

비등방성의 열전도율을 갖는 RCLED 소자 및 어레이 구조의 열적 모델링

Thermal modeling of RCLED device and array structures by anisotropic thermal conductivity

이희관, 고영환, 정관수, 유재수, 이용탁*

경희대학교 전자전파공학, *광주과학기술원 정보통신공학과

e-mail: jsyu@khu.ac.kr

최근 휴대단말용 입출력 플랫폼을 위한 광원 모듈을 위해 LED (light emitting diode)와 레이저 다이오드에 비해 많은 장점을 가지는 저전력의 초소형 고효율 RGB RC (resonant cavity) LED 에 대한 관심이 높아지고 있다.⁽¹⁾ 고효율을 얻기 위해서 RCLED 어레이 집적이 불가피하며, 상온 연속동작 시 활성영역 내의 온도가 급격히 상승하므로 신뢰성 있는 소자동작을 위해 발생된 열을 효과적으로 외부로 배출해야 한다. 따라서 효율적인 방열을 위해 소자 구조 및 어레이 배열 구조가 최적화되어야 한다. 또한 활성층과 DBR (distributed Bragg reflector)층의 경우 얇은 다층박막으로 구성되므로 보다 정확한 열분석을 위해서는 비등방성의 열전도율을 고려하여야 한다. 본 연구는 3D FEM (finite element method) 시뮬레이션에 의한 비등방성의 열전도율을 갖는 RCLED 소자 및 어레이 구조의 열적 모델링을 통해 활성영역 내부 온도분포 및 열저항 (thermal resistance, R_{th})을 계산하여 분석함으로써 소자구조를 최적화하였다. 이와 함께 RCLED 단일 소자의 방열 특성을 개선하기 위해 35.5 pair 의 AlGaAs/AlGaAs 하부 DBR 대신 5 pair 의 AlGaAs/AlGaAs DBR 과 Au metallic mirror 로 구성된 hybrid DBR 을 가진 소자의 열분석 및 비교 연구가 수행되었다.

수직 구조의 상부 발광형 RCLED 는 서로 다른 반사율을 갖는 DBR 구조물 사이에 활성층을 갖는 구조이다. 활성층에서 발생한 열은 상부 DBR 층을 통해 자연대류 및 복사에 의해 대기 중으로 확산하거나 하부 DBR 층을 통한 전도에 의해 copper heat sink 로 확산된다. 이러한 물리적 현상의 지배방정식은 아래의 정상상태의 열전달 방정식에 의해 표현될 수 있다.⁽²⁾

$$-\nabla \cdot (k \nabla T) = Q \quad (1)$$

$$[k \nabla T]_n = h(T^\infty - T) + C(T_{surr}^4 - T^4) \quad (2)$$

여기서 k 는 물질의 열전도율, T 는 온도, Q 는 단위체적당 발생하는 활성층 내부의 열을 나타낸다. 열전도율은 활성층과 DBR 층을 제외한 모든 물질에 대하여 등방성 물질 ($k_{\parallel} = k_{\perp}$)을 고려하여 적용하였다. 활성층 및 DBR 층의 경우 나노미터 크기의 얇은 다층박막 구조이므로 복잡한 이방성의 열전도율을 가지며 다음 식으로부터 계산되었다.⁽³⁾

$$k_r = \frac{d_1 k_1 + d_2 k_2}{d_1 + d_2}, \quad k_z = \frac{d_1 + d_2}{d_1/k_1 + d_2/k_2} \quad (3)$$

여기서 d_1 과 d_2 는 물질의 두께이고 k_1 과 k_2 는 열전도율을 나타낸다. 식(3)으로부터 활성층과 DBR 층의 열전도율 비는 각각 $k_{\parallel}/k_{\perp} \sim 1.04$, $k_{\parallel}/k_{\perp} \sim 1.46$ 이 얻어졌다. 경계면에서의 열전달은 식(2)에 의해 결정되며 h 는 열전달계수를 나타내고 $C (= \epsilon \cdot \sigma)$ 는 물질의 흡수율과 스테판-볼츠만 상수를 곱한 값이다. 열전달계수는 자연대류를 가정하여 $20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 값으로 설정하였고, 복사에 의한 열은 무시할 수 있을 정도로 작다. 또한, $T^\infty = 300 \text{ K}$ 로 가정하였다.

그림 1 은 $100 \mu\text{m}$ 의 기판 두께를 가지는 RCLED 의 인가전류에 따른 활성층의 최대 내부온도를 나타낸다. 인가전류의 증가와 함께 소자 내에서 발생하는 열은 커지므로 내부 온도는 상승하게 된다.

300 μm 직경의 하부 outer mesa 에 대해 활성층 mesa 의 직경이 감소할수록 활성층의 내부에서 발생하는 온도는 급격히 상승하였고, 그 온도는 20 μm 직경의 활성층 mesa 의 경우 415 K 이상으로 증가하였다. 그림에서 보듯이 80 μm 보다 작은 활성층 직경에 대해 내부온도가 매우 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 80 μm 보다 큰 활성층 직경을 갖도록 최적화하여야 한다.

