

Co to jest dioda LED?

Dr inż. Marcin Krysiński, MBA

Wszelkie prawa do niniejszej publikacji zastrzeżone. Wykorzystanie we fragmentach lub całości bez pisemnej zgody autora zabronione.

Łódź, październik 2009



Alfa-Zeta Sp. z o.o.
ul. Starorudzka 6a
93-418 Łódź



tel. +48 42 689 12 00
tel. +48 42 689 12 01
tel. +48 42 689 12 02
fax +48 42 689 12 03



<http://www.alfazeta.pl>
<http://www.wyswietlacze.pl>
<http://www.swiatlowody.com>
<http://led.alfazeta.pl>

info@alfazeta.pl
info@wyswietlacze.pl
info@swiatlowody.com
linfo@alfazeta.pl

serwis korporacyjny
wyświetlacze informacji wizualnej
systemy oświetlenia światłowodowego
systemy oświetlenia LED

Wersja super light.

Dioda LED jest urządzeniem, które po podłączeniu do źródła prądu elektrycznego świeci.

Wersja trochę mniej light.

Dioda LED (Light Emitting Diode = Dioda emitująca światło = dioda elektroluminescencyjna) jest urządzeniem półprzewodnikowym zbudowanym z dwóch rodzajów półprzewodników. Przewodzi prąd tylko w jednym kierunku zwanym kierunkiem przewodzenia i właśnie wtedy emituje światło

1 Zasada działania półprzewodników, czyli niestety trochę fizyki.

Żeby zrozumieć zasadę działania diody LED a co za tym idzie również wynikające z tego ograniczenia w jej stosowaniu należy zacząć od odrobiny fizyki, a dokładnie zrozumieć zasady tak zwanej teorii pasmowej ciał stałych.

Ciało stałe, jak każda substancja składa się z atomów ułożonych blisko siebie. Każdy atom składa się z jądra, oraz elektronów krążących po orbitach. Elektrony te mogą być postrzegane nie tylko jako cząsteczki, ale również jako tzw. poziomy energetyczne opisane przez funkcje własne elektronów, czyli zgodnie z teorią kwantową, stany energetyczne, które nie są ciągłe, ale zwiększają się o ustalone wartości, czyli kwanty. W zależności od odległości pomiędzy atomami, tworzą się pomiędzy nimi tzw. pasma energetyczne, stanowiące przedziały pasm o tak zbliżonej do siebie, że niemalże ciągłej energii. Pasma takie mogą być zabronione (czyli takie obszary gdzie nie ma elektronowych poziomów energetycznych) oraz dozwolone (gdzie takie poziomy występują).

Jeżeli rozważymy teraz obsadzenie takich poziomów energetycznych, to te pasma, które pochodzą z zamkniętych podpowłok elektronowych mają obsadzone wszystkie swoje poziomy. Pasma, które pochodzą od elektronów walencyjnych (powłok zewnętrznych, tworzących wiązania międzycząsteczkowe) mogą być lub nie być zupełnie zapełnione. Jeżeli teraz do takiego kryształu przyłożymy pole elektryczne, elektrony mogą przejść od niego energie tylko wtedy, gdy w obszarze energii jakie może przyjąć elektron, są jakieś nieobsadzone poziomy.

Jeżeli natomiast takich poziomów nie ma, elektrony nie są w stanie przejść energii.

Przewodnikami zatem możemy nazwać takie substancje, które mają taką strukturę, w której elektrony są w stanie przejmować energię pochodzącą z pola elektrycznego. Wraz ze wzrostem temperatury jednak, poziomy energetyczne wypełniają się samoistnie i zdolność elektronów do przyjmowania energii z zewnętrznego pola maleje. Innymi słowy, przewodniki wraz ze wzrostem temperatury zwiększają swoją oporność, czyli coraz trudniej przewodzą prąd elektryczny.

Jeżeli natomiast zwrócimy uwagę na kryształy, w których w temperaturze zera absolutnego wszystkie poziomy walencyjne są zapełnione, czyli można je wtedy uznać za izolatory, ale jednocześnie mają małą przerwę energetyczną pomiędzy pasmem walencyjnym i przewodnictwa, nie większą niż 2 eV. Wraz ze wzrostem temperatury następuje wzbudzenie elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa i kryształ zaczyna przewodzić prąd elektryczny. Proces ten jest gwałtowny i na przykład w krzemie liczba wzbudzonych elektronów wzrasta miliard razy przy dwukrotnym wzroście temperatury z 300K do 600K. Zapamiętajmy sobie tę właściwość, ponieważ ma ona dosyć poważne konsekwencje dla diod LED.

