

Marcin WESOŁOWSKI
Przemysław SKRZYPCZAK
Jacek HAUSER

REZYSTANCJA TERMICZNA DIOD LED A WIARYGODNOŚĆ DANYCH KATALOGOWYCH

STRESZCZENIE *Współczesne diody LED charakteryzują się imponującymi parametrami eksploatacyjnymi, zarówno w odniesieniu do generowanych strumieni świetlnych, jak i sprawności przetwarzania energii elektrycznej. Jednak w wielu przypadkach, parametry podawane w notach aplikacyjnych, nie są możliwe do osiągnięcia. Fakt ten wynika z prezentacji tych danych w warunkach cieplnych nie występujących podczas normalnej eksploatacji. W niniejszym artykule analizie poddano problematykę skutecznego odprowadzania ciepła z złącz p-n, do obudów diod. Intensywność tego procesu zależy jest od tzw. rezystancji termicznej, będącej jednym z istotnych parametrów podawanych w notach katalogowych. Z uwagi na znaczną liczbę awarii, zwłaszcza tanich diod LED, podjęto próbę oceny rzeczywistych wartości rezystancji termicznych tych elementów oraz porównanie ich z wartościami podawanymi w katalogach.*

Słowa kluczowe: diody LED, rezystancja termiczna

1. WSTĘP

Diody elektroluminescencyjne są obecnie najbardziej rozwojowym typem źródeł światła. Fakt ten wynika między innymi z ich wysokiej sprawności oraz stosunkowo długim czasem eksploatacji. Spośród szeregu typów diod LED, liczną grupę stanowią

dr inż. Marcin WESOŁOWSKI
e-mail: marcin.wesolowski@ien.pw.edu.pl

Instytut Energetyki Politechniki Warszawskiej, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75

dr inż. Przemysław SKRZYPCZAK, dr hab. inż. Jacek HAUSER
e-mail: [przemyslaw.s.skrzypczak; jacek.hauser]@put.poznan.pl

Politechnika Poznańska, 61-965 Poznań, ul. Piotrowo 3a

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 272, 2016

diody „budżetowe”, których cena jest atrakcyjna. Dane katalogowe tych elementów nie wykazują istotnie niższych parametrów, w stosunku do rozwiązań wiodących producentów [4, 6]. Pomimo tego, bardzo często spotkać można opinię o niepokojąco niskiej trwałości oraz znacznej liczbie awarii diod należących do tej kategorii. Niniejsza praca jest próbą oceny przyczyn wspomnianego zjawiska. Z punktu widzenia eksploatacji, przyczyny mogą leżeć w wadliwej konstrukcji diod, zewnętrznych układów rozpraszania ciepła lub odmiennych mocy cieplnych.

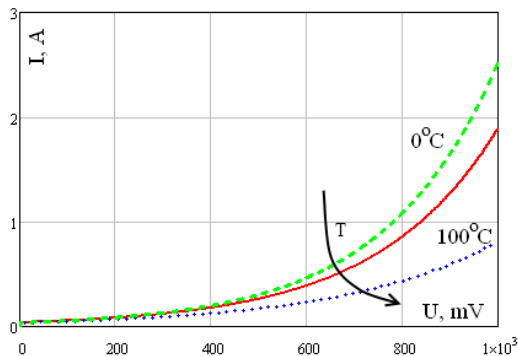
Równanie opisujące charakterystykę prądowo-napięciową diody (1.1) [2], umożliwia stwierdzenie jej istotnej zależności od temperatury. Fakt ten wynika z zmienności koncentracji nośników ładunku (n_i^2) od temperatury, zwłaszcza w silnie domieszkowanych półprzewodnikach. Dodatkowo, w podanej zależności występuje czynnik zwany napięciem cieplnym (kT/q), zależnym bezpośrednio od temperatury złącza. Na rysunku 1.1 zaprezentowano przykładowe charakterystyki diody, przy zróżnicowanych temperaturach.

$$I = Aqn_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_A} + \frac{D_p}{L_p N_D} \right) e^{\frac{Uq}{kT}} \quad (1.1)$$

gdzie:

- A – powierzchnia przekroju złącza,
- q – ładunek jednostkowy,
- D – współczynniki dyfuzji,
- L – głębokość wnikania elektronów (n) i dziur (p),
- N – koncentracja domieszek,
- K – stała Boltzmanna,
- T – temperatura,
- U – napięcie.

Na podstawie podanej zależności (1.1) możliwe jest określenie wpływu temperatury na parametry eksploatacyjne diod elektroluminescencyjnych. Parametry katalogowe zazwyczaj podawane są dla temperatur 20°C. Wartości te są odmiennie od



Rys. 1.1. Przykładowe charakterystyki prądowo napięciowe diody LED

rzeczywistych temperatur pracy złącz p-n, osiągających wartości 150°C [6]. W tych warunkach sprawność oraz inne parametry charakteryzujące diody są istotnie niższe.

