



I N V E S T I C E D O R O Z V O J E V Z D Ě L Á V Á N Í

INTERNETOVÝ PORTÁL ELEKTROTECHNIKA - Tento projekt je spolufinancovaný Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky  
CZ.1.07/1.3.09/01.0021 D/0059/2009/ŘDP

## LED – světlo budoucnosti

Světelné diody (LED a OLED) opouštějí okrajové části trhu s indikátory a dostávají zelenou jako světelné zdroje budoucnosti. Umělé osvětlení ročně spolkne pětinu celosvětové spotřeby energie, v Evropě dokonce celou čtvrtinu. Světelné diody jsou v osvětlování alternativou, která tuto nepříznivou situaci může v budoucnu výrazně změnit, a tak přispět i ke zmírnění zátěže životního prostředí.<sup>1)</sup>

Moderní světelné diody LED a OLED dokážou až zdvojnásobit měrný výkon průměrných světelných zdrojů. A zdaleka nejde jen o osvětlení v bytech či podnicích; jen v Evropě se dnes používá na 50 milionů zastaralých uličních svítidel, jejichž provoz stojí pět miliard eur. Jejich výměnou za moderní by se ihned ušetřilo 1,7 miliardy eur a nižší spotřeba energie by rovněž vedla k omezení emisí uhlíkových plynů do ovzduší o 3,8 milionu tun.

Příchod bílých LED na trh před dvanácti lety znamenal velký zlom, protože se otevřela cesta k osvětlení na zcela nové, polovodičové bázi (SSL, *Solid-State Lighting*). Leccos sice již naznačovaly možnosti využití jejich barevných předchůdců, o téměř tři desetiletí starších. Ale pro jejich malou účinnost a nevhodnou barvu jejich světla nebylo možné tyto LED pro osvětlení použít.



### Od LED k OLED

LED (*Light Emitting Diode*) je elektronický polovodičový prvek, který při průchodu elektrického proudu vyzařuje světlo, infračervené nebo ultrafialové záření. Zkoumají se důvody známého jevu (*droop*), že se zvětšováním proudu světelný tok LED přestává růst a účinnost se zmenšuje (pro jeho různá vysvětlení a možná řešení viz článek *The LEDs dark secret*, IEEE Spectrum 8/2009). Světlo vyzařované LED je monochromatické, s barvou danou dominující vlnovou délkou, kterou zase ovlivňuje chemický materiál použitý na výrobu polovodičového krystalu. Většina komerčních LED pro vlnové délky 390 až 550 nm (zelené, modré a v kombinaci i bílé diody) využívá InGaN, zatímco pro větší délky, do 670 nm (červené, oranžové a žluté barvy), se volí AlInGaP nebo GaAsP (pro červenou barvu ještě AlGaAs).

OLED (*Organic LED*) jsou modernější prvky, které jsou tvořeny ultratenkými vrstvami organické hmoty na bázi skla nebo plastu (polymery), sendvičově uzavřené mezi dvěma vodiči. Ultratenké organické vrstvy (tloušťka zapouzdřeného prvku OLED je 200 až 250  $\mu\text{m}$ ) lze nanést i na velké plochy (panely, pruhy či fólie), proto se uplatňují např. v dekorativních prvcích či obalech. Bílé OLED určené k osvětlení zatím nedosahují dostatečně velkého měrného výkonu (maximálně do 50  $\text{lm/W}$ ). Výzkumníci z univerzity v Drážďanech dosáhli u zmíněných diod účinnosti 90  $\text{lm/W}$ , s potenciálním maximem 124  $\text{lm/W}$  (Nature 459 7244).

## Různorodé použití

Barevné diody přišly na trh již v šedesátých letech 20. století a v současné době se široce využívají k podsvětlení digitálních hodin, dálkových ovladačů či semaforů, ale také v průmyslové výrobě nebo jsou voleny pro automobilová světla. Bílé LED rychle pronikají na trh s běžným osvětlením, ale jsou využívány také v medicíně.

