

# Алтернативният източник на светлина

Светослав Забунов



*Светодиодното осветление навлиза във всички сфери на модерната цивилизация*

Производството на електроенергия води до замърсяване на природата – електрическите централи отделят замърсители, например въглероден диоксид, ядрени отпадъци, серни съединения. Колкото повече електроенергия се произвежда в електроцентралите, толкова повече се замърсява природата. Ефек-

тът от използването на светодиодите е намаляване на консумирания ток и по този

Ефективните светлинни източници са в основата на светлинната енергийна ефективност – предпоставка за намаляване на общата консумация на електроенергия на планетата Земя. Като високоефективни устройства полупроводниковите светодиоди се явяват „зелени“ светлинни източници, които пестят енергийните ресурси.

крим през 1907 г. от Хенри Раунд (Round, 1881 – 1996) в лабораториите на Гулиелмо

начин намаляване и на отделяните замърсители в природата от електроцентралите.

Полупроводниковият светодиод представлява ефективен светлинен източник, който превръща електроенергията в светлина при висок КПД. Механизмът на светлинна генерация в светодиода (електролуминесценцията) е от-

Маркони (Marconi, 1874 – 1937). Раунг отбелязва в списание *Electrical World*, че е наблюдавал светлина, излъчвана от полупроводников преход на силициев карбид (SiC) и метал при подаване на ток. Но тези данни са кратки и незадълбочени.



Мощни светодиоди за осветление. Отляво – кехлибар 1,15W, отясно – червен 2W

Руският изследовател Олег Владимирович Лосев създава първия светодиод през 1927 г. Лосев е роден на 10-и май 1903 г. в семейство от висшата класа в имперска Русия. Работи като изследовател в областта на полупроводниците и радиотехниката и публикува редица статии и патенти. Той наблюдава излъчване на светлина от диод на Шотки, съставен от кристал на карборунг (силициев карбид SiC) и точков метален контакт. Лосев дава детайлно описание на откритието си и го патентова. Младият изследовател работи и в други направления на полупроводниковата техника. Той открива полупроводников диод с отрицателно-резистивна зона, което му позволява да създаде усилватели на радиосигнали и генератори на трептения повече от двадесет години преди откриване на полупроводниковия транзистор. Една от разработките на Олег Лосев е полупроводников суперхетерогинен приемник, отново повече от двадесет години преди въвеждане на транзисторните прибори. Поради тъмната ера на сталинизма откритията на Лосев остават в сянка и биват след това забравени за десетки години.

Първата публикация на Лосев, отнасяща се до светодиода, е от 1927 г., когато представя в руско списание пълно описание на първия светодиод. Следват и други статии по темата, като една от тях е в



Д-р Светослав Забунов защитава докторат в Софийския университет „Св. Климент Охридски“ през 2011 г. Поддържа сайт в интернет с интерактивни стереометрични 3D модули със свободен достъп, предназначени за обучение, изчисления и изследвания.

списание *Philosophical Magazine* през 1928 г.

Олег Лосев загива през Втората световна война при обсадата на Ленинград (сега-шен Санкт Петербург).

За първи път откритието на Олег Лосев е извадено от тъмнината през 1951 г., когато Кърт Леховиц (Lehovic) заедно с други автори публикува статия в списанието *Physical Review*. Едва през 2007 г. обаче Лосев е реабилитиран като откривателя на светоди-



Олег Владимирович Лосев

ода в публикация в списание *Nature Photonics*. Публикувана е статия от Николай Желудев, професор по физика, доктор на науките от Московския държавен университет. От 1991 г. досега Желудев работи в университета в Саутхемптън (Великобритания). В *Nature Photonics* Желудев отбелязва, че Лосев е откривателят на светодиода въз основа на патент, принадлежащ на Лосев (Съветски патент №12191, даден през 1929 г.).