Czynnikiem wpływającym na szybką degradację diod LED jest przede wszystkim nadmierna temperatura występująca w obrębie złącza p-n. Jej wartość zależy od mocy grzejnej emitowanej w złączu oraz warunków oddawania ciepła do otoczenia [2]. Podstawowe pomiary parametrów elektrycznych wykazały, iż moc grzejna we wszystkich badanych diodach nie odbiegała od warunków podanych w karcie katalogowej [1]. Przyczyna nadmiernego skrócenia trwałości diod leży zatem w niedostatecznie intensywnym odprowadzaniu ciepła od złącza lub innych czynnikach związanych z wewnętrzną strukturą obudowy diod.

2. OPÓR CIEPLNY – DEFINICJA I ZASTOSOWANIA

Opis matematyczny procesu oddawania ciepła z złącza p-n diod charakteryzowany jest równaniem Fouriera-Kirchhoffa (2.1) z odpowiednimi warunkami granicznymi [1]. Jego rozwiązanie umożliwia wyznaczenie funkcji $t(M, \tau)$ gdzie M określa położenie w dowolnie przyjętym układzie współrzędnych [3].

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + (\mathbf{w} \cdot \nabla)t = \frac{p_V}{c\rho} + \frac{1}{c\rho}[\nabla(\lambda \nabla t)] \quad (2.1)$$

gdzie:

- t – temperatura,
- τ – czas, w-wektor prędkości substancji przewodzącej ciepło,
- ∇ – operator Nabla,
- p_V – gęstość mocy źródeł ciepła wyrażona w W/m³,
- c – ciepło właściwe,
- ρ – gęstość,
- λ – przewodność cieplna właściwa.

W zagadnieniach związanych z analizą zjawisk cieplnych w elementach półprzewodnikowych, wystarczające jest zazwyczaj wykorzystanie prostszej formy równania (2.1), ściślej dla ciał stałych (2.2) z wewnętrznymi źródłami ciepła [3].

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{p_V}{c\rho} + a \nabla^2 t \quad (2.2)$$

Złożoność rzeczywistych układów elektronicznych uniemożliwia zazwyczaj korzystanie z analitycznych rozwiązań zależności typu (2.1) lub (2.2). Do celów projektowych z dziedziny wymiany ciepła, elektrotechniki i elektroniki, niezwykle użyteczną wielkością jest rezystancja termiczna (opór cieplny), będący odpowiednikiem rezystancji w dziedzinie elektromagnetyzmu. Rozpatrując element układu termokinetycznego o długości Δl , polu powierzchni ΔF , wykonany z materiału o przewodności

cieplnej właściwej λ oraz charakteryzujący się jednowymiarowym przewodzeniem ciepła, możliwe jest określenie gęstości strumienia ciepłego przewodzonego na długości Δl (2.3).

$$q = -\lambda (\text{grad } t) \quad (2.3)$$

Zgodnie z powyższą zależnością, ilość ciepła przewodzonego przez jednostkową powierzchnię ciała stałego jest proporcjonalna do przewodności cieplnej właściwej oraz gradientu temperatury występującego w danym cieple. Analiza układów rzeczywistych (w tym przypadku elementów elektronicznych) wymaga zazwyczaj posługiwania się całkowitą mocą cieplną przewodzenia w całym rozpatrywanym obszarze. Prawo Fouriera (2.3) może być przekształcone do postaci opisującej wodzenie mocy cieplnej pomiędzy powierzchniami izotermicznymi (2.4).

$$P = -\lambda (\text{grad } t) \cdot F \quad (2.4)$$

Możliwa jest prezentacja zależności (2.4) w postaci podobnej do znanego z elektrotechniki prawa Ohma, słusznego dla liniowych ciał stałych (2.5) [4].

$$P = \frac{t_h - t_l}{\frac{\delta}{\lambda F}} \quad (2.5)$$

gdzie:

t_h, t_l – temperatury,

δ – grubość ciała w kierunku przewodzenia,

F – powierzchnia przekroju analizowanego ciała w kierunku normalnym do gradientu temperatury.

Wielkość podana w mianowniku (2.5) nazywana jest rezystancją termiczną (oporem cieplnym) (2.6) [4].

$$W = \frac{\delta}{\lambda F}, \text{ K / W} \quad (2.6)$$

Wartość oporu cieplnego zależna jest od grubości ciała stałego w kierunku przewodzenia, przewodności cieplnej właściwej oraz wielkości powierzchni zlokalizowanej prostopadle do kierunku propagacji ciepła. W zagadnieniach ogólnych, ciepło nie zawsze jest transportowane w układach jednowymiarowych. Definicja (2.6) może być dowolnie rozszerzana, w zależności od analizowanego układu, poprzez odpowiednie wyliczenie zastępczej powierzchni przenikania ciepła (F).

