wartość $R_T = 63 \pm 8^\circ\text{C/W}$, dla diody oznaczonej B $R_T = 30 \pm 4^\circ\text{C/W}$. Z porównania charakterystyk spektralnych mierzonych na każdym etapie montażu (Rys. 3a) wynikało, że diody te nie są poprawnie zmontowane [2]. Dla prawidłowo zmontowanej diody zmienia się położenie charakterystyki spektralnej chipa przed i po przylutowaniu do chłodnicy. Przy stosowaniu lutowni indowej i montażu bezpośrednio do chłodnicy Cu wprowadzone naprężenia ściskające powodują przesunięcie charakterystyki spektralnej w kierunku krótkofalowym. Takie przesunięcie świadczy o nieplanowanym zwiększeniu przerwy energetycznej DL. Jednak dla diody A charakterystyki te pokrywają się, co oznacza bardzo słabe przyłączenie chipa do chłodnicy. Bardzo często takie diody już na etapie technologicznym wykonywania połączeń drutowych ulegają uszkodzeniu. Rys. 3b pokazuje, że przesuwanie charakterystyk spektralnych mierzonych przy wydłużającym się czasie trwania impulsu prądowego następuje w kierunku długofalowym z powodu wzrostu temperatury w obszarze aktywnym. Temperaturowe przesunięcie widma wynika przede wszystkim ze zwężenia szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika w obszarze aktywnym, w mniejszym stopniu ze zmiany współczynnika załamania materiału rezonatora, temperaturowej zmiany wzmocnienia progowego (zmiany separacji quasi-poziomów Fermiego) oraz cieplnego rozszerzenia rozmiarów chipa.

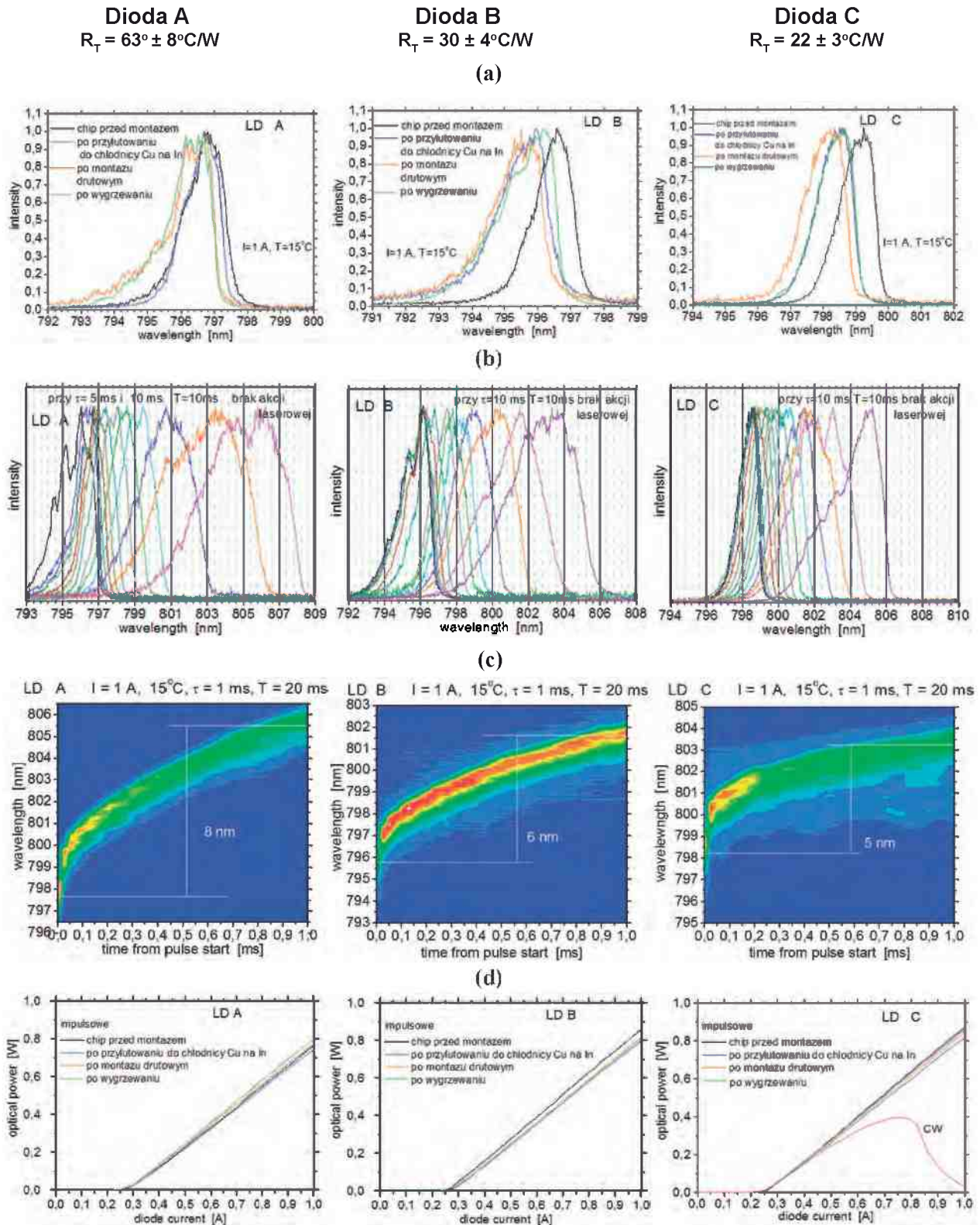
Dla diody A akcja laserowa zanikła już przy długości impulsu 5 ms. Przy zwiększającej się długości impulsu, wskutek grzania się DL jej charakterystyki spektralne przesuwają się w kierunku długofalowym. W tym pomiarze dodatkowo każda charakterystyka była szersza od poprzedniej, być może wskutek powstania wolnych przestrzeni w lutowni, stanowiących źródła niejednorodnego grzania. Wskutek różnej temperatury pod powierzchnią rezonatora charakterystyki spektralne ulegają rozszerzeniu i efekt ten będzie się pogłębiał ze wzrostem długości impulsu. Rozszerzenie charakterystyk spektralnych może być również spowodowane wprowadzonymi

