

DESPRE FIABILITATEA DIODELOR ELECTROLUMINESCENTE ALBE (WLEDs) DE PUTERE, FOLOSITE ÎN ILUMINATUL PUBLIC

Titu-Marius I. Băjenescu, dr.prof.

C. F. C., La Conversion, Elveția

1. INTRODUCERE

Evoluția tehnologică din ultima vreme a LEDs impune sfidarea de a asocia mărirea puterii optice a unui volum de ordinul milimetrilor cu o fiabilitate din ce în ce mai ridicată, reducând simultan costurile de fabricație. Actualele standarde folosite în iluminatul public prevăd o durată de viață utilă mai mare de 50.000 ore.

De remarcat că de-a lungul fazelor de fabricație, elaborarea acestor componente electronice trebuie să satisfacă mai multe criterii de calitate: minimizarea concentrației de defecte în materialul cipului, buna calitate a interfețelor dintre diferitele straturi epitaxiate, buna calitate a suprafeței cipului - pentru a avea o emisiune optimă de lumină. Aceasta înseamnă că procedeele de asamblare trebuie realizate plecând de la materiale performante, având o disiparea termică redusă, care să permită concepția unui dispozitiv capabil să mărească semnificativ extracția luminii, protejând simultan cipul emițător împotriva agresiunilor externe (temperatură, vibrații, poluare chimică, etc.).

Modul primar de defectare al unei LED este degradarea treptată a puterii optice, după îmbătrânire. Pentru a pune în evidență mecanismul de defectare care stă la baza acestei degradări este nevoie de mijloace de analiză fizică costisitoare și de un timp relativ lung de testare. Se preferă, de aceea, estimarea comportării LED cu ajutorul unui model electro-optic echivalent, în regim static. În acest caz, parametrii modelului depind de tehnologie, iar evoluția lor traduce o derivă a comportamentului electric și/sau optic.

Complexitatea unei componente optoelectronice de tipul LED, ținând seama de procedeele de fabricație ale cipului și/sau de diferitele faze de asamblare, face să fie și mai dificilă punerea în evidență a elementului responsabil pentru deriva puterii optice.

Standardele actuale de calificare nu pot fi asigurate cu tehnicile obișnuite de selecție ale produselor finite, iar calificarea nu poate fi demonstrată cu ajutorul încercărilor accelerate - al căror scop este de a evalua durata medie de viață

(MTTF). Într-adevăr, chiar dacă acceptăm doar două defecte pentru o încercare clasică de 1.000 ore, având un factor de accelerare de 300...400, sunt necesare mai multe sute sau mii de componente pentru alcătuirea eşantioanelor care urmează a fi testate. De altminteri, pentru iluminatul public, standardele de calificare (JEITA sau MIL) impun un minimum de componente cuprins între 30 și 100, în funcție de tipul de îmbătrânire folosit. Cât privește defectarea propriu-zisă, dispunem de metode de analiză nedestructive care au nevoie de puțină preparare a eşantioanelor (uneori chiar fără preparare): termografia infraroșu pentru a cartografia disiparea termică a unei componente, imageria termică prin reflectometrie laser a unei componente, lentila optică sau analiza puterii optice de ieșire.

Tehnicile de analiză electro-optice - care regroupează caracteristicile curent-tensiune, caracteristicile spectrale și de putere optică - sunt curent folosite în industrie. Cu toate acestea, bogăția informațiilor conținute este deseori puțin exploatată. În general, problema esențială constă într-o interpretare a rezultatelor obținute care fac adesea apel la mecanisme de defectare sau la cunoașterea precisă a tehnologiei și a arhitecturii componente și a asamblării ei. Sistemele de măsură sunt folosite în mod sistematic și permit o verificare a funcționării de tipul "trece / nu trece" (go / no go).

Componenta optoelectronică este așadar considerată ca o entitate care ascultă de o dublă definiție: (i) o definiție fizică bazată pe o modelizare (plecând de la ecuații complexe care definesc funcționalitatea depinzând de tehnologie); (ii) o definiție orientată "sistem", mai suplă la utilizare, bazată pe modele simplificate, având parametri mult mai restrânși, care țin seamă de interacțiunea dintre componentă și mediul ei înconjurător.