Първите светодиоди с практическо приложение се появяват едва след Втората световна война – инфрачервено излъчване от кристал на галиев арсенид през 1955 г. През 1961 г. американските изследователи Робърт Байард (Bayard) и Гари Питмън (Pittman), работещи в *Тексас Инструментс*, получават патент за инфрачервен светодиод, базиран върху галиев арсенид. Първият светодиод във видимата област с практическо приложение е разработен през 1962 г. от Ник Холоняк (Нолоняк). Този светодиод има червен цвят. Откритието е публикувано в списание *Applied Physics Letters* през същата година. Оттогава до ден днешен се откриват нови и нови химически съединения, които подобряват ефективността и светлинния спектър на светодиодите. Както при повечето полупроводникови технологии, така и при светодиодите е в сила закон, подобен на закона на Мур, според който се наблюдава експоненциално нарастване на ефективността на дадения прибор във времето. А именно, светодиодите удвояват своята ефективност на всеки три години.

Ето какви са предимствата им пред всички останали източници на светлина:

- **Малки размери:** Светодиодите се произвеждат в различни по размер корпуси, като най-малките достигат под 1мм.

- **Широка гама от цветове:** Светодиодите излъчват в различни спектри, както тесни, така и широки, наг, под и във видимата област на светлинните лъчи. Така използването на цветни филтри и свързаните с тях загуби отпадат.

- **Ефективност:** Светодиодите имат по-висока ефективност от другите източници на светлина, произвеждани от хората или естествено намиращи се в

природата. Светлинната ефективност се измерва в лумени на ват (lm/W).

- **Брой включвания и изключвания:** Практически неограничен.

- **Време за включване и изключване:** Времето на включване и изключване е под 1 микросекунда.

- **Контрол на яркостта:** Лесен и удобен чрез контрол на тока или чрез пулсово-широчинна модулация.

- **Без нежелано излъчване в странични спектри:** Нежелано инфрачервено излъчване практически липсва. Нежелано ултравиолетово излъчване се наблюдава само при определен вид бели светодиоди с фосфор, базирани върху UV излъчващ субстрат, като нежеланото излъчване е сведено до безопасен минимум. Крушките с нажежаема жичка излъчват голяма част от енергията в инфрачервени лъчи, което може да е неприемливо при определени приложения. Светодиодите отделят неизползваната енергия в топлина.

- **Време на живот:** Приблизително 50 000 часа.

- **Устойчиви на удар:** Светодиодите са устойчиви на удари, тъй като се чистят към т.нар. твърдостелна електроника.

- **Взрадена оптика:** Корпусът на много светодиоди включва пластмасова леща, която насочва излъчваната светлина в конус с определен ъгъл.

Недостатъци при светодиодите:

- **Висока цена:** Светодиодите все още имат висока цена на лумен в сравнение с някои други източници на светлина.

- **Необходимост от охлаждане:** Не могат да работят ефективно или изобщо при температури над 60 градуса по Целзий, а при по-ниски температури имат по-дълъг живот и по-висока ефективност.

- **Опасност от синя светлина:** Съществува опасност от синята светлина или студено-бялата светлина. При облъчване на окото със светлина с достатъчно голяма интензивност и дължина на вълната под 500 nm се получава фотохимично нараняване на ретината. При облъчване на окото с нормална светлина