W problematyce wymiany ciepła w elementach elektronicznych, wytwórcy urządzeń podają wartości rezystancji termicznych. Zazwyczaj podawane są wartości rezystancji pomiędzy złączem i obudową. Wielkości te są niezbędne w procesie projektowania i doboru zewnętrznych układów chłodzenia elementów elektronicznych. Jedynie operowanie wiarygodnymi danymi katalogowymi umożliwia racjonalny dobór

radiatorów, gwarantujący pracę elementów półprzewodnikowych w odpowiednim zakresie temperaturowym. Zgodnie z danymi katalogowymi [4], diody będące tematem niniejszej pracy charakteryzowały się oporem cieplnym wynoszącym 1 K/W. W trakcie pomiarów sprawdzono wiarygodność tych danych, wykorzystując dwie metody scharakteryzowane w kolejnym punkcie artykułu.

3. POMIARY REZYSTANCJI TERMICZNYCH DIOD LED

Pomiary rezystancji termicznej diod TH5 wykonano przy wykorzystaniu dwóch metod:

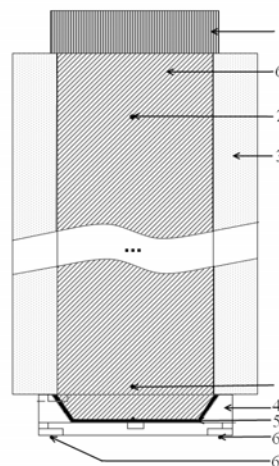
- metody „pasywnej” nie wymagającej zasilania diody podczas pomiarów;
- metody „aktywnej”, wykorzystującej wyskalowane złącze PN w charakterze czujnika temperatury.

Obie metody wykorzystywane są w praktyce pomiarowej parametrów cieplnych ciał stałych. Charakteryzują się odmiennymi źródłami oraz wartościami błędów wpływających na ich dokładność. Z uwagi na zakres wykonywanych prac, wykorzystanie obu proponowanych metod, stanowiących wzajemne uzupełnienie, było podyktowane koniecznością zwiększenia wiarygodności i precyzji wykonywanych badań. Poniżej podano krótką charakterystykę wykorzystywanych metod pomiarowych, wraz z podaniem źródeł potencjalnych niedokładności oraz charakterystyką wykorzystywanego sprzętu.

3.1. Pasywna metoda wyznaczenia oporu cieplnego

Jednoznaczny pomiar oporu cieplnego możliwy jest przy wykorzystaniu metody pośredniej, wymagającej znajomości strumienia cieplnego przewodzonego w jednowymiarowym polu temperatury (2.5). Podczas praktycznej realizacji tego typu pomiarów, podstawowym problemem jest wytworzenie odpowiedniego pola temperatury, charakteryzującego się jednokierunkowym przewodzeniem ciepła. W niniejszej pracy wykorzystano stanowisko pomiarowe zgodne z ideą pokazaną na rysunku 3.1.

Rys. 3.1. Idea stanowiska do statycznych pomiarów rezystancji termicznej diod TH5. 1 – grzejnik elektryczny; 2 – kalibrowany trzpień miedziany; 3 – izolacja cieplna; 4 – badana dioda (z odsłoniętym złączem PN); 5 – pasta termoprzewodząca; 6 – lokalizacja czujników temperatury



W analizowanym przypadku, badana rezystancja termiczna diody wyznaczana jest na podstawie znajomości strumienia cieplnego przepływającego przez diodę oraz różnicy

temperatur złącza i obudowy diody. Zadaniem kalibrowanego trzpienia miedzianego jest wytworzenie jednowymiarowego, osiowego przepływu ciepła. Temperatura osiągana w stanie cieplnie ustalonym przez grzejnik elektryczny jest czynnikiem wywołującym przepływ strumienia cieplnego wzdłuż trzpienia, w kierunku badanej diody LED. Izolacja cieplna powierzchni bocznej trzpienia pozytywnie wpływa na ograniczenie strat ciepłych do otoczenia. Zgodnie z zależnościami (3.1) oraz (3.2), wartość mocy cieplnej przewodzonej w kierunku badanej diody jest około 152 razy wyższa niż moc tracona do otoczenia.

$$P_A = \frac{dT}{h} \cong 0,186 \text{ W} \quad (3.1)$$

$$\frac{\lambda_1(t) F_p}{\lambda_1(t) F_p}$$

$$P_B = \frac{dT}{\ln\left(\frac{d_z}{d_w}\right)} \cong 0,00122 \text{ W} \quad (3.2)$$

$$\frac{2\pi h \lambda_2(t)}{2\pi h \lambda_2(t)}$$

gdzie:

- P_A – moc przewodzona w kierunku diody,
- P_B – moc tracona z trzpienia do otoczenia;
- H – wysokość trzpienia,
- λ_1 – przewodność cieplna właściwa trzpienia,
- F_p – przekrój trzpienia,
- d_z – zewnętrzna średnica izolacji cieplnej,
- d_w – wewnętrzna średnica izolacji cieplnej,
- λ_2 – przewodność cieplna izolacji cieplnej,
- P_B – moc tracona z trzpienia do otoczenia.

