

# Wpływ temperatury na charakterystyki optyczne i elektryczne diod LED mocy

**Streszczenie.** Diody LED dużej mocy, których sprawność w ostatnim czasie znacząco wzrasta, znajdują zastosowanie w coraz to nowych aplikacjach. Ze względu na duże gęstości wydzielanej mocy, znaczącym problemem jest właściwe odprowadzanie ciepła generowanego w strukturze. Znajomość wpływu temperatury na zmiany charakterystyk optyczno-elektrycznych (luminancji, wydajności energetycznej, oraz temperatury barwowej światła), staje się w tym momencie ważnym zagadnieniem. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów charakterystyk optycznych i elektrycznych białych diod LED dużej mocy w szerokim zakresie temperatur otoczenia.

**Abstract.** Efficacy of high power LED diodes has risen substantially in last decade, this technological advancement has led to a rise of popularity of LED in many different applications. Due to high power density excited in said LEDs, proper heat management is a concern. Dependency of optical and electrical characteristics (luminance, luminous efficacy, and color temperature) on changes of temperature becomes an important factor. In the following article, measurement results of high power white LEDs optical and electrical characteristics in wide range of temperatures are presented. **Temperature influence on optical and electrical characteristics of power LED diodes.**

**Słowa kluczowe:** powerLED, cree, charakterystyki widmowe, zależności termiczne, skuteczność świetlna, LED mocy.

**Keywords:** powerLED, cree, spectral characteristics, thermal dependencies, luminous efficacy

doi:10.12915/pe.2014.09.23

## Wprowadzenie

Białe diody LED posiadają szereg zalet, w porównaniu z innymi źródłami światła: długość życia, mały pobór mocy, kompaktowe rozmiary i wytrzymałość mechaniczna. W ciągu ostatniej dekady osiągnięto znaczący wzrost skuteczności świetlnej białych diod LED. W 2002 roku firma Philips-Lumileds wprowadziła 5 W diodę Ledo skuteczności świetlnej rzędu 18-22 lm/W. W 2014 roku firma Cree produkuje seryjnie diody 10 W o skuteczności świetlnej 119 lm/W (osiągające strumień do 1198 lm przy prądzie 3 A) oraz lampy LED o strumieniu 8000 lm i skuteczności świetlnej 108 lm/W [1] zastępujące oświetlenie halogenowe. W laboratoriach tej firmy powstają diody, o skuteczności świetlnej ponad 300 lm/W (przy temperaturze barwowej 5150K), co daje sprawność energetyczną na poziomie 48% [2]. Przekracza to znacząco sprawność żarówek zwykłych, halogenowych, a nawet typu HID (Hyper Intensive Discharge), czyniąc diody LED najwydajniejszym źródłem światła spośród wszystkich dostępnych obecnie rozwiązań. Z tego względu białe diody LED znajdują szerokie zastosowania, poczynając od świateł pozycyjnych, drogowych i jazdy dziennej w samochodach, dużych wyświetlaczach typu backlight, a kończąc na oświetleniu roboczym i dekoracyjnym. Zastosowania te stawiają duże wymagania, co do stałości natężenia oświetlenia, jego widma i bezawaryjności pracy. Wszystkie te parametry zależą od temperatury struktury półprzewodnikowej.

W związku z wysoką wartością gęstości wydzielanej mocy, rzędu 10 W na powierzchni 8 mm<sup>2</sup>, znaczącym problemem jest odprowadzenie ciepła. Producenci najczęściej montują diody LED dużej mocy na podstawkach typu Star PCB o dobrej przewodności cieplnej i stosują kleje termoprzewodzące zawierające sproszkowane srebro, a w niektórych przypadkach proszek diamentowy.

Celem pracy jest przedstawienie przykładowych wyników badań wpływu temperatury na charakterystyki elektryczne i optyczne wybranych typów białych diod LED, przydatnych do celów oświetleniowych. Obszerny zestaw wyników znajduje się w raporcie [7]. Podobne zagadnienia prezentowano w pracach [3-6], jednak materiał tam prezentowany odnosił się do struktur diodowych emitujących określoną barwę (czyli o wąskim widmie).

