

ИНОВАЦИИ ПРИ МАТЕРИАЛИТЕ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА LED

Даниела Марева
Бургаски свободен университет

INNOVATIONS IN MATERIALS FOR LED PRODUCTION

Daniela Mareva
Burgas Free University

Abstract: Светодиодното (LED) осветление се утвърди сред останалите „класически“ технологии. Динамичното развитие на светодиодното осветление и бързото му навлизане във все повече области на битя и индустрията е пряко свързано с разработката и производството на необходимата елементна база. Към добре известните предимства на LED спрямо лампи с по-малка консумация на електроенергия и по-дълъг експлоатационен срок се прибавя многократно по-малкото количество вредни емисии от CO₂, отделяни за производство на необходимата електроенергия.

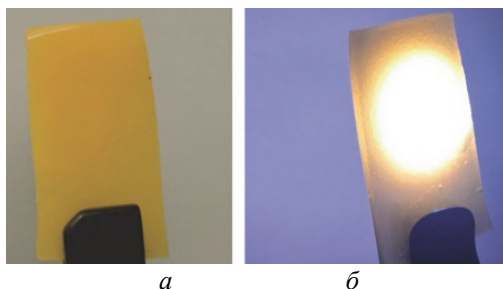
Keywords: LED, materials, application.

През последните години към предимствата на LED се прибавиха увеличаването на максималната им мощност, съчетано с по-добро охлаждане, подобряване на много от другите параметри, удължаване на реалния експлоатационен срок и намаляването на цената им.

Към класическите серии единични LED с различни цветове вече са добавени такива със значително по-тясна спектрална характеристика, осигуряваща практически монохроматична светлина.

LED е концентрирал в себе си последните постижения на физиката, нанотехнологиите, микроелектрониката и представлява сложна структура от полупроводникови слоеве и луминофори. В настоящата статия са разгледани някои от тях.

Луминофор – Една от най-значимите иновации в LED осветлението през последните години е технологията Remote Phosphor, при която луминофорът е практически отделен от светодиода и интегриран в разсейвателя. По този начин се постига много по-широк ъгъл на осветяване и по-голяма свобода при дизайна в комбинация с по-малки производствени разходи. Луминофорът, сам по себе си, не е нов материал в LED осветлението. Традиционно той се нанася като покритие върху сините светодиоди, за да промени светлината им в бяла. На дневен ред при новите луминофорни материали е червеният луминофор, който излъчва в много тясна честотна лента (narrow-band red phosphor). На практика, с него се постига подобрена ефективност, тъй като не се губи светлина в дълговълновата част от червения спектър.



Фиг. 1. Луминофор с пероксид

Изследователите установяват, че комбинация от CsPbBr_3 – нанокристали, третирана с разтвор на пероксид с конвенционален червен луминофор, произвежда бяла светлина с високо качество, когато светлината се изпомпва от син LED или лазерен диод. Освен това животът във възбуденото състояние е достатъчно кратък, за да осигури рекордна ширина на честотна лента на пропускане, използвана като метод на предаване на данни чрез видима светлина, известен също като Li-Fi.

Зеленият луминофор, базиран на нанокристали от пероксид, смесен с фосфор в червен цвят, изглежда жълто в светлината на околната среда (а). При възбуждане със син лазер, комбинацията фосфор произвежда бяла светлина (б).

В бъдеще същите светлинни източници биха могли да предават данни на компютър или смартфон с фотонни импулси толкова бързо, че очите няма да ги видят. Но тази форма на комуникация с видимата светлина е изправена пред два ключови проблема: светлината трябва да мига достатъчно бързо, за да носи значително количество данни, и в същото време трябва да осигури топли, балансирани цветови тонове, необходими за приятно външно осветление.

CsPbBr_3 нанокристалите могат да постигнат високи скорости на предаване на данни с 2 гига бита в секунда, което е сравнимо с бързо Wi-Fi при диоди, излъчващи бяла светлина.