Wykonany układ pomiarowy charakteryzuje się zatem jednowymiarowym przewodzeniem ciepła. Maksymalny błąd wynikający z istnienia strumienia strat ciepłych nie przekracza 0,65%.

Pasta termoprzewodząca ma za zadanie zmniejszenie spadku temperatury pomiędzy trzpieniem i strukturą diody. Podczas realizacji pomiarów przyjęto wartość oporu cieplnego przejścia pomiędzy trzpieniem i złączem PN na poziomie 0,4 K/W. Jest to wartość nieco wyższa od spotykanej w literaturze [4, 6]. Dzięki temu, wyniki wykonanych pomiarów będą charakteryzowały się zastępczą rezystancją termiczną diody niższą niż w rzeczywistości. Błąd nie powinien jednak przekraczać 0,1 K/W.

Wartość mocy cieplnej P_A , wymagana do wyznaczenia rezystancji termicznej diody, obliczana była na podstawie spadku temperatury na kalibrowanym trzpieniu oraz znajomości jego oporu cieplnego. Rezystancja termiczna diod LED wyznaczana była na podstawie zależności (3.3), przy znanych wartościach strumienia cieplnego i temperatur pomiędzy złączem PN diody (t_z) i jej obudową (t_{ob}).

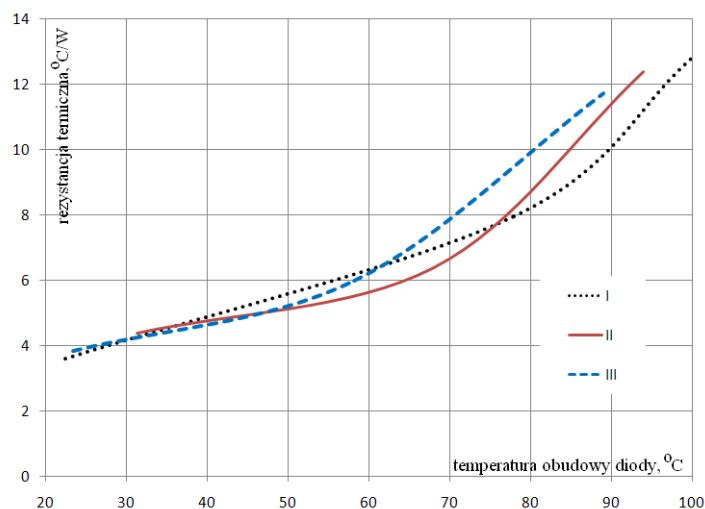
$$R_{thJC} = \frac{t_z - t_{ob}}{P_A} \quad (3.3)$$

Badania wykonano przy wykorzystaniu trzech diod jednego typu. Wszystkie pomiary wykonano w stanie ustalonym. Zróżnicowane wartości mocy elementu grzejnego powodowały osiąganie zróżnicowanych temperatur w układzie. Zmierzone wartości temperatur w charakterystycznych punktach układu grzejnego (rys. 3.1) oraz znana charakterystyka oporu cieplnego kalibrowanego układu pomiarowego, umożliwiły obliczenie rezystancji termicznych badanych diod. Wyniki pomiarów oraz obliczeń podano w tabeli 3.1 oraz na rysunku 3.2.

TABELA 3.1

Wyniki pomiarów rezystancji termicznych diod TH5 przy wykorzystaniu metody pasywnej

Nr badanej diody	Temperatura obudowy diody, °C	Strumień cieplny, W	Różnica temperatur pomiędzy złączem PN oraz obudową diody, °C	Rezystancja termiczna diody, °C/W
I	22,5	0,11	0,4	3,58
I	78	2,76	22	7,96
I	99,9	3,24	41,4	12,78
II	31,3	0,27	1,2	4,36
II	68	2,66	17	6,38
II	94	2,94	36	12,38
III	23,4	0,18	0,7	3,82
III	58,2	2,56	15,3	5,97
III	89	2,9	34	11,7

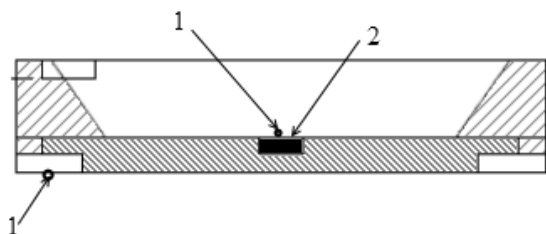


Rys. 3.2. Charakterystyka rezystancji termicznych diod TH5 w funkcji temperatury obudowy

Otrzymane wyniki wykazują podobny charakter dla wszystkich badanych diod. Zmierzone rezystancje termiczne są wyższe niż deklarowane w karcie katalogowej [3]. Wartości zbliżone do deklarowanych przez Wytwórcę otrzymano dla temperatury złącza wynoszącej około 20°C. Stan taki nie występuje podczas normalnej eksploatacji tych elementów. Wytwórca nie podał w karcie katalogowej, przy jakich temperaturach diody występuje podana rezystancja termiczna, co sugeruje możliwość korzystania z deklarowanej wartości w procesie projektowania układów chłodzenia. Na podstawie wykonanych badań wykazano, iż w warunkach temperaturowych odpowiadających znamionowym temperaturom pracy diod LED, rezystancje termiczne są wielokrotnie wyższe.

