

Diody LED o dużej mocy

Diody elektroluminescencyjne przeszły długą drogę rozwoju od miniaturowych źródeł światła stosowanych w sprzęcie elektronicznym głównie do sygnalizacji i w celach ozdobnych, aż do konkurentów świetlówek i żarówek. I chociaż pewną przeszkodą w dalszym rozwoju są typowe wady materiału półprzewodnikowego objawiające się także w innych komponentach, to ich sprawność i moc stale rośnie.

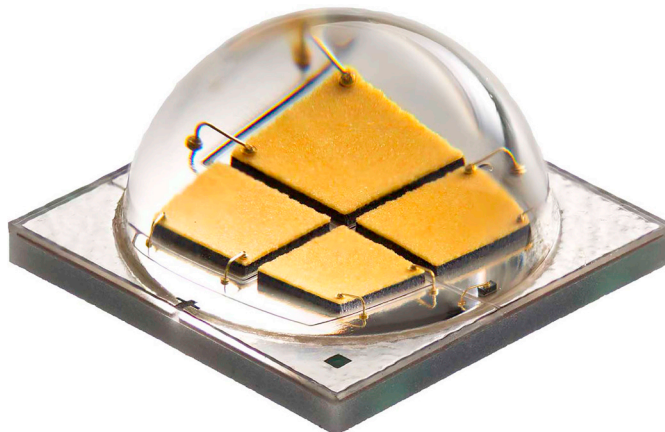
Coraz częściej diody LED są stosowane w aplikacjach, w których nie spodziewalibyśmy się ich jeszcze kilka lat temu. Wśród takich zastosowań wymienilibym chociażby reflektory samochodowe, gdzie nie tylko oświetlają drogę, ale dają też możliwości kształtowania plamy światła przed pojazdem poprzez zmianę jasności świecenia albo poszczególnych diod, albo całych ich sekcji. Dzięki odporności na uderzenia i wibracje, miniaturowym wymiarom i dużej skuteczności świetlnej dają też możliwość tworzenia niepowtarzalnych aranżacji, podświetlenia detali architektonicznych i inne. Myślę jednak, że o tym już nikogo nie trzeba przekonywać, ponieważ wystarczająco dużo przykładów widać w naszym otoczeniu.

Nowe diody LED mocy mają skuteczność świetlną wynoszącą ok. 40 lm/W i charakteryzują się trwałością sięgającą nawet 50 tys. godzin. Ta trwałość jest jednak silnie związana z temperaturą struktury półprzewodnikowej i razie źle wykonanej aplikacji lub niewłaściwych warunków użytkowania może ona ulec znacznej degradacji.

W artykule zaprezentujemy wybrane diody LED o dużej mocy oraz zagadnienia związane z ich aplikacją. Zwykle moc pojedynczych diod LED nie jest duża i sięga 5 W. Jeśli w danych katalogowych jest mowa o większej mocy, to mamy do czynienia z zespołem złożonym z kilku struktur lub panelem LED. Współcześnie spotyka się takie zespoły mające moc nawet powyżej 600 W! W nomenklaturze przyjęło się, że diodą LED mocy nazywa się takie komponenty, które mają moc większą od 0,8 W. Do zasilania pojedynczej, świecącej na biało diody LED mocy trzeba dostarczyć prąd o natężeniu do około 1,7 A przy napięciu (typowo) 2,8...3,1 V. Wymusza to określone rozwiązanie układu zasilania.

Można zaryzykować twierdzenie, że w elektronice im mniej elementów dyskretnych używa się do wykonania urządzenia, tym większa jest jego niezawodność. Starzy inżynierowie mawiali, że „im prościej, tym lepiej”. Co prawda nie zawsze przekłada się to np. na uzyskanie największej sprawności energetycznej, ale na pewno w ten sposób wzrasta całkowita niezawodność urządzenia. Wróćmy jednak do diod elektroluminescencyjnych.