2. TEHNOLOGIA CU NITRURĂ DE GALIU (GaN)

Extraordinarul progres al tehnologiilor bazate pe nitrura de galiu (GaN) pentru fabricarea de componente optoelectronice destinate multor

domenii de aplicații (medicină, energie, tehnici de informație și telecomunicații) a dus la dezvoltarea considerabilă a pieței de diode electroluminiscente LEDs. Începând cu anul 2000, preocupările ambientale ale societății noastre, dar – mai cu seamă – preocuparea de a reduce consumul de energie electrică, au condus la puternica dezvoltare a cercetărilor în domeniul iluminatului public. În acest fel, LEDs bazate pe GaN au început să pătrundă pe piața dominată până atunci de gigantul lămpilor fluorescente și/sau incandescente. Miniaturizarea dispozitivelor de iluminat cu LEDs și progresul continuu al performanțelor lor (>150 lm/W) au condus la creșterea densității de putere, ceea ce a însemnat o recrudescență a sfidărilor în privința pierderilor termice și a duratei utile de viață.

Evoluția în creștere a complexității tehnologiilor pe bază de GaN și miniaturizarea tehnologiilor de asamblare fac dificilă analiza defectelor. Consecința directă este că fiabilitatea acestor sisteme este din ce în ce mai greu de estimat. Numeroși fabricanți se bazează pe o proiecție matematică exponențială pentru a evalua duratele de viață ce depășesc 50.000 ore. Însă majoritatea acestora extrapolează experiențele trăite cu lămpile cu incandescență. În momentul de față, lămpile cu LEDs au încă o prea slabă luminanță iar culoarea lor alunecă ușor către albastru. Pentru fabricanții de lămpi cu LEDs, studiul fiabilității și - mai cu seamă - analiza fizică a defectelor sunt deosebit de critice și devin un argument de vânzare tot atât de important ca reducerea consumului de energie.

Un studiu recent [1] a demonstrat că utilizând un strat de izolare termică, situat între chip și stratul de luminofor, permite să se reducă difuzarea temperaturii de joncțiune a cipului în stratul de luminofor (figura 1).

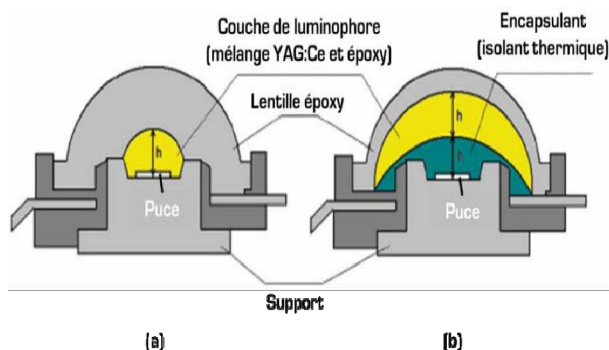


Figura 1. Secțiune printr-o diodă albă WLED; (a) WLED convențională; (b) WLED cu luminofor izolat termic (după [1]).

Kim et al. au elaborat o concepție nouă de diode cu structură verticală și un substrat de safir gravat în

V (*Sapphire-Etched Vertical-Electrode Nitride Semiconductor* - SEVENS) [2, 3]. Figura 2 redă aspectul unei plachete SEVENS, imaginea fiind obținută cu ajutorul unui microscop electronic cu baleiaj (MEB). Datorită acestei noi tehnici, randamentul extern a fost ameliorat cu 8,4% - în comparație cu structurile convenționale cu contacte laterale, cu un randament de numai 7,5%. Puterea optică este 4,5 mW la 20 mA [2], ameliorarea fiind atribuită reducerii auto-încălzirii cipului. Aceeași structură a fost realizată pentru LEDs de putere, obținându-se o putere optică de 1,8 până la 4,3 ori mai mare decât cea a unei LED convenționale de putere, alimentată cu 200 mA [3].

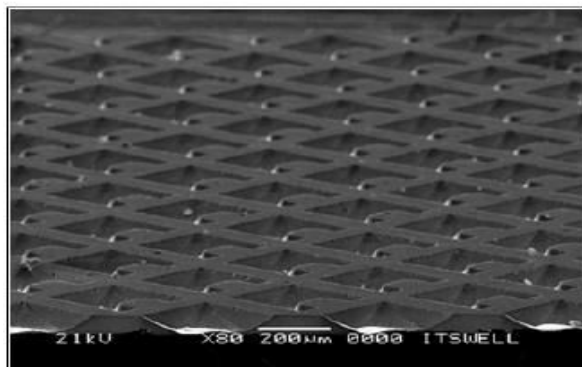


Figura 2. Imaginea MEB a unei plachete cu LEDs SEVENS [2, 3].

3. ACTUALUL CONTEXT ECONOMIC

Diodele electroluminiscente sunt transductoare electro-optice care permit aplicații destul de variate. Tehnologiile folosite astăzi acoperă banda lungimilor de undă mergând de la ultraviolet (350 nm) la ultra-roșu (2000 nm), ceea ce permite să se ofere un răspuns numeroaselor necesități societale.