3.2. Aktywna metoda wyznaczania oporu cieplnego

Drugą metodą wykorzystaną do realizacji zadania była metoda umożliwiająca pomiar rezystancji termicznej diody LED podczas jej funkcjonowania. Zgodnie z podstawami teoretycznymi, podanymi w punkcie 2 niniejszej pracy, wyznaczenie rezystancji termicznej wymaga znajomości mocy cieplnej przewodzonej pomiędzy powierzchniami izotermicznymi o znanych temperaturach (2.5). Idea metody jest zgodna z rysunkiem 3.3.

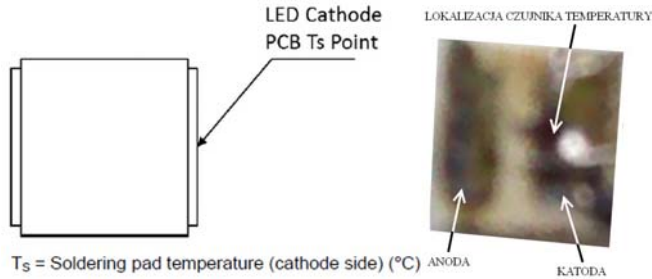


Rys. 3.3. Przekrój diody TH5 z zaznaczonym złączem PN (2) oraz lokalizacją miejsc pomiaru temperatury

Podczas przepływu prądu przez diodę, w obrębie złącza półprzewodnikowego generowana jest moc cieplna (P_c), powodująca podwyższenie temperatury tego elementu. Wartość mocy cieplnej jest proporcjonalna do iloczynu prądu i napięcia.

Moc generowana w złączu p-n (P_c) jest rozpraszana na drodze konwekcji, radiacji i przewodzenia. Podczas pomiarów rezystancji termicznej należy mieć świadomość, iż jedynie część mocy jest przewodzona ze złącza do obudowy (punktu lutowniczego). Moc cieplna wyznaczona zgodnie z podanym powyżej opisem będzie zatem nieco większa niż w rzeczywistości. Ocenia się, że błąd w wartości mocy cieplnej zmierzonej i rzeczywistej nie powinien przekraczać 5%. Dodatkowo, czynnik ten nie wpływa negatywnie na użyteczność wyników pomiaru rezystancji termicznych. Rzeczywiste wartości będą nieco wyższe.

Na rysunku 3.4 podano lokalizację punktów pomiarowych temperatury. Jeden z nich znajduje się w punkcie lutowania diody TH5, zgodnie z danymi dostarczonymi przez dystrybutora [3] (rys. 3.4.a). Podczas badań, do punktu lutowniczego przyłutowano spoinę pomiarową termoelementu typu K. Widok układu pokazano na rysunku 3.4.b.

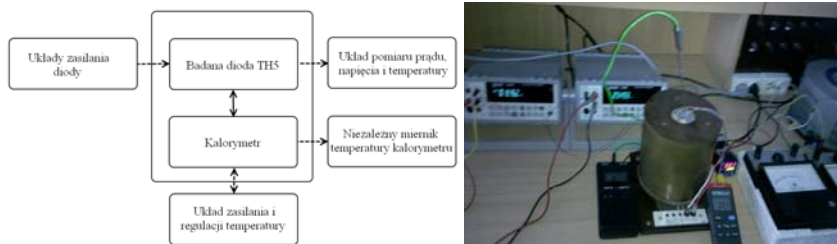


Rys. 3.4. Pomiar temperatury obudowy diody TH5.
 a) schemat dostarczony przez Dystrybutora, b) układ pomiarowy