naprężeniami montażowymi. Różnica pomiędzy położeniem charakterystyki spektralnej mierzonej impulsem o długości 0,2 μs a charakterystyką spektralną mierzoną impulsem o długości 2 ms wynosiła ~ 10 nm. Grzanie się diody jest dobrze widoczne w pomiarach dynamicznych w czasie trwania impulsu 1 ms, jej charakterystyka spektralna przesunęła się o ~ 8 nm (Rys. 3c) i intensywność jej promieniowania laserowego w czasie trwania pomiaru wyraźnie zmniejszała się. Na Rys. 3d pokazano charakterystyki mocowo-prądowe na każdym etapie montażu. Diody A i B nie pracowały w warunkach cw.

Dla diody B charakterystyki spektralne mierzone na każdym etapie montażu po przylutowaniu chipa do chłodnicy uległy przesunięciu, ale także uległy poszerzeniu, co świadczyło o wprowadzonym zbyt dużym naprężeniu w czasie lutowania.

Dioda ta grzała się trochę mniej (przesunięcie charakterystyk spektralnych w pomiarach dynamicznych o ~ 6 nm), ale charakterystyki spektralne przy stałej repetycji i zwiększającym się czasie trwania impulsu również rozszerzały się, chociaż nie tak mocno jak w przypadku diody A. Różnica pomiędzy położeniem charakterystyki spektralnej mierzonej impulsem o długości 0,2 μs a położeniem charakterystyki spektralnej mierzonej impulsem o długości 5 ms wynosiła ~ 9 nm. Akcja laserowa dla tej diody zanikła dopiero przy długości impulsu 10 ms (Rys. 3c).

Ostatnia dioda z Rys. 3 o $R_T = 22 \pm 3^\circ\text{C/W}$ oznaczona C zaczęła pracować w cw, ale jej charakterystyka mocowo-prądowa „przewinęła się” – dioda przegrzała się przy $\sim 0,8$ A. Dla tej diody w pomiarach widm przy wydłużanym impulsie prądowym akcja laserowa zanikła dopiero przy długości impulsu 10 ms i repetycji 10 ms (czyli praktycznie cw), a jej charakterystyki rozszerzały się, chociaż nie tak wyraźnie jak w przypadku diody A i mniej niż w przypadku diody B. Odległość pomiędzy charakterystykami spektralnymi mierzonymi przy długości impulsu 0,2 μs a 5 ms wynosiła ponad 6 nm, o 3 nm mniej niż w przypadku diody B. Na Rys. 3a widać, że odległość między charakterystykami chipa przed i po przylutowaniu do chłodnicy jest ~ 1 nm, co dla lutowni indowej świadczy jeszcze o wadach w technice montażu. Charakterystyki spektralne tej diody w czasie trwania impulsu 1 ms w pomiarach dynamicznych przesunęły się o ~ 5 nm, ich intensywność malała w trakcie pomiaru.