Puternica dezvoltare a tehnologiei GaN din ultimii 15...20 ani a permis să se întrevadă aplicații care folosesc banda vizibilă de ultra-violet. Piața comercială asociată acestei tehnologii este tocmai pe cale să se nască.

4. PIAȚA GLOBALĂ A LEDs

Încă de la sfârșitul decadei 1990, această piață cunoaște o dezvoltare considerabilă, împinsă de cererea în creștere de LEDs din ce în ce mai fiabile, pe măsură ce volumele de producție cresc pentru sectorul iluminatului și al corpurilor de iluminat cu LEDs, al retro-iluminatului ecranelor de televiziune, al ordinaroarelor portabile, al

telefoanelor mobile, etc. Focalizate la scară mondială de reducerea consumului de energie, aceasta prevestește un viitor înfloritor pentru LEDs, mai cu seamă în sectoarele de iluminat al clădirilor rezidențiale particulare și/sau profesionale. În 2010 sectorul acesta a depășit 10 miliarde dolari SUA [5, 6]. Cu o creștere anuală globală de 13,6% în perioada 2001-2012, piața ar trebui să atingă - în 2015 - cifra record de 14,8 miliarde dolari SUA [7]. Figura 3 ilustrează evoluția pieței globale a LEDs în perioada 2001-2012 [8], iar tabelul 1 prezintă evoluția primilor zece furnizori de LEDs, în anii 2007-2010.

Consecința unei asemenea creșteri a fost mărirea dimensiunii plachetelor pentru producția cipurilor GaN: 53% în 2010 și 71% în 2011; aceasta a condus la o explozie a pieței producției de cipuri prin

epitaxie în fază vapor cu organometalice (MOCVD). Ca atare, între 2010 și 2011 au fost create 25 noi întreprinderi [5], iar astăzi există în lume peste 75 fabricanți de LEDs, R. P. Chineză situându-se în fruntea plutonului și reprezentând una din cele mai mari zone de producție din lume, incitând simultan Taiwanul și Coreea de Sud să-și implanteze fabricile lor pe teritoriul chinez [6].

Cei cinci actori principali de pe piața mondială de LEDs sunt Nichia și Toyoda (Japonia), Philips Lumileds (Olanda), Cree (SUA) și Osram (Europa); cât privește GaN de putere, Toyoda Gosei este firma cea mai prezentă pe piață. De remarcat prezența asamblatorilor: Sharp, Toshiba, Citizen și Stanley (Japonia), Avago (SUA), Lite-ON,

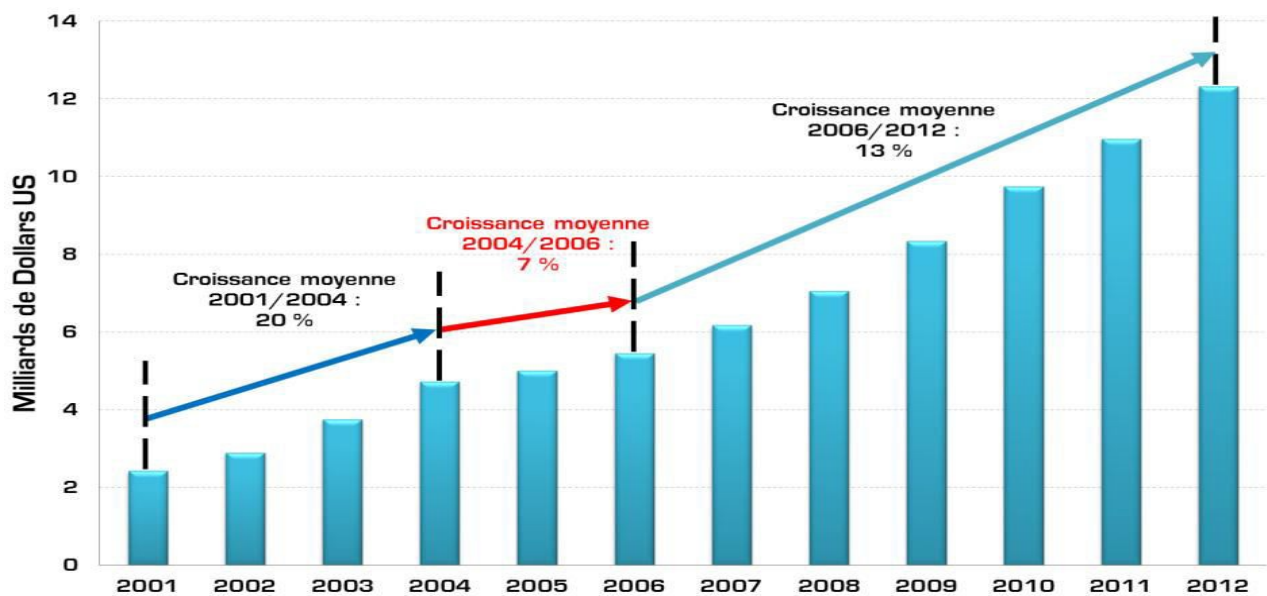


Figura 3. Evoluția pieței globale a LEDs în perioada 2001-2012 [4] [8].