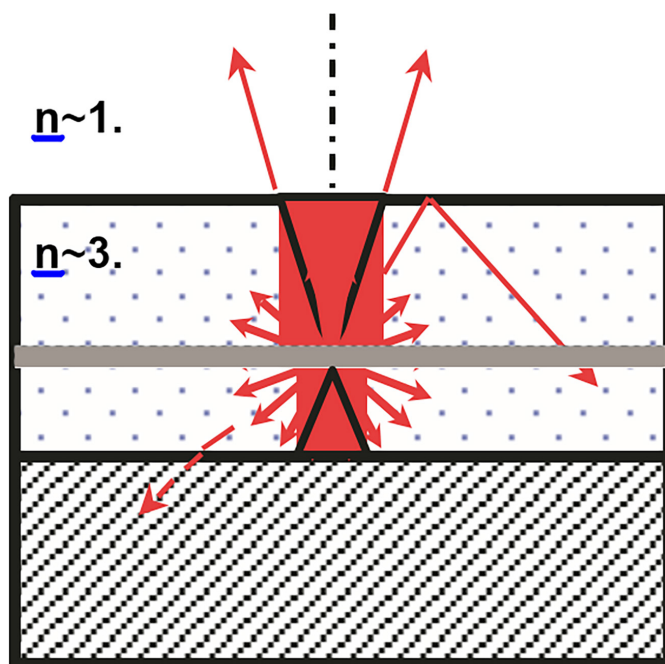
Jak łatwo się domyślić, im jest większy prąd zasilania LED, tym większa moc tracona w jego strukturze. Ta moc zamienia się w ciepło i musi być w jakiś sposób rozproszona, co rodzi określone problemy konstrukcyjne. Przy mocy źródła światła dochodzącej do kilkunastu watów, radiator może stanowić jego obudowa. Zwykle diody LED mocy mogą pracować w temperaturze do 85°C, co umożliwia stosowanie takich uproszczonych rozwiązań. Jednak co zrobić, jeśli obudowa nie wystarczy? W ofercie wielu dystrybutorów komponentów obok samych diod LED mocy można znaleźć specjalne rozwiązania służące do ich chłodzenia, na przykład – radiator z wentylatorem. Co prawda, przydadzą się one głównie do zastosowań „stacjonarnych”, na przykład do rzutników lub lamp ulicznych, ze względu na wymiary i cenę. Niestety, pomimo oczywistych zalet stosowanie takich urządzeń chłodzących znacznie podwyższa koszt gotowej



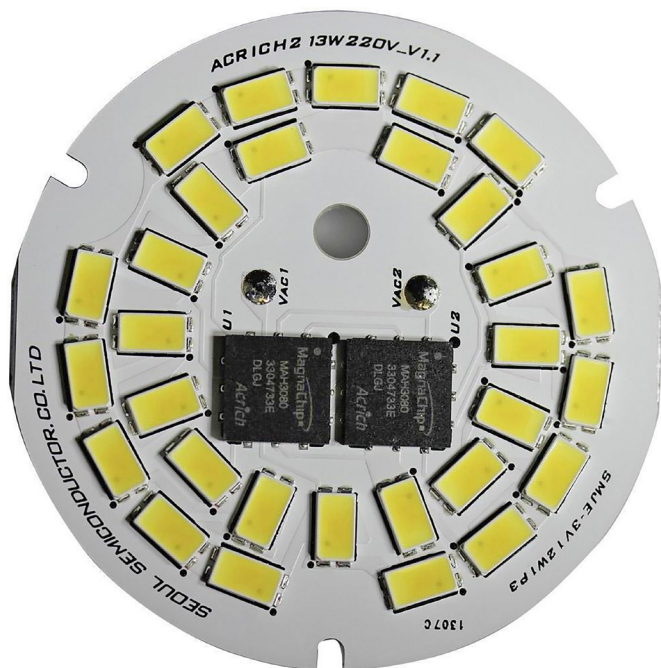
aplikacji oświetleniowej, obniża jej niezawodność i komfort użytkowania (szum wentylatora) oraz może wymagać stosowania dodatkowych układów scalonych np. do regulowania prędkości obrotowej wentylatora. Dlatego też producenci LEDów dążą przede wszystkim do uzyskania jak największej skuteczności świetlnej niekoniecznie rozwijając technologie umożliwiające wzrost mocy pojedynczych źródeł światła. Wszak wtedy, gdy jest to potrzebne, można zastosować panel świetlny lub w pojedynczej obudowie diody zamknąć większą liczbę struktur. Muszę jednak w tym momencie podkreślić, że prezentuję tu własne zdanie, a tymczasem w laboratoriach badawczych mogą trwać prace, które przekraczają granice wyobraźni.