Bezpośredni pomiar temperatury złącza p-n podczas pracy diody nie jest możliwy. Tym niemniej, z uwagi na fakt, iż zjawiska zachodzące w złączu półprzewodnikowym, istotnie zależą od temperatury, możliwe było wykorzystanie złącza w charakterze przetwornika temperatury. Wykorzystano efekty opisane zależnością (1.1). Przy wymuszeniu napięciowym, prąd płynący przez złącze wykazuje rosnący charakter, wraz z wzrostem temperatury. Podobnie, przy wykorzystaniu źródła prądowego, spadek napięcia na przewodzącej diodzie będzie wzrastał wraz z wzrostem temperatury. Efekty te zostały wykorzystane do pomiaru temperatury złącza podczas pracy. Przed wykorzystaniem opisanych zależności, wykonano skalowanie wykorzystywanych diod, sporządzając ich charakterystyki prądowo-napięciowe przy znanej temperaturze złącza. Proces skalowania wykonano przy wykorzystaniu diod nie przymocowanych do radiatora. W celu zapewnienia stabilnych warunków temperaturowych, wykorzystano kalorymetr z możliwością utrzymywania temperatury z dokładnością $\pm 0,1$ K. W warunkach ustalonych mierzono prąd, napięcie oraz temperaturę punktu lutowniczego diody. W stałej temperaturze oraz stanie cieplnie ustalonym, cała dioda charakteryzowała się jednorodnością temperatury (przy braku zasilania). Fakt ten umożliwił stwierdzenie znajomości temperatury złącz PN. Wykonane charakterystyki prądowo – napięciowe pozwoliły na:

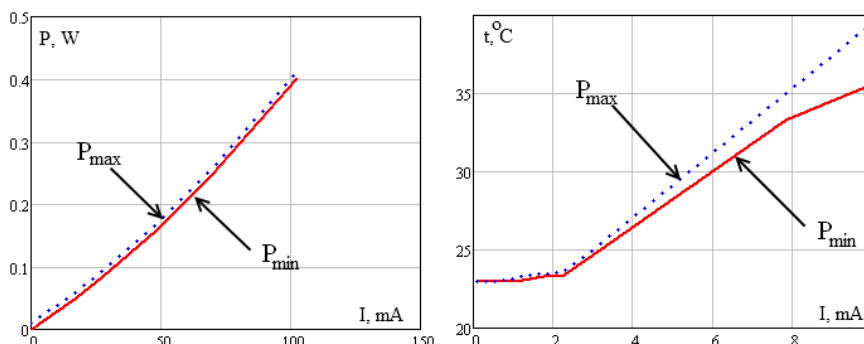
- określenie zależności prądu i napięcia od temperatury;
- określenie granicznych prądów pomiarowych, przekroczenie których powoduje samopodgrzewanie złącz.

Schemat blokowy układu pomiarowego oraz jego widok podczas badań pokazano na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Schemat układu do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych diody TH5 oraz widok urządzeń podczas badań

Wykonano badania czterech diod. Z uwagi na brak radiatora podczas tych prób, maksymalny prąd ograniczono do wartości 120 mA. Na rysunku 3.6 pokazano charakterystykę mocy diod LED w funkcji prądu, oraz temperatury diody w funkcji prądu.



Rys. 3.6. Charakterystyki mocy w funkcji prądu (a) oraz temperatury w funkcji prądu (b) diod TH5

Wszystkie analizowane diody charakteryzowały się zbliżonymi parametrami. Maksymalne różnice nie przekraczały 3%. Z tego względu, na prezentowanych wykresach zaznaczono jedynie wyniki charakterystyczne dla elementu o minimalnych i maksymalnych wartościach.

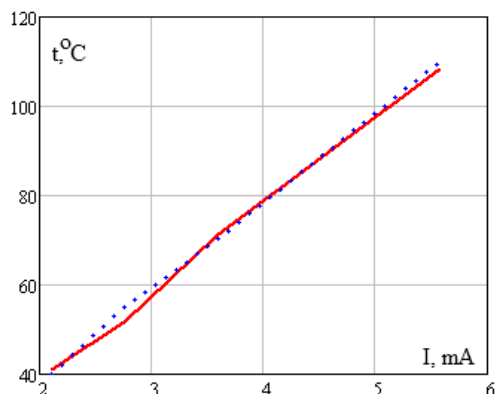
Przebiegi mocy w funkcji prądu są niemal liniowe, co może sugerować możliwość wykorzystania całego badanego zakresu prądowego do aplikacji związanych z pomiarem temperatury złącza. Tym niemniej, charakterystyki temperatury w funkcji prądu jednoznacznie wykazują, iż efekt samonagrzewania złącza jest widoczny po przekroczeniu prądu o wartości 3 mA. Zaznacza się, że prezentowane wyniki są charakterystyczne jedynie dla badanego układu diod bez radiatora, w temperaturze $t_0 = 20^\circ\text{C}$. W przypadku zastosowania radiatora, wartość prądu granicznego wzrośnie. Podobny efekt wystąpi w przypadku pracy diody w wyższych temperaturach. Dla temperatur przekraczających 50°C , efekt samo podgrzewania jest widoczny przy prądach przekraczających 8 mA.

Po uruchomieniu termostatu, nastawiano ciąg kolejnych temperatur w zakresie $20 - 150^\circ\text{C}$. Po osiągnięciu stanu ustalonego dokonywano pomiaru charakterystyk prądowo napięciowych. Przyjęto, że pomiary temperatury złącza będą wykonywane przy stałym napięciu o wartości 2,53 V. Na rysunku 3.7 pokazano charakterystykę prądu pomiarowego w funkcji temperatury.

