

Sentaurus Process를 이용한 바이폴라 트랜지스터(BJT) 설계 시뮬레이션

고형민 · 정학기 · 이재형 · 정동수 · 이종인
군산대학교 전자정보공학부

The BJT Design using Sentaurus Process

Hyungmin Ko · Hakkee Jung · Jaehyung Lee · Dongsoo Jeong · Jongin Lee
School of Electronic and Information Eng., Kunsan National University
E-mail: hkjung@kunsan.ac.kr

요 약

본 연구에서는 Sentaurus Process를 사용하여 NPN 바이폴라 트랜지스터(BJT)를 시뮬레이션 하였다. 많은 종류의 반도체 소자가 개발되고 있으나 가장 먼저 BJT가 개발되었으며 이후 지속적인 발전을 거듭하여 MOSFET와 함께 개발 발전되었다. BJT를 이용한 회로는 광범위하게 응용되고 있으며 BJT는 여전히 중요한 회로의 한 소자로 사용되고 있다. 뿐만 아니라 BJT는 MOSFET와 결합된 집적회로 기술의 응용분야에 사용되고 있다. 이는 BJT 특성들이 특별하게 설계된 많은 반도체 소자에서 자주 사용된다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 그 중에서도 특성상 많이 사용되는 NPN BJT를 시뮬레이션 프로그램인 Sentaurus Process를 통하여 구조의 특성을 파악하고자 한다.

I. 서 론

바이폴라 트랜지스터는 반도체의 pn접합을 이용하여 증폭 작용을 할 수 있도록 만든 능동 소자로서 에미터, 베이스, 콜렉터로 이루어진다. 접합 형식에 따라 pnp, npn 트랜지스터로 나뉘지며 증폭기로 사용할 때에는 입력과 출력을 공통으로 사용하는 단자에 따라 공통 에미터 공통 베이스 공통 콜렉터 증폭기로 분류된다. 에미터에 가장 높게 도핑하고 베이스에는 중간 정도 콜렉터에 가장 낮게 도핑 시킨다. npn형, pnp형 둘 다 증폭기로 사용하기 위해서는 베이스 에미터 접합에는 순방향, 베이스 콜렉터에는 역방향으로 바이어스 시켜야 한다. 본 연구에서는 NPN BJT를 시뮬레이션 할 것이다. [1]

II. 시뮬레이션의 방법

Sentaurus Process Workbench에서 Command창을 열어서 각각의 파라미터 값을 설정함으로써 시뮬레이션 할 수 있다. 제작 공정의 순서와 같이 시뮬레이션 하면 된다. 먼저 실리콘 기판의

타입을 정하고 산화막을 선택적으로 제거 할 수 있도록 마스크 영역을 설정한다. 매복층과 에피층을 설정하고 식각기술을 사용하여 베이스와 에미터 콜렉터 층을 설정하고 그 위에 알루미늄으로 접촉 부분을 만든다. 이러한 기본 공정을 시뮬레이션 프로그램인 Sentaurus Process를 이용하여 수행할 것이다. [2]

III. 시뮬레이션 과정

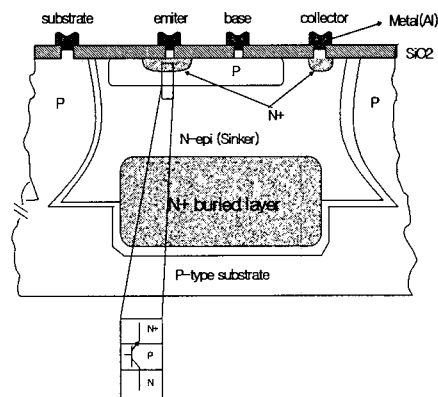


그림 1. NPN BJT의 구조

그림 1은 시뮬레이션 할 NPN BJT의 구조를 나타낸 그림이다.

시뮬레이션 과정은 다음과 같다.

① 실리콘 기판을 정의하고 마스크를 설정한다.

line 명령어를 사용하여 격자 값을 설정한다. 만약 단위를 정의하지 않으면 단위는 <um>으로 설정된다. 초기 격자 값을 설정하기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
line x loc= 4.0<um> tag=SubTop spacing=0.1<um>
line x loc= 5.0<um> spacing=0.1<um>
line x loc= 6.0<um> tag=SubBottom spacing=0.7<um>
line y loc= 0.0<um> tag=SubLeft spacing=6.00<um>
line y loc=18.0<um> spacing=6.00<um>
line y loc=18.5<um> spacing=0.50<um>
line y loc=30.0<um> tag=SubRight spacing=0.50<um>
mg oals on normal.growth.ratio=1.1
accuracy=2e-5\
min.normal.size=50<nm> max.lateral.size=6.0<um>
```

각 공정을 미리 정의해준다. 만약 정의하지 않으면 etch이나 deposit 명령어를 사용 할 때마다 더 많은 정보를 정의해줘야 한다. etch, deposit 명령어를 이후에 간단하게 사용하기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
machine name=OxDep deposit oxide isotropic
rate=1.0<um/min>
machine name=EpiGrow deposit Silicon isotropic
rate=1.0<um/min>
machine name=AlDep deposit Al isotropic
rate=1.0<um/min>
machine name=OxEtch etch oxide anisotropic
rate=1.0<um/min>
machine name=AlEtch etch Al anisotropic
rate=1.0<um/min>
```