Ogólna zasada działania diod LED

Jak wspomniano, projektując diody elektroluminescencyjne dąży się przede wszystkim do uzyskania możliwie dużej skuteczności świetlnej. Sprawność emisji promieniowania (i pośrednio skuteczności świetlnej) jest ograniczona głównie przez zjawisko absorpcji promieniowania w półprzewodniku i występowanie odbicia wewnętrznego promieni na granicy półprzewodnik – powietrze. Na **rysunku 1**



Rysunek 1. Zjawisko absorpcji i odbicia wewnętrznego w złączu p-n [1]



Moduł świecący Seoul Semiconductor SMJEA3022220

pokazano w sposób poglądowy zjawisko absorpcji i odbicia wewnętrznego w złączu p-n.

W obszarze typu p promieniowanie jest silniej absorbowane przez półprzewodnik niż w obszarze typu n . Promieniowanie będzie ulegało całkowitemu odbiciu wewnętrznemu, jeżeli kąt, pod jakim pada na granicę półprzewodnik-powietrze, jest większy od kąta granicznego θ_c . Ponieważ materiały półprzewodnikowe charakteryzują się dużymi współczynnikami załamania światła, więc kąty graniczne θ_c są małe. W celu ograniczenia liczby wewnętrznych odbić światła w półprzewodniku (a tym samym zwiększyć skuteczność świetlną diody), zwiększa się wartość kąta granicznego na przykład poprzez stosowanie soczewek z tworzywa sztucznego lub materiału półprzewodnika.

Kulista soczewka wykonana z półprzewodnika powoduje, że promieniowanie generowane w obszarze złącza pada na granicę półprzewodnik-powietrze zawsze pod kątem mniejszym niż kąt graniczny i nie ulega całkowitemu odbiciu wewnętrznemu. Soczewka tego typu nie ma zdolności skupiających, a dioda emituje promieniowanie w półpełnym kącie brylowym. Soczewka z tworzywa sztucznego ma większy współczynnik załamania światła niż powietrze w związku, z tym zwiększa się kąt graniczny całkowitego odbicia wewnętrznego w półprzewodniku. Tworzywo ukształtowane w soczewkę sprawia, że promieniowanie pada na granicę tworzywo – powietrze zawsze pod kątem mniejszym od kąta granicznego. Soczewka powoduje jednocześnie skupienie wiązki światła. Kształt diody elektroluminescencyjnej mają bardzo duży wpływ na jej własności użytkowe. W niektórych konstrukcjach diod stosuje się reflektory odbijające światło, dzięki czemu znacznie wzrasta ich skuteczność świetlna. Zwykle światło, które kierowane jest w dolną część diody jest tracone. Umieszczenie reflektora na dole diody powoduje jego odbicie i skierowanie w stronę okna wyjściowego.

Diody elektroluminescencyjne mają dwa kontakty elektryczne. Są one tak wykonywane, aby nie zwiększały rezystancji szeregowej diody i nie utrudniały emisji światła ze złącza. Te dwa wymagania mała rezystancja i małe pochłanianie światła są ze sobą sprzeczne i wymagają projektów optymalizacyjnych. Jedną z popularniejszych konstrukcji kontaktów jest taka, że jeden kontakt wykonany jest na półprzewodniku typu n i pokrywa całą powierzchnię struktury. Ten kontakt montuje się na radiatorze. Drugi kontakt wykonany jest na półprzewodniku typu p i pokrywa jak najmniejszą część struktury. Kontakt ten ma różne kształty np. paska umieszczonego na krawędzi struktury lub przechodzącego przez środek, kilku pasków pokrywających strukturę lub inny kształt tak dobrany, aby pokrywał jak najmniejszą część struktury (zapewnienie dużej przepuszczalności światła) i odprowadzał jak największą ilość ciepła [1].

Stosowane w oświetleniu diody LED mogą świecić na biało na dwa sposoby. Pierwszy i raczej rzadziej stosowany jest taki, że światło białe jest uzyskiwane na skutek mieszania podstawowych barw światła ze struktur R, G i B. Wadą tej metody jest trudność uzyskania jednorodnego odcienia światła. Drugim sposobem jest wykorzystanie promieniowania nadfioletowego służącego do wzburzenia luminoforu. Ta

metoda, podobna do stosowanej w świetłówkach, jest prostsza i tańsza, ale też jednocześnie mniej wydajna, ponieważ promieniowanie nadfioletowe o dużej energii jest przetwarzane na światło widzialne. Jak łatwo domyślić się, nie całe promieniowanie ulega zamianie – część jest rozpraszana i absorbowana przez luminofor. Diody wykorzystujące tę zasadę działania mają lepszy współczynnik oddawania barw, ale też jednocześnie charakteryzują się mniejszą skutecznością świetlną.

