

## 이차원 소자 시뮬레이터를 이용한 비정질 실리콘 에너지대에 관한 연구

### A Study on the Energy Band of Amorphous Silicon using a Two-Dimensional Device Simulator(TFT2DS)

곽지훈 홍익대학교 전자전기공학부  
이영삼 홍익대학교 전자전기공학부  
최종선 홍익대학교 전자전기공학부

Ji-Hoon Kwak School of Electronic and Electrical Eng., Hong-Ik Univ.  
Young-Sam Lee School of Electronic and Electrical Eng., Hong-Ik Univ.  
Jong-Sun Choi School of Electronic and Electrical Eng., Hong-Ik Univ.

#### Abstract

TFT2DS was developed to provide the usability as an analytic and design tool. The static characteristics of a-Si TFTs demonstrated a good agreement between simulated and measured data. This paper shows that TFT2DS can optimize the physical parameters of a-Si through sensitivity simulations and compute the static characteristics of a-Si TFTs.

#### 1. 서론

비정질 Silicon(a-Si) Thin-Film Transistor(TFT)의 개발 현황을 고려할 때, a-Si의 물성과 소자의 동작 원리의 보다 정확한 규명을 위해서 Band Gap의 여러 물성 변수들의 물리적 의미를 분석할 수 있고, 전위, 전자, 정공의 공간적·시간적 분포를 파악할 수 있는 현실적인 2차원 소자 Simulator의 개발이 절실히 필요하다. 본 논문에서는 유용성이 검증된 a-Si TFT용 2차원 소자 Simulator인 TFT2DS<sup>[1]-[3]</sup>를 이용하여 a-Si의 물성 변수들이 소자의 전기적 특성에 미치는 영향을 분석했다.

#### 2. 물성 Model

Donor State들과 Acceptor State들은 a-Si의 무정형한 특성 때문에 Gaussian 분포를 이룬다. 이들은 재결합에 관여하지 않으며, 전자와 정공의 Quasi-

Fermi Level이 전하의 존재 여부를 결정한다. Tail State들은 지수적 분포 특성을 나타내는데, Valence Band부의 Tail State들과 Conduction Band부의 Tail State들은 각각 Donor 형과 Acceptor 형으로 간주한다. 양전성인 Deep State들은 Band의 중앙에 분포해 있고, Gaussian 분포 특성을 갖는다. 그림 1에 TFT2DS에서 사용된 a-Si의 Energy Band 구조<sup>[4]</sup>를 나타냈다. 세부적인 이론은 참고 문헌<sup>[1],[4],[5]</sup>에 기술되어 있다.

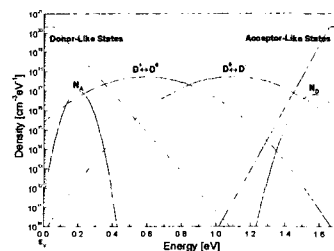


그림 1. a-Si의 Energy Band 구조<sup>[4]</sup>

### 3. 수치 해석 Algorithm

TFT2DS는 FORTRAN으로 Coding되었는데, 전송 방정식들은 유한 미분법으로, 이동-확산 방정식은 Scharfetter-Gummel 법으로 Discretization되었고, Normalization을 위해 A. De Mari 법을 사용했다. 비선형 방정식들을 선형화하여 풀기 위해서 Newton 반복법을 사용했고, 선형 방정식들을 풀기 위해서 수치해석 Code인 LINPACK의 Subroutine들을 사용했다. 높은 전압이 인가되는 경우에 선형화 과정에서 발생하는 수치 요동을 감소시키기 위해서 Brown-Lindsay Algorithm을 사용했고, 물성 구조에 포함된 여러 적분식들의 계산하기 위해서 15-Point Laguerre 적분과 9-Point Hermite 적분을 적용했다. 세부적인 이론은 참고 문헌<sup>[1],[5],[6]</sup>에 기술되어 있다. 그림 2에 TFT2DS에서 전류-전압 특성을 계산하는 Algorithm을 나타냈다<sup>[1]</sup>.