Istnieją dwa rodzaje półprzewodników ze względu na pochodzenie ich właściwości:

- samoistne, w których proces przewodzenia wraz ze wzrostem temperatury wynika z ich własnej konfiguracji poziomów energetycznych, oraz
- domieszkowane, w których dodano inną substancję posiadającą atomy o podobnych rozmiarach, ale zawierającą inną liczbę elektronów walencyjnych. Przewodnictwo takie nosi również nazwę przewodnictwa niesamoistnego.

Najbardziej popularnymi pierwiastkami służącymi do domieszkowania są arsen, german, gal, ind, i inne. Jeżeli w wyniku domieszkowania dostarczane są elektrony, domieszka nazywana jest donorem, a

półprzewodnik nazywa się półprzewodnikiem typu n, ponieważ posiada on nadmiar swobodnych elektronów. Domieszka mająca za mało elektronów nazywana jest akceptorem, a otrzymany przewodnik, przewodnikiem typu p. [Herman 1991]

2 Budowa diody, czyli co się dzieje na granicy

Dioda składa się z dwóch obszarów kryształu, w którym w jednym mamy domieszki akceptorowe (typ p) a w drugim domieszki donorowe (typ n). Granica pomiędzy tymi obszarami nazywana jest złączem p-n.

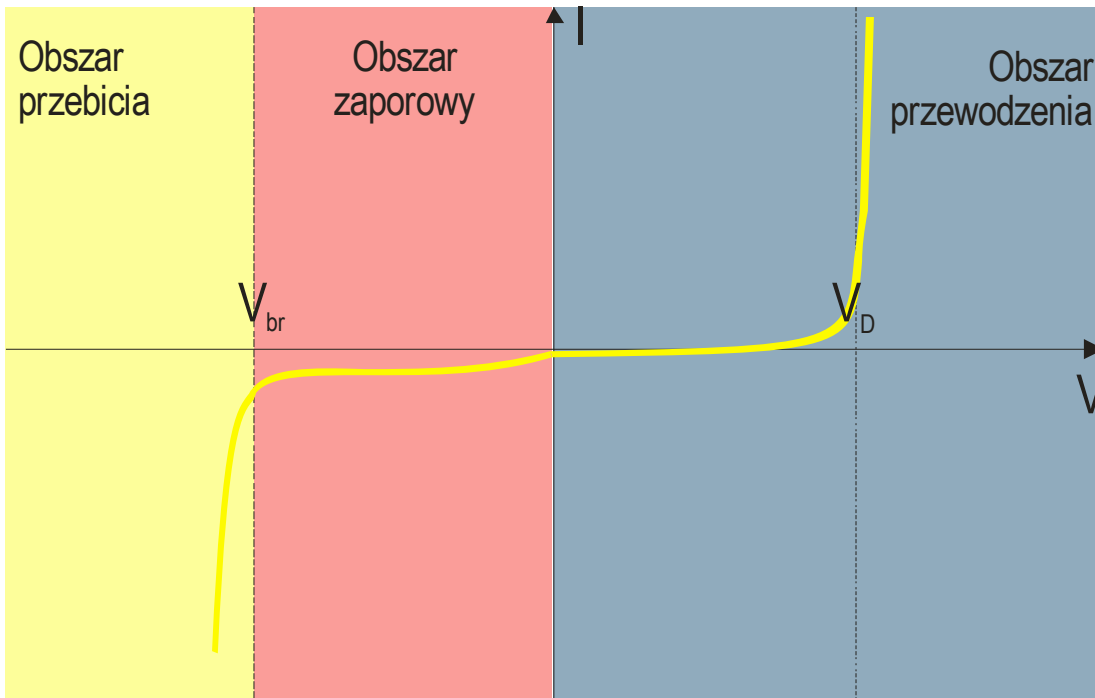
W miejscu styku, bez przyłożonego napięcia, następuje dynamiczna równowaga przeskakiwania elektronów z części n do części p w wyniku tzw. zjawiska rekombinacji oraz w kierunku odwrotnym w wyniku działania temperatury. W warunkach bez przyłożonego pola elektrycznego, oba zjawiska zachodzą z taką samą intensywnością i ustala się równowaga w której ilość elektronów przeskakujących w obie strony jest taka sama i wynikowo nie ma ruchu elektronów pomiędzy obszarami. [Herman 1991]

Po przyłożeniu do złącza napięcia z ujemnym biegunem przyłożonym do obszaru p, a dodatnim do obszaru n (tzw. polaryzacja zaporowa, ang. Reversed polarization) następuje wzrost energii elektronów w obszarze p i spadek w obszarze n, zwiększając tym samym wielkość bariery potencjału. Ponieważ prąd termiczny nie ulega zmianie, następuje minimalny przepływ prądu w kierunku odwrotnym, ale praktycznie rzecz biorąc dioda nie przewodzi. Jeżeli będzie zwieszać napięcie, w pewnym momencie nastąpi taki wzrost energii, że nastąpi zniszczenie złącza i gwałtowny wzrost prądu. Dioda ulega uszkodzeniu.

