

ATLAS를 리용한 GaAlAs/GaAs 적외선발광소자의 컴퓨터모의

김 광 휘

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《새 재료부문을 발전시키지 않고서는 전자공업을 주체적으로 발전시킬수 없고 기계공업의 현대화를 실현할수 없으며 최신과학기술을 전반적으로 발전시킬수 없습니다.》

(《김정일선집》 제15권 증보판 487페이지)

ATLAS는 집적회로제작공정모의기인 ATHENA와 소자편집기 DEVEDIT, 과학적인 결과연시체계인 TONYPLOT를 비롯한 S.TCAD의 다른 프로그램들과의 호상연결을 통하여 더욱 과학화되었으며 현재 세계적으로 그 정당성과 응용성이 확고히 검증되어 널리 리용되고있다.[1, 3]

발광소자모의기는 발광소자(LED)를 모의할수 있는 일반적인 능력을 가진 ATLAS내에 포함되어있다.

우리는 이 모의기를 리용하여 GaAlAs/GaAs적외선발광소자에 대한 해석을 진행함으로써 소자의 특성을 보다 개선할수 있는 기초를 마련하였다.

1. 발광소자구조설정

모의하려는 소자의 구조는 그림 1과 같다.

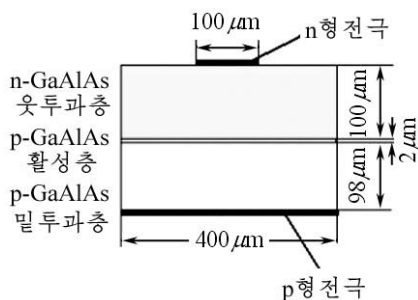


그림 1. 모의하려는 소자의 구조

ATLAS/LED에서 LED소자구조를 정의하는 방법은 여러가지가 있다.

첫째로, ATHENA공정모의기를 리용하여 구조를 정의할수 있다. ATHENA는 공정흐름과 물리적공정단계들을 모의하여 소자를 설계한다.

둘째로, DEVEDIT소자제작도구를 리용하여 소자구조를 정의할수 있다.

DEVEDIT는 간단하게 직관적환경에서 마우스를 클릭하여 소자구조를 정의할수 있다. 끝으로 ATLAS구조명령들을 리용하여 소자구조를 정의할수 있다. LED소자는 결면성장층들로 이루어져있으므로 ATLAS의 명령들을 리용하여 그 구조를 설정하는것이 가장 편리하다.

ATLAS명령들을 리용하여 소자구조와 재료, 혼입물의 농도를 정의하였다.

2. 발광 2극소자모형의 설정

1) $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 계의 재료모형

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 계는 보통 이질이음소자제작에 리용된다. 이 재료들에 대한 모의를 하기 위하여 BLAZE에서 재료이름을 GaAs, AlGaAs 또는 AlAs를 설정한다.

먼저 AlGaAs계에 대한 물분률과 재료파라미터들사이관계를 고찰하자.

REGION명령에서 X.COMP파라미터들을 가지고 재료의 조성 x 를 설정할수 있다.

AlGaAs계에는 금지띠를 결정하는 물분률에 의존하는 3개의 기본적인 전도띠가 있다. 이것들을 Γ , L, X라고 한다. 이 때 전도띠들에 대한 금지띠들은 다음과 같다.[2]

$$E_{g\Gamma} = \text{EG300} + X.\text{COMP} \cdot (1.155 + 0.37 \cdot X.\text{COMP}) \quad (1)$$

$$E_{gL} = 1.734 + X.\text{COMP} \cdot (0.574 + 0.055 \cdot X.\text{COMP}) \quad (2)$$

$$E_{gX} = 1.911 + X.\text{COMP} \cdot (0.005 + 0.245 \cdot X.\text{COMP}) \quad (3)$$

임의의 주어진 Al몹에 대하여 금지띠는 이 식들로부터 계산된 최소값이다. EG300은 300K에서 금지띠이며 MATERIAL명령에서 설정한다. X 는 알루미늄의 물분률이며 REGION명령에서 사용자정의할수 있다.