Rys. 3. Charakterystyki spektralne diod A, B i C różniących się wartościami R_T : a) na różnych etapach montażu, b) znormalizowane do 1 amplitudy charakterystyk spektralnych przy stałej repetycji T i zwiększającym się czasie trwania impulsu τ , c) w pomiarach dynamicznych w czasie trwania impulsu o długości $\tau = 1$ ms i repetycji $T = 20$ ms, d) charakterystyki mocowo-prądowe.

Fig. 3. Spectral characteristics of diodes (A, B and C) of various R_T values: a) at different stages of montage process, b) normalized to the amplitude of the spectral characteristics measured at a constant repetition time T and at an increasing pulse duration τ , c) during dynamic measurements at a pulse duration $\tau = 1$ ms and a repetition time $T = 20$ ms, d) power versus current characteristics.

Rys. 4 przedstawia wyniki dla diod, dla których w pomiarach widm przy wydłużanym impulsie prądowym akcja laserowa utrzymywała się dla długości impulsu $\tau = 10$ ms (czyli praktycznie cw). Dla diody oznaczonej D o wartości $R_T = 18 \pm 1^\circ\text{C/W}$ charakterystyki spektralne ulegały jeszcze lekkiemu rozszerzeniu (Rys. 4b). Różnica pomiędzy położeniem charakterystyki spektralnej mierzonej przy długości impulsu 0,2 μs a 10 ms wynosiła ~ 9 nm (pomiędzy długością impulsu 0,2 μs a 5 ms była mniejsza niż 5 nm, podczas gdy dla diody C była równa 6 nm). Dla tej diody charakterystyka spektralna w pomiarach dynamicznych przy długości impulsu 1 ms przesunęła się o ~ 4 nm (Rys. 4c). Charakterystyka mocowo-prądowa była zadowalająca – liniowa do $\sim 0,6$ A (Rys. 4d). Przy wyższych prądach dioda bardzo grzała się, stąd tak niestabilna dalsza część charakterystyki. Natomiast dioda oznaczona E pracowała w cw, ale charakteryzowała się jeszcze nie najlepszą wartością rezystancji termicznej: $R_T = 16 \pm 0,5^\circ\text{C/W}$. O poprawnym montażu tej i następniej diody oznaczonej H świadczą ich charakterystyki mocowo-prądowe (Rys. 4d) i spektralne (Rys. 4a) mierzone na każdym etapie montażu. Charakterystyki mocowo-prądowe dla DL E przy zasilaniu ciągłym lekko odbiegały od liniowej, ale dioda pracowała stabilnie do $I = 1$ A. Charakterystyki spektralne po przylutowaniu chipów do chłodnicy przesunęły się o ponad 2 nm w porównaniu z charakterystykami niezmontowanych chipów. Charakterystyki spektralne w pomiarach dynamicznych w czasie trwania impulsu o długości 1 ms (Rys. 4c) przesunęły się o ~ 4 nm. Charakterystyki spektralne mierzone przy stałej repetycji 10 ms i wydłużającym się czasie trwania impulsu dla diod o $R_T \leq 16^\circ\text{C/W}$ przestają się rozszerzać (Rys. 4b). Odległość pomiędzy pikami charakterystyk mierzonych przy długości impulsu 0,2 μs i 10 ms wynosiła niecałe 7 nm. Jednak dioda ta, z powodu nadal jeszcze wysokiej wartości R_T , najprawdopodobniej nie będzie charakteryzować się długim czasem życia (wymagany dla tego typu diod to 10 000 godzin).

Ostatnia przedstawiona dioda z Rys. 4 oznaczona H charakteryzuje się zadowalającą rezystancją termiczną $R_T = 9,6 \pm 0,4^\circ\text{C/W}$ i poprawnymi charakterystykami mocowo-prądowymi dla pracy cw. O poprawnym montażu diody H świadczą jej charakterystyki mocowo-prądowe i spektralne mierzone na każdym etapie montażu (Rys. 4a, d). Charakterystyka spektralna po przylutowaniu chipów do chłodnicy przesunęły się o ponad 5 nm w porównaniu z charakterystykami niezmontowanych chipów. Charakterystyki spektralne mierzone przy stałej repetycji 10 ms i wydłużającym się czasie trwania impulsu