W przypadku przyłożenia napięcia z ujemnym biegunem przyłożonym do obszaru n i dodatnim do p następuje zmniejszenie bariery potencjału zwieszając bardzo istotnie prąd rekombinacji. Więcej elektronów ma wystarczająco energii aby przeskoczyć do pasma przewodnictwa, ponieważ odległość energetyczna pomiędzy tym pasmem a pasmem walencyjnym zmniejsza się. Dioda zatem przewodzi prąd w kierunku przewodzenia i nie przewodzi w kierunku zaporowym.

Aby proces rekombinacji wzrósł wystarczająco aby możliwe było przewodzenie, konieczne jest przekroczenie pewnego napięcia zwanego napięciem progowym. Poniżej tego napięcia dioda nie przewodzi prądu. Jednocześnie prąd płynący przez diodę jest również ograniczony przez możliwości rekombinacyjne złącza n-p a przede wszystkim możliwości energii cieplnej. A zatem będzie istniał również zalecany prąd, który powinien przed diodę płynąć. [Resnick 1983]

Wykres takiej zależności pokazuje poniższy rysunek:



Rys. 1 Charakterystyka prądowa diody LED. V_{br} – napięcie przebicia, V_D – napięcie nominalne na diodzie. [Resnick 1983]

W układach elektronicznych dioda używana jest jako tzw. prostownik, czyli urządzenie zamieniające prąd przemienny w prąd stały. W praktyce aby uzyskać z prądu przemiennego prąd stały, a nie pulsujący potrzebne jest trochę więcej niż tylko jedna (a raczej dwie diody)

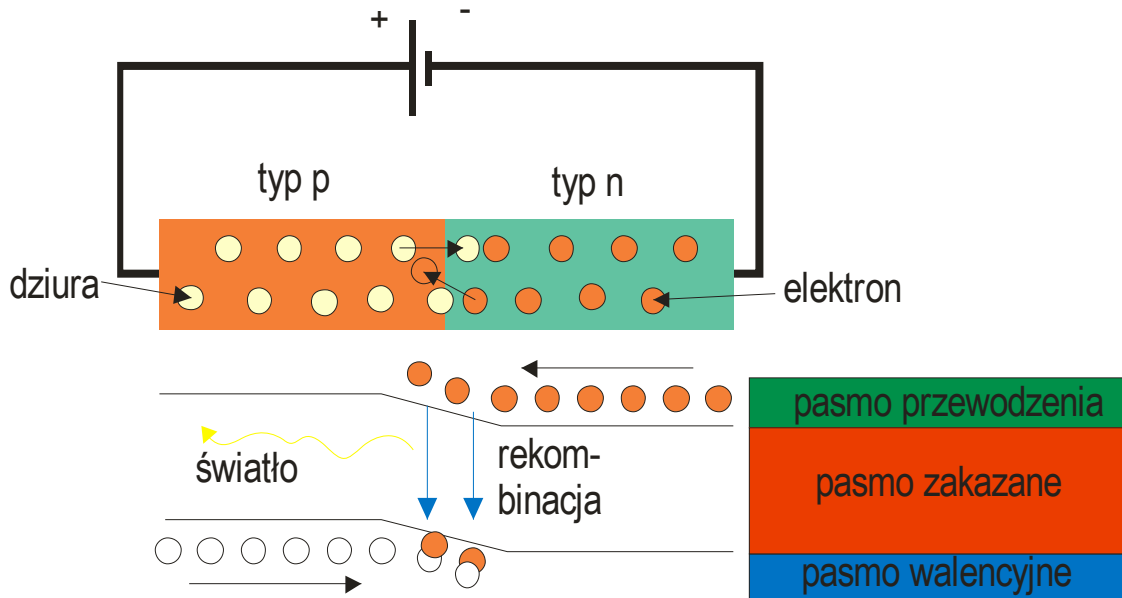
Napięcie V_D zależy od koloru diody, jej mocy i paru innych czynników. Tabela 1 przedstawia najbardziej popularne kolory i napięcia na takich diodach. Informacja ta jest przydatna, jeżeli chcemy zasilić diodę z zasilacza np. 12V (lub z instalacji samochodowej). Znając prąd znamionowy diody dla napięcia na złączu (czyli na przykład 20 mA dla 5 mm diody przewlekanej w kolorze czerwonym) oraz napięcie na niej (na przykład 2,2 V) policzyć wymagany spadek napięcia na dołożonym oporniku. W tym przypadku musimy na nim odłożyć $12 - 2,2 = 9,8$ V co dla prądu 0,02 A da nam oporność $9,8 / 0,02 = 490\Omega$. Należy jednak mieć świadomość, że taki sposób zasilania diody jest daleki od ideału. Więcej na ten temat w dalszej części tego artykułu.