mask 명령어를 사용하여 마스크를 설정한다. mask 명령어를 사용하기 위해서는 미리 정의가 되어 있어야 한다. 마스크는 불순물로부터 보호해주며 이후에 사용되는 etch 명령어는 마스크가 없는 노출된 부분만을 에칭한다. 마스크를 정의하기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
mask name=Sinkerc left=-1.0<um> right=22.0<um>
mask name=Sinkerc left=24.0<um> right=35.0<um>
mask name=Base left=-1.0<um> right=1.5<um>
mask name=Base left=13.0<um> right=2.5<um>
mask name=Emitter left=-1.0<um> right=2.5<um>
mask name=Emitter left=8.0<um> right=22.0<um>
mask name=Emitter left=24.0<um> right=35.0<um>
```

```
mask name=Contact left=-1.0<um> right=3.5<um>
mask name=Contact left=7.0<um> right=10.0<um>
mask name=Contact left=12.0<um> right=22.5<um>
mask name=Contact left=23.5<um> right=35.0<um>
mask name=Metal left=-1.0<um> right=2.0<um> negative
mask name=Metal left=8.0<um> right=9.0<um> negative
mask name=Metal left=13.0<um> right=22.0<um> negative
mask name=Metal left=24.0<um> right=35.0<um> negative
```

가상 시뮬레이션 영역을 region 명령어를 사용하여 실리콘으로 정의한다. 3D에서는 zlo, zhi를 추가하여 입방형의 영역을 정의 할 수 있다. 시뮬레이션 영역을 실리콘으로 정의하기 위해 아래와 같이 입력한다.

```
region silicon xlo=SubTop xhi=SubBottom
ylo=SubLeft yhi=SubRight
```

init 명령어를 사용하여 실리콘 웨이퍼의 처음 붓소 농도를 정의 할 수 있다. 웨이퍼의 붓소 농도를 정의하기 위해 아래와 같이 입력한다.

```
init concentration=1e+15<cm-3> field=boron
```

② 매복층과 EPI층을 생성한다.

매복층에 도핑 될 안티몬의 농도를 설정하고 에피층을 확장하기 위한 값을 설정한다. 만약 deposit나 etch 명령어를 위에서 정의하지 않았다면 명령어를 사용 할 때마다 “deposit oxide type= isotropic thickness=25<nm>”으로 사용해야 한다. 매복층 생성과 에피층 확산을 위해 아래와 같이 입력한다.

```
deposit machine=OxDep time=0.025<min>
implant Antimony dose=1.5e15<cm-2>
energy=100<kev>
etch machine=OxEtch time=0.03<min>
deposit machine=EpiGrow time=4.0<min>
species=Arsenic \
concentration=1e15<cm-3>
diffuse temp=1100<C> time=60<min>
```

tdr파일로 저장하기 위해 아래와 같이 입력한다.

```
struct tdr=vert_npn1
```

plx파일로 저장하기 위해 아래와 같이 입력한다.

```
SetPlxList (BTotal Sbttotal AsTotal PTotal)
WritePlx Buried.plx y=0.5
```

③ Sinkerc를 심고 Drive-in 한다.

싱커라 정의된 마스크를 사용하여 인을 도핑시키고 5시간 동안 1100°C에서 확산시키기 위해

아래와 같이 입력한다.

```
deposit machine=OxDep time=0.025<min>
deposit machine=OxDep time=0.025<min>
implant Phosphorus mask=Sinker dose=5e15<cm-2>
energy=200<kev>
diffuse temp=1100<C> time=5<hr>
grid remesh
struct tdr=vert_npn2
```

지금까지의 격자 조직으로는 베이스와 에미터 등을 확장하는데 부적합하다. refinebox 명령어를 사용하여 다시 격자 조직을 설정해주기 위해 아래와 같이 입력한다.

```
refinebox clear
refinebox Silicon min=(0 0.2) max=(1.5 14.4)\
xrefine=(0.1 0.1 0.2) yrefine=(0.1 0.2 0.1) add
refinebox remesh
```

④ Base를 심고 Drive-in 한다.

베이스라 정의된 마스크를 사용하여 붕소를 도핑시키고 35분동안 1100°C에서 확산시키기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
implant Boron mask=Base dose=1e14<cm>
energy=50<kev>
diffuse temp=1100<C> time=35<min>
struct tdr=vert_npn3
```

⑤ Emitter를 심고 Drive-in 한다.