Wyniki pomiarów diod TH5 były zbliżone. Charakterystyki widoczne na rysunku 3.7 są niemal liniowe, co jest zgodne z podstawami teoretycznymi fizyki półprzewodników. Charakterystyki przyjęto jako wskaźnik temperatury złącza PN podczas badań oporu cieplnego.

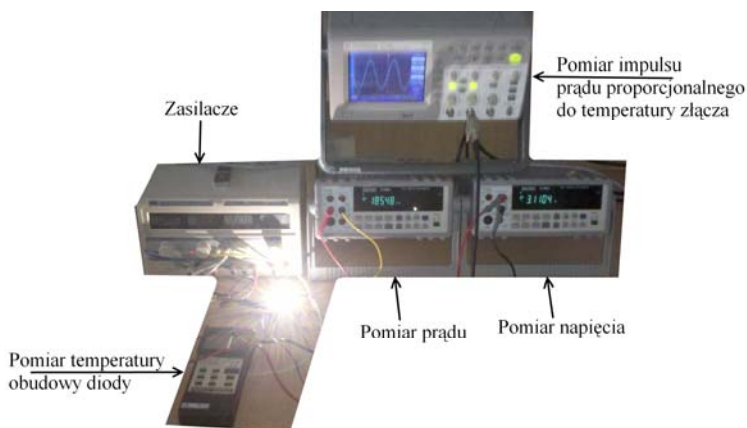
Podczas wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych z wykorzystaniem kalorymetru, trzy diody (z czterech badanych) uległy uszkodzeniu przy temperaturach z zakresu $118 - 125^\circ\text{C}$. W chwili uszkodzenia diody nie były obciążone prądowo, więc wyklucza się możliwość termicznych zniszczeń struktury na skutek przepływu prądu.

Fakt ten może świadczyć o wadliwej konstrukcji badanych diod. Rozszerzalność cieplna elementów diody powoduje występowanie nadmiernych naprężeń prowadzących do jej zniszczenia.



Rys. 3.7. Charakterystyka prądu w funkcji temperatury dla diod TH5

Posiadając komplet danych (3.1) wykonano badania rezystancji termicznej diod TH5. Wykonano badania trzech diod podczas normalnej pracy, przy prądach z zakresu 285 – 1075 mA. Diody umieszczono na miedzianym radiatorze, łącznie z termoelementem lutowanym bezpośrednio do punktu lutowniczego (rys. 3.4). Widok układu podczas pracy pokazano na rysunku 3.8.



Rys. 3.8. Badanie rezystancji termicznej diod TH5

W zależności od zadanych wartości prądów, temperatury obudów diod stabilizowały się na zróżnicowanych poziomach. W stanach ustalonych dokonywano odczytu temperatury obudowy diody, prądu i napięcia. Wartość prądu pomiarowego, proporcjo-

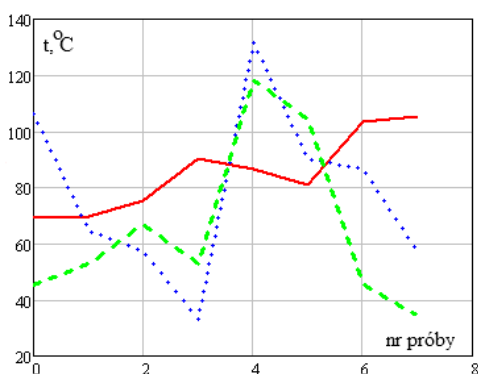
nalnego do temperatury złącza, dokonywana była w chwili przełączenia źródła napięcia na wartość 2,53 V, za pomocą oscyloskopu z soną prądową. Zmierzone wartości zaprezentowano w tabeli 3.2.

TABELA 3.2

Wyniki pomiarów wielkości do obliczeń rezystancji termicznej diod TH5

Temperatura obudowy, °C	Napięcie, V	Prąd, mA	Prąd pomiaru temperatury złącza, mA
55	3,4	650	3,5
56	3,41	653	3,52
65	3,42	671	3,8
77	3,49	798	4,6
71	3,47	775	4,4
64	3,45	734	4,1
78,5	3,53	880	5,3
78,9	3,52	986	5,4
79,3	3,54	903	5,45
46,7	3,37	592	3,3
37,7	3,37	586	3
24	3,17	285	1,6
83	3,62	1075	6,8
82,1	3,51	844	4,6
68,5	3,5	834	4,4
29,8	3,38	656	3
29,7	3,44	652	2,38
30	3,43	711	2,8
85,8	3,54	913	3,4
37,4	3,4	586	2,8
81,1	3,61	1097	6,1
104,5	3,65	923	5,35
67,5	3,35	591	2,4
42,9	3,27	285	1,7

Na podstawie charakterystyki skalowania złącza p-n, odczytano charakterystyczne wartości jego temperatury. Na rysunku 3.9 pokazano przebiegi temperatury złącz PN trzech badanych diod.