3 Dioda LED, czyli niech stanie się światłość.

Okazało się, że pewne substancje w trakcie procesu rekombinacji przy przyłożeniu napięcia w kierunku przewodzenia emitują promieniowanie elektromagnetyczne, które po odpowiednim dobraniu substancji domieszkowanych może obejmować również pasmo widzialne, czyli światło.

Pewne źródła podają że zjawisko to zaobserwował w latach 20. XX w.. Rosjanin Oleg Łosew. Diodą taką jaką znamy wynalazły jednak w latach 60. XX w. cztery niezależne zespoły amerykańskie.

Poniższy rysunek pokazuje schematycznie proces rekombinacji, czyli przeskakiwania elektronów z pasma przewodzenia do pasma walencyjnego przez dziurę w odwrotnym kierunku ponad pasmem zabronionym i emisji światła w trakcie tego procesu.



Rys. 2 Zjawisko rekombinacji [Resnick 83]

Kolor diody zależy od sposobu jej domieszkowania.

Kolory i związane z nimi pierwiastki pokazuje tabela 1 [Osram]. Pokazano w niej tylko kolory możliwe do uzyskania poprzez bezpośrednie domieszkowanie, a nie poprzez kombinację kilku kolorów.

Kolor	Długość fali [nm]	Napięcie na złączu n-p	Domieszka
Podczerwień	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Arsenek galu (GaAs) Głino-Arsenek_galu (AlGaAs)
Czerwony	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Głino-Arsenek_galu (AlGaAs) Fosforo-arsenek galu (GaAsP) Głino-galo-fosforek indu (AlGaInP)

			Fosforek trójwartościowego Galu (GaP)
Pomarańczowy	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Fosforo-aresenek galu (GaAsP) Głino-galo-fosforek indu (AlGaInP) Fosforek trójwartościowego Galu (GaP)
Żółty	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Fosforo-aresenek galu (GaAsP) Głino-galo-fosforek indu (AlGaInP) Fosforek trójwartościowego Galu (GaP)
Zielony	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$ [29]	Indon galu (InGa) / Azotek trójwartościowego galu (GaN) Fosforek trójwartościowego Galu (GaP) Głino-galo-fosforek indu (AlGaInP) Głiono-Fosforek galu (AlGaP)
Niebieski	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Selenek cynku (ZnSe) Indo – azotek galu (InGaN) Węglan krzemu (SiC) jako substrat Krzem (Si) jako substrat – trwają badania
Fioletowy	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Indo – azotek galu (InGaN)
Ultrafioletowy	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Węgiel (C) Azotek glinu (AlN) Głino – azotek galu (AlGaIn) Głino-galo-azotek indu (AlGaInN) — (do 210 nm)

Tabela 1. Kolory diód LED i ich podstawowe właściwości elektro – chemiczne (źródło: własne)

4 Diody białe i niebieskie, czyli małe oszustwo.

4.1 Diody niebieskie

Diody niebieskie są oparte na półprzewodnikach o dużej szerokości przerwie energetycznej pomiędzy pasmem przewodzenia i pasmem kowalencyjnym, takimi jak azotek galu GaN i indo-azotek galu InGaN.

Mogą być dodawane do istniejących diód czerwonych i zielonych w celu stworzenia złudzenia diody białej, ale obecnie rzadko używa się tego rozwiązania.

Pierwsza dioda niebieska została opracowana w 1971 roku przez Jacqu'a Pankova w laboratorium RCA. [PhysicsWorld 2007] Początkowo diody niebieskie miały zbyt mały strumień świetlny, aby pozwolił on na użycie praktyczne. W późnych latach 90 przełomowe badania Isamu Kasaki i Hiroshi Manao [PhysicsWorld 2007] nad rozrostem epi-osiowym kryształów azotku galu i domieszkowaniem materiałem typu p dokonały przełomu w produkcji urządzeń opto – elektrycznych opartych na azotku galu. W oparciu o te badania w roku 1993 została opracowana jasna dioda w kolorze niebieskim, jako zwieńczenie badań Shuji Nakamaira z firmy Nichia [Berkeley 2000]

Do końca lat 90 XX w niebieskie diody stały się szeroko dostępne. Ich obszar aktywny składa się z jednej lub więcej tzw. studni kwantowej indo-azotku galu umieszczonych pomiędzy grubszymi warstwami azotku galu. Zmieniając proporcje tych dwóch obszarów można zmieniać kolor światła od fioletu do koloru bursztynowego.