Wyniki prezentowane w cytowanych pracach pokazują, że przy wzroście temperatury następuje zmniejszanie strumienia emitowanego światła oraz przesunięcie

charakterystyki widmowej w stronę większych długości fali. Przesunięcie charakterystyki widmowej wynika z zależności szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika od temperatury. Zmniejszanie strumienia świetlnego przy danej mocy zasilania diody powoduje obniżenie skuteczności świetlnej i jest tłumaczone zwiększaniem szybkości rekombinacji niepromienistych [4, 5], większym prawdopodobieństwem opuszczania przez nośniki obszaru potencjalnych rekombinacji [3, 4] oraz zwiększaniem absorpcji światła w strukturze półprzewodnikowej przy wzroście temperatury [5].

## Pomiary charakterystyk elektrycznych i optycznych

Badaniami objęto kilka typów białych diod LED dostępnych komercyjnie. Stanowisko pomiarowe zawiera:

- komorę temperaturową FEUTRON umożliwiającą ustalanie temperatury w zakresie od -40°C do 180°C z dokładnością do 0,1°C;
- multimetry Agilent (8½ cyfry) oraz Fluke (5½ cyfry);
- termometr HartScientific 1522 z sondą termistorową FLUKE (-200°C do 120°C, o dokładności 0,001°C);
- spektrometr CS2000A firmy Konica-Minolta;
- kulę Ulbrichta zgodną z normą JIS C8152.

Badane diody mocowano na radiatorze A4062 o długości 10 cm, o temperaturze powierzchni kontrolowanej za pomocą termometru HartScientific. Pomiary przeprowadzono dla temperatury otoczenia od -30°C do 90°C, umieszczając diody w komorze temperaturowej. Światło emitowane przez diodę było wyprowadzane do spektrometru przez przepust rurowy w bocznej ścianie komory, oraz tunel z materiału pochłaniającego światło, jednak nie wprowadzającego zmian w widmie.

Przeprowadzone pomiary podzielono na następujące grupy: (a) charakterystyki prądowo-napięciowe, (b) zależność charakterystyk widmowych (radiacja spektralna w funkcji długości fali) od prądu zasilania diod oraz temperatury otoczenia, (c) zależność temperatury barwowej światła od prądu zasilania diod oraz temperatury otoczenia, (d) zależność skuteczności świetlnej od prądu zasilania oraz temperatury otoczenia.

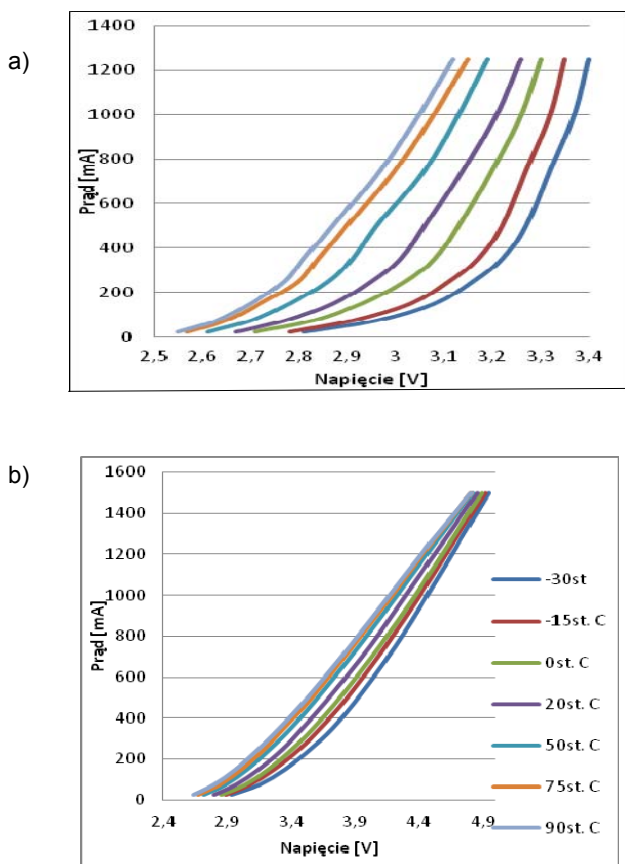
Zależności z grupy (d) wyznaczano pośrednio – za pomocą kuli Ulbrichta wyznaczono całkowitą luminancję  $L_v$  dla każdej z badanych diod w temperaturze pokojowej dla