Комуникацията чрез видима светлина, понякога наричана Li-Fi, вече намира приложения в интелигентна LED система, която използва Li-Fi за прехвърляне на отстъпки за купувачите на мобилни телефони в зависимост от местоположението им в магазина. Ако скоростта на трансфер на данни може да бъде значително увеличена, Li-Fi може да добави много необходимата честотна лента за претоварени Wi-Fi мрежи, които използват радиовълни. И тъй като интелигентните светодиоди работят двойно, осигуряват осветление и комуникация. Така предлагат икономично решение за тези системи. Не се нуждаят от пряка видимост между светодиода и компютъра – приемо-предавател. Докато устройството ви може да вижда светлината, можете да получите сигнал.

Светодиодите с бяла светлина обикновено съдържат син LED, покрит с луминофор, който превръща част от светлината в зелено и червено. Но при повечето луминофори се отнема твърде дълго време, за възстановяване между възбуждането и излъчването, пулсиране не повече от няколко милиона пъти в секунда. Други изследователи показаха, че полимерните полупроводници могат да достигнат честоти над 200 MHz.

Екип създаде пероокисни нанокристали, приблизително 8 nm, и откри, че зелената им светлина изчезва само за седем наносекунди. Това позволява надеждно да пулсират почти до 500 MHz, нов рекорд за LED луминофор и е много впечатляващо

и важно постижение. Бързата реакция отчасти се дължи на размера на кристалите и когато синята светлина възбужда електроните в материал, тя образува двойка електрон-дупки, наречена exciton. Ограниченията на малкия кристал променят енергийните нива на exciton, причинявайки по-голяма вероятност електронът да се рекомбинира с дупката си и да излъчва фотон.

Когато изследователите комбинират фосфорен перооксид с търговски луминофор и син индикатор – галиев нитрид, приборът излъчва топла бяла светлина с индекс на цветопрераждане 89 (естествената слънчева светлина има индекс на цветопрераждане 100). Сравнително лесно се реализира фина настройка на химията на пероокисите, като се заменят различни халогенни или метални йони. Това означава, че има голям потенциал за подобряване на тези свойства.

Силикон – Тенденцията към все по-тънки и компактни корпуси при светодиодните източници поставя стъклото сред по-рядко използваните материали. Много производители в сферата на LED осветлението търсят алтернативи поради отличните му термични и оптични характеристики. Основен недостатък на този традиционен материал е липсата на гъвкавост. Сред технологиите, масово използвани като заместители на стъклото в LED осветлението доскоро, са поликарбонатът и PMMA (поли метил-метакрилат). Формовъчният силикон обаче е на път да ги измести от челните позиции сред алтернативите, обещавайки много нови възможности за индустрията. Той комбинира доказаните свойства на термопластите с оптичните характеристики на стъклото. Този материал е устойчив на високи температури, високи дози ултравиолетово облъчване и високи плътности на светлинния поток. Всички тези предимства на формовъчния силикон го правят подходящо решение дори за критични индустриални приложения.



Фиг. 2. Силикон Shin-Etsu за мощни светодиоди

Като новаторски отговор за посрещане на нарастващите изисквания (повишени характеристики на топлина / яркост) на най-новата LED технология, компанията предложи нов оптически чист LIMS (Liquid Injection Molding System) X-34-1972-3.

Свойства LIMS X-34-1972-3:

- Твърдост: 70 A
- Якост на разтягане: 7,5 МПа
- Якост на опън: 12 кН / м
- Показател пречупване: 1,41
- Прозрачност: 95%

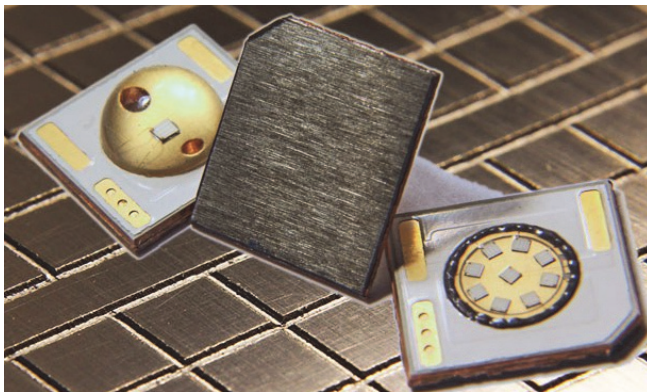
С прозрачност 95%, новият материал има уникални свойства и е идеален за LED приложения в уличното осветление, автомобилното и външното осветление. Отличната устойчивост на топлина в сравнение с термопластичните смоли позволява да се постави силиконов материал в непосредствена близост до чипа, излъчващ светлина, на мощен светодиод без пожълтяване или напукване за продължителни периоди на работа. LED-системите от ново поколение с висока яркост – HP стават по-горещи, тъй като светлинният поток продължава да расте, а съвременните технически свойства на материала X-34-1972-3 осигуряват ненадминато топлинно съпротивление и прозрачност при тези по-високи работни температури.