4.2 Diody białe

Zasadniczo istnieją dwa sposoby uzyskania białego światła: dioda składająca się z trzech obszarów promieniujących każdy z trzech kolorów podstawowych [Sensor Electronic Technology] – czerwony, zielony i niebieski, oraz użycie fosforu, który działając na zasadzie luminofora konwertuje promieniowanie diody niebieskiej lub UV na szerokie spektrum światła białego.

4.2.1 Systemy białe RGB

W systemach tych kolor biały jest uzyskany poprzez zmieszanie trzech kolorów podstawowych. Ze względu na duży stopień komplikacji kontroli wzajemnych proporcji kolorów w gotowym urządzeniu, diody takie są jednak bardzo rzadko wykorzystywane w zastosowaniach masowych. Rozwiązanie to jest jednak ciekawe ze względu na możliwość tworzenia kolorów o szerszym spektrum temperatury barwowej oraz oferuje (przynajmniej w teorii) większą efektywność.

Zastosowanie to zostało jednak wykorzystane do produkcji kolorowych systemów RGB, w których jakość światła białego jest mniej ważna od możliwości dynamicznej zmiany koloru źródła światła (→ systemy kolorowe RGB)

4.2.2 Diody z dodatkiem fosforu

Metoda ta polega na pokryciu diody jednokolorowej (najczęściej niebieskiej) fosforem innego koloru tworząc w ten sposób wynikowo białe światło. W zależności od koloru diody źródłowej możliwe jest zastosowanie różnych warstw fosforu i co za tym idzie powiększenie spektrum emitowanego koloru białego zwiększając tzw indeks CRI - colour rendering index – index odwzorowania kolorów)

Diody fosforowe mają mniejszą efektywność, ale ze względu na prostotę i niską cenę są obecnie najczęściej stosowane. Istnieje wiele sposobów zwiększenia ich efektywności i obecnie każda kolejna partia produkcyjna diód osiąga lepszą efektywność dochodzącą do 120 lm/W.

5 Systemy oświetleniowe, czyli co z tego, że dioda świeci

Ze względu na kompaktowe rozmiary oraz wzrastającą z każdym miesiącem efektywnością świetlną, diody LED stają się coraz ciekawszym źródłem światła w systemach oświetleniowych.

5.1 Białe

Dotychczas żarówki LED nie oferowały wystarczającej ilości światła, aby można było mówić o zastosowaniach oświetleniowych. Dostępne na rynku rozwiązania oparte na diodach 1W lub 3W pozwalają na doświetlenie pomieszczeń lub obiektów, ale nie pozwalają zrealizować oświetlenia głównego. Zmieniło się w to w momencie wypuszczenia przez firmę ISTL na rynek w 2008 roku oprawy DL, która stanowi ekwiwalent oprawy 2 x 26W CFL przy mocy około 20W. Oprawy te mogą być stosowane jako źródło światła stanowiące jedyne oświetlenie w pomieszczeniu. Inną alternatywą są płaskie panele LED zastępujące z powodzeniem oprawy rastrowe 4 x 20W przy mocy około 20 W.

Przyszłość oświetlenia należy do systemów LED.