wartości prądu przewodzenia równej 350 mA. W celu obliczenia wartości strumienia świetlnego  $\Phi$  posłużono się diodą uznaną za wzorcową (biała dioda LED firmy Cree o znanym strumieniu świetlnym  $\Phi_{REF}$  dla 350 mA). Przeliczenia wartości luminancji całkowitej  $L_V$  na wielkość strumienia świetlnego  $\Phi$  dokonano za pomocą następującego wzoru:

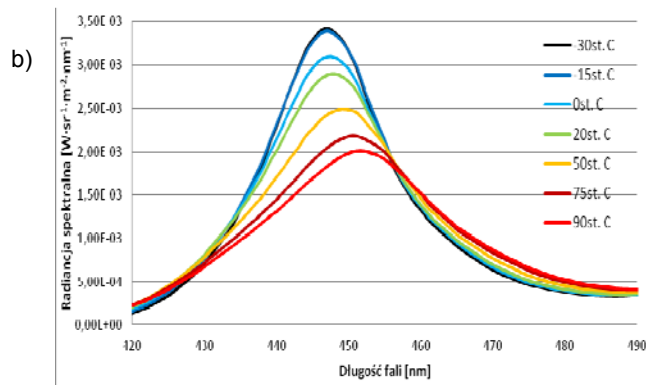
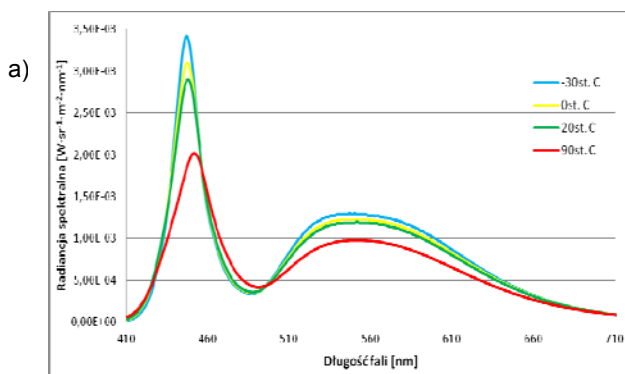
$$(1) \Phi_{LED} = \frac{L_{VLED}}{L_{VREF}} \times \Phi_{REF} \Big|_{I=350mA; T=20^{\circ}C}$$

Wartości luminancji  $L_V$  w zależności od prądu przewodzenia oraz temperatury otoczenia uzyskane w drodze pomiarów przelicza się na wielkość strumienia świetlnego  $\Phi$  w analogiczny sposób.

Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe diod HPD8b-49K3WGA oraz Cree XP-G pokazano na rysunku 1 a) i b).



Rys.1. Charakterystyki prądowo-napięciowe diod w różnych temperaturach otoczenia (a) – dioda Cree XP-G, (b) – dioda HPD8b-49K3WGA



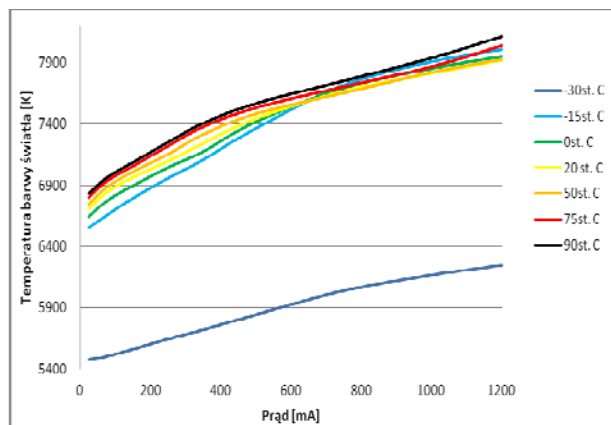
Rys. 2. Charakterystyki widmowe diody Cree XP-G w różnych temperaturach otoczenia (a) – pełen zakres widma, (b) – zakres widma w którym występuje maksimum emisji