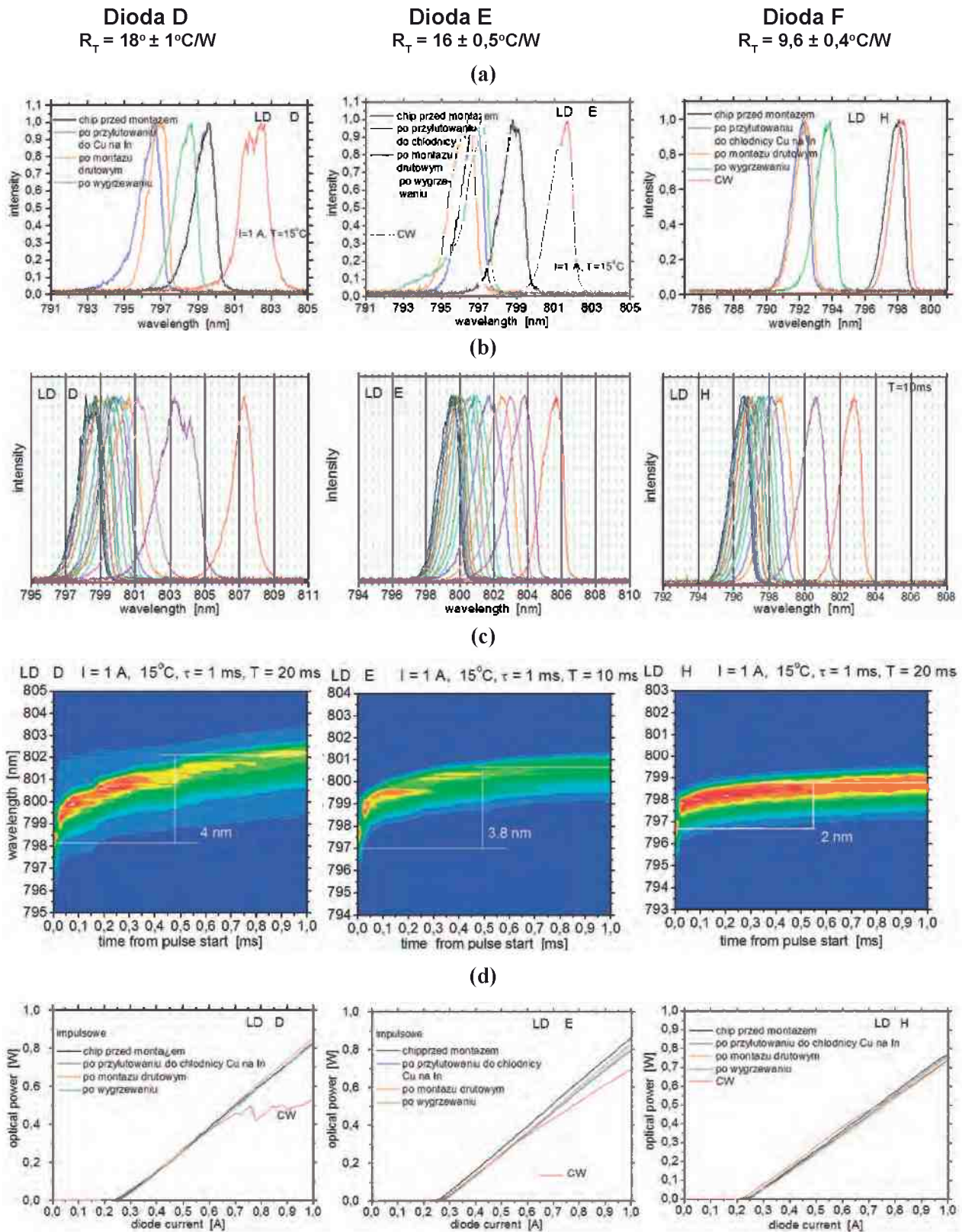
są wąskie (Rys. 4b). Odległość pomiędzy pikami charakterystyk mierzonych przy długości impulsu 0,2 μs i 10 ms wynosiła ~ 6 nm. Charakterystyki spektralne w pomiarach dynamicznych w czasie trwania impulsu o długości 1 ms (Rys. 4c) przesunęły się o 2 nm.