OLED jsou považovány za světelné zdroje budoucnosti vhodné pro displeje a osvětlení. Začínají se používat pro televizní obrazovky a díky velkému jas (V LED) rovněž pro displeje mobilních telefonů. Zde by mohly v budoucnu nahradit nyní převažující řešení v podobě LCD (*Liquid Crystal Display*), zaostávající v oblasti spotřeby energie i v možnosti číst při velmi jasných světelných podmínkách.

Většina automobilů již používá LED pro zadní a vnitřní osvětlení, ale neustálé snižování nákladů a dostupnost výkonnějších LED znamenají hlavní úsporu energie v automobilu při použití pro všechny typy venkovních světel. Lze tak dosáhnout ekonomičtější spotřeby paliva, a tím také snížit znečištění ovzduší. LED se v některých automobilových světlometech používají již mnoho let, ale teprve v současné době jejich vývoj umožňuje zabudovat je do předních světel.

## LED jako konkurent žárovky

Osvětlení s použitím LED nabízí nízkou spotřebu a dlouhou životnost, ale také vysoký jas a různé tvary zdrojů i barvy světla. LED jsou až desetkrát účinnější při vyzařování světla než obyčejné žárovky a dvakrát účinnější než klasické zářivky.

Co se týče bílého světla potřebného pro vnitřní umělé osvětlení, není ovšem tak snadné dosáhnout přijatelnosti pro naše oči, ani peněženky. Lze jej docílit potažením UV LED luminoforem, ale tato metoda není dostatečně účinná, neboť 80 % generovaných fotonů zůstává „uvězněno“ podložkou a luminoforem. Lepších vlastností se dosáhne optimalizací vazby mezi vrstvami luminoforu a polymerů; tím se získá systém uvolňující více fotonů do prostoru pro vlastní osvětlení.



Život LED pracujících v domácích teplotních podmínkách může dosahovat až 50 000 h. Obecně to závisí nejen na teplotě okolí, ale také na barvě LED; červené, oranžové a žluté LED stárnou pomaleji než zelené a modré, tedy i bílé. Původně hojně zveřejňovaný údaj o životě LED až 100 000 h byl ovšem pouhým mýtem. Světelná dioda sice může po této době ještě pracovat, ale se ztrátou původní účinnosti, takže není v podstatě použitelná. V průběhu času se totiž světelný tok LED postupně snižuje.

Výhodou LED je přímý charakter vyzařování světla na rozdíl od běžných světelných zdrojů, které vyzařují světlo na všechny strany. Čím přímější vyzařování, tím větší počet lumenů (lm) osvětluje užitečnou plochu (pracovní stůl, parkovací místo), a tím méně světla se ztrácí.

Pro stabilní hodnotu osvětlení s použitím LED je především nutné udržovat konstantní proud. Typická úroveň proudu je 20 až 350 mA, ale VV LED (1 až 5 W) potřebují větší hodnotu proudu, až 1 A.

Výkonnost komerčních LED zatím nepřekročila 50 % hodnoty vývojových vzorků. Přestože se totiž 70 % elektrické energie na světlo přemění, většina generovaného světla nikdy neopustí LED z důvodu vnitřního odrazu na rozhraní mezi materiálem s relativně vysokým indexem lomu (především GaN) a okolním materiálem s nižší hodnotou tohoto indexu. Pro větší účinnost, aby se dosáhlo požadované úrovně světelného toku, je třeba použít celou sadu LED. S tím však také roste složitost i cena celého systému a snižuje se jeho spolehlivost. Ke slovu se proto v LED i dalších prvcích (senzory, lasery, komunikační prvky) dostávají fotonické krystaly, které mají velmi dobrou schopnost ovlivňovat průchod světla. Tyto fotonické struktury v nanoměřítku umožňují uvolnit veškeré světlo z povrchu LED do prostoru, a to bez ohledu na velikost čipu.