5.2 RGB

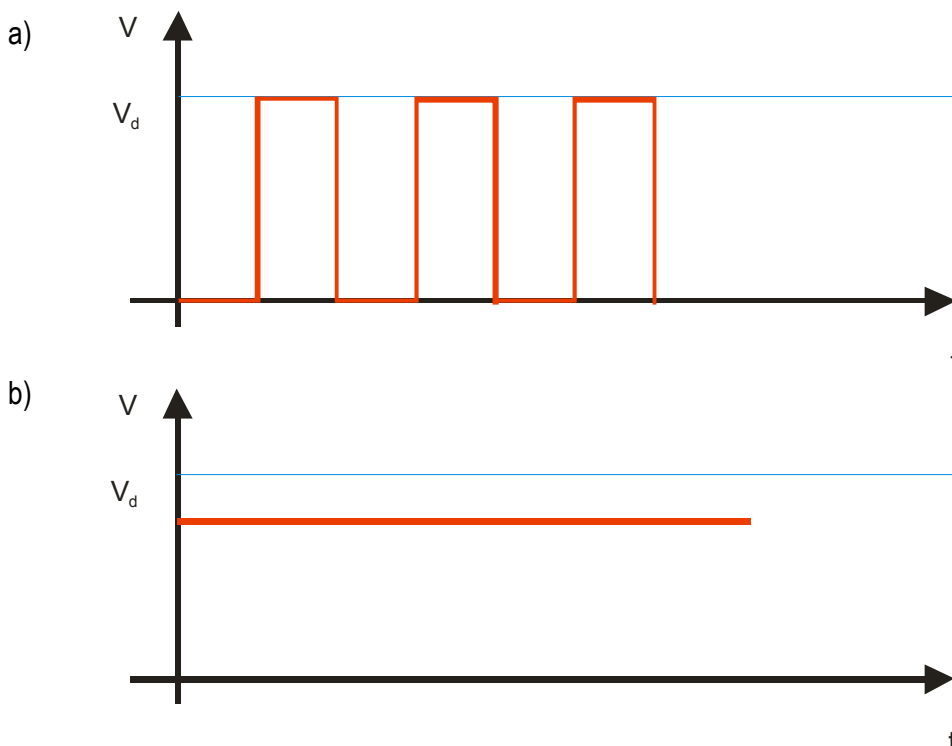
Systemy RGB pozwalają na uzyskanie szerokiej gamy kolorów. Składają się ze źródeł światła w którym zastosowano diody o trzech kolorach składowych: czerwonym (R), zielonym (G) oraz niebieskim (B). Poprzez sterowanie intensywnością świecenia każdego z kolorów możliwe jest uzyskanie światła o dowolnym kolorze. Systemy RGB mogą być zbudowane z trzech kolorów diód LED zamocowanych blisko siebie lub z diod, w których trzy kolory są realizowane na poziomie produkcji (czyli tzw. 'chipów' czyli złącz p-n lub n-p odpowiedzialnych za świecenie. W tym drugim przypadku dioda taka ma jedną optyka dla wszystkich kolorów i 'zmieszanie' światła i stworzenie wynikowego koloru następuje praktycznie w momencie wyjścia światła z optyki oprawy. Dla obserwatora zewnętrznego wygląda to tak, jakby dioda świeciła w wynikowym kolorze. Innym rozwiązaniem stosowanym w większych oprawach jest instalowanie pojedynczych diód w różnych kolorach. Z bliska widać, że diody zawsze świecą w tym samym kolorze, natomiast ostateczny efekt tworzy się w odległości kilkunastu centymetrów od oprawy na płaszczyźnie, którą oprawa oświetla. W przypadku zbliżenia oprawy do płaszczyzny możliwe jest zaobserwowanie pasów w kolorach składowych. Rozwiązanie to jest znacznie lepsze ze względu na swoją trwałość, ponieważ w przypadku trzy chipowych diód RGB, odprowadzenia ciepła jest dużo trudniejsze.

Innym aspektem opraw RGB związanym z temperaturą jest możliwość zastosowania układu termistora na płycie z diodami. Umożliwia to przy użyciu kompatybilnego sterownika monitorowanie temperatury oprawy i ściemnienie lub wyłączenie jej w sytuacji jej nagłego wzrostu spowodowanego wzrostem temperatury powietrza, uszkodzeniem wentylacji lub każdą inną przyczyną. Pozwala to na istotne zmniejszenie awaryjności tych systemów oraz zwiększenie ich żywotności.

6 Sterowanie systemów LED, czyli jak ściemniać, żeby nie tracić

Sterowanie dioda, polega na podaniu na jej styki napięcia powyżej napięcia progowego, takiego, aby przez złącze n-p popłynął w kierunku przewodzenia prąd elektryczny umożliwiający rekombinację ładunków elektrycznych w półprzewodniku i emisję kwantów światła. Intensywność tej emisji możemy regulować dwojako:

- PWM – jeżeli będziemy szybko włączać i wyłączać diodę, uzyskamy efekt świecenia z intensywnością zależną od współczynnika wypełnienia takiego napięcia sterującego ([patrz rysunek). Metoda ta nazywa się metoda modulacji szerokości impulsu sterującego
- PAM – jeżeli zmniejszymy prąd elektryczny poniżej prądu maksymalnego, ale jednocześnie napięcie będzie ciągle powyżej wartości progowej wymaganej do rozpoczęcia procesu rekombinacji, uzyskamy również zmniejszenie wielkości świecenia, ale przy ciągłym świeceniu diody. Metoda ta zwana PAM (modulacja amplitudy impulsu sterującego) patrz rysunek pozwala na zmniejszenie ilości energii potrzebnej do zyskania wymaganej jasności oraz zwiększa żywotność diody ze względu na jej prace poniżej warunków nominalnych.



