

8장

FIELD-EFFECT TRANSISTORS

조원

유승욱

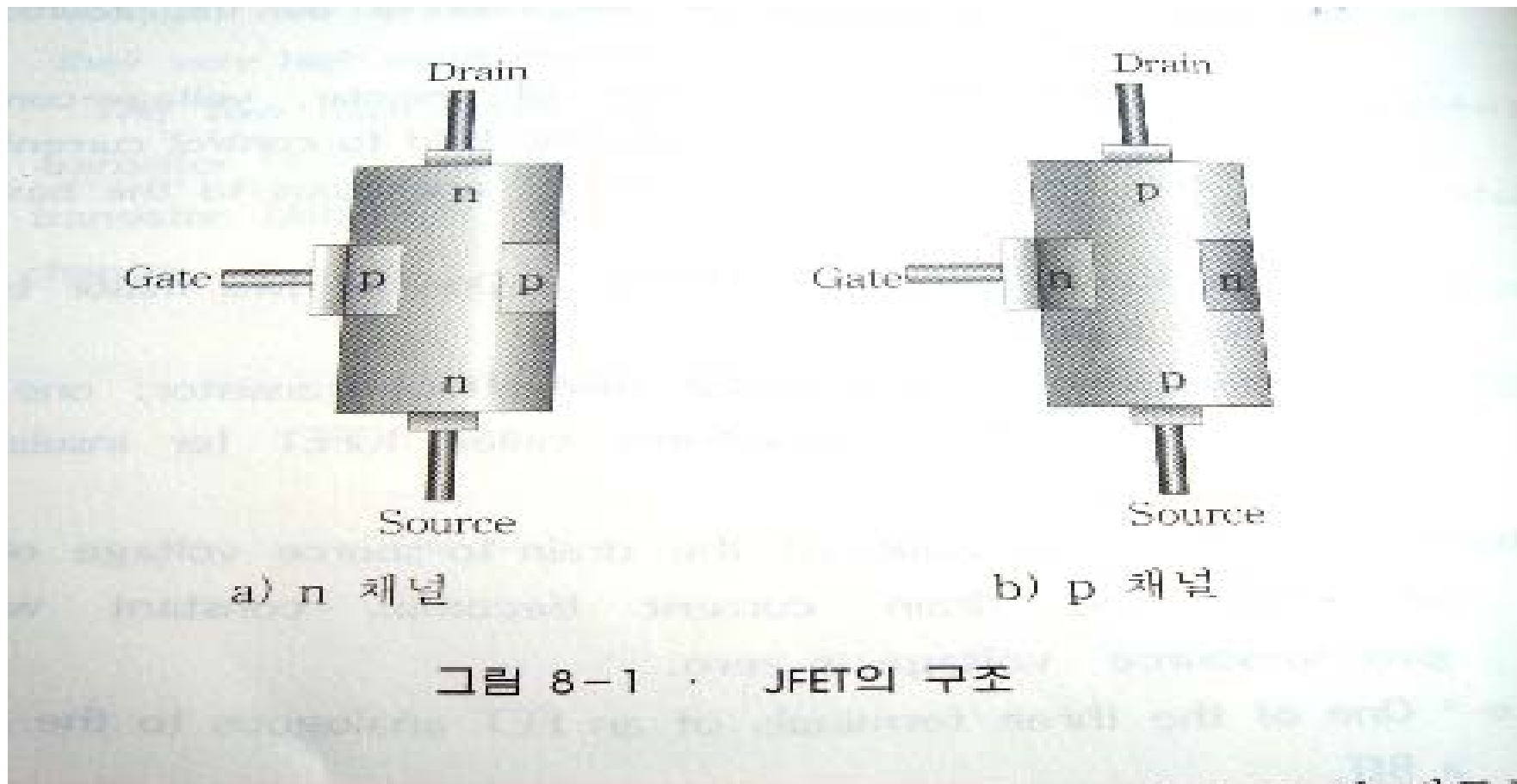
임홍진

신경희

정태환

JFET

JFET는 역방향 바이어스 PN접합으로 채널 전류를 제어하는 FET구이며, 구조에 따라 N채널 또는 P채널로 구분한다.