Субстрат (подложка) – GaN

Първото поколение светодиодни източници използват комбинация от галиев нитрид (GaN) и субстрат от различен материал – стъкло, силициев карбид, сапфир. През последните години няколко от големите производители в сферата на LED осветлението започнаха разработки и пуснаха на пазара светлоизточници, при които субстратният слой също е направен от галиев нитрид. Използването на един и същи материал за двата слоя спомага за по-голямата надеждност на диода дори при изключително висока плътност на мощността. Тези възможности са познати от години на повечето LED производители, но високите цени на галиевия нитрид доскоро не позволяваха пазарната реализация на концепцията. GaN-on-GaN технологията направи възможно и производството на светодиоди, излъчващи в целия спектър, включително виолетовият.

LED корпуси

Сред съществените нововъведения е монтирането на излъчващите светлина полупроводникови кристали върху добре провеждаща топлината керамична подложка, с което се подобрява охлаждането и при даден размер на LED той може да работи с по-голям ток и да осигурява по-силна светлина без скъсяване на експлоатационния срок.

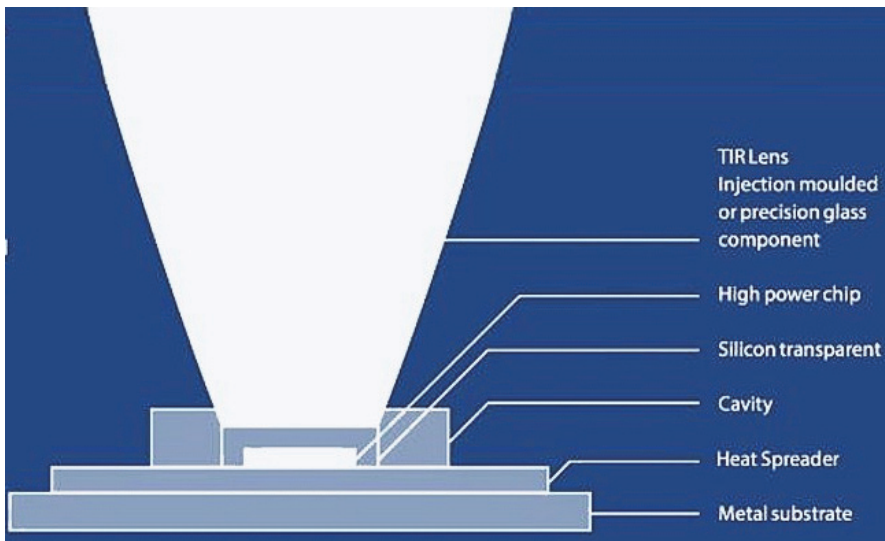


Фиг. 3. Нов материал Black X™

Litescoll произвежда LED корпуси, използващи нов диелектричен материал Black X™, който има топлопроводимост 1000 W / mK – три пъти по-висока от тази на медта. Диелектриците се използват в LED корпуси, за да изолират електри-

ческите пътечки, но те пречат на топлинния поток, което води до прегряване на светодиода. Евтините светодиодни пакети използват пластмаса като основен диелектричен материал. Мощните, скъпи LED корпуси използват керамика, като сапфир (алуминиев оксид), за диелектрик. Новият материал, Black X™, има топлопроводимост 30 пъти по-висока от алуминиевия оксид. LED корпусите имат термично съпротивление от $0.2^{\circ}\text{C} / \text{W}$ до $0.5^{\circ}\text{C} / \text{W}$ в зависимост от дизайна. Това е 6 пъти по-малко от най-близкия конкурент, което означава, че светодиодът може да се захранва с 6 пъти по-голям ток без прегряване.