Rys 3. Dwa sposoby uzyskania 50% intensywności świecenia diody LED. (a) PWM – 50% współczynnik wypełnienia (b) PAM – napięcie sterowania poniżej napięcia progowego, ale ze względu na nieliniową zależność napięcia i intensywności świecenia nie w 50% wartości maksymalnej.

7 Zasilanie systemów LED, czyli dlaczego nie 12V

Ze względu na dosyć wysokie wymagania i katastrofalne skutki przekroczenia wartości nominalnych, szczególnie w zakresie prądu w kierunku przewodzenia, zaleca się stosowanie układów zasilania z regulacją prądu, które wraz ze zmianą oporności diody wraz temperaturą będą regulowały prąd nie pozwalając na przekroczenie jego wartości nominalnej. Zasilacze takie zwane potocznie zasilaczami prądowymi pozwalają istotnie zwiększyć trwałość diod.

8 Wady i zalety systemów LED, czyli każdy musi sam zdecydować

Zalety:

- Efektywność: umożliwiają osiągnięcie dużo większej ilości światła z jednego wata zasilania. [LEDS Magazine]
- Kolor: diody mogą emitować światło o wymaganym kolorze bez stosowania filtrów. Jest to bardziej efektywne niż tradycyjne metody i pozwala obniżyć koszt początkowy systemów kolorowych. Należy sobie jednak zdawać sprawę z faktu, że w systemach LED nie jest możliwe osiągnięcie każdego koloru. Jedynie system RGB pozwala zbliżyć się do zakresu kolorów filtrów.
- Wymiary: ledy mogą być bardzo małe, mniejsze niż 2 mm [Schubert 2005] i łatwo je zainstalować na płytce drukowanej
- Czas załączania i wyłączenia: diody włączają i wyłączają się bardzo szybko. Typowa dioda czerwona osiąga pełną jasności w ciągu mikrosekund [NETL] Ledy używane w urządzeniach telekomunikacyjnych mogą mieć jeszcze krótsze czasy załączania i wyłączenia.
- Ściemnianie: diody można ściemniać albo poprzez modulację szerokości impulsu zasilającego albo poprzez obniżenia prądu w kierunku przewodzenia.
- Promieniowanie IR: diody promieniują stosunkowo mało w podczerwieni a co za tym idzie można je wykorzystywać do oświetlania obiektów czułych na to promieniowanie. Należy sobie jednak zdawać sprawę, że jedyną technologią eliminującą promieniowanie IR w 100% są światłowodowy. W diodach energia jest promieniowana w postaci ciepła.
- Powolna degradacja: diody w większości przypadków tracą powoli jasność i nie następuje ich gwałtowne zgaśnięcie jak w przypadku innych źródeł światła. [Dialight] Ma to z jednej strony zalety, gdyż system diodowy będzie długo pełnił swoją funkcję, jednak zagrożenie polega na tym, aby wymienić go gdy parametry świecenia nie pozwolą na uzyskanie satysfakcjonującego efektu.
- Trwałość: diody charakteryzują się relatywnie długim czasem pracy od 35'000 do 50'000 godzin – użyteczny czas świecenia może być dłuższy. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że jak w każdym urządzeniu cytowany czas pracy jest czasem statystycznym, opartym na założeniu 50% diod z danej partii świecących z co najmniej 50% jasnością. Faktem jest, że można przyjąć użyteczny czas eksploatacji źródeł światła na poziomie 5 – 7 lat. Dla porównania czas życia żarówek wynosi około 2000 godzin, a halogenów około 5000. Technologią porównywalną pod względem trwałości są lampy CFL, w których trwałość 50'000 jest dość łatwo osiągalna.
- Odporność na uderzenia: ledy są komponentami zrobionym z ciał stałych i przez to trudno jest zniszczyć poprzez zewnętrzne uderzenia.
- Ogniskowanie: możliwe jest zbudowanie zogniskowanego źródła światła bez użycia reflektorów Dzięki za wszystko temu, że dioda emituje bardzo kierunkowe światło.
- Toksyczność: diody nie zawierają rtęci, przez to są dużo bezpieczniejsze dla środowiska niż inne technologie.