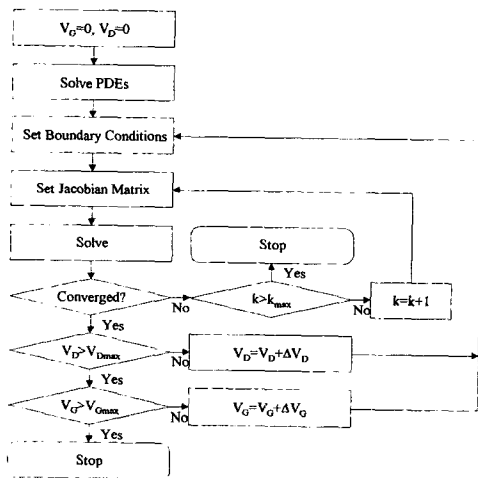


그림 2. 전류-전압 특성을 계산하는 Algorithm<sup>[1]</sup>

### 4. Simulation 결과

본 논문에서는 주요 물성 변수들에 대해 최적화 연구가 수행되었던 그림 3의 소자<sup>[1]</sup>를 대상으로 물성 변수들인  $\sigma_D$ ,  $g_{Dmax}$ ,  $g_{Amax}$ ,  $\sigma_{Donor}$  등을 변화시키면서 Transfer 특성을 Simulation했고, Simulation 결과들로부터 이들 변수들이 소자의 전기적 특성에

미치는 영향을 분석했다. 주요 구조 변수들과 물성 변수들에 대한 정의와 값을 표 1과 표 2에 정리했다.

표 1. 주요 구조 변수들과 값

변수	값	
$L_{CH}$ [ $\mu m$ ]	Channel의 길이	100
$L_{ov}$ [ $\mu m$ ]	Gate 전극과 Source/Drain 전극간에 중첩된 거리	50
$W_{CH}$ [ $\mu m$ ]	Channel의 폭	950
$T_{a-Si}$ [ $\text{\AA}$ ]	a-Si 층의 두께	700
$T_{ox}$ [ $\text{\AA}$ ]	Gate 절연층의 두께	1500

표 2. 주요 물성 변수들과 값

변수	값	
$E_D$ [eV]	$D^+ \leftrightarrow D^0$ 전이의 유효 Energy Level	1.45
$E_{D+}$ [eV]	$D^+ \leftrightarrow D^0$ 전이의 유효 Energy Level	0.65
$E_{DC}$ [eV]	$(E_D + E_{D+})/2$	1.05
$\Delta E_D$ [eV]	$E_D - E_{D+}$	0.80
$N_D$ [ $cm^{-3}$ ]	Deep State의 밀도	$1.0E16$
eff	Doping 효율	$1.0E-5$
$N_c$ [ $cm^{-3}$ ]	Conduction Band의 유효 State 밀도	$2.0E19$
$N_v$ [ $cm^{-3}$ ]	Valence Band의 유효 State 밀도	$2.0E19$
$\mu_n$ [ $cm^2/Vs$ ]	Conduction Band 이동도	7
$\mu_p$ [ $cm^2/Vs$ ]	Valence Band 이동도	2
$\sigma_D$ [eV]	Deep State의 Gaussian 분포의 폭	0.18
$\sigma_{Donor}$ [eV]	Donor 분포의 폭	0.06
$g_{Dmax}$ [ $cm^{-3}$ ]	Conduction Band 부 Tail State의 밀도	$2.0E20$
$g_{Amax}$ [ $cm^{-3}$ ]	Valence Band 부 Tail State의 밀도	$2.0E20$