표. 낮은마당이동도식

전자친화력과 상태밀도, 유효질량, 유전률은 선행연구결과값들[2]을 리용하였다.

AlGaAs의 낮은마당전자이동도는 계에서 조성분률 x 의 함수이다.(표)

AlGaAs 낮은마당이동도	물분률범위
$\mu_n = 8000 - (1.818 \cdot 10^4 \cdot X.\text{COMP})$	$0 < X.\text{COMP} < 0.429$
$\mu_n = 90 + 1.1435 \cdot 10^4 (X.\text{COMP} - 0.46)^2$	$0.429 < X.\text{COMP} < 0.46$
$\mu_n = 90 + 3.75 \cdot 10^4 (X.\text{COMP} - 0.46)^2$	$0.46 < X.\text{COMP} < 0.5$
$\mu_n = 200 - (2 / X.\text{COMP} - 0.46)$	$0.5 < X.\text{COMP} < 1.0$

2) 복사모형의 선택

LED소자모의에서 다음단계는 적당한 복사모형을 선택하는것이다. LED소자에 대하여 가장 적절한 복사모형은 자발(복사)재결합에 대한 모형이다. 복사재결합에 대하여 ATLAS/LED는 몇가지 선택을 제공한다.

LI모형에서 광학적리득은 다음의 식에 의하여 표시된다.[3]

$$g_{ij}(E_{ij}^0) = \left(\frac{2\pi}{\hbar} \right) |H_{ij}|^2 (f'_j - f'_i) \left(\frac{\varepsilon_1}{\bar{n}c} \right) \rho \cdot \text{WELL.GAIN} \quad (4)$$

$$|H_{ij}|^2 = \left(\frac{q}{m_0} \right)^2 \left(\frac{2\hbar\omega}{4\varepsilon_1\varepsilon_0\omega^2} \right) M_{ij}^2 O_{ij}^2$$

여기서 H_{ij} 는 하밀토니안행렬원소, f' 는 페르미함수, ε 은 유전률, \bar{n} 는 굴절률, c 는 빛속도, ρ 는 2차원상태밀도, q 는 전기소량, m_0 은 전자의 질량, ω 는 주파수, M_{ij} 는 M_{hh} 또는 M_{lh} 의 행렬원소, O_{ij} 는 겹침적분, WELL.GAIN은 REGION명령에서 사용자정의할수 있는 규격화인자이다.

LI모형에 대하여 자발재결합은 다음의 식에 의하여 표시된다.[2]

$$r_{sp}(E) = \sum_{i,j} \left(\frac{2\pi}{\hbar} \right) |H_{ij}|^2 f'_j (1 - f'_i) D(E) \rho \quad (5)$$

3. 모 의 결 과

조성경사를 고려한 소자에 대한 모의를 진행하였다. 제작한 소자는 성장방향에 따라 조성이 변하는 조성경사형이다.

소자의 중심에서의 포텐셜모의결과는 그림 2와 같다.

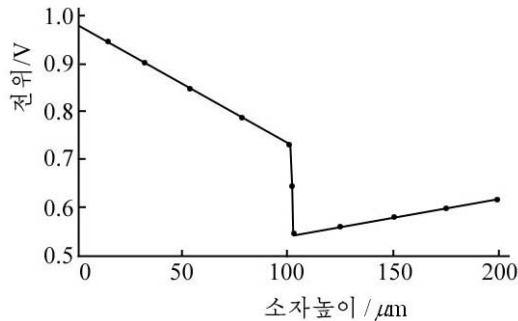


그림 2. 소자내부에서의 포텐셜분포모의결과

파이다. 따라서 전극에 의한 빛차폐효과가 작아 소자의 효율이 높아질것이다.