Wady systemów LED

- Wysoka cena początkowa systemu: LEDy są obecnie droższe niż systemy oparte na konwencjonalnych źródłach światła. Biorąc jednak pod uwagę całkowity koszt utrzymania systemu w trakcie jego życia, system diodowy jest istotnie tańszy ze względu na niższe zużycie energii oraz niższe koszty napraw.
- Zależności temperaturowe: skuteczność diod zależy od temperatury pracy. W wysokich temperaturach następuje zmniejszenie prądu termicznego (patrz sekcja teoretyczna) i co za tym idzie prąd wynikowy będący różnicą prądu termicznego i rekombinacji się zmniejsza. Dodatkowo diody jako elementy półprzewodnikowe zmniejszają swoją oporność wraz ze wzrostem temperatury, co przy tym samym napięciu powoduje wzrost prądu, aż do przekroczenia wartości znamionowych i spalenia urządzenia. Profesjonalne systemy LED muszą być wyposażone w odpowiednie radiatory odprowadzające ciepło, a sterowniki powinny kontrolować temperaturę opraw i wyłączać je lub ściemniać wraz ze wzrostem temperatury.
- Wrażliwość na warunki zasilania: LEDy muszą być sterowane napięciem powyżej napięcia progowego i prądem poniżej wartości progowej. Efekt taki można uzyskać poprzez ograniczenie prądu opornikiem połączonym szeregowo z diodą, albo lepiej poprzez wykorzystanie zasilacza prądowego [The LED Museum]
- Jakość światła: większość zimnobiałych ledów ma spektra różniące się znacząco od spektrum ciała czarnego takiego jak słońce lub żarówka. Pik na poziomie 460 nm oraz dolina na 500 nm powoduje że percepcja koloru przedmiotów w tym świetle odbiega znacząco od tego, co widać bez niego. Jedynie diody najwyższej jakości oferują jakość światła umożliwiającą uzyskanie dobrych parametrów wskaźnika CRI.
- Niebieskie szum: Ponieważ zimnobiałe diody emitują dużo więcej światła niebieskiego niż inne światła zewnętrzne (sodowe, rtęciowe) mocna zależność długości fali w załamaniu Rayleigh'a (Rayleigh scattering) powodują, że niebieskie i białe diody LED powodują najwięcej zanieczyszczeń światła. Jest bardzo ważne, aby białe diody używane na zewnątrz były przysłonięte. W porównaniu do lamp sodowych, 460 nm emisja białych ledów jest odbijana przez ziemską atmosferę ponad 2.17 raza bardziej. Białe diody nie powinny być używane do oświetlenia w pobliżu obserwatoriów astronomicznych.

9 Wnioski i podsumowanie, czyli przeczytaj jeżeli nie chce ci się czytać wszystkiego

Zjawisko fizyczne będące podstawą działania diody LED jest znane od dawna, jednak dopiero ostatnio nastąpił rozwój pozwalający na ich powszechne użycie. Przyszłość oświetlenia należy do systemów opartych na diodach. Dostępne obecnie systemy umożliwiają uzyskanie intensywności oświetlenia i efektywności zbliżonej do żarówek energooszczędnych, a posiadających dużo lepsze walory użytkowe. Wycofanie z produkcji żarowych źródeł światła o mocy 100W i zastąpienie ich żarówkami CFL o mocy 23W wydaje się być okresem przejściowym przed zastąpieniem źródeł światła diodami LED. Zalety przeważają nad wadami, a z czasem ceny spadną do poziomu powszechnie akceptowanego.

10 Bibliografia, czyli przeczytaj jeżeli odczuwasz niedosyt

Herman, Kalestynski, Widomski, Podstawy fizyki, PWN, Warszawa 1991

R. Eisberg i R. Resnick, Fizyka kwantowa PWN, Warszawa 1983

Katalog OSRAM [http://catalog.osram-os.com/media/_en/Graphics/00041987_0.pdf] 2009-10-20

"LEDs move into the ultraviolet". [<http://physicsworld.com/cws/article/news/24926>] 2006-05-17

"Alumni society honors four leaders in engineering and technology". *Berkeley Engineering News*. [<http://www.coe.berkeley.edu/EPA/EngNews/00F/EN2F/deaa.html>] 2007-01-23.

Sensor Electronic Technology, Inc.: Nitride Products Manufacturer [<http://www.s-et.com/products.htm>] 2009-10-20

"Seoul Semiconductor launches AC LED lighting source Acriche". LEDS Magazine, [<http://www.ledsmagazine.com/news/3/11/14>] 2008-02-17.

E. Fred Schubert (2005). "Chapter 4". *Light-Emitting Diodes*. Cambridge University Press.

"Solid-State Lighting: Comparing LEDs to Traditional Light Sources". [http://www.netl.doe.gov/ssl/usingLeds/general_illumination_efficiency_comparison.htm] , 2009-10-21

"Dialight Micro LED SMD LED "598 SERIES" Datasheet" , [http://www.dialight.com/Assets/Brochures_And_Catalogs/Indication/MDEI5980603.pdf]. 2009-10-20

The Led Museum [<http://www.ledmuseum.org/>], 2009-10-20