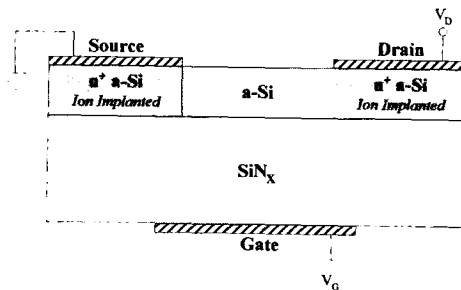


그림 3. 소자 단면도

Simulation 결과들을 그림 4에서 그림 6에 나타냈다. 우선,  $\sigma_D$ 가 넓어지면 Gap 중앙에 분포되는

Deep State의 밀도가 증가하게 되어 Subthreshold 기울기와 포화 전류의 값이 감소하다가, 어떤  $\sigma_D$  이상에서는 양전성인 Deep State들간의 중첩으로 Deep State의 전하들이 감소하는 효과가 나타나므로, Subthreshold 기울기와 포화 전류의 값이 증가하게 된다. 특히, 이 변수는  $\Delta E_{DC}$ 와 밀접하게 연관되어 있다. 만일,  $\Delta E_{DC}$ 가 좁은 경우에는  $\sigma_D$ 가 넓어질수록 Subthreshold 기울기와 포화 전류의 값이 증가하는 현상만이 나타날 것이다<sup>[4]</sup>.  $g_{Dmax}$ ,  $g_{Amax}$ 가 적어질수록 Tail State들로의 Trapping 현상이 감소하므로, Subthreshold 기울기와 포화 전류의 값이 증가하게 된다.  $\sigma_{Donor}$ 가 좁아질수록 대부분의 Donor들이 Fermi Level의 위에 존재하게 되어 Donor들이 쉽게 여기 되므로, Subthreshold 기울기와 포화 전류의 값이 증가하게 된다.

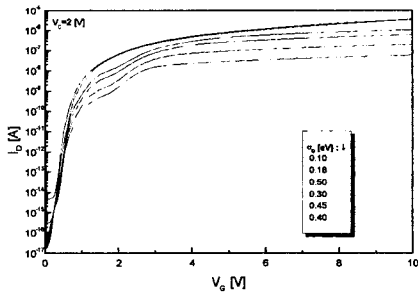


그림 4. Transfer 특성에서  $\sigma_D$ 의 민감도

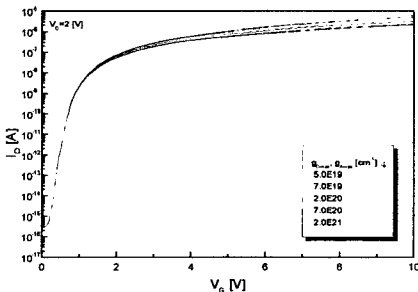


그림 5. Transfer 특성에서  $g_{Dmax}$ ,  $g_{Amax}$ 의 민감도

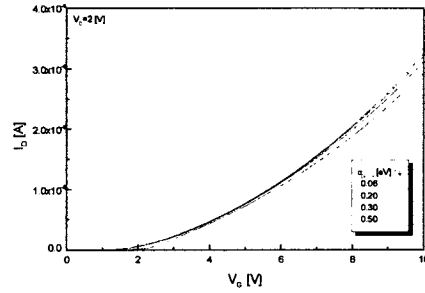


그림 6. Transfer 특성에서  $\sigma_{Donor}$ 의 민감도

## 5. 결론

본 논문에서는 유용성이 검증된 TFT2DS로 a-Si의 몇 가지 물성 변수들이 소자의 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 향후, 세부적인 a-Si의 물성 변수들에 대해서도 동일한 연구를 지속하여 보다 완벽한 소자 설계의 방향을 제시할 계획이다. TFT2DS를 통한 a-Si 물성 변수들의 최적화가 실제 소자의 설계 및 제조에 적용된다면, 소자 특성의 극대화와 소자 개발 기간 및 비용 절감에 크게 기여할 것이다.

본 논문은 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 선도기술개발(G-7)사업의 지원으로 수행되었음

## 참고 문헌

- [1] J. S. Choi, Ph. D. Dissertation, Purdue Univ. (1992)
- [2] J. S. Choi, G. W. Neudeck, 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, 252 (1994)
- [3] 박지훈, 최중선, 한국전기전자재료학회 춘계 학술대회 논문집, 168 (1997)
- [4] J. W. Park, Ph.D. Dissertation, Purdue Univ. (1989)
- [5] J. L. Gray, IEEE Trans. Electron Devices, **ED-36**(5), 906 (1989)
- [6] S. Wolf, "Silicon Processing of the VLSI Era Volume 3: The Submicron MOSFET", Lattice Press, Sunset Beach (1995)