

# Sentaurus를 이용한 항복전압과 전류의 경계조건 설계

권준영 · 정학기 · 이재형 · 정동수 · 이종인

군산대학교 전자정보공학부

## Breakdown and current boundary conditions design using Sentaurus Tool

Jun-young Kwon · Hak-kee Jung · Jae-hyung Lee

Dong-soo Jung · Jong-in Lee

School of Electronic and Information Eng., Kunsan National University

E-mail: hkjung@kunsan.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 Sentaurus를 이용하여 전압의 변화에 따른 항복전압과 전류의 경계 조건을 나타내려고 한다. 다이오드는 순방향 일 때 전류가 흐르고, 역방향 일 때는 전류가 흐르지 않는다. 하지만 역전압을 계속 올리면 어느 순간에 갑자기 전류가 흐르게 되는데 이때 전압을 항복전압이라 하며 전류의 경계조건은 컬렉터 전류의 변화에 따라 다르게 표현된다. 본 연구에서는 Sentaurus 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 항복 전압과 전류의 경계조건을 설계하고자 한다.

### I. 서 론

20세기 후반 집적회로시대로 접어든 후, 1960년 처음으로 MOSFET(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)를 제작하였다. MOSFET는 가장 중요한 미세 전자소자로서 대규모 집적회로의 기본 구성소자로서 사용하고 있고 다른 회로 소자들과 연결하여 전압이득을 주거나 신호의 파워를 높여주는 역할을 할 수 있으므로 능동소자라고 불린다. MOSFET는 상대적으로 작은 크기를 갖고 있어서 수백만 개의 소자가 집적되는 디지털 회로들에 넓게 이용되고 있고 집적회로 설계의 핵심이라 할 수 있다.

MOSFET 구조는 실리콘 기판위에 소스, 드레인 단자를 만들고 이 단자에 전류를 흘려주면 게이트 단자에는 전압을 걸 수 있도록 되어 있는데 맨 상층부는 금속으로 주로 Al이 쓰이고 금속층 밑에는 주로 SiO<sub>2</sub>가 쓰여서 주로 MOS구조를 하고 있다. 다이오드는 순방향일 때 전류가 흐르고, 역방향일 때는 전류가 흐르지 않는다. 하지만 역전압을 계속 올리면 어느 순간에 갑자기 전류가 흐르게 되는데 이때 전압을 항복전압이라 하며 전류-전압 특성은 컬렉터 전류의 변화에 따라 다르게 표현된다. 본 연구에서는

Sentaurus 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 항복전압과 전류-전압 특성 설계를 할 것이다.

### II 시뮬레이션 방법 / 과정

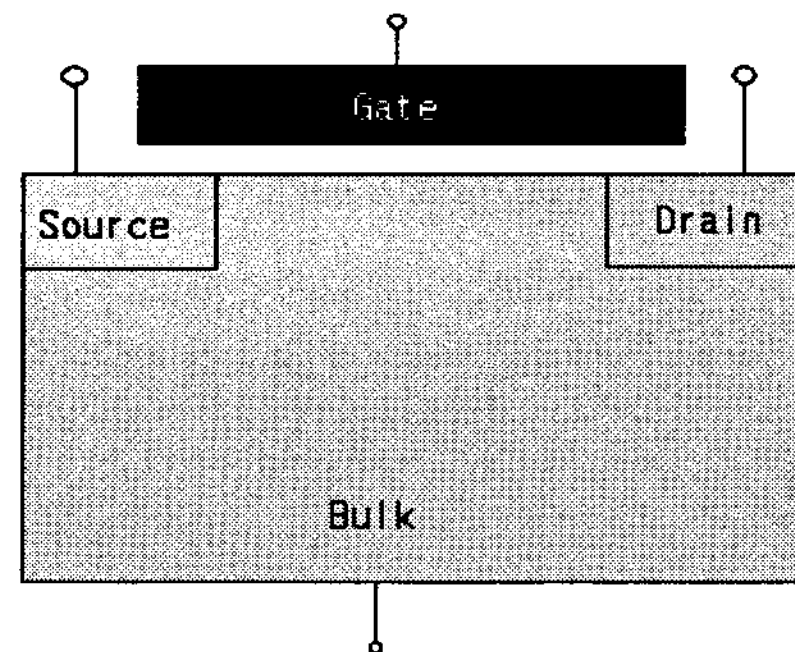


그림 1. MOSFET 구조

그림 1은 MOSFET 구조를 나타낸 것이다. MOSFET은 4단자로 구성되며, 금속-산화물-반도체 부분(또는 MOS 커패시터 부분)이 트랜지스터의 핵심을 이루고 있으며 MOS 구조는 게이트에 전압 인가 형태와 크기에 따라서 실리콘 반도체 표면층에서 전자수를 증가시키거나 감소

함으로써 소스에서 드레인으로 전류가 흐를 수 있게 하거나 전류 흐름을 방지 할 수 있다.