Zwracają uwagę wyraźnie większe spadki napięcia na diodzie HPD8b-49K3WGA niż dla XP-G przy danym prądzie zasilania. Można to tłumaczyć większymi wartościami pasożytniczej rezystancji szeregowej  $R_S$  diod HPD. Potwierdzeniem tego wniosku są mniejsze wartości bezwzględne termicznego współczynnika zmian napięcia  $\gamma_T$

$$(2) \gamma_T = \frac{dV_F}{dT} \Big|_{I=const}$$

obserwowane dla diod HPD. Jak wiadomo [8], spadek napięcia w idealnym złączu p-n maleje, a spadek na rezystancji szeregowej  $R_S$  rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Przy wzroście  $R_S$ , wartość bezwzględna wypadkowego współczynnika  $\gamma_T$  staje się mniejsza. Na podstawie przebiegu charakterystyk prądowo-napięciowych można oczekiwać, że diody Cree XP-G będą miały większą sprawność energetyczną i skuteczność świetlną niż diody HPD8b-49K3WGA, gdyż większa wartość rezystancji pasożytniczej  $R_S$  oznacza większe straty mocy.

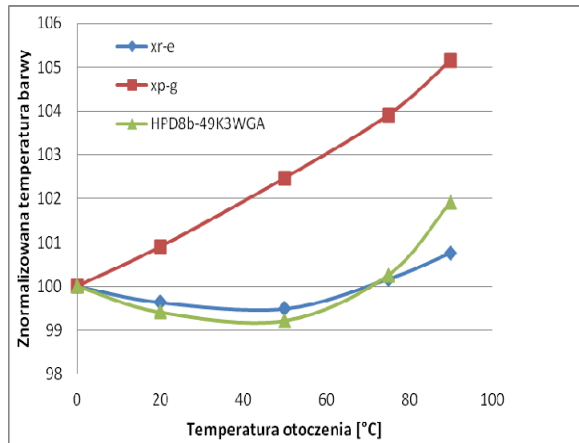
Na rysunkach 2 a) i b) przedstawiono przebieg zależności wartości radiacji spektralnej od długości fali przykładowej diody LED XP-G dla różnych temperatur otoczenia. Podobnie jak w pracach [3-6], zaobserwowano zmniejszanie intensywności emitowanego światła i przesunięcie charakterystyk widmowych „ku czerwieni” przy wzroście temperatury otoczenia.



Rys. 3. Zależność temperatury barwy światła diody Cree XR-E od natężenia prądu dla różnych temperatur otoczenia

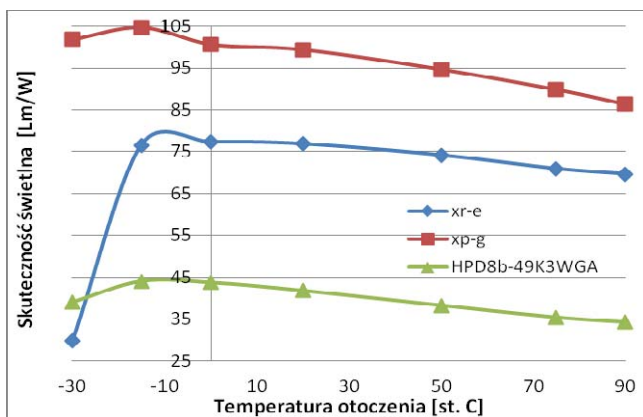
Charakterystyki pokazane na rysunku 3, przedstawiają zależność temperatury barwowej światła wybranej diody (XR-E firmy Cree) od natężenia prądu przy różnych

temperaturach otoczenia. Widoczny jest wzrost temperatury barwowej przy wzroście prądu zasilania. Charakterystyki otrzymane dla temperatur od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $90^{\circ}\text{C}$  różnią się nieznacznie, natomiast dla temperatury  $-30^{\circ}\text{C}$  otrzymuje się wyraźnie niższe wartości temperatury barwowej. Porównanie znormalizowanych zależności temperatury barwowej od temperatury otoczenia, przy prądzie zasilania  $I = 350\text{ mA}$ , dla trzech typów białych diod przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zależność znormalizowanej temperatury barwy światła diod Cree XR-E, Cree XP-G oraz HPD8b-49K3WGA od temperatury otoczenia dla prądu przewodzenia 750 mA