Нова конструкция – ESCATEC Heat Spreader има меден субстрат, който десет пъти по-ефективно разсейва топлината, генерирана от светодиодите, отколкото настоящите решения. Дизайнът CoolRunning позволява използването на пасивно охлаждане за светодиоди със специфична мощност до 10 W на mm^2 .

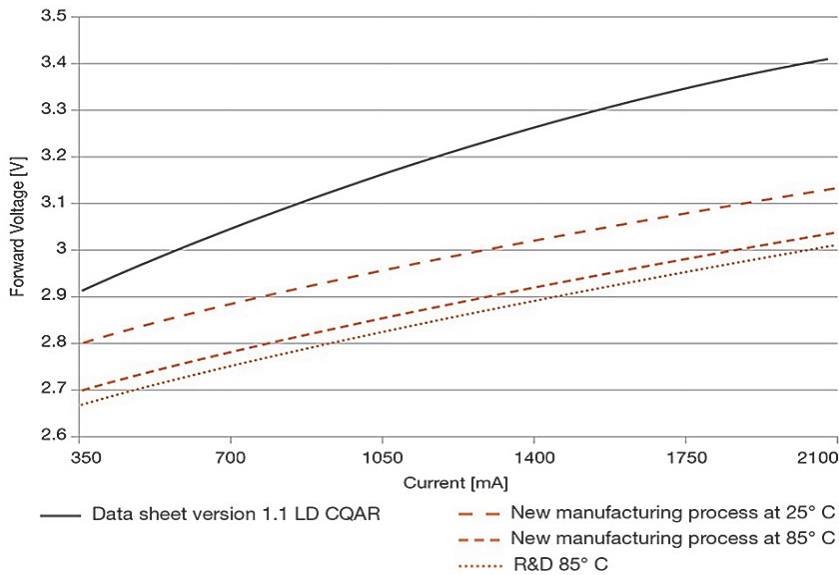


Фиг. 4. Теплообменник – Heat Spreader

Теплообменникът е разработен от лабораторията на FutureAT на ESCATEC. Разсейването на топлината винаги е проблем за светодиодите, поради компактния си размер и означава, че светодиодите може да се поставят близо един до друг, за да образуват мощен източник на светлина. Също така формират силно концентриран източник на топлина, например, когато сто 5W светодиоди са инсталирани близо един до друг, за да бъдат използвани в приложения, като например осветление и прожектори.

Въз основа на параметрите на LED матрицата, може да създаде решение в зависимост от размера на корпуса, формата на лъча, което позволява да се намалят загубите и да се подобри качеството на светлината и нейната интензивност. Тази свобода на проектиране позволява LED да бъде високоефективно, подходящо охладено и оптимизирано за нужната консумирана енергия.

Ефективност на светодиодите



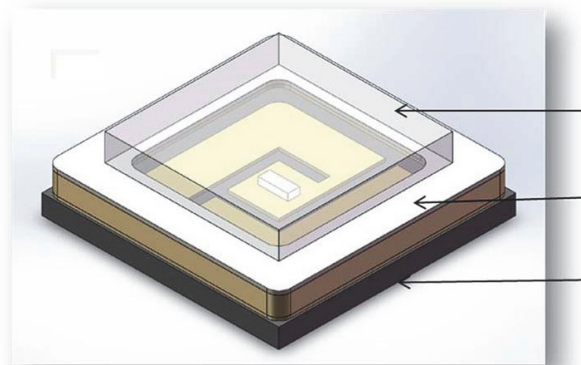
Фиг. 5. Намаляване на напрежението в права посока

Osram Opto Semiconductors е постигнал значителен напредък в намаляването на напрежението в права посока за сините LED с висока мощност. Това доведе до повишаване на ефективността до 8%. Оптимизирани LED InGaN (индий-галиев-нитрид), използващи технологията UX: 3, са в основата на сините или белите LED и вече се използват в производството. Постига се и значително намаляване на напрежението с още 20-30mV.