Tabelul 1. Primii zece furnizori de LEDs, din 2007 până în 2010, în funcție de părți din piață, în % (după [4]).

Rang	2007	2008	2009	2010
1	Nichia 24.0 %	Nichia 19.0 %	Nichia 16.0 %	Nichia 15.0 %
2	Osram 10.5 %	Osram 11.0 %	Osram 10.0 %	Samsung 10.0 %
3	Lumileds 6.5 %	Lumileds 7.0 %	Samsung 6.5 %	Osram 9.0 %
4	Seul S. 5.0 %	Seul S. 5.5 %	Lumileds 6.0 %	Seul S. 7.5 %
5	Citizen 5.0 %	Everlight 4.0 %	Cree 5.5 %	Cree 6.0 %
6	Everlight 4.5 %	Citizen 4.0 %	Seul S. 5.5 %	Lumileds 5.5 %
7	Stanley E. 3.5 %	Cree 4.0 %	Everlight 4.5 %	Sharp 5.5 %
8	Kingbright 3.5 %	Stanley E. 3.0 %	Stanley E. 4.5 %	LG Inno. 4.5 %
9	Avago 3.5 %	Kingbright 3.0 %	Lite-ON 3.5 %	Everlight 4.0 %
10	Toshiba 3.5 %	Avago 3.0 %	Citizen 3.0 %	Stanley E. 3.5 %
	Autres 30.5 %	Autres 35.5 %	Autres 35.0 %	Autres 29.0 %
Total	100.0 %	Total 100.0 %	Total 100.0 %	Total 100.0 %

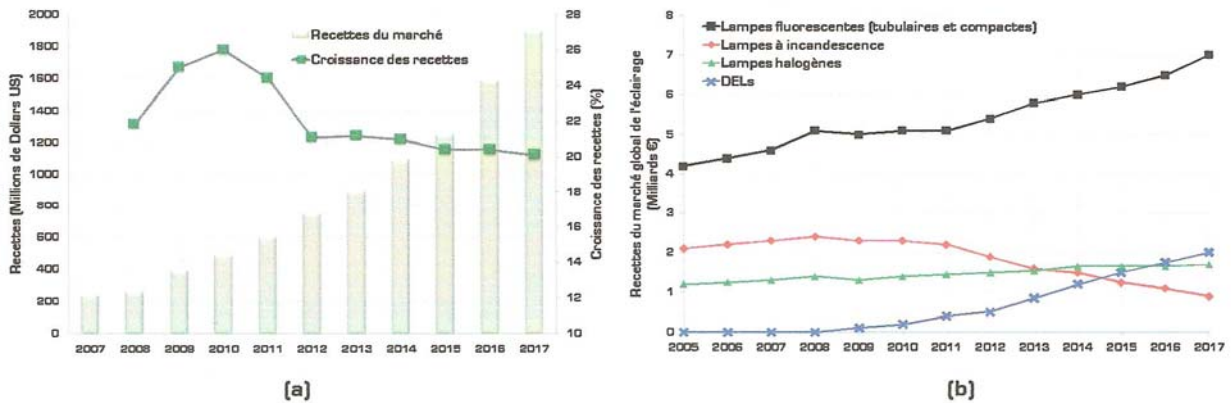


Figura 4. (a) Evoluția pieței de LED cu GaN de putere (venituri și creșterea lor, în dolari US) în iluminatul public, din 2007 până în 2017; **(b)** Veniturile pieței globale a iluminatului, segmentată pe tipuri de lămpi (după [4]).

Everlight și Kingbright (Taiwan), LG, Samsung LED și Seul Semiconductor (Coreea de Sud).

Succesele obținute în domeniul tehnologiilor LED pe bază de GaN au condus la patru sfidări majore: puterea optică, randamentul energetic, calitatea luminii și obținerea unor durate de viață mai mari de 50.000 ore.

În general, o lampă cu LED de 13 W emite tot atâta lumină cât o lampă incandescentă de 100 W. În SUA, de exemplu, iluminatul reprezintă mai mult de 20% din consumul total de electricitate [8]; la nivel mondial, iluminatul public este răspunzător pentru mai mult de 1900 milioane tone CO₂ anual. Dacă toate lămpile din lume ar fi înlocuite cu iluminatul cu LEDs, consumul mondial de CO₂ ar putea fi redus cu peste 50%, în fiecare an, cu beneficii economice, ecologice și ambientale suplimentare. Succesul noilor lămpi constă în aceea că ele reprezintă o alternativă "verde" care răspunde criteriilor ambientale (reducerea consumului de energie, tehnologii fără mercur sau plumb).