- JFEET는 항상 게이트-소스 사이 PN접합에 역방향 바이어스가 걸린 상태에서 동작한다
- 게이트 전압에 (-) 전압을 가하면 게이트-소스 접합에 역방향 바이어스가 걸려 PN접합을 따라공핍층이 형성된다
- 이 공핍층이 N 채널로 파고 들어가 채널 폭을 줄여 저항이 커진다

JFET 특성과 파라미터

정전류 소자인 JFET의 전압 제어 특성에 관하여 설명한다, 아울러 전달 특성과 차단, 핀치-오프에 대해서 배운다

핀치-오프 전압

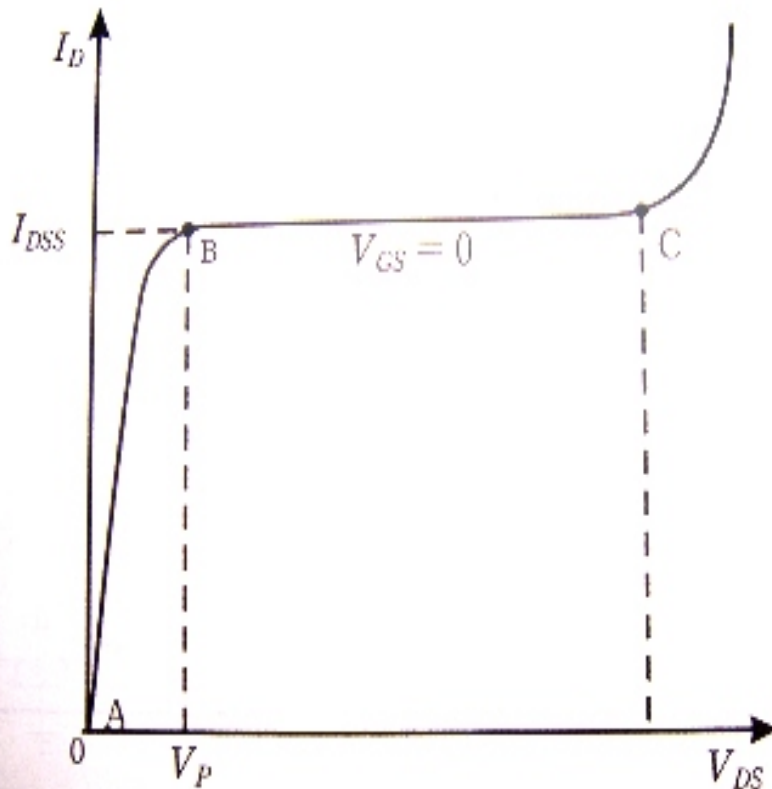


그림 8-4 . 핀치오프 전압 $V_{GS} = 0$ 일때의 드레인 특성곡선

- $V_{GS}=0$ 일때 I_D 를 일정하게 하는 곡선의 점의 V_{DS} 값을 핀치-오프전압 이라 한다
- V_P 는 고정값
- I_{DSS} : V_{DS} 가 계속증가하더라도 전류가 일정할때의 드레인 전류값
- V_{DS} 는 계속 증가 하면서 I_P 가 급격이 증가하는점 C에서 항복현상이 나타난다