Wyniki przeprowadzonych badań są podsumowane w Tab. I. Przedstawiono w niej wartości przesunięcia charakterystyk spektralnych mierzonych metodą pomiaru widm przy wydłużanym impulsie prądowym w czasie trwania impulsu o długości 10 ms i 0,2 μs ($\lambda_{10\text{ms}} - \lambda_{0,2\mu\text{s}}$) i wartości przesunięcia charakterystyk spektralnych w pomiarach dynamicznych w czasie 1 ms impulsu ($\Delta\lambda$) dla DL z różną rezystancją termiczną. Im większe R_T , tym przesunięcia tych charakterystyk w obu przypadkach są większe. Dane te pokazują, że warunkiem pracy ciągłej badanych diod laserowych jest $(\lambda_{10\text{ms}} - \lambda_{0,2\mu\text{s}}) < 7$ nm i jednocześnie $\Delta\lambda < 3,8$ nm.

Tabela I. Przesunięcie charakterystyk spektralnych w pomiarach przy stałej repetycji impulsu prądowego i zwiększającym się czasie trwania tego impulsu ($\lambda_{10\text{ms}} - \lambda_{0,2\mu\text{s}}$) oraz w pomiarach dynamicznych ($\Delta\lambda$) dla diod różniących się rezystancją termiczną.

Table I. The shift of spectral characteristics in measurements at a constant repetition time of a current pulse and at an increasing duration of this pulse ($\lambda_{10\text{ms}} - \lambda_{0,2\mu\text{s}}$) and in dynamic measurements ($\Delta\lambda$). The measured diodes have various thermal resistances.

Dioda	R_T ($^\circ\text{C/W}$)	$\lambda_{10\text{ms}} - \lambda_{0,2\mu\text{s}}$	$\Delta\lambda$
A	63 ± 8	—	~ 8 nm
B	30 ± 4	—	~ 6 nm
C	22 ± 3	—	5 nm
D	18 ± 1	9 nm	4 nm
E	$16 \pm 0,5$	7 nm	3,8 nm
F	$14 \pm 0,5$	6,2 nm	3,5 nm
G	$12 \pm 0,5$	6,2 nm	2,3 nm
H	$9,6 \pm 0,4$	6,1 nm	2 nm

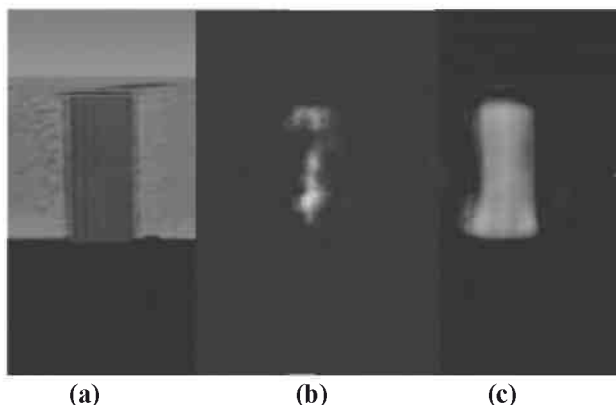


Rys. 4. Charakterystyki spektralne diod D, E i H różniących się wartościami R_T : a) na różnych etapach montażu, b) znormalizowane do 1 amplitudy charakterystyk spektralnych przy stałej repetycji T i zwiększającym się czasie trwania impulsu τ , c) w pomiarach dynamicznych w czasie trwania impulsu o długości $\tau = 1$ ms i repetycji $T = 20$ ms, d) charakterystyki mocowo-prądowe.

Fig. 4. Spectral characteristics of diodes (D, E and H) of various R_T values: a) at different stages of the montage process, b) normalized to the amplitude of the spectral characteristics measured at a constant repetition time T and at an increasing pulse duration τ , c) during dynamic measurements at a pulse duration $\tau = 1$ ms and a repetition time $T = 20$ ms, d) power versus current characteristics.

4. ZASTOSOWANIE MIKROSKOPU AKUSTYCZNEGO

Chip laserowy powinien być przylutowany do chłodnicy całą powierzchnią. W lutowiu nie powinno być wolnych przestrzeni, które są odpowiedzialne za grzanie DL. Przy zastosowaniu mikroskopu akustycznego można dokładnie określić rozkład lutowia pod chipem. Na Rys. 5 pokazano zdjęcia z mikroskopu akustycznego (wykonane na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej) pokazujące warstwę lutowia In pod chipem (b, c). Widać na nich różną skuteczność lutowania. Pokazano również warstwę na głębokości odpowiadającej złożonej powierzchni chipa (a - widoczne paski wzdłuż chipa są wynikiem odbić fal akustycznych). Warstwa lutowia w pierwszym przypadku (b) pokrywa tylko w niewielkim stopniu powierzchnię chipa. W przypadku c) chip był pokryty lutowiem na całej powierzchni. Tak przylutowane diody z Rys. b) i c) różniły się parametrami elektro-optycznymi i rezystancją termiczną.