Generované teplo se u LED neuvolňuje do prostoru jako u žárovky, ale do materiálu pod diodou (silné zdroje světla do ruky, baterky, vybavené LED jsou toho dobrým důkazem). Proto jsou čipy s LED velmi malé (méně než 1 mm<sup>2</sup>), aby jejich svítící povrch byl co nejbližší vlastnímu zdroji světla. Tepelné nevyzařování činí LED velmi zajímavými pro uplatnění např. na oblečení, nábytku či kobercích. LED mohou bez problémů pracovat i v extrémních teplotních podmínkách (od -40 do +70 °C), ale výrazné kolísání okolních teplot zkracuje jejich život.

LED negenerují téměř žádný šum, proto jsou velmi příjemné pro vnitřní osvětlení. Další důležitou vlastností je jejich odolnost: jsou v podstatě nezníitelné (na rozdíl od známých nebezpečí

hrozících u žárovek či zářivek). Polovodičový krystal LED je umístěn v plastovém obalu, který jej chrání před jakýmkoliv typem šoku i vibracemi. Právě proto jsou LED mimořádně vhodné pro mobilní zařízení či do automobilů, čemuž ještě napomáhá jejich schopnost okamžitého zapnutí (během několika milisekund), takže třeba brzdová světla vybavená LED zareagují na sešlápnutí pedálu okamžitě a potenciálně zabrání nárazu zezadu. Navíc se může uplatnit i zde praktické ztlumování či zesilování svítivosti (0 až 100 %), takže prudší sešlápnutí brzdového pedálu může okamžitě generovat výraznější červené zadní světlo jako jasnou výstrahu.

Žádná žárovka není tak malá jako LED, což přináší nejen značnou pružnost při navrhování osvětlení a dalšího uplatnění, ale také lze umístit do velmi malých prostor. Doba života LED přesně vyhovuje potřebám automobilových světel a panelů, kde může být zabudováno více LED (pro málo pravděpodobný případ výpadku některé z nich), přičemž v praxi se po dobu života automobilu nikdy nebudou vyměňovat. Pro použití v automobilech je rovněž zajímavá kombinace barev LED, což lze účinně využít. Menší velikost a tloušťka LED jsou i v tomto případě výhodou.

Diody LED určené k osvětlování by měly splňovat následující požadavky: vyzařovaný světelný tok minimálně 80 lm při proudu 350 mA, měrný výkon minimálně 75 lm/W, život přesahující 40 000 h (podle IESNA LM-80) a náhradní teplota chromatičnosti ( $T_{cp}$ ) od 2 700 do 7 000 K. Prioritou výrobců světelných diod je nejen dosáhnout těchto hodnot, ale zejména snížit celkové náklady (především měrné, tj. vztažené na 1 lm vyzařovaného světla).

### Výzkum a vývoj LED pokračuje

Vývoj postupuje v oblasti zvyšování účinnosti LED (lm/W): v laboratorních podmínkách bylo dosaženo 150 lm/W při nízké úrovni proudu (20 mA). Vývoj bílých LED (WLED) a zejména jejich výroby trvá již téměř deset let a stále pokračuje. Nově se zkoumají monolitické bílé LED využívající kombinaci modrého a žlutého zdroje světla na bázi nových materiálů ((GaIn)N/GaN), které by mohly překonat WLED, závislé na hybridních technologiích, a konečně poskytnout náhradu běžných žárovek či zářivek. Monolitické WLED se vyrábějí v jediném kroku na rozdíl od běžnějšího, dvoustupňového procesu výroby konvenčních WLED s využitím luminoforu. Díky tomu se sníží náklady na jejich výrobu a současně vzroste jejich spolehlivost.

Novinkou je také mikroLED, pole složené z tzv. mikropixelových LED, kde oblast vyzařující světlo sestává z (desítek) tisíc prvků o velikosti mikronu (až 1 000 LED na jeden mm<sup>2</sup>) a které lze účinně využít v zobrazovací optice či biofotonice (senzory přímo na těle člověka, sledující různé chemické či biologické veličiny). Jejich malá velikost přispívá nejen ke kompaktnosti (např. pole 64 × 64 mikroLED se vejde na miniplochu čtverce o straně 2,3 mm), ale i k vyšší účinnosti a kvalitě paprsku.