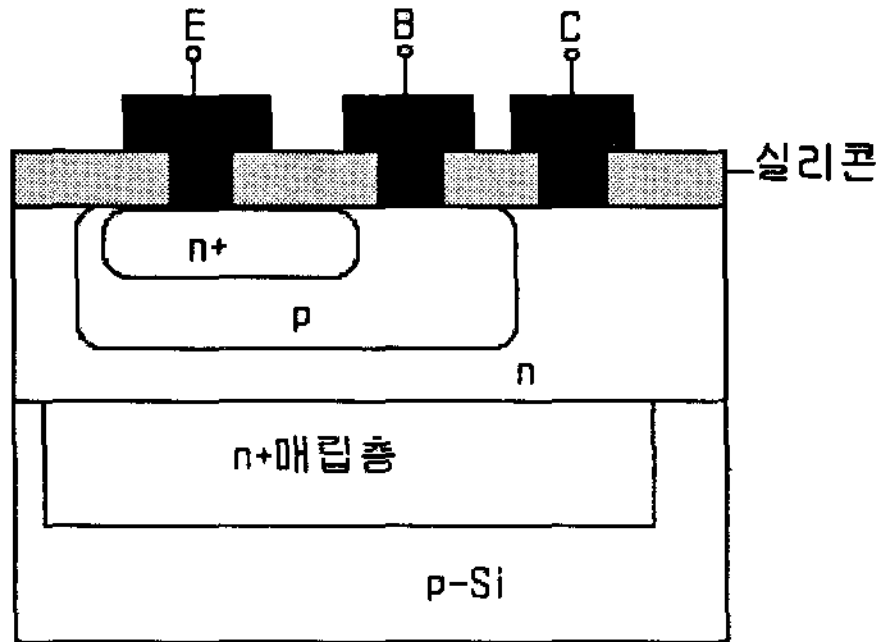


그림 2. 바이폴라 트랜지스터 구조

그림 2는 바이폴라 트랜지스터 구조를 나타낸 것이다. 다수 캐리어와 소수 캐리어가 공존하며 전자와 홀이 함께 전류를 만들기 때문에 바이폴라 트랜지스터라고 한다. 구조는 에미터, 베이스, 컬렉터로 구성되며 NPN형과 PNP형의 두 종류가 존재한다. 입력저항이 작은 것이 특징인데 이는 순방향 바이어스일 때 사용하기 때문이다. 작은 전류에서 사용되며 출력 전류는 입력 전류에 의해서 제어되고, 주파수 대역폭이 크며 열에 민감한 단점이 있다.

### 2-1 시뮬레이션 방법

본 연구에서 설계하고자 하는 MOSFET 항복전압 설계를 위해서 Sentaurus 시뮬레이션 프로그램 안에 있는 Inspect라는 시뮬레이션을 사용해야 한다. Inspect는 디바이스시뮬레이션의 결과 등을 표시하는 그래프표시 Tool이다.

실행시킬 파일을 선택하여 Edit-Showoutput - Inspect버튼을 클릭하거나 Drag&Drop한다. 이러한 방법으로 Inspect를 가동시켜 작업을 할 수 있다. 그래프를 그리기 위해서는 Datasets 상단의 테두리 안에서 그리고 싶은 데이터를 선택한다. 그 다음 불러온 파일을 선택한 뒤 다음으로 X축의 데이터를 선택한다. Datasets 중간의 테두리안에서 drain을 선택하여 하단의 테두리 안에서 OuterVoltage를 선택해 to X axis버튼을 클릭한다. Y축의 데이터를 선택한다. Datasets 중간의 테두리 안에서 drain을 선택하여 하단의 테두리 안에서 TotalCurrent를 선택해 to Y left axis버튼을 클릭한다. 이렇게 실행을 하게되

면 그래프가 그려지게 된다.