Син LED Osram Oslon площад (LD CQAR), например, в момента има типичен спад на напрежението 2,87 V, вместо на 3,05V – най-ниската стойност за този компонент в света. При 85 ° C може да се постигне напрежение 2.78 V. Намаляването на напрежението е постигнато благодарение на нов процес в епитаксията. В зависимост от работната точка, това води до увеличаване на ефективността на тези LED от шест до осем процента, което може да се разшири до цялото семейство UX: 3 чипа. Тези чипове ще бъдат инсталирани на всички сини и бели LED. Все още има голям потенциал. Лабораторията вече успява да намали по-нататъшното напрежение с 30 mV. Това ще позволи пропорционално подобряване на ефективността на LED чиповете. Като се има предвид напредъкът, постигнат на първата стъпка, усъвършенствената технология може да бъде прехвърлена към производството. Всяко по-нататъшно съкращаване на напрежението ще бъде незначително, изхождайки от законите на физиката.

Светодиод в неорганичен корпус

Ултравиолетови LED. Излъчваните от тях невидими за човешкото око лъчи ускоряват и/или подобряват процеса на обработка на материали (Industrial Curing). Използват се за почистване на обекти, на въздух и вода от бактерии, за откриване на наличието на различни вещества.



CMH: C=Ceramic, M=Metal, H=Glass

Фиг. 6. Нов CMH ултравиолетов светодиод с висока надеждност

Honglitrionic произвежда LED UVC G6060 (275-285 nm), което е нов CMH ултравиолетов светодиод с висока надеждност: 15% намаление на дебита при 10 000 часа стареене. Има запечатан корпус, който може да отговаря на американския военен стандарт MIL-STD-883, с висока устойчивост на корозия и дълъг експлоатационен живот.

Особености:

- Размери на корпуса: 6,0 * 6,0 * 1,65 мм;
- Дължина на вълната: 270 - 290 nm;
- Херметично затворен корпус, способен да отговаря на американския военен стандарт MIL-STD-883;
- Висока стабилност, N2 или вакуум;
- Кварцово стъкло, висока устойчивост на корозия;
- Дълъг експлоатационен живот;
- Отлична защита срещу статично електричество;
- RoHS съвместим.

Приложение:

- Стерилизация
- Дезинфекция

Honglitrionic, производител на ултравиолетови източници на светлина, доставя мощни, издръжливи и икономични светодиоди в обхвата на ултравиолетовите лъчи. В допълнение, UVA LED C5050 и C3535 (360 nm - 410 nm) имат висок радиационен поток, висока ефективност на разсейване на топлината, дълъг експлоатационен живот и отговарят на RoHS.

Светодиодите могат да се използват в различни UV устройства, като например втвърдяване, лампи за нокти, фотокатализатор, стерилизатори, инсектициди, в областта на сигурността, за проверка на банкноти.

Светодиод - огледален тип

Вторична оптика (Secondary Optics). Сред бързо развиващите се приложения на LED е осветяването на големи открити и закрити площи, чиято ефективност се повишава чрез съчетаване на качествата на мощните диоди с подходящи лещи, рефлектори и други елементи на вторичната оптика за реализация на осветителни тела.



Фиг. 7. Светодиоди с отразяващо огледало

Alpha-One, водещ японски светодиоден доставчик, предлага нови компактни инфрачервени светодиоди с висока интензивност на светлината, използвайки специална технология за тялото.

Например AOP2-9505P1 с λ 950 nm, с ъгъл на гледане $\pm 7^\circ$, приблизително 6.0x6.0x3.0 mm. Това устройство има изключително високо ниво на интензитет $I_E = 350 \text{ mW} / \text{sr}$ и оптична изходна мощност, равна на 35 mW при $I_F = 50 \text{ mA}$.

Това напълно ново и уникално устройство е много подходящо за приложения, изискващи мощни инфрачервени лъчи, като инфрачервени осветители за видеокамери, медицински устройства и машинно зрение. Светодиодите с отразяващо огледало също се предлагат с други дължини на вълните между λ 470 nm и λ 950 nm. Известен е и светодиод с висока мощност с λ 850 nm.

Изводи

1. Новите материали при производството на нови структури и конструкции на LED дават по-големи възможности на научно-иследователските екипи да подобряват параметрите на LED, като КПД, мощност, спектър и качество.

2. Разширява се гамата от материали, както и създаването на много комбиниращи технологии за нови видове и серии LED.

Литература:

1. Led Professional - Trends & Technologies for Future Lighting Solutions, 2018.
2. Led Professional - Trends & Technologies for Future Lighting Solutions, 2017.