

# Sentaurus Process를 이용한 도핑 공정 설계

박장군 · 정학기 · 이재형 · 정동수 · 이종인  
군산대학교 전자정보공학부

## Doping Process Design Using Sentaurus Process

Jang-gun Park·Hak-kee Jung·Jae-hyung Lee  
Dong-soo Jeong·Jong-in Lee

School of Electronic and Information Eng., Kunsan National University  
E-mail: hkjung@kunsan.ac.kr

### 요 약

이 연구는 Sentaurus Process를 이용하여 실리콘(Si) 웨이퍼에 각각의 불순물들의 도핑 농도를 모의실험 하여 공정 방법과 순서, 온도, 깊이에 따른 도핑 농도의 변화를 나타내었다. 입력한 값에 대한 수치를 한눈에 알아 볼 수 있으며 공정이나 깊이, 도핑 농도에 따라 불순물의 집중도와 공정 방법에 따른 소자 특성의 변화를 한눈에 알아 볼 수 있어서 Sentaurus Process를 이용한 연구를 통해 우수한 소자를 개발하는데 도움이 되리라 본다. 이 연구에서는 공정 파라미터 값의 변화에 따른 도핑 분포를 Sentaurus Process 시뮬레이션을 통하여 관찰할 것이다.

### I. 서 론

현재 최첨단 시스템 등 어느 한곳에서도 빠지지 않고 반도체가 사용됨에 따라 반도체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 시간이 지남에 따라 조금 더 우수한 반도체를 요구 하고 있다. T-CAD 프로그램 중 Sentaurus Process라는 응용 프로그램을 사용 하여 불순물 도핑에 대하여 분석하고자 한다. Sentaurus Process는 반도체 소자에 대한 연구에 쓰이는 프로그램으로 1D부터 3D까지 자신이 원하는 형식으로 디자인 할 수 있으며 이 연구에서는 Sentaurus Process를 이용 하여 각각의 수치를 입력함으로써 순수 실리콘(Si) 웨이퍼에 붕소(Boron), 안티몬(Antimony), 비소(Arsenic)를 도핑 시킨 P-type의 NPN Bipolar Transistor 소자를 만들어 봄으로써 입력한 공정 방법과 순서, 온도, 깊이에 해당 하는 각각의 수치들을 일차원 시뮬레이션을 통해 쉽게 알아 볼 수 있다는 것을 확보 하고자 한다.

### II. 시뮬레이션 방법과 과정

T-CAD 프로그램 중 Sentaurus process를 실행 시킨 후 command창에 각각의 명령어를 입력

함으로써 Sentaurus 프로그램을 이용하여 command창에 각각의 불순물의 종류와 도핑 농도, 깊이 등의 수치를 입력함으로써 입력한 값에 대한 결과 값을 얻을 수 있다.[1] 일차원 수직 바이폴라 트랜지스터의 공정 설계 순서는 다음과 같다.[2]-[3]

#### ① Declare Initial grid

일차원 시뮬레이션을 위해 격자의 간격을 만들어 주기 위해 다음과 같은 명령어를 입력한다.

```
> line x location=4.0<um>tag=SubTop spacing=20.0<nm>  
> line x location=4.5<um> spacing=40.0<nm>  
> line x location=6.0<um>tag=SubBottom spacing=0.2<um>
```

#### ② Declare substrate

P-type을 선언하기 위해 실리콘의 2um의 깊이에 붕소를  $1e+15<cm^{-3}>$  집중하기 위해 아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> region silicon xlo=SubTop xhi=SubBottom  
> init concentration=1e+15<cm^{-3}> field=Boron
```

#### ③ MGOALS settings for automatic meshing in newly generated layers

Sentaurus 과정을 위하여 remeshing 엔진으로서 MGOALS remeshing 엔진을 활성화하기 위해

아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> magoals on nomal.growth.ratio=1.1 \
> min.normal.size=20<nm> max.lateral.size=0.2<um>
```

④ Buried layer (deposit screen ox, implant)

반도체 소자 내부에 불순물 층을 만들어 주기 위해 아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> deposit Oxide type=isotropic thickness=25.0<nm>
> implant Antimony dose=1.5e15<cm-2> energy=
100.0<keV> tilt=0 rotation=0
```

⑤ SetPlxList {BTotal Antimony\_Implant}

지금까지 했던 과정을 Sbasimp.plx라는 파일명으로 저장한다.