### Някои често срещани цветове светодиоди, тяхната ефективност и цена

| Цвят |                      |                       | Ефективност<br>(лумена на ват) | Цена на гребно за 1000<br>лумена        |
|------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|
|      | Червен               | 620 – 630 nm          | 85 lm/W                        | 39 лв./1000 lm                          |
|      | Червено-оранжев      | 610 – 620 nm          | 130 lm/W                       | 20 лв./1000 lm                          |
|      | Кехлибар             | 585 – 595 nm          | 94 lm/W                        | 53 лв./1000 lm                          |
|      | Зелен                | 520 – 570 nm          | 85 lm/W                        | 16 лв./1000 lm                          |
|      | Синьо-зелен          | 500 – 510 nm          | 67 lm/W                        | 37 лв./1000 lm                          |
|      | Син                  | 465 – 485 nm          | 40 lm/W                        | 41 лв./1000 lm                          |
|      | Бял (студено-бял)    |                       | 140 lm/W                       | 6 лв./1000 lm                           |
|      | Бял (естествено бял) |                       | 120 lm/W                       | 6 лв./1000 lm                           |
|      | Бял (топло-бял)      |                       | 100 lm/W                       | 7 лв./1000 lm                           |
| Цвят |                      | Дължина<br>на вълната | КПД                            | Цена на гребно за 1W<br>светлинен поток |
|      | Виолетово-син        | 450 – 465 nm          | 50%                            | 6 лв./1W поток                          |
| UV   | Близко-ултравиолетов | 385 – 405 nm          | 25%                            | 50 лв./1W поток                         |
| UV   | Ултравиолетов        | 320 – 385 nm          | 15%                            | 350 лв./1W поток                        |

фоторецепторните клетки се „осветяват“ и блокират поемането на повече светлина, докато облъчването не се премахне и не премине определено време на възстановяване. При облъчване със синя светлина фоторецепторната клетка не се „осветява“ и продължава да поема светлина. Това състояние увеличава многократно риска от увреждане. Възстановяването от подобно нараняване може да е невъзможно, но при по-леки облъчвания организмът е способен да се възстанови. Препоръчва се внимание при използване на светодиоди с малка дължина на вълната (сини, студено-бели, виолетови и ултравиолетови).

През 2003 г. е открит нов тип светодиоди с висок КПД, излъчващи в синята област и имащи КПД 34 %. Толкова висок КПД не е достиган до този момент и синият светодиод става основа за създаване на бял светодиод чрез поставяне на жълто-флуоресциращ фосфор върху светодиодния кристал. Фосфорът поглъща синята светлина и я преизлъчва в жълта.

Синята и жълтата светлина се смесват и образуват бяла светлина. Първите бели светодиоди имат ефективност от 65 лумена на ват (lm/W). През 2006 г. тази ефективност вече достига 130 lm/W, а днес могат да се закупят достъпни бели светодиоди с ефективност 140 lm/W на цена на гребно от 6 лв. за 1000 lm. За сравнение ще отбележим, че една енергоспестяваща крушка от 15W излъчва приблизително 1200 лумена с ефективност около 80 lm/W.

Разновидност на светодиодите са т.нар. OLED, или органични светодиоди. Използването на органични съединения за образуването на PN преходите позволява миниатюризация и изготвяне на цветни дисплеи за телефони и мобилни устройства. OLED технологията дава възможности и за създаване на гъвкави и печатни дисплеи.

Светодиодите имат толкова разнообразни приложения, колкото и останалите осветителни устройства. Навсякъде, където е нужна светлина, за сигнализация или осветление, светодиодите са прило-

### Ефективност на разпространените източници на светлина

| Вид светлинен източник                                                                                  | Ефективност<br>(лумена на ват) | КПД     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|
| Свещ                                                                                                    | 0,3                            | 0,04 %  |
| Петромаксова лампа                                                                                      | 1,5                            | 0,22 %  |
| Крушка с нажежаема жичка                                                                                | 15                             | 2,20 %  |
| Халогенна крушка с нажежаема жичка и кварцов балон                                                      | 30                             | 4,40 %  |
| Енергоспестяваща луминесцентна лампа                                                                    | 80                             | 12,00 % |
| Газоразрядна ксенонова дъгова лампа                                                                     | 40                             | 6,00 %  |
| Газоразрядна ксенонова дъгова лампа с живак                                                             | 50                             | 7,33 %  |
| Газоразрядна сярна лампа                                                                                | 100                            | 15,00 % |
| Газоразрядна метално-халидна лампа (грешно наричана ксенонова крушка при фаровете на леките автомобили) | 100                            | 15,00 % |
| Газоразрядна живачна лампа                                                                              | 50                             | 7,33 %  |
| Газоразрядна натриева лампа                                                                             | 150                            | 22,00 % |
| Светодиод                                                                                               | 140                            | 20,53 % |
| Идеален източник на зелена светлина с дължина на вълната 555 nm                                         | 683                            | 100 %   |