Obie opisywane metody są stosowane i przydatne w różnych zastosowaniach, obie mają swoje wady i zalety. Ta druga przyda się szczególnie wtedy, gdy w aplikacji są używane diody RGB świecące różnymi kolorami, w tym białym.

Wybrane diody LED dużej mocy

Rosnąca popularność diod LED spowodowała dosłownie eksplozję liczby zakładów produkcyjnych. Dlatego też nie sposób dokonać pełnego przeglądu produktów dostępnych na rynku. W tabelach 1...3

Tabela 1. Wybrane, białe diody elektroluminescencyjne Z-Power z oferty firmy Seoul Semiconductor

Typ	Moc [W]	Uf [V]	Strumień [lm]	CCT	CR	If [mA]	Kąt [°]
SZ5-M2-WW-C9	5,2	2,9	124	3,000	90	350	118
SZ5-M2-W0-C8	5,2	2,9	167	5,000	80	350	118
SZ5-M2-WW-00	5,2	2,9	165	3,000	70	350	118
SZ5-M2-WN-C8	5,2	2,9	153	4,000	80	350	118
SZ5-M2-WW-C8	5,2	2,9	147	3,000	80	350	118
SZ5-M2-WN-00	5,2	2,9	182	4,000	70	350	118
SZ5-M2-W0-00	5,2	2,9	185	5,000	70	350	118
SZ5-M1-WW-C8	5,2	2,95	128	3,000	80	350	118
SZ5-M1-WN-C8	5,2	2,95	142	4,000	80	350	118
SZ5-M1-WN-00	5,2	2,95	156	4,000	70	350	118
SZ5-M1-W0-00	5,2	2,95	158	5,300	70	350	118
SZ5-M1-W0-C8	5,2	2,95	150	5,300	75	350	118
SZ5-M0-WN-C9	Max 5.2	2.95	95	4,000	Min.90	350	120
SZ5-M0-WW-C9	Max 5.2	2.95	93	2,700	Min.90	350	120
SZ5-M0-WW-C8	Max 5.2	2.95	116	3,000	Min.80	350	120
SZ5-M0-WN-C8	Max 5.2	2.95	122	4,000	Min.80	350	120
SZ5-M0-WN-00	Max 5.2	2.95	140	4,000	Min.70	350	120
SZ5-M0-W0-C8	Max 5.2	2.95	135	5,300	Min.80	350	120
SZ5-M0-W0-00	Max 5.2	2.95	142	5,300	Min.70	350	120

Tabela 2. Wybrane diody elektroluminescencyjne z oferty CREE

Typ	Wymiary [mm×mm]	Strumień [lm]	Moc [W]	Skuteczność [lm/W]
XLamp XH-G	3×3	115	1	186
XLamp XQ-A	1,6×1,6	89	1	118
XLamp XQ-B	1,6×1,6	103	1	147
XLamp ML-E	3,5×3,4	58	1,6	123
XLamp MX-3	6,5×6	152	2	94
XLamp XP-C	3,45×3,45	138	2	96
XLamp XR-C	7×9	78	2	70
XLamp XQ-D	1,6×1,6	225	2,3	128
XLamp XB-D	2,45×2,45	309	3	128
XLamp XP-E2	3,45×3,45	283	3	137
XLamp XQ-E	1,6×1,6	334	3	128
XLamp XQ-E High Intensity	1,6×1,6	334	3	128
XLamp XP-E High-Efficiency White	3,45×3,45	349	3,3	141
XLamp XP-E	3,45×3,45	307	3,5 W	122 lm/W
XLamp XP-E2 Torch	3,45×3,45		3,5 W	103 lm/W
XLamp XT-E High-Voltage White	3,45×3,45	357	3,5 W (48 V)	146 lm/W
XLamp MX-6	6,5×6	339	4 W	123 lm/W
XLamp XR-E	7×9	251	4 W	99 lm/W
XLamp XB-H	2,45×2,45	550	5 W	148 lm/W
XLamp XP-G	3,45×3,45	493	5 W	146 lm/W
XLamp XP-G2	3,45×3,45	586	5 W	176 lm/W
XLamp XT-E Royal Blue	3,45×3,45		5 W	
XLamp XT-E White	3,45×3,45	629	5 W	178 lm/W
XLamp XM-L High-Voltage White	5×5	647	6 W	138 lm/W
XLamp XP-G3	3,45×3,45	777	6 W	190 lm/W
XLamp XM-L	5×5 mm	1040	10 W	158 lm/W
XLamp XM-L2	5×5 mm	1052	10 W	170 lm/W
XLamp XP-L	3,45×3,45	1150	10 W	161 lm/W
XLamp XP-L High Intensity	3,45×3,45	1095	10 W	136 lm/W
XLamp XP-L2	3,45×3,45	1175	10 W	169 lm/W
XLamp XHP35	3,45×3,45	1833	13 W	172 lm/W
XLamp XHP35 High Intensity	3,45×3,45	1483	13 W	139 lm/W