OuterVoltage와 InnerVoltage의 차이는 게이트 전극에 대한 베리어 파라미터가 주어져 디바이스 시뮬레이션을 실시하고 있다. 이 베리어 파라미터를 유효하게 하기 위해 OuterVoltage을 선택한다. 베리어 파라미터를 지정하지 않은 경우는 OuterVoltage, InnerVoltage 어느 쪽을 선택해도 똑같은 그래프가 그려진다.

Curve의 속성변경은 Curves 테두리 안에서 편집하고자하는 curve를 선택한 뒤 Edit버튼을 클릭하면 Curve Attribute Editor가 가동된다. 새로운 Curve의 작성 시 New버튼을 클릭하여, Create Curve 윈도우를 표시한다. 데이터의 exportExcel등에서 사용할 경우는 원하는 curve를 Curves 테두리 안에서 선택한 뒤 메뉴의 File-Export-XGRAPH를 선택한다. 원하는 파일명 확장치를 기술하여 Save버튼을 클릭한다. 그래프 데이터 보존 방법은 데이터, 그래프 포맷 등 전부를 보존할 경우 메뉴의 File-Save All을 선택하여 파일명(확장치는 sav)을 지정해 보존하고 데이터를 뺀 그래프포맷만을 보존할 경우는 메뉴의 File-Save Setup을 선택하여 파일명(확장치는 par)을 지정해 보존한다.

PostScript 형식으로 보존할 경우 메뉴의 File-Write PS을 선택하여 파일명(확장치는 ps)을 지정해 보존한다.

Inspect의 종료는 메뉴의 File을 누른 뒤 Exit를 누르면 Inspect가 종료된다. Inspect를 이용하면 쉽게 디바이스 시뮬레이션을 구할수 있어 간편하다. 이와 같은 방법으로 전류-전압 특성도 Sentaurus 시뮬레이션 프로그램 안에 있는 Inspect라는 시뮬레이션을 사용하여 설계를 할 수 있다.

### 2-2 시뮬레이션 과정

Sentaurus 시뮬레이션 프로그램에서 command 창에서 시뮬레이션 할 모델의 파라미터 값을 입력한다. MOSFET 항복전압 파라미터 값을 입력한다.

```
Electrode{
{Name="source" Voltage=0.0}
{Name="drain" Voltage=0.0 Resistor=1e7}
{Name="gate" Voltage=0.0 Barrier=-0.55}
{Name="sub" Voltage=0.0}
```

}  
위의 명령문은 전극의 설정과 각각의 경계조건을 설정하는 명령문이다. 드레인 레지스터를 1e7를 지정하고 게이트 배리어를 -0.55로 지정한다.

```
Math{
  Extrapolate
  Avalderivatives
  Iterations=20
  Notdamped=100
  RelErrControl
  ErRef(Electron)=1.e10
  ErRef(Hole)=1.e10
  BreakCriteria{Current(Contact="drain"
  Absval=1e-5)}
}
```

위의 명령문은 디바이스 방정식을 이산화된 Mesh 위에서 반복법을 이용해 계산하는 명령문이다. Iterations을 20으로 정하고 Notdamped을 100으로 지정한다. 일렉트론과 홀에 1.e10으로 지정하고 콘택 이름을 드레인으로 정한 후 AbsVal을 1e-5로 지정한다.

```
Solve{
  *-Build-up of initial solution:
  Coupled(Iterations=100){Poisson}
  Coupled{Poisson Electron Hole}

  Quasistationary(
  InitialStep=1e-4 Increment=1.35
  MinStep=1e-5 MaxStep=0.025
  Goal{Name="drain" Voltage=300}
  ){Coupled{Poisson Electron Hole}}
}
```

위의 명령문은 Solver에 의해 실행되는 해법의 조건을 지정하는 명령어로 Coupled은 전자의 연속방정식이 도입되어지고 Poisson 방정식에 결합된 형식으로 풀어진다는. Quasistationary는 정상 평형해를 계산하고 MaxStep는 스텝폭을 규정한다. Goal은 최종 바이어스치가 주어지고 초기치에서 지정한 스텝폭안에서 뉴턴법에 의해 해를 구해 최종 바이어스까지 도달하면 시뮬레이션은 종료한다.