에미터라 정의된 마스크를 사용하여 아세닉을 도핑시키고 24분동안 1100°C에서 확산시키기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
implant Arsenic mask=Emitter dose=5e15<cm-2>
energy=55<kev>\
tilt=7 rotation=0
diffuse temp=1100<C> time=24<min>
struct tdr=vert_npn4
SetPlxList (BTtotal SbTotal AsTotal PTotal)
WritePlx Final.plx y=5.0
WritePlx Sinker.Plx Y=23.0
```

⑥ 알루미늄을 심어 접촉부분으로 만든다.

콘택트와 메탈이라 정의된 마스크를 사용하여 에칭하고 알루미늄을 침전시켜 접촉 부분을 생성하기 위해서 아래와 같이 입력한다.

```
etch machine=OxEtch mask=Contact
time=0.055<min>
mgoals on normal.growth.ratio=20.0 accuracy=2e-5\
min.normal.size=300<nm> max.lateral.size=0.7<um>
deposit machine=AlDep time=1.0<min>
etch machine=AlEtch mask=Metal time=1.1
struct tdr=vert_npn5 [2]
```

IV. 결과

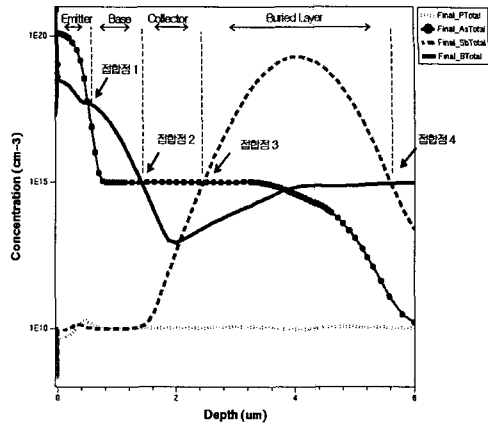


그림 2. 최종 결과 그래프

불순물 도핑순서는 붕소, 안티몬, 인, 붕소, 아세닉 순서이며 붕소는 3족 원소이고 안티몬, 인, 아세닉은 5족 원소이다. 3족 원소를 도핑 시키는 것을 p형 도핑 5족 원소를 도핑 시키는 것을 n형 도핑이라 한다. p형 도핑에서 다수 캐리어는 정공이 되고 n형 도핑에서는 다수 캐리어가 전자가 된다.

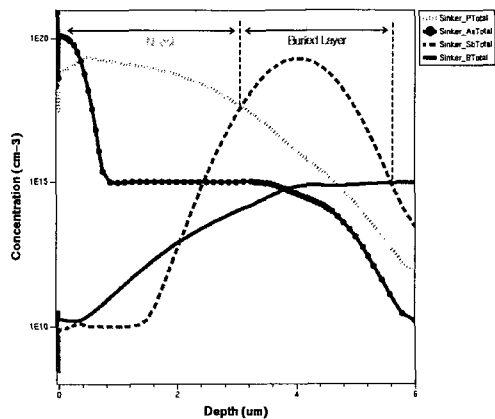


그림 3. 싱커까지의 결과 그래프

깊이와 농도에 관한 그래프로서 3족 원소와 5족 원소의 교차되는 점이 p형과 n형의 접합점이다. 그림 2에서 접합점 1까지의 영역은 에미터의 영역이고 접합점 1에서 2까지는 베이스, 접합점 2에서 3까지는 컬렉터, 접합점 3에서 4까지는 메

복층 그리고 접합점 4 이후로는 실리콘 웨이퍼의 영역임을 확인 할 수 있다. 각 곡선들의 교차하는 지점으로 시뮬레이션으로 생성된 바이폴라 트랜지스터가 위의 그림 1과 같은 구조를 나타낸다고 볼 수 있다.

확산현상에 의해 농도 분포가 변화되는데 확산은 온도와 밀접한 관련이 있다. 온도가 높을수록 확산이 활발하게 이루어진다. 또한 온도가 낮으면 확산이 되지 않는다. 이러한 점을 이용하여 원하는 곳까지 각 층들을 만들 수 있다.

시뮬레이션 하기 전에 트랜지스터의 구조를 알고 있다면 보다 쉽게 시뮬레이션 할 수 있다.
[1,3,4]

V. 결 론

시뮬레이션에서 각 파라미터 값들을 설정함으로써 트랜지스터의 특성을 확인 할 수 있다. 이 시뮬레이션에서는 깊이에 따른 농도를 확인 할 수 있었는데 반도체의 특성을 결정 하는데에는 여러 가지 파라미터가 있다. 파라미터들 간의 관계를 나타낸 수식도 많다. 파라미터들의 관계를 알아야 수식적으로 임의의 파라미터 값을 수정 하였을 시 나머지 파라미터는 어떻게 변하고 반도체의 특성을 이해하고 예측 할 수 있다. 어느 정도 예상을 하고 특성에 맞게 파라미터 값들을 설정한다면 시뮬레이션 함에 있어서도 보다 빨리 보다 정확하게 원하는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] U. Kawabe, T. Saitoh, "Semi Conductor", Book's hill publishing Co.,Inc, November 2001.
- [2] Sentaurus TCAD Training manual Sentaurus Process.
- [3] Richard C. jaeger, "Introduction to Microelectronic", Prentice hall, November 2002.
- [4] Sima Dimitrijevic, "Semiconductor Devices", OXFORD, August 2002.