Rys. 5. Zdjęcia z mikroskopu akustycznego: a) odwzorowanie chipa laserowego; b), c) odwzorowanie lutowia In dla diod z różną rezystancją termiczną.

Fig. 5. Scanning Acoustic Microscope images: a) representation of a chip-contact of a laser diode; b), c) representation of an In solder. Images are taken for diodes of various thermal resistances.

Ze względu na uciążliwość pomiarowe metoda ta nie może być stosowana do bieżącej selekcji zmontowanych chipów. Może być ona jedynie zastosowana do weryfikacji wadliwości montażu dla wybranych DL.

5. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że dla poprawnie zmontowanych diod na pasmo 808 nm z szerokością rezonatora 0,1 mm i długością 1 mm, wartość R_T powinna oscylować wokół 10°C/W. Dla tych ($\lambda_{10ms} - \lambda_{0,2ms}$) przesunięcie widma przy stałej repetycji powinno być $T = 10 \text{ ms} < 7 \text{ nm}$, a $\Delta\lambda$ w pomiarach dynamicznych $< 3,8 \text{ nm}$.

Diody o rezystancji $\sim 20^\circ\text{C/W}$ najprawdopodobniej w czasie pracy cw „przegrzeją się” – ich charakterystyka mocowo-prądowa „przewinie się”. Dla diod o rezystancji $> 30^\circ\text{C/W}$ nie zaobserwujemy akcji laserowej w cw.

Przedstawione wnioski dotyczące wartości R_T są słuszne jedynie dla tego typu diod i tego rodzaju montażu. Przy zastosowaniu innego lutowia, podkładek, czy chłodnic rezystancja termiczna będzie różna od podanej w tym artykule. Diody o poprawnych parametrach (prąd progowy, sprawność) i charakterystykach spektralnych, ale mające większą zmierzoną rezystancję, ulegały degradacji podczas końcowych pomiarów temperaturowych. Tak więc wartość R_T wskazuje na przyszły czas życia DL.

Poprawna wartość R_T jest konieczna, ale nie dostateczna długiego czasu życia DL. Zdarzają się diody o prawidłowych charakterystykach mocowo-prądowych i spektralnych, a także o zadowalających wartościach R_T , ale jednak o krótkim czasie życia. Być może w takich przypadkach nie montaż a wady we wcześniejszych operacjach technologicznych lub wady w samej heterostrukturze są powodem degradacji DL.

Autorzy wykazali, że dla oceny montażu nie są konieczne pracochłonne pomiary dla wyznaczenia rezystancji termicznej, lecz wystarczą pomiary charakterystyk spektralnych. Badanie diod laserowych na każdym etapie montażu w celu orientacyjnej oceny ich jakości jest długotrwałe i może okazać się niszczące. Badanie przesunięcia charakterystyk w pomiarach dynamicznych jest pomiarem również szybkim, ale dla różnego rodzaju diod przesunięcie będzie inne i metoda wymaga wstępnych pomiarów, analogicznych do pomiarów przedstawionych w tej pracy, dla ustalenia maksymalnych wartości $\Delta\lambda$.

Dużo szybszą metodą są pomiary spektralne w pracy impulsowej przy stałej repetycji i zmiennym czasie impulsu. Wystarczy porównanie charakterystyk spektralnych przy repetycji $T = 10 \text{ ms}$ i czasie trwania impulsu np $\tau = 1 \mu\text{s}$ i 2 ms. Jeśli charakterystyki spektralne nie uległy rozszerzeniu dioda taka będzie mieć prawidłową rezystancję termiczną i będzie pracować w cw. Przesunięcie charakterystyk w kierunku długofalowym będzie zależę od typu badanych diod.

LITERATURA

- [1] Dąbrowska E., Małąg A.: Metody pomiaru rezystancji termicznej diod laserowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87, 4, (2001), 232-238
- [2] Dąbrowska E., Teodorczyk M., Sobczak G., Małąg A.: Badanie naprężeń wprowadzanych do diod laserowych podczas montażu za pomocą In oraz stopu eutektycznego AuSn, *Materiały Elektroniczne*, 37, 4, (2009)