Sentaurus 시뮬레이션 프로그램에서 command 창에서 시뮬레이션 할 모델의 파라미터 값을 입

력한다. 전류-전압 특성 파라미터 값을 입력한다.

```
Math{
  Extrapolate
  RelErrControl
  Digits=5
  ErrRef(electron)=1.0e7
  ErrRef(hole)=1.0e7
  Iterations=20
  Notdamped=100
}
```

위의 명령문은 디바이스 방정식을 계산하는 명령문이다. 일렉트론에 1e7로 지정하고 홀에 1e7로 지정한다.

```
Solve{
  NewCurrentFile="init"
  Coupled(Iterations=100){Poisson}
  Coupled{Poisson Electron Hole}

  Quasistationary(
  InitialStep=0.01 Increment=1.3
  MaxStep=0.2 Minstep=1e-6
  Goal{Name="base" Voltage=0.5}
  ){Coupled{Poisson Electron Hole}}
  Set("base" mode current)

  Quasistationary(
  InitialStep=0.01 Increment=1.3
  MaxStep=0.2 Minstep=1e-6
  Goal{Name="base" Current=1e-8}
  ){Coupled{Poisson Electron Hole}}
```

위의 명령문은 Solver에 의해 실행되는 해법의 조건을 지정하는 명령어로 Coupled은 전자의 연속방정식이 도입되어지고 Poisson 방정식에 결합된 형식으로 풀어진다는. MaxStep을 0.2로 지정하고 베이스 전압은 0.5로 지정하고 전류는 1e-8로 지정한다.

### III 시뮬레이션 결과

그림 3에서는 MOSFET 항복전압 그래프를 나타낸 것이다. 다이오드는 순방향일 때 전류가 흐르고, 역방향 일 때는 전류가 흐르지 않는데 역전압을 계속 올리면 어느 순간에 갑자기 전류가

호르게 되는데 이때 전압을 항복전압이라 한다. 순방향 바이어스 상태에서 인가전압이 장벽전압보다 낮을 때는 전류가 거의 흐르지 않는 반면 순방향 전압이 장벽전압  $V_t$ 에 도달하면 전류가 흐르기 시작하여 그 이상으로 증가하면 전류는 급격하게 증가하게 된다.

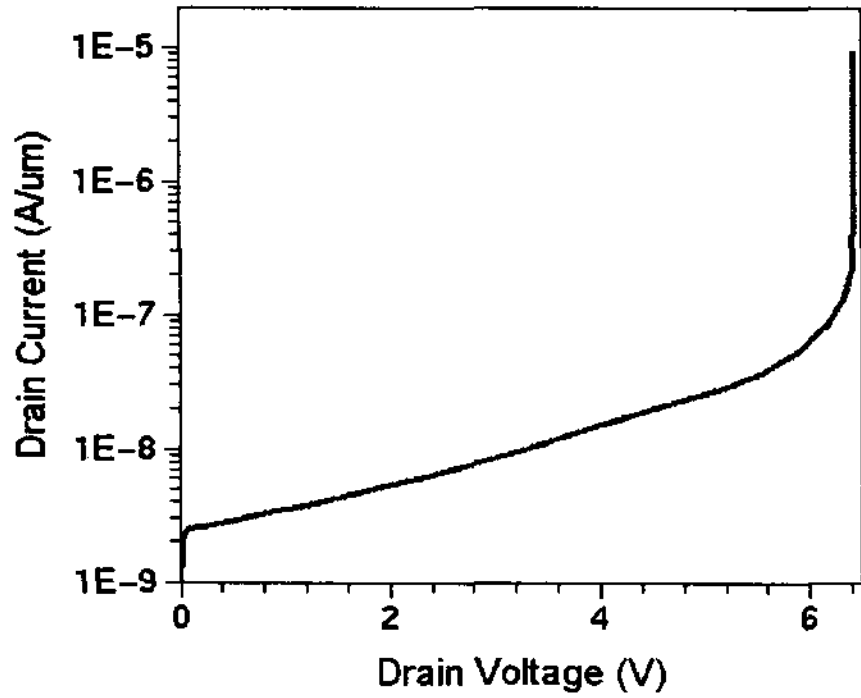


그림 3. MOSFET 항복전압

그림 4에서는 전류-전압 특성 그래프를 나타낸 것이다. 컬렉터 전압이 낮은 경우 전류-전압 특성은 거의 직선적으로 변화한다. 이 영역을 선형 동작 영역이라 한다. 컬렉터 전압을 높게 하면 컬렉터 전류의 증가는 억제되고 포화 경향을 보인다. 이 원인은 컬렉터 전압은 채널의 pn접합에 대하여 역 바이어스가 되고 있고 전압의 증가에 의한 공핍층 폭의 증대로 반전층의 깊이는 얇게 되어 전자가 흐르기 어렵게 되기 때문이다. 반전층이 소멸하는 컬렉터 전압을 핀치오프 전압이라 한다.