În ciuda crizei economice și financiare actuale, începând din anul 2009 piața iluminatului cu LEDs înregistrează o creștere considerabilă (figura 4).

5. FIZICA DEFECTĂRILOR LED

În general, defectarea unei diode electroluminescente este un proces, progresiv [9], întrucât este produs de mai multe tipuri de degradări [10]:

- Prezența unor defecte în cristal (dislocări sau precipitarea atomilor-gazdă) poate afecta recombinarea radiativă a purtătorilor reinjectați care emit lumină în regiunea activă. La injecții electrice ridicate, componentele chimice pot să migreze electric în alte regiuni. Schimbările structurale generează defecte cristaline (dislocații și defecte

punctuale) care acționează ca centre neradiative, împiedicând decaderea radiativă naturală și producând mai multă căldură în interiorul stratului activ.

- Degradarea electrodului se produce în principal din cauza difuziei metalului în regiunea interioară, sau a așa numitei difuzii în afară a materialului semiconductor. Difuzia crește când curentul injectat și temperatura cresc. În aceeași arie, concentrarea curentului este o altă sursă de risc pentru fiabilitate. Soluția este o proiectare optimizată a electrodului care să permită trecerea fluxului vertical al curentului electric. Câțiva electrozi, cum ar fi cel transparent din oxid de indiu și cositor (*indium tin oxide* ITO) și metalele reflectoare (argint), au anumite probleme (electromigrare și instabilități termice).

- Descărcarea electrostatică (*electrostatic discharge* - ESD) poate provoca defectarea imediată a joncțiunii semiconductoare, o deplasare permanentă a parametrilor ei sau o deteriorare latentă care provoacă o rată crescută de degradare.

- Descărcarea inversă în cazul suprastresului electric (*electrical overstress* - EOS) și al ESD constituie un aspect important al fiabilității diodelor LED. Soluția poate fi folosirea unei diode Z sau barieră Schottky pentru a îndeplini anumite criterii ale clasificării ESD. Cele mai multe LED cu InGaN/GaN sunt crescute pe un substrat de safir care nu conduce electric. Aceasta duce la mai multe sarcini reziduale în dispozitiv, ceea ce îl face mai susceptibil la deteriorarea EOS/ESD.

- Polarizarea inversă. Deși LED se bazează pe o joncțiune de diodă și este un redresor, modul străpungerii inverse poate interveni, pentru câteva tipuri, la tensiuni foarte joase iar orice polarizare inversă în exces poate provoca degradarea imediată și conduce la o defectare foarte accelerată.

- Ambalarea termică. Neomogenitățile din substrat – care provoacă pierderea locală a conductivității termice – pot cauza ambalarea termică acolo unde căldura produce deteriorări care conduc la o mai mare căldură etc. Cele mai comune sunt golurile cauzate de lipituri incomplete, sau efecte ale electromigrării și golurile Kirkendall.

- Dacă există goluri în sudura folosită pentru conexiunile LED către radiatorul termic al substratului, poate fi inițiată ambalarea termică. Se creează un traseu termic insuficient și rezultă puncte fierbinți care pot duce eventual la ambalare termică și la defectare. Se pot crea goluri din cauza condițiilor necorespunzătoare de procesare, din cauza difuziei de metal la interfață (goluri Kirkendall) sau ele pot fi inițiate din cauza electromigrării. Dacă în metal este disponibilă o densitate ridicată de curenți, golurile și ionii metalici vor migra către polii opuși și vor forma vacanțe (*vacancies*), cristale, movile (*hillocks*) și mustăți (*whiskers*).

- Un coeficient de expansiune termică (*coefficient of thermal expansion* - CTE) diferit între părțile conectate și sudura conexiunilor introduce stresuri în timpul ciclării termice din procesul de fabricație, iar aceasta poate provoca delaminarea între părțile atașate. De asemenea, la stres ciclic, performanțele dispozitivelor de putere cu lipituri moi pot fi diferite de cele ale celor cu lipituri tari: oboseala termică apare la lipiturile moi, în timp ce lipiturile tari sunt stabile față de stresul ciclării termice.