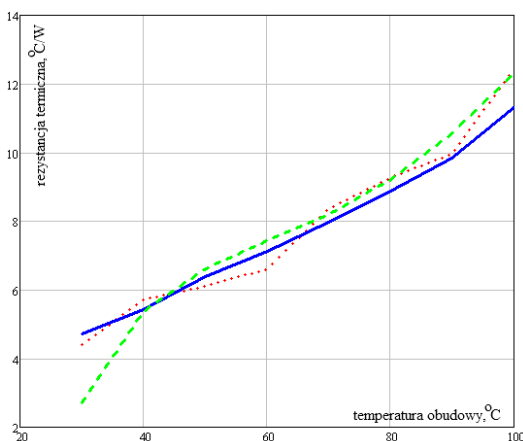
Rys. 3.9. Temperatury złącz PN badanych diod

Korzystając z podstawowej zależności (3.3) wyznaczono wartości rezystancji termicznych badanych elementów. Wyniki podano w tabeli 3.3 oraz na rysunku 3.10.

TABELA 3.3

Wyznaczone rezystancje termiczne

Dioda nr 1 Rezystancja termiczna, K/W	Dioda nr 2 Rezystancja termiczna, K/W	Dioda nr 3 Rezystancja termiczna, K/W
4,412	4,713	2,709
5,717	5,42	5,364
6,102	6,388	6,61
6,615	7,124	7,43
8,372	7,967	8,19
9,284	8,877	9,21
9,95	9,844	10,56
12,431	11,315	12,315

**Rys. 3.10. Rezystancje termiczne diod TH5 w funkcji temperatury**

Wyniki pomiarów rezystancji termicznej charakteryzują się dobrą zbieżnością, co świadczy o prawidłowości wykonanych badań. Podobnie, jak podczas pomiarów zaprezentowanych w punkcie 3.1, wartość rezystancji termicznych badanych diod wykazuje tendencję wzrostu wraz ze wzrostem temperatury. Wartości uzyskane w trakcie pomiarów są wyższe niż w karcie katalogowej [1].

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie wykonanych prac możliwe jest podanie następujących wniosków:

- rezystancja termiczna diod LED wykazuje silną zależność od temperatury. Wraz z jej wzrostem, rośnie również opór cieplny, co utrudnia oddawanie ciepła ze złącza p-n.

Charakterystyki rezystancji termicznych w funkcji temperatury, uzyskane przy wykorzystaniu dwóch wykorzystywanych metod, wykazują podobną tendencję, co świadczy o poprawności wykonanych pomiarów;

- wartości rezystancji termicznych są znacząco wyższe od deklarowanych przez producenta w karcie katalogowej [1];
- wartości rezystancji termicznych o wartościach zbliżonych do deklarowanych w karcie [1] uzyskano przy temperaturze złącza na poziomie 20°C, co jest wartością nieosiągalną w warunkach normalnej eksploatacji diod. Ponadto, wytwórca nie podał stosowanej informacji w karcie katalogowej;
- niezgodność zmierzonych rezystancji termicznych, z danymi katalogowymi, uniemożliwia skuteczny dobór układów chłodzenia diod;
- znaczna liczba badanych diod ulegała zniszczeniu w temperaturze bliskiej 120°C, bez obciążenia prądowego (przy nagrzewaniu w kalorymetrze). Fakt ten świadczyć może o wadzie konstrukcyjnej badanych diod.

LITERATURA

1. Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2006.
2. Hering M.: Termokinetyka dla elektryków. WNT, Warszawa 1980.
3. TH5 Data Sheet, TSMC, v. 1.0, June 2014.
4. Semiconductor and IN Package Thermal Metrics, Texas Instruments, July 2012.
5. Sofia J. W.: Fundamentals of Thermal Resistance Measurements, Analysis Tech., 1995.
6. Lasance C. J. M., Poppe A.: Thermal Management for LED Applications, Springer, New York, 2014.

Przyjęto do druku dnia 19.01.2016 r.

THERMAL RESISTANCE OF CHEAP LED DIODES AND PRECISION OF CATALOGUE DATA

Marcin WESOŁOWSKI,
Przemysław SKRZYPCZAK, Jacek HAUSER

ABSTRACT *Today's LEDs are characterized by high exploitation parameters. Both light intensities and efficiencies are the highest in the comparison to other light sources. However, in many cases, parameters given in application notes are impossible to reach. In the article, some aspects of thermal energy dissipation from p-n junctions were discussed. Some methods for the measurements of the thermal resistance of LED junctions were presented. The measurement results were compared to application data.*

Keywords: *LED, thermal resistance*