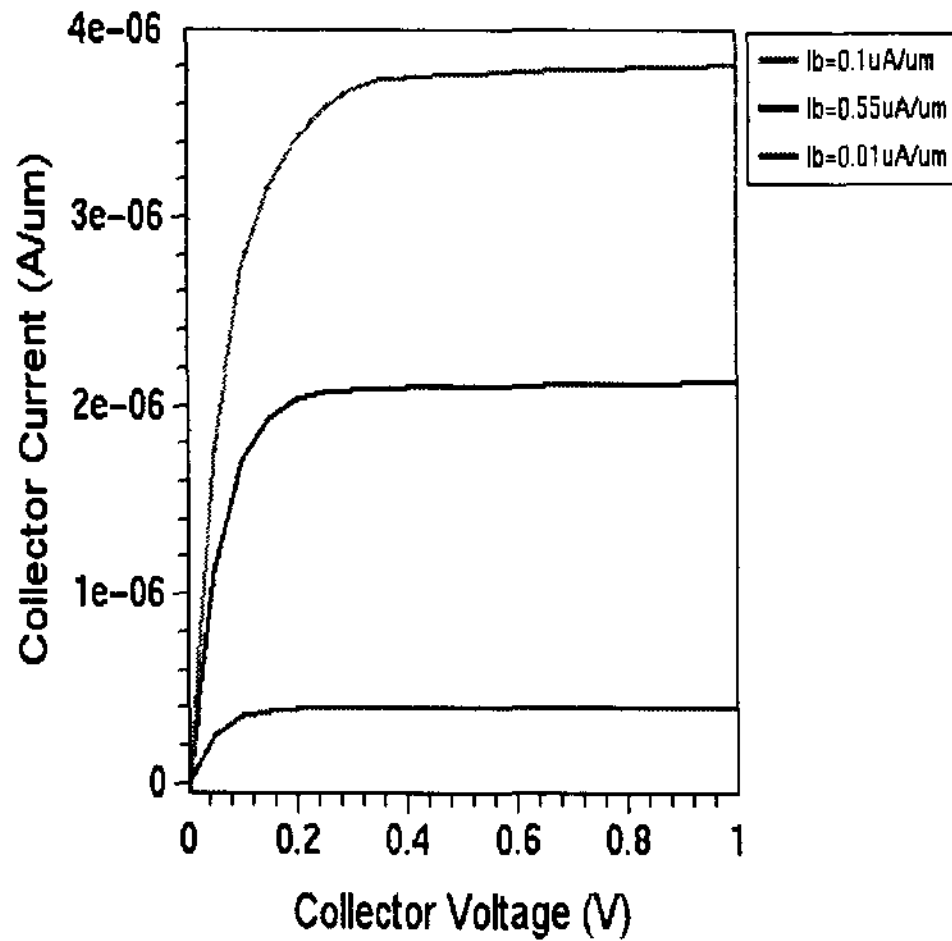


그림 4. 전류-전압 특성

#### IV 결 론

본 연구에서는 Sentaurus 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 MOSFET 항복전압과 전류-전압 특성 설계를 하였다. 다이오드는 순방향 일 때 전류가 흐르고, 역방향 일 때는 전류가 흐르지 않는데 역전압을 계속 올리면 어느 순간에 갑자기 전류가 흐르게 되는데 이때 전압을 항복전압이라는 것을 알 수 있었고 컬렉터 전압이 낮은 경우 전류-전압 특성은 거의 직선적으로 변화한다. 이 영역을 선형동작 영역이라 하고 컬렉터 전압을 높게 하면 컬렉터 전류의 증가는 억제되고 포화 경향을 보인다는 사실을 알 수 있었다.

Sentaurus 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 실제 제작 없이도 주어진 모델을 이용하여 그 구조와 특성을 예측할 수 있고 기술 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있으며 제품 특성의 향상을 위한 최적화 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Sentaurus TCAD Training manual Sentaurus Structure Editor.
- [2] U. Kawabe, T. Saitoh, "Semi-Conductor Devices", Book's hill, pp147-188, 2001
- [3] Sima Dimitrijevic, "Semiconductor Devices", pp251-266, 2002
- [4] Donald A. Neamen, "an Introduction to Semiconductor Devices", pp213-225, 2006