```
> WritePlx Sbasimp.plx
```

⑥ Partial drive-in

부분적인 성장을 위하여 1100°C의 온도로 1시간 동안 가열하고 산화물을 벗기기 위해 아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> diffuse temperature=1100<C> time=1<hr>
> strip oxide
```

⑦ SetPlxList {BTotal SbTotal}

지금까지의 과정을 Sbdrive.plx라는 파일명으로 저장한다.

```
> WritePlx Sbdrive.plx
```

⑧ Create Epi layer

Epi 계층을 만들기 위해 비소를 집중하고 1100°C로 1시간 동안 가열 하도록 아래와 같이 명령어를 입력한다.

```
> deposit material=Silicon type=isotropic rate =1.0<um/min>\
> time=4.0<min> species=Arsenic concentration=1e15<cm-3>
> diffuse temperature=1100<C> time=1<hr>
```

⑨ SetPlxList {BTotal SbTotal AsTotal}

위까지의 과정을 Epi.plx라는 파일명으로 저장한다.

```
> WritePlx Epi.plx
```

⑩ Base screen oxide, implant and drive-in

Base를 산화물로 가리기 위해 붕소를 주입하고 drive-in하기 위해 아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> deposit Oxide isotropic thickness=25.0<nm>
> implant Boron dose=1e14<cm-2> energy
=50<keV> tilt=7<degree> rotation=0
> diffuse temperature=1000<C> time=50<min>
```

⑪ Emitter screen oxide, implant and activation

Emitter를 산화물로 가리기 위해 비소를 주입하고 활성화 시키는 명령어를 아래와 같이 입력한다.

```
> implant Arsenic dose=2e15<cm-2> energy=55<keV>
tilt=7<degree> rotation=0
> diffuse temperature=1000<C> time=35<min>
```

⑫ Show the final profiles

최종 파일을 Final.plx라는 파일명으로 저장하고 일차원으로 시뮬레이션 하기 위해 아래와 같은 명령어를 입력한다.