그림 2 와 3 은 각각 80 μm 의 활성층 mesa 를 갖는 3x3 RCLED 어레이 구조의 3D 열분석 시뮬레이션에 의한 열확산 분포와 pitch size 변화에 따른 온도 변화를 나타낸다. 여기서 pitch size 는 소자 중심과 소자 중심 사이의 거리를 나타낸다. 이러한 어레이 구조에서 pitch size 가 감소함에 따라 내부에 축적되는 열의 양이 증가하므로 내부 온도는 상승하였다. 140 μm 보다 적은 pitch size 에 대해 급격하게 내부 온도가 증가하였고, 100 μm 에 대해 단일 소자에서 발생한 내부 온도보다 10 K 이상 상승하였다. 그러므로 140 μm 이상의 pitch size 를 가질 때 다중의 어레이 구조는 열 특성에 큰 영향을 받지 않을 것으로 예상된다.

그림 4 는 서로 다른 하부 DBR 구조를 가지는 RCLED 활성층 직경에 따른 열저항을 계산한 결과이다. RCLED 의 하부 DBR 은 35.5 pair 의 AlGaAs/AlGaAs 으로만 구성된 반도체 DBR 과 5 pair 의 AlGaAs/AlGaAs DBR 과 Au metallic mirror 로 구성된 hybrid DBR 을 고려하였다. Au 의 두께 변화에 따른 내부의 온도 변화는 크지 않았고 99% 이상의 높은 반사율을 얻기 위해 공정상 300 nm 의 두께를 고려하였다. 하부 hybrid DBR 을 갖는 RCLED 는 열전도율이 높은 Au metallic mirror 를 가지고 열방출을 저해하는 100 μm 의 GaAs 기판을 제거한 구조이기 때문에 35.5 pair 의 AlGaAs/AlGaAs DBR 을 갖는 구조보다 낮은 열저항을 나타냈다. 결과적으로 80 μm 보다 큰 활성층 mesa 직경과 hybrid DBR 을 갖는 RCLED 를 제작할 경우 ~ 13 K/W 보다 낮은 열저항을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

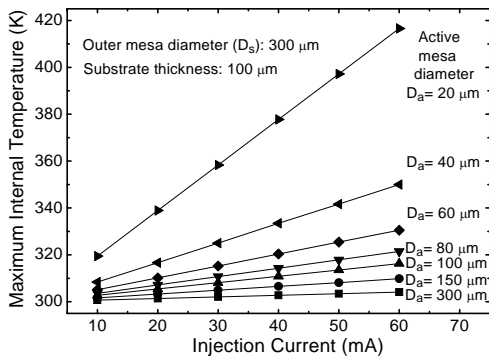


그림 1. 다양한 활성층 직경에 대해 인가전류에 따른 활성층의 최대 내부온도.

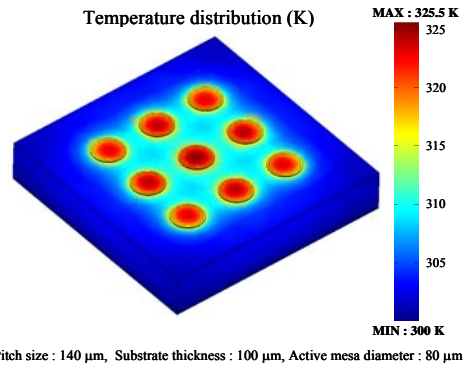


그림 2. 3x3 RCLED 어레이의 온도분포.

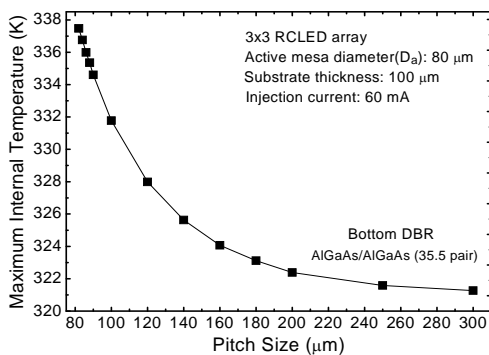


그림 3. Pitch size 변화에 따른 3x3 RCLED 어레이의 최대 내부온도.

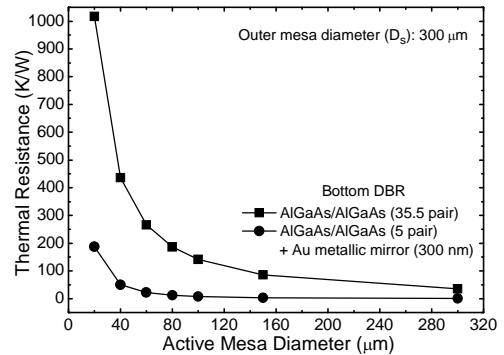


그림 4. 서로 다른 하부 DBR 구조를 갖는 RCLED 활성층 mesa 직경에 따른 열저항.

1. E.F. Schubert, Y.H. Wang, A.Y. Cho, L.W. Tu, and G.J. Zydzik, Appl. Phys. Lett. **60**, 921 (1992).
2. G. Hatakoshi, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 2764 (1999).
3. M. osinski, and W .Nakwaski, Electron. Lett. **29**, 1015 (1993).