

InGaN/GaN 발광다이오드의 누설전류의 이론적 모델과 기생 파라미터 추출

Theoretical Model and Parasitic Parameters Extraction of Leakage Current in InGaN/GaN Light Emitting Diodes

황성민, 심종인

한양대학교 전자컴퓨터공학부, 고속회로연구실

e-mail) jishim@giga.hanyang.ac.kr

Astract

We have theoretically derived a electrical model and extracted a parasitic parameters of leakage current in InGaN/GaN light emitting diodes (LEDs). The parasitic parameters of our LED are $R_p = 10^{10} \Omega$, $I_{0,2} = 10^{-17} A$ and $n_2 = 3.6$, which provide information of leakage current.

I. Introduction

InGaN/GaN 발광 다이오드에서 누설 전류 (leakage current)는 소자의 신뢰성과 수명 그리고 높은 파워 동작에서의 성능 저하와 밀접한 관계가 있다. 그러므로 제작된 소자의 누설 전류의 근원과 크기를 얻는 것은 매우 중요하다. 실제 제작된 소자의 누설 전류는 다양한 기생성분의 경로를 통해 존재하고, 이는 pn 접합 다이오드의 파라미터로 모델링 되어져있다. ideality factor ($n \gg 2$)는 deep-level에 의한 터널링 전류⁽¹⁾, parallel 저항 (R_p)은 pn 접합 영역이 아닌 surface와 같은 불완전한 영역으로의 전류⁽²⁾ 그리고 포화전류 (I_0)는 결정 결함에 의한 재결합 전류를⁽³⁾ 나타낸다. 하지만, 일반적으로 다이오드에서의 전류-전압의 관계를 보여주는 이상적인 Shockley 수식만으로는 실제의 소자에서 존재하는 기생 성분을 설명하기는 부족하다.

본 논문에서는 다이오드의 전기적인 회로 모델링과 측정된 로그 크기의 전류 및 전압을 통해 제작된 InGaN/GaN LED의 series 저항과 함께 누설 전류를 설명하는 물질 파라미터들을 보다 정확하게 얻었다.

II. Results and Discussion

그림 1은 본 연구에서의 InGaN/GaN LED 구조를 보여주고 있다. 절연성을 갖는 사파이어 기판으로 인해 p-전극과 n-전극들이 side-by-side 구조의 메사형으로 이루어져 있다. 수식 1은 pn 접합의 전류-전압 (I-V)의 수학적 모델링을 보여주는 것으로 확산 (diffusion)에 의한 이상적인 전류와 기생 성분에 의한 누설 전류를 각각 나타내고 있다.

$$I_{junction} = I_{0,1}[\exp(qV/n_1kT)] + I_{0,2}[\exp(qV/n_2kT)] \quad (1)$$

$$\frac{IR_p - (V - IR_s)}{R_p} = I_{junction} \quad (2)$$

여기서 $I_{junction}$ 는 접합 영역을 가로지르는 전류, $I_{0,1}$ 와 $I_{0,2}$ 는 각각 확산과 누설 전류의 재결합 전류 성분에 의한 포화 전류이다. ideality factor n_1 는 중성 및 공핍 영역에서의 재결합에 의해 결정되며 n_2 는 deep-level에 의한 터널링 전류 성분에 의해 결정되는 파라미터이다. R_s 와 R_p 는 각각 series 및 parallel 저항을 나타낸다.

R_p , $I_{0,1}$ 그리고 n_1 는 linear I-V 특성의 문턱 전압이상에서 결정된다. 그림 2는 R_p 변화에 따른 $(\log I) - V$ 의 특성을 보여주고 있다. R_p 가 증가함에 따라 누설전류의 양이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림 3은 $I_{0,2}$ 에 변화에 따라 누설 전류가 급격히 증가하는 문턱 레벨이 달라지고 있음을 보여주고 있다. 그림 4에서는 n_2 의 증가와 함께 터널링 전류의 기울기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 deep-level에 의한 누설 전류가 커져가고 있음을 보여주고 있다.

III. Conclusions

본 논문에서는 InGaN/GaN LED의 전기적인 회로 모델링과 해석적인 방법을 통해 누설 전류의 기생 성분을 얻을 수 있었다. 제작된 LED의 기생 성분의 파라미터는 $R_p = 10^{10} \Omega$, $I_{0,2} = 10^{-17} A$ 그리고 $n_2 = 3.6$ 로 나타났다.

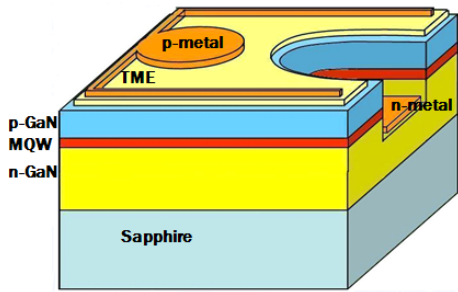


그림 1. 메사형 InGaN/GaN 발광 다이오드 구조.

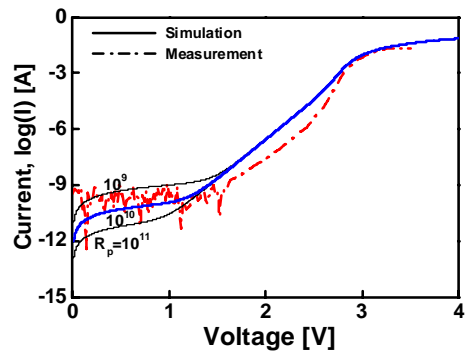


그림 2. R_p 변화에 따른 $(\log I) - V$ 의 특성.

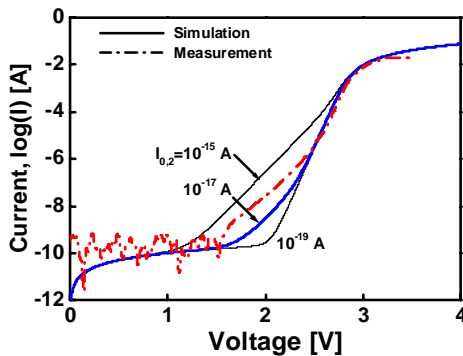


그림 3. $I_{0,2}$ 변화에 따른 $(\log I) - V$ 의 특성.

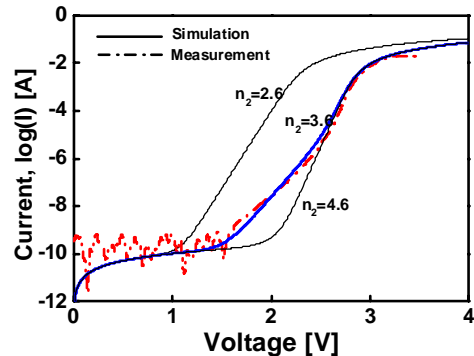


그림 4. n_2 변화에 따른 $(\log I) - V$ 의 특성.

Reference

1. J. M. Shah, Y. L. Li, T. Gessmann, and E. F. Schubert, "Experimental analysis and theoretical model for anomalously high ideality factors ($n \gg 2.0$) in AlGaIn/GaN p-n junction diodes," J. Appl. Phys., Vol. 94, No. 4, pp. 2627-2630, (2003).
2. E. F. Schubert, Light-Emitting Diode, Cambridge University Press, pp. 59-61, (2003).
3. J. Park and C. C. Lee, "An Electrical Model With Junction Temperature for Light-Emitting Diodes and the Impact on Conversion Efficiency," IEEE Electro. Device Lett., Vol. 26, No. 5, pp. 308-310, (2005).