Tabela 3. Wybrane diody elektroluminescencyjne z oferty OSRAM Semiconductors

Typ diody	Moc [W]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Barwa światła
GOLDEN DRAGON	1,2	20	bursztynowa
GOLDEN DRAGON	1,2	20	żółta
GOLDEN DRAGON	1,4	48	bursztynowa
GOLDEN DRAGON	1,4	41	czerwona
GOLDEN DRAGON	1,4	34	żółta
GOLDEN DRAGON	2,3	6	niebieska
GOLDEN DRAGON	2,3	20	zielona
GOLDEN DRAGON	2,3	21	zielona
GOLDEN DRAGON	2,0	17	niebieska
GOLDEN DRAGON	2,0	54	zielona
GOLDEN DRAGON	2,3	21	biała
PLATINUM DRAGON	3,4	47	bursztynowa
PLATINUM DRAGON	3,4	38	czerwona
PLATINUM DRAGON	3,4	21	żółta
PLATINUM DRAGON	4,6	33	zielona
OSTAR	8	38	biała (5600 K)

zamieszczono przegląd wybranych produktów firm Seoul Semiconductors, CREE i OSRAM Semiconductors. Oprócz nich w bogatej ofercie polskich dystrybutorów można spotkać produkty takich firm, jak: Ciztizen, Vishay, Toshiba, Sharp, Lumileds, Dialight, Kingbright, Liteon i wielu innych. Nie sposób dokonać pełnego przeglądu w ramach tego artykułu, a z kolei tworzenie tabel z parametrami też nie bardzo ma sens. Wybierając diody LED do konkretnej aplikacji najłatwiej jest – mając określone kryteria wyboru – skorzystać z selektora produktów dostępnego na każdej stronie internetowej dystrybutora czy producenta.

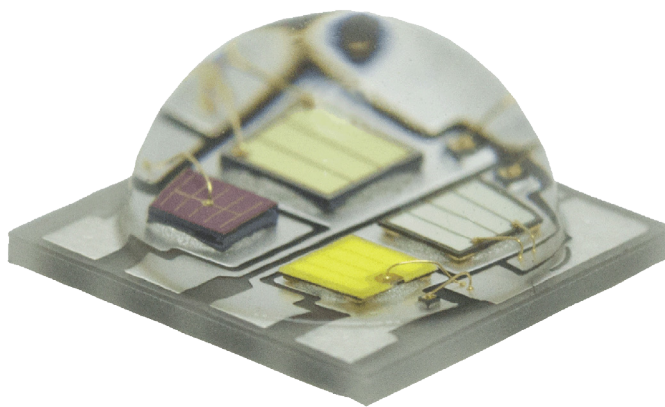
Zasilanie diod LED mocy

Obszerny artykuł dotyczący sposobów zasilania diod LED mocy zamieściliśmy w EP 9/2015, a także w innych wydaniach, ponieważ na łamach czasopiśma często zajmujemy się tematyką oświetlenia LED. Osoby zainteresowane rozszerzeniem wiedzy zachęcam do skorzystania ze strony internetowej <http://www.ep.com.pl>, na której jest dostępne archiwum zawierające wszystkie wydania Elektroniki Praktycznej od 1993 r.