- Defectări legate de încapsulare pot avea loc în materialul de încapsulare [din mai multe cauze posibile: (i) stresul termo-mecanic la temperaturi ridicate; (ii) rășina epoxi ajunge la temperatura de tranziție a sticlei (*glass transition temperature*) sau (iii) capsula crapă la temperaturi foarte joase], sau în conexiuni (ruperea sau detașarea conexiunii, precum și *die-attach strength loss* se datoresc epoxiului supraîncălzit și pot cauza o delaminare între cip și epoxi). Alt mecanism de defectare are loc la stresul mecanic al conexiunilor (*lead wires*), deoarece ele pot genera circuite deschise în interiorul dispozitivului. O presiune, poziție sau direcție nepotrivită aplicată sudurilor conexiunilor poate adăuga stres la temperaturi normale de funcționare sau conexiunile se pot îndoii prea aproape de corpul LED. Două fenomene concurente au loc la suprafața straturilor de contact și de sudură în timpul operației de stres. Unul domină la temperaturi mai mici de +250°C și tinde să amelioreze valoarea rezistenței serie; celălalt domină la temperaturi mai mari de +250°C și tinde să înrăutățească valoarea rezistenței serie. Faptul

acesta înseamnă că stresurile aplicate unui dispozitiv fără radiator termic duc la o degradare mult mai rapidă decât stresurile efectuate la temperatură mai joasă, întrucât eficiența stratului activ descrește apreciabil atunci când temperatura crește, astfel încât poate fi activat un efect negativ – cum ar fi separarea indiului. Ambele stresuri provoacă degradarea cipului; această degradare poate fi corelată cu crearea de nivele adânci (*deep levels*) în semiconductor, sau cu înrăutățirea funcției de redresare a stratului activ [11].

- Epoxi transparent sau gelul siliconic pot cauza alt mecanism de defectare, legat de eficiența transmisiei luminii. Un model care încorporează câteva idei din metoda Monte Carlo de trasare a razei radiante (*Monte Carlo ray tracing*) în contextul radiometriei a fost propus pentru predicția riscurilor de defectare [12].

- Iradierea. Prin iradiere cu neutroni, s-au creat defecte specifice în dubla heterostructură AlGaAsGaAs a LED-urilor comerciale [13]. Utilizând energia controlată a neutronilor, a putut fi activat doar un singur mecanism de defectare. Defectele sunt localizate la marginea cipului și fac să crească curentul de pierderi produs de efectul Pool-Frenkel cu o diferență de nivel de energie între electroni și trape $E_c - E_r = 130$ meV. Amplitudinea maximă a spectrului optic pune în evidență o scădere de cca 20% asociată cu creșterea curentului de pierderi [13].

LEDs de putere sunt sisteme complexe, alcătuite din mai multe elemente; inima unei diode albe LED (WLED) este un cip GaN albastru, având o emisiune cu o lungime de undă cuprinsă între 450...460 nm. Cipul are 1 mm^2 și este montat pe o ramă conducătoare termic, într-o capsulă de putere, pentru a putea avea o bună disipare a căldurii. Cipul este acoperit cu o lentilă, cu dublul scop de a îmbunătăți eficiența procesului extracției de lumină și de a modifica forma fasciculului luminos. Lumina albastră este transformată în lumină albă cu ajutorul unui strat de fosfor, depus fie direct pe cip (*chip level conversion*, CLC), fie încorporat în lentila încapsulată. Ca exemplu, în figura 5 este prezentată imaginea obținută cu un *scanning electron microscope* (SEM) a unui cip obișnuit din comerț.

Cipurile din comerț ale LEDs de putere au un curent nominal de lucru cuprins între 350 și 1.000 mA (ceea ce corespunde unei densități de curent de ordinul $35...100 \text{ A/cm}^2$ pentru o suprafață a cipului de 1 mm^2) și o tensiune de lucru cuprinsă între 3,2 și 3,4 V. Aceste dispozitive consumă între 1 și 3,5 W. Rezistența lor termică este cuprinsă între 10 K/W și 20 K/W, în funcție de optimizarea extragerii căldurii. De aceea, în condiții de lucru normale, dispozitivele

pot avea o auto-încălzire cu o creștere de temperatură (în raport cu temperatura ambientală) de 20°C până la 80°C. În cursul îmbătrânirii, curentul și temperatura pot influența puternic cinetica degradării LED [15].

Fosforul joacă un rol important atât în extragerea luminii, cât și la controlul culorii. Metoda numită *conformal coating* îmbunătățește distribuția spațială a culorii (*spatial colour distribution, SCD*) LED. Capsule cu un index de refracție ridicat, valoare mare a transmitanței și morfologie modificată a suprafeței pot îmbunătăți extracția luminii. Capsule bazate pe multi-fosfor pot realiza controlul temperaturii color corelate (*correlated colour temperature, CCT*), cu un înalt indice de redare a culorii. Un management termic eficace poate disipa

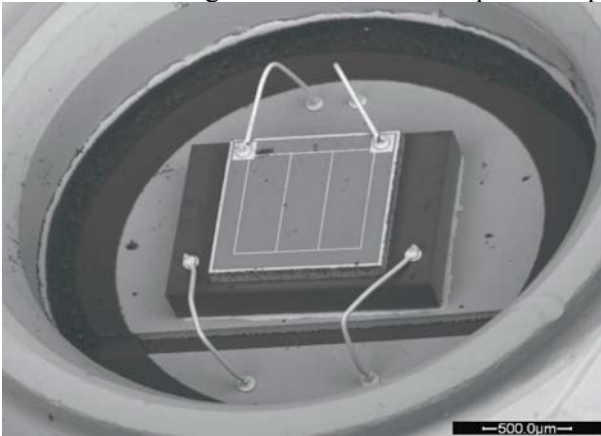


Figura 5. Imaginea unui cip LED de putere având 1 mm², montat în capsulă, după îndepărtarea lentilei (după [15]).

rapid căldura și reduce stresul termic provocat de neadaptarea coeficientului de expansiune termică CTE. Tehnologia *chip on board, CoB* cu un substrat ceramic multistraturat este metoda cea mai promițătoare pentru încapsularea LEDs de mare putere. Temperatura scăzută a joncțiunii va îmbunătăți fiabilitatea și va conduce la o mai mare durată de viață. Folosirea unor procese avansate tehnologice, fabricarea precisă și îngrijită sunt elemente esențiale pentru obținerea unei fiabilități ridicate. Costul LEDs este unul din obstacolele cele mai importante care împiedică deocamdată pătrunderea și răspândirea pe scară largă a diodelor albe (*white LED, WLED*) pe piața comercială, pentru a fi folosite ca dispozitive destinate iluminării. Producția de masă în termeni CoB, *system in packaging, SiP*, încapsularea tridimensională 3D și *wafer level packaging, WLP* pot să reducă semnificativ costul, în special când costul cipului se reduce, ca urmare a folosirii plachetelor cu diametru mai mare [16].

În lucrarea [15] au fost publicate rezultatele a două experiențe care au dus la concluzia că rata schimbărilor de degradare în funcție de temperatura joncțiunii depinde de sursa care face să crească căldura (curentul de funcționare sau căldura ambientală). Totuși, creșterea temperaturii induse de curentul joncțiunii are un efect mai mare asupra ratei de degradare decât creșterea temperaturii joncțiunii indusă de căldura ambientală. Capsule diferite vor produce caracteristici de performanță diferite. Testarea diferitelor tipuri comerciale de LED va duce la înțelegerea mecanismelor de degradare pentru diferitele tipuri de LED, permițând ulterior punerea la punct a unei metrici pe baza căreia să poată fi prezisă durata de viață a diodelor albe WLEDs.

Lucrărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat [18], au dus la următoarele concluzii cu privire la cele mai importante mecanisme de degradare care limitează durata de viață a LEDs GaN [19]: (i) Curentul constant de stres poate determina o scădere a eficacității diodelor GaN, datorită creșterii ratei neradiative de recombinare în regiunea activă a diodelor. Acest tip de degradare este puternic corelat cu modificarea sarcinii de distribuție în regiunea activă a LED. Degradarea este datorată propagării defectelor în regiunea activă sau difuziunii impurităților de dopare către regiunea *quantum-well*. Ambele mecanisme pot induce o scădere a eficacității interne a LED. (ii) Stresul tensiunii inverse poate induce degradarea caracteristicilor electrice a diodelor GaN, în special creșterea curentului invers a dispozitivelor. Degradarea se datorește defectelor de generare / propagare în straturile active ale diodelor, în urma injectării purtătorilor de sarcini accelerați de-a lungul căilor defecte pre-existente. (iii) LEDs supuse descărcărilor electrostatice (ESD) pot conduce la defectări catastrofice. În cele mai multe cazuri, diodele se comportă ca un scurtcircuit după un eveniment ESD. Prezența de defecte structurale – responsabile pentru conducția curentului de scăpări – poate limita puternic robustețea diodelor la evenimente ESD datorite curentului invers. Slăbiciunile tehnologice (definiția sărăcăcioasă a frontierelor mesa) pot limita puternic robustețea LED în raport cu evenimente ESD. (iv) Stresul de temperatură ridicată poate determina degradarea caracteristicilor electrice ale diodelor, respectiv o creștere a tensiunii de lucru a dispozitivelor. În cele mai multe cazuri, degradarea se datorește creșterii rezistivității contactelor ohmice și ale regiunilor neutre ale dispozitivelor. Procesul poate fi descris drept o compensare parțială a dopantului acceptor datorită generării de conexiuni Mg-H și poate conduce la ”concentrarea” curentului

și a emisiunii, așa numita *current and emission crowding*. Pentru diodele cu tehnologie de contact neoptimizată, condițiile de stres ridicat pot duce la o detașare parțială a straturilor de contact, urmată de o creștere a rezistivității dispozitivelor. (v) Stresul la niveluri ridicate de temperatură poate induce o degradare semnificativă a proprietăților cromatice ale diodelor albe WLEDs. Degradarea poate fi atribuită înrăutățirii caracteristicilor optice ale sistemului capsulă / fosfor a diodelor. Acest proces de degradare poate fi activat termic, cu energii de activare cuprinse între 0,4 și 1,5 eV.

6. CONCLUZII

Recentele îmbunătățiri tehnologice au permis creșterea eficienței LEDs-GaN, ducând astfel la realizarea generației următoare a sistemelor de iluminat în stare solidă. Deși multe probleme de fiabilitate au fost rezolvate, mai sunt încă elemente care limitează durata de viață a LEDs de mare putere. Viitoarea activitate de cercetare va trebui să rezolve problema optimizării creșterii performanțelor și a proceselor de încapsulare, pentru a obține rezolvarea aspectelor încă nelămurite, netezind astfel calea către dezvoltarea unor LEDs capabile să lucreze la niveluri ridicate de curent și temperatură, având totuși o mai lungă durată de viață, cuprinsă între 50.000 și 100.000 ore [19].

Bibliografie

1. **Fan B., et al.** Study of Phosphor Thermal-Isolated Packaging for High-Power Light-Emitting Diodes, *Photonics Technology Letters*, vol. 19, pp. 1121-1123.
2. **Kim, S. J., et al.** Vertical Chip of GaN-Based Light-Emitting Diode Formed on Sapphire Substrate, *Physica Status Solidi A*, vol. 202, pp. 2034-2039.
3. **Choi, Z. S., and Kim, S. J.** Sapphire-Substrate-Transferred Nitride-Based Light-Emitting Diode Fabricated by Sapphire Etching Technique, *Solid State Electronics*, 2006.
4. **Baillet, R.** Méthodologie d'analyse de défaillance pour l'évaluation de la fiabilité de diode électroluminescentes GaN, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 2011.
5. * * * LED market tops \$10BN in 2010, <http://optics.org/news/1/7/6>
6. **Hsu, J.,** LED Market Opportunities and Challenges, IMS Research, 2010
7. * * * *Light Emitting Diode (LED): A Global Market Report*, "Global Industry Analysts, 2010, p. 415
8. **iSuppli Corp.** November 2007
9. **Băjenescu Titu-Marius, Bâzu M.** Mecanisme de defectare ale componentelor electronice, Cap. 7, Matrix Rom, 2012.
10. **Lee, M., C. Hillman, and D. Kim.** Industry News: How to Predict Failure Mechanisms in LED and Laser Diodes," *Military & Aerospace Electronics*, June, 2005.
11. **Levada S., et al.** High Brightness InGaN LEDs Degradation at High Injection Current Bias," *Proceedings of the 44th IEEE Annual International Reliability Physics Symposium*, San José, 2006, pp. 615-616.
12. **Moreno, I., et al.** Light-Emitting Diode Spherical Packages: An Equation for the Light Transmission Efficiency," *Applied Optics*, vol. 49 (2010), issue 1, pp. 12-20.
13. **Deshayes, Y., et al.** Selective Activation of Failure Mechanisms in Packaged Double-Heterostructure Light Emitting Diodes Using Controlled Neutron Energy Irradiation, *Microelectronics and Reliability*, vol. 48, no. 8-9, 2008, pp. 1354-1360.
14. **Azevedo I. L., Morgan M. G., and Morgan G.** The Transition to Solid-State Lighting, *Proc. of the IEEE*, vol. 97, no. 3, 2009, pp. 481-510.
15. **Meneghesso, G., et al.** Recent Results on the Degradation of White LEDs for Lighting, http://iopscience.iop.org/0022-3727/43/35/354007/pdf/0022-3727_43_35_354007.pdf
16. **Liu, Y., et al.** Status and Prospects for Phosphor-Based White LED Packaging, <http://www.opticsjournal.net/abstract.htm?aid=OJ121008000068ISoVrX>
17. **Gu, Y., et al.** White LED Performance, www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/pdf/guSPIE.pdf
18. **Meneghini, M.** Analysis of the Physical Processes that Limit the Reliability of GaN-Based Optoelectronic Devices, PhD Thesis, University of Padova, 2008; <http://paduaresearch.cab.unipd.it/353/1/fdi.pdf>
19. **Meneghini, M., et al.** A Review of the Physical Mechanisms that Limit the Reliability of GaN-Based LEDs," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 57, no. 1, pp. 108-118.