소자의 주입전류-빛출력모의곡선과 복사스펙트럼모의결과는 그림 4, 5와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 전류에 따르는 빛출력은 선형적으로 증가한다는것을 알수 있다. 그림 5에서 보는바와 같이 소자의 스펙트럼곡선을 보면 830nm로서 소자설계값과 완전히 일치하는데 그것은 소자의 중심복사파장이 소자의 전극형태에 따라서가 아니라 기본적으로 활성층의 조성에 의존하기때문이다. 복사스펙트르는 비대칭으로서 일반적인 GaAs발광소자들에서 나타나는 특성과 같다.

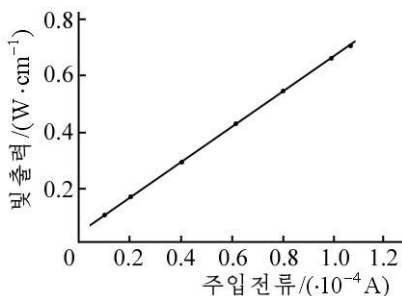


그림 4. 소자의 주입전류-빛출력 특성 모의결과

그림 2에서 보는바와 같이 소자의 수직방향에서 포텐셜이 일정한 경사를 이루고있는것은 조성이 균일하게 변하기때문이다. 가운데 수직으로 내려간 부분은 p-n이음구역으로서 포텐셜이 급격히 변한다는것을 보여준다.

소자의 전류밀도분포모의결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보면 전류밀도는 가운데부분이 낮고 변두리로 가면서 높아진다는것을 알수 있다. 그것은 아래의 p형전극을 부분전극으로 제작한 결과

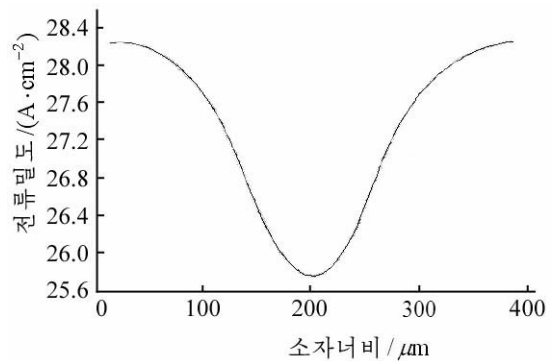


그림 3. 소자의 전류밀도분포모의결과

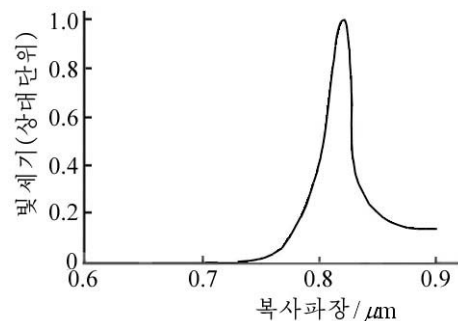


그림 5. 소자의 복사스펙트럼모의곡선

맺 는 말

1) 반도체소자해석기 ATLAS를 리용하여 GaAlAs조성경사단이질적외선발광소자의 여러 가지 특성들을 해석하였다.

2) 소자해석을 통하여 제작하려는 소자의 보다 합리적인 구조를 찾을수 있는 기초를 마련하였다.

참 고 문 헌

[1] Cho Chu-Yong; Appl. Phys. Lett., 102, 2, 11110, 2013.

[2] G. Xuenfen; Nanoscale Research Letters, 6, 199, 2011.

[3] P. Vita et al.; Appl. Phys. Lett., 87, 084106, 2005.

주체103(2014)년 3월 5일 원고접수

Computer Simulation of a GaAlAs/GaAs IRED using ATLAS

Kim Kwang Hwi

We have analyzed a GaAlAs/GaAs composition graded single hetero IRED by using ATLAS, the semiconductor device simulator for the first time.

We made the basis to find a more rational structure to be developed by using this device simulation.

Key words: semiconductor device simulator, GaAlAs/GaAs IRED