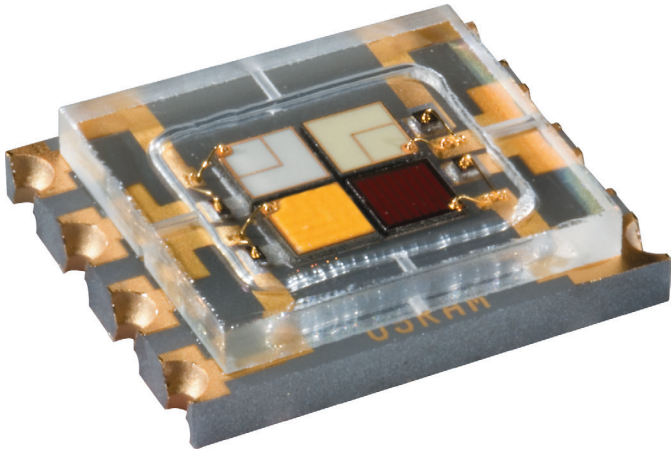
Przy konstruowaniu zasilaczy do oświetlenia LED główne znaczenie mają dwa trendy. Pierwszy z nich to dobór podzespołów pod kątem uzyskiwanej jak największej

sprawności energetycznej. Dąży się do uzyskania sprawności przewyższającej 90% w normalnych warunkach eksploatacji. Drugim trendem, na który konstruktor-elektronik musi zwrócić szczególną uwagę, jest dobór podzespołów zasilacza i źródła światła pod kątem cena gotowego rozwiązania. Jeśli dla przykładu, projektowane urządzenie ma zastąpić typową żarówkę, to jego zastosowanie musi się po prostu opłacać.

Do zasilania diody LED jest wymagane źródło prądowe. Mówiąc o źródle prądowym do zasilania LED często słyszałem pytanie: „A czy



Diody mocy 10 W SemiLEDs-M63-RGBW-LED



Dioda świecąca OSTAR RGB firmy OSRAM

nie można poprzez rezystor?”. Oczywiście – można, zwłaszcza w wypadku stosowania diod zasilanych niedużym prądem. Więc dlaczego stosuje się tak skomplikowane układy zasilania? Ze względu na co najmniej dwa powody. Pierwszym z nich jest oczywiste marnowanie mocy wydzielanej na rezystorze. Jeśli mamy do czynienia z diodą PowerLED o mocy np. 1 W i napięciu progowym 2 V, to do jej zasilania będzie wymagane około 0,5 A. Jeśli źródło zasilania będzie dostarczało napięcie 3 V, to na rezystorze zabezpieczającym przed przekroczeniem prądu stracimy około 0,5 W, co znacznie zdegraduje sprawność zasilacza.

Drugi powód jest związany z parametrami samej diody. Zależność pomiędzy natężeniem prądu płynącego przez diodę a intensywnością jej świecenia jest liniowa lub bliska liniowej, natomiast charakterystyka przejściowa samej diody jest bardzo stroma i wykazuje – w obrębie tego samego typu – pewien rozrzut parametrów. Ponadto, napięcie progowe będzie zmieniało się w funkcji temperatury – będzie tym niższe, im wyższa będzie temperatura złącza. Nawet niewielka różnica napięcia progowego, jeśli dioda jest zasilana ze źródła o stabilizowanym napięciu, może wywołać widoczną różnicę jasności świecenia, ponieważ źródło napięciowe stabilizujące swoje napięcie wyjściowe nie będzie starało się podwyższyć go lub obniżyć, aby ustalić odpowiednią jasność świecenia diody. Tę zdolność ma jedynie źródło prądowe, które będzie się „starało”, aby prąd wyjściowy był stały i przez to jasność świecenia diody będzie na właściwym poziomie. Oczywiście, liniowe rozwiązania źródeł prądowych również wymagały rezystora i przez to miały małą sprawność, jednak zostały one współcześnie praktycznie wyparte przez zasilacze impulsowe, które mają szereg zalet.

Podsumowanie

Technologia źródeł światła LED jest trendem, który będzie rozwijał się teraz i w najbliższej przyszłości. Należy spodziewać się, że rozwinięciem technologii wyświetlaczy złożonych z diod LED, a to pociągnie za sobą dalszy postęp i obniżanie się cen rozwiązań. Ten przegląd nie wyczerpuje wszystkich aspektów, a jedynie sygnalizuje pewne trendy i zawiera podstawowe informacje związane z aplikacjami LED. Mam nadzieję, że będzie pomocną wskazówką dla konstruktora, który będzie poszukiwał rozwiązań dla projektowanej aplikacji.

Jacek Bogusz, EP

Literatura:

1. Andrzej Wiśniewski „Diody elektroluminescencyjne (LED) dużej mocy”, *Przegląd Elektrotechniczny* nr 5/2007
2. <https://goo.gl/4oR2vG>
3. <https://goo.gl/LOYARx>
4. Jacek Bogusz „Zasilanie diod LED”, *Elektronika Praktyczna* 9/2014, <https://goo.gl/6Pz78A>

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

na facebook