Rysunek 5 przedstawia skuteczność świetlną (wyrażoną w  $\text{lm/W}$ ) dla trzech białych diod LED w zależności od temperatury otoczenia. Wartości skuteczności świetlnej w przedziale temperatur od  $-15^{\circ}\text{C}$  do  $90^{\circ}\text{C}$  obniżają się wraz ze wzrostem temperatury, co zgodne jest z danymi z literatury [3-6]. Zgodnie z wnioskami z pomiarów charakterystyk elektrycznych, dioda XP-G wykazuje wyraźnie wyższą skuteczność świetlną niż dioda HPD8B-49K3WGA. Jednakże w przedziale temperatur od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $-15^{\circ}\text{C}$  zauważalny jest wzrost skuteczności świetlnej wraz ze wzrostem temperatury, szczególnie widoczny dla diody Cree XR-E.



Rys. 5. Zależność sprawności świetlnej diod Cree XR-E, Cree XP-G oraz HPD8b-49K3WGA od temperatury otoczenia dla prądu przewodzenia równego 750 mA

## Podsumowanie i wnioski

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów zależności charakterystyk optycznych i elektrycznych białych diod LED dużej mocy od temperatury otoczenia zmieniającej się w szerokim zakresie od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+90^{\circ}\text{C}$ . Zależność temperatury barwowej światła oraz skuteczności świetlnej od temperatury otoczenia (a w szczególności jej nieliniowy charakter) powoduje, że zmiany tych parametrów muszą być brane pod uwagę na etapie projektowania systemów oświetleniowych. Zmiany w widmie mogą powodować zafałszowanie kolorów obiektów obserwowanych pod oświetleniem białych diod LED, zaś zmiany skuteczności świetlnej mogą wpływać negatywnie na bezpieczeństwo np. w zastosowaniach komunikacyjnych.

Dalsze plany prac obejmują: badanie diod kolorowych, ze szczególnym uwzględnieniem diod niebieskich (długości fali świetlnej rzędu 425-475 nm) będących częścią składową białych diod LED. Celem badań będzie określenie wpływu temperatury i prądu przewodzenia diody na jej charakterystyki optyczne, oraz modelowanie tych zmian, a także badanie wpływu temperatury na parametry optyczne luminoforu (w szczególności widmo i intensywność światła emitowanego przy pobudzeniu) wykorzystywanego podczas produkcji diod LED mocy.

## LITERATURA

- [1] Materiały prasowe firmy Cree - Cree Introduces Industry's First 8000-Lumen LED Module
- [2] Materiały prasowe firmy Cree - Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier
- [3] Chul Huh, et al., Temperature dependence of performance of InGaN/GaN MQW LEDs with different indium compositions, *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 25, No. 2, 02.2004
- [4] Cao X.A., LeBoeuf S.F., Stecher T.E., Temperature-dependent electroluminescence of AlGaIn-based UV LEDs, *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 27, No. 5, 05.2006
- [5] Weling Guo, Xuejiano Jia et al, Characteristics of high power LEDs at high and low temperature, *Journal of semiconductors*, Vol. 32, No. 4, 04.2011
- [6] Spagnolo G. S., Papalillo D., Martocchia A., LED applications in railway signs: wavelength and intensity vs temperature variation, *Journal of transportation technologies*, (2012), 2, 78-83
- [7] Raport badawczy – Pomiaru charakterystyk optycznych i elektrycznych diod LED, Katedra Systemów Elektronicznych Politechniki Koszalińskiej 03.2014
- [8] Janke W., Zjawiska termiczne w elementach i układach półprzewodnikowych, WNT, Warszawa 1992

**Autorzy:** dr inż. Maciej Oleksy, E-mail: [oleksy@ie.tu.koszalin.pl](mailto:oleksy@ie.tu.koszalin.pl), dr inż. Jarosław Kraśniewski, E-mail: [krasniew@ie.tu.koszalin.pl](mailto:krasniew@ie.tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Włodzimierz Janke, E-mail: [wjanke@man.koszalin.pl](mailto:wjanke@man.koszalin.pl), Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki, ul. JJ Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin.