

O TRAJNOSTI DIODNIH SIJALICA

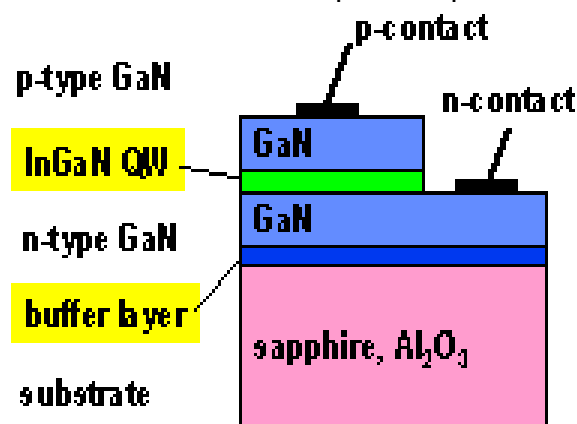
1. UVOD

Kako diodne sijalice spadaju u izvore svetlosti ekstremno dugih trajnosti, nije moguće njihovo ispitivanje na trajnost u redovnom proizvodnom procesu. S druge strane, diodne sijalice vode poreklo iz poluprovodničke tehnologije, za razliku od ostalih električnih izvora svetlosti, koji vode poreklo od inkandescentnih sijalica ili sijalica sa pražnjenjem u gasu. Tehnologija poluprovodnika postoji šezdesetak godina i bilo je dovoljno vremena da se utvrdi njihova trajnost, iako u konvencionalnim primenama trajnost elektronskog uređaja, kao što su npr. radio, TV, telefon često nije određena vekom poluprovodničkih elemenata, nego vekom nekih drugih sklopova, koji obično ranije otkazu. Principijelno nema mnogo razlika između svetlećih dioda i uslovno rečeno običnih dioda, iako svetleće diode nisu zasnovane na silicijumskoj tehnologiji, iskustva stečena pri izradi i upotrebi poluprovodnika mogu primeniti i na svetleće diode, odnosno diodne sijalice.

U ovom tekstu se pod terminom "svetleća dioda" podrazumeva samo dioda, a termin "diodna sijalica" odnosi se na ceo uređaj koji emituje svetlosno zračenje..

2. PROCENA TRAJNOSTI DIODNE SIJALICE

Svaka dioda, odnosno PN spoj je višefazni sistem, koji se sastoji iz bar dve čvrste faze koje su u kontaktu preko svojih površina, kako je to šematski prikazano Slikom 1. na primeru sistema $n\text{ GaN} | \text{InGaN} | p\text{ GaN}$, gde je sloj InGaN granica faza. Iako bi sloj InGaN



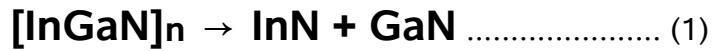
Slika 1. Šema svetleće diode.

trebalo smatrati još jednom čvrstom fazom, praktičnije ga je smatrati granicom faza, jer se svetlost i emituje sa ove granice faza. U stvari ovim slojem se i povećava emisiona površina. Indijum se u međusloju – granici faza ponaša kao dopand, a s obzirom na to da iako su kristalne rešetke i galijum nitrida i indijum nitrida heksagonalne, osnovne dimenzije (parametri) im se razlikuju. Indijum galijum nitrid je nestehiometrijsko jedinjenje u metastabilnoj ravnoteži, ali nije smesa indijum nitrida i galijum nitrida, kako se ponegde navodi (Wikipedia). Ovo jedinjenje je napregnuto sa 10^8 do 10^{12} ivičnih dislokacija po cm^2 , kao posledicom razlike u parametrima kristalne rešetke, a što ga i čini aktivnim.

Tokom vremena, a zbog dovođenja električne energije i konverzijom iste delom u toplotnu energiju, entalpija raste, što ima za posledicu rekristalizaciju uz razlaganje na indijum nitrid i galijum nitrid. Tako nastaje smesa dve čvrste faze u međusloju i fotoaktivnost se gubi. Fluktuacije indijuma kroz strukturu međusloja InGaN povećavaju emisiju svetlosti, ali tokom tih fluktuacija i dolazi do smanjenja broja dislokacija i do dekompozicije indijum galijum nitrida. Dok je rad diodne sijalice difuziono kontrolisan, to znači da fluktuacija indijuma ne zavisi od koncentracije InGaN do neke kritične vrednosti, fluks svetlosti tokom vremena je stalan. Kada koncentracija InGaN opadne ispod neke kritične vrednosti, rad diodne sijalice postaje koncentraciono kontrolisan i tada fluks svetlosti stalno opada sa opadanjem koncentracije InGaN i porastom udela smese InN i GaN.

Procesi fluktuacije i dekompozicije su zavisni od temperature i to tako da rastu sa porastom temperature. Poznavanje kinetike ovih procesa omogućava dobru procenu trajnosti bez višegodišnjeg čekanja kraja radnog veka sijalice.

Prvi korak je saznavanje reda reakcije dekompozicije indijum galijum nitrida:



S obzirom na to da je InGaN nestehiometrijsko jedinjenje, jednačina (1) nije u ravnoteži, nego je samo polazna osnova za razmatranje. Jednačina za opšti red reakcije može se predstaviti kao:

$$dx/(a - x)^n = kdt \dots\dots\dots (2)$$

gde su: **a** – polazni udeo InGaN, **x** – udeo proreagovalog (nestalog) InGaN tokom vremena **t**, **k** – konstanta brzine reakcije i **n** – red reakcije. U integralnom obliku dobija se jednačina:

$$[1/(n - 1)] [1/(a - x)^{(n - 1)} - 1/a^{(n - 1)}] = kt \dots (3)$$

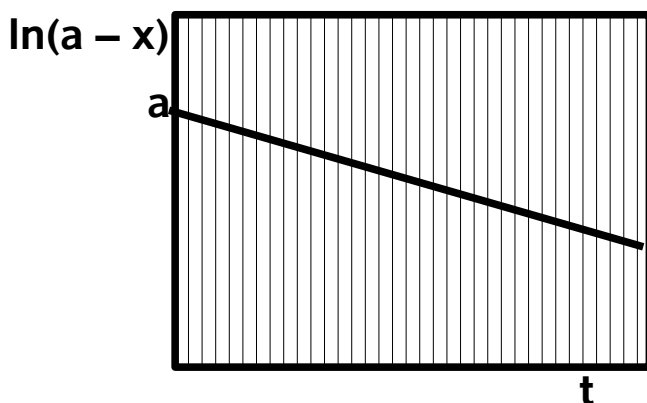
Tokom difuziono kontrolisanog procesa, reakcija nestajanja InGaN može se aproksimirati sa velikom tačnošću na reakciju 1. reda i onda bi jednačina u integralnom obliku bila kako sledi:

$$\ln[a/(a - x)] = k_1t \dots\dots\dots (4)$$

Tokom koncentraciono kontrolisanog procesa reakcija nestajanja InGaN, pošto se moraju uzeti u obzir i proizvodi dekompozicije, bi bila drugog reda:

$$x/a(a - x) = k_2t \dots\dots\dots (5)$$

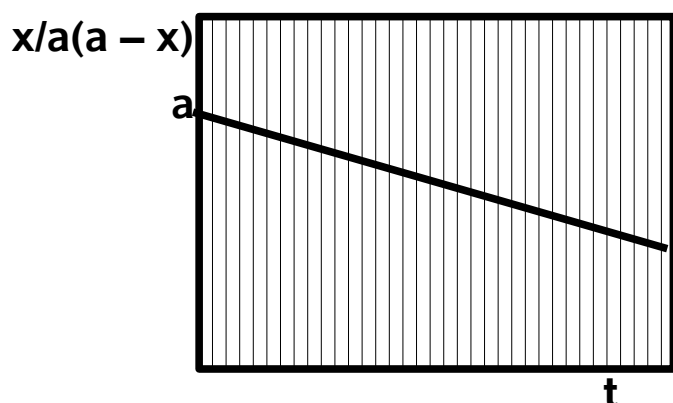
Grafički prikaz relacija (4) i (5) pokazan je slikama 2. i 3.



Slika 2. Grafik reakcije prvog reda

Iz grafika na slici 2 može se odrediti konstanta brzine reakcije prvog reda k_1 kao nagib prave. Jasno je da nije potrebno čekati puno vreme razlaganja InGaN, nego je dovoljan neki pogodan interval. Današnje nedestruktivne analitičke metode omogućavaju određivanje koncentracije – udela komponenti u materijalu. Određivanjem konstante k_1 za reakciju prvog reda lako se dobije i vreme poluraspada indijun galijum nitrida po poznatoj formuli: $\ln 2 = k_1 \tau$, gde je τ vreme polureakcije.

Slično, kad reakcija dekompozicije postane reakcija drugog reda, može se odrediti konstanta k_2 , kao nagib prave sa dijagrama na slici 3.



Slika 3. Grafik reakcije drugog reda

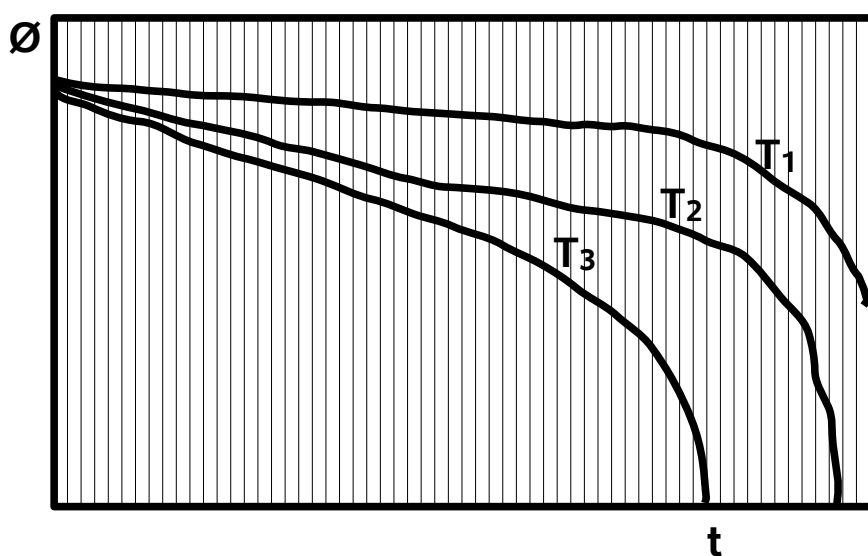
Ova merenja mogu se izvesti na diodama unapred postavljenog sastava za reakcije drugog reda. Poznavajući sastav diode, mehanizme i hemizme dekompozicije, odnosno konstanti brzina dekompozicije, može sa sigurnošću u okvirima grešaka merenja odrediti trajnost diode, odnosno diodne sijalice.

Dosadašnja razmatranja odnosila su se na rad diodne sijalice na stalnoj temperaturi. Kako konstanta brzine reakcije zavisi od temperature po jednačini:

$$k = Z \exp(- E_a/RT) \dots \dots \dots (6)$$

gde su: E_a energija aktivacije, R univerzalna gasna konstanta, T apsolutna temperatura, Z asimptota funkcije (6) u zavisnosti od temperature. Sve u svemu brzina poraste 2 do tri puta na svakih 10 K porasta temperature.

Prevedeno na svetlosne parametre, uzevši u obzir korelaciju svetlosnog fluksa i sastava diode, kvalitativni dijagrami trajnosti u zavisnosti od temperature prikazani su slikom 4.



$$T_3 > T_2 > T_1$$

Slika 4. Prikaz temperaturne zavisnosti trajnosti sijalica

Jasno je da trajnost opada sa temperaturom. Svi standardni termodinamički parametri daju se za temperature od 298 K (25 °C), pa se često i trajnost diodne sijalice daje za tu temperaturu, iako ona skoro uvek radi na znatno višim temperaturama. Inače, najnoviji EN, IEC i CIE standardi usvajaju temperaturnu zavisnost, tako da se primenjeno vreme ispitivanja ekvivalentno skraćuje do 6 puta, tako da 1 000 sati ispitivanja može odgovarati 6 000 sati trajnosti, u zavisnosti od primenjene temperature pri ispitivanju. Ali ne treba podatke o trajnosti davati za 298 K.

3. ZAKLJUČAK

Prikazan je princip metoda određivanja i procene trajnosti bez trajanja merenja od 60 000 sati i više. Da li se radi baš ovako ili drukčije nije bitno, ali princip se svodi na prethodno prikazano.

Svakako, treba biti oprezan sa podacima o trajnost koji se odnose na temperaturu od 298 Kelvina, jer je stvarna temperatura rada sijalice po pravilu viša. Kao krajnja nekorektnost je podatak o trajnosti na 298 K, a o svetlosnom fluksu za neku višu temperaturu koja se ne navodi, ali to je stvar “no name” proizvođača i nije predmet ovog razmatranja.

4. SUMMARY

One possible estimation method for the durability tests of LEDs is shown. Nevertheless that thermodynamics defines standard parameters on 298 K, the durability data of LEDs shall be given for the real working temperature, and the 298 K is to be used for the estimation purposes.