жими. Както беше споменато, възможно е генерирането на светлина в инфрачервената, ултравиолетовата и видимата област на спектъра. Възможно е тясно-лентово излъчване (определен цвят) и широко-лентово излъчване (бял цвят). Размерите на светодиодите варират от миниатюрни елементи под 1мм и няколко миливата до мощни диоди, достигащи няколко вата и заемащи площ от няколко десетки кв.мм.

Най-разпространените и достъпни светодиоди се произвеждат в пластмасов прозрачен корпус с проводникови крачета. Корпусът е цилиндричен с диаметър 5 мм и изходяща леща. Този вид светодиоди се усвоява активно от китайските производители и заема широк пазарен дял през последните години поради високите си качества и няколко пъти по-ниската си цена спрямо японските производители. Мощността на тези светодиоди е от порядъка на 70 mW.

Светодиодите заместват не само сис-



Най-разпространеният тип светодиоди: 5 мм цилиндричен пластмасов прозрачен корпус

темите за сигнализация и осветление, но вече се използват за създаване на монитори и телевизори – най-новата технология при телевизорите е LED екран, състоящ се от милиони миниатюрни светодиоди в три цвята, разположени в правоъгълна матрица.

Нараства приложението на светодиоди в автомобилите. Те заместват крушките с нажежаема жичка при индикаторите на арматурното табло, освет-



*Светофар, изпълнен със светодиоди*

лението в купето, жабката и багажника, сигналните светлини (стопове, габарити и мигачи) и фаровете. Най-сериозни са изискванията към фаровете, където мощността е най-голяма и е нужно висококачествено охлаждане. Фаровете на леките коли предполагат и точно фокусиране на светлинния сноп, което се постига чрез лещи.

Трябва да се отбележи фактът, че светодиодите в стоповете на автомобилите подобряват сигурността, тъй като времето за достигане на максимална яркост е почти мигновено в сравнение с крушките с нажежаема жичка, които се нуждаят от половин секунда, за да започнат да светят ярко.

Светодиодите се използват и в самолетите. „Еърбъс“ използва светодиоди в модела А320 от 2007 г., а „Боинг“ планира да ги внедри в модела 787. Те навлизат и в навигационните осветления на летищата.

Светодиодите в инфрачервената област се използват за пренасяне на информация (дистанционни управления, оптични кабели) и осветление за камерите за нощно виждане. Ултравиолетовите светодиоди постепенно заместват другите източници на ултравиолетова светлина. Например UV светодиоди вече се използват за стерилизация, експозиция на фоточувствителни филми и лакове, флуоресцентно тестване на материали, откриване на замърсявания, тестване за фалшиви банкноти и др.



*Ураниевото стъкло (U-238) свети ярко в зелено при облъчването му с ултравиолетова светлина (дължина на вълната 365 nm, мощност на светлинния поток 10mW)*

Крайният ефект от внедряването на светодиодите е не само по-ниската цена за поддръжка и консумация, но и занижените въглеродни емисии, свързани с производството на електричество. Оценено е, че в САЩ генерирането на 1kWh електроенергия е свързано с отделянето в атмосферата на 610g CO<sub>2</sub>. Ако заменим една електрическа крушка със светодиодно осветление със същата яркост и изчислим спестената електроенергия за една година, ще бъдем удивени, че отделеният въглероден диоксид за този период ще е със 75 килограма по-малко. 1000 крушки, заменени със светодиоди, прочистват природата със 75 тона CO<sub>2</sub> годишно. ■