```
> SetPlxList {BActive SbActive AsActive}
> WritePlx Final.plx
```

III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 1은 순수 실리콘에 2um 깊이에 붕소를  $1.0 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  집중하고, Sentaurus 과정을 위하여 MGOALS remeshing 엔진을 활성화 과정과 산화물 단층을 침전 시키고 활발하지 못한 구역에 열 순환을 수행한 다음 50kV의 에너지와 소량의  $10^{14} \text{cm}^{-2}$ 의 비소를 7°의 각도로 심으면 그림 1과 같은 깊이에 비소와 붕소가 확산 되어 있는 것을 볼 수 있다.

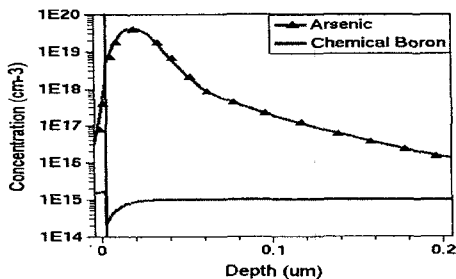


그림 1. 비소 프로파일과 붕소 농도 그래프

그림 2는 그림 1에 화학적 불순물을 활성화 하기 위해 1000°C의 온도로 30분간 가열하고 산화물을 벗긴 결과는 붕소의 농도가 약  $1e20$ 까지 증가함을 알 수 있다.

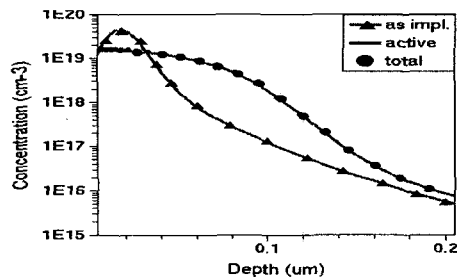


그림 2. 열처리 후 비소와 붕소의 변화를 나타낸 그래프

그림 3은 그림 1과 2의 실험을 바탕으로 실리콘의 2 $\mu\text{m}$ 깊이에  $1.0 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 의 붕소를 집중하여 p-형 근분을 선연하고 산화물을 25nm 침전시킨 후  $1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 와 100keV 만큼의 안티몬과 에너지를 심는다. 그 다음 60분 동안 1100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가열하고 상영된 산화물을 벗기면 그림 3과 같이 Drive-in후의 도핑 깊이와 분포를 알 수 있는 그래프가 나오는 것을 볼 수 있다.

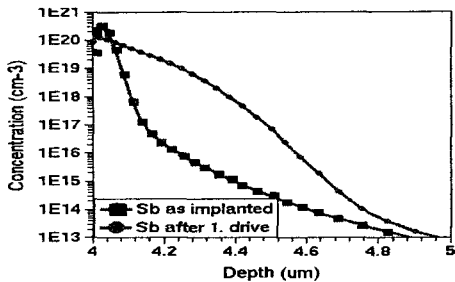


그림 3. 안티몬 프로파일과 Drive-in후의 그래프

그림3의 결과 값에 아래와 같은 공정과 수치를 입력한다. EPI 계층은 도핑된 실리콘을 4 $\mu\text{m}$ 를 침전 시키고 EPI 생성동안 60분 동안 1100 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열하고 산화물을 가리는 것의 25nm 만큼 침전시킨다.  $1.0 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 의 붕소와 50keV의 에너지를 7 $^{\circ}$ 의 기울기 각도로 심은 후 50분 동안 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가열하고 2.0 $\times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 의 비소와 55keV의 에너지를 7 $^{\circ}$ 의 기울기 각도로 심는다. 그 후 35분 동안 1000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가열 하게 되면 그림 4와 같은 최종 일차원 시뮬레이션 값을 얻을 수 있다.

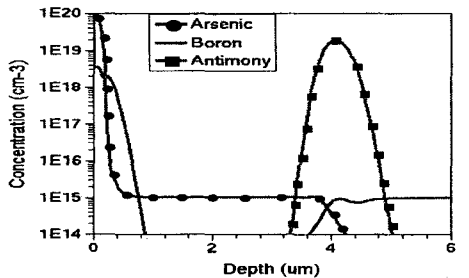


그림4. 최종 그래프.

위와 같이 Sentaurus Process를 이용하여 일차원 시뮬레이션을 해본 결과 공정 방법과 도핑되는 깊이 농도 등에 따라서 결과 값의 수치가 달라지는 것을 알 수 있고 도핑의 깊이와 농도에 따라 어느 구역에서 활성화가 되는지 쉽게 알아 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 Sentaurus Process를 이용해 일차원으로 시뮬레이션 해본 결과 각각의 도핑 농도와 깊이, 온도에 따라 활성화 구역과 불순물의 집중도가 달라짐을 쉽게 알 수 있었고 Sentaurus Process를 이용하여 내가 원하는 깊이와 농도, 온도 공정 방법 등을 정해서 내가 원하는 type의 반도체를 미리 만들어 보고 일차원이나 삼차원으로 구체화하여 화면으로 볼 수 있다.

Sentaurus Process를 이용하여 시뮬레이션을 하게 되면 데이터 값이나 과정 등의 오류를 쉽게 수정할 수 있으며 자신이 원하는 값을 입력하여 시뮬레이션 할 수 있기 때문에 우수한 소자를 개발 하는데 많은 도움이 있으리라 본다.

현재에도 세계적으로 반도체에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있으며 Sentaurus Process를 이용하여 우수한 소자를 만드는데 꾸준한 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] Sentaurus TCAD Training manual Sentaurus Structure Editor
- [2] Ben G. Streetman, Solid State Electronic Devices, 5nd edition, 2000, pp. 1-30
- [3] Richard C. Jaeger, Introduction to Micro electronic Fabrication, 5nd edition, November, 2002, pp.31-180