게이트 소스전압

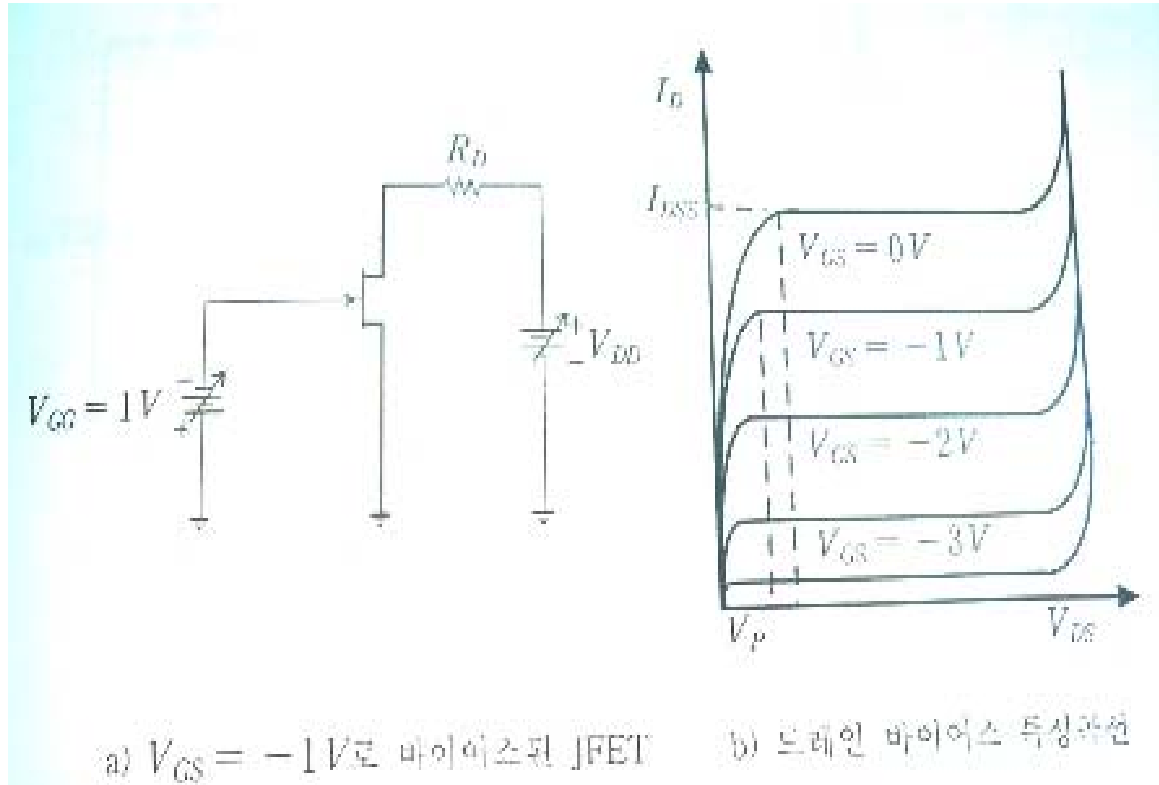
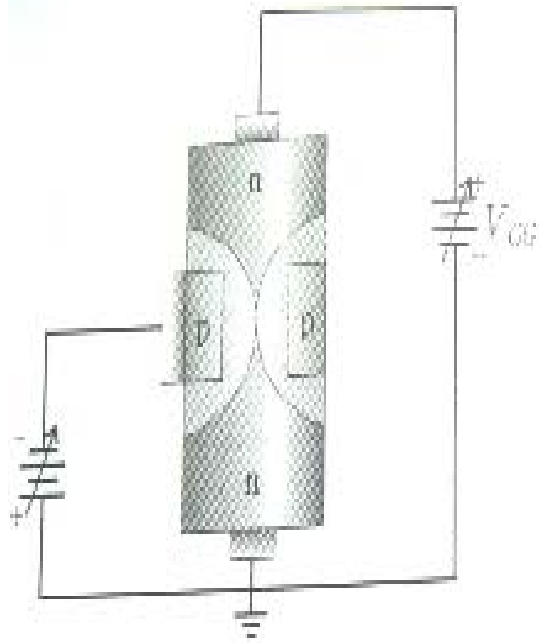


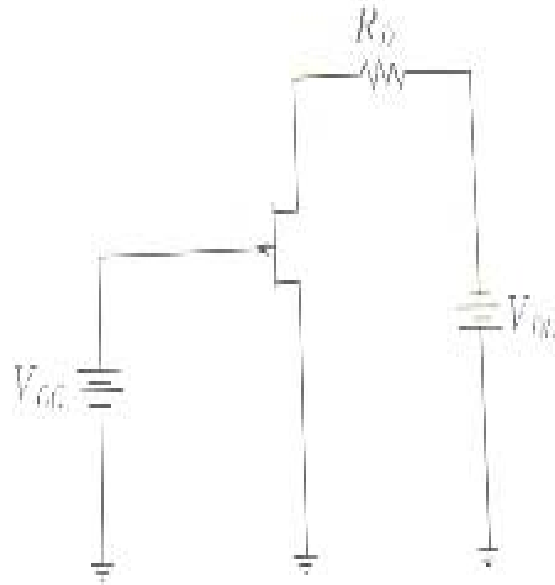
그림 8-5 · V_{GS} 에 따른 I_D 의 변화곡선

- 게이트와 소스간 전압이 0인경우 단락
- V_{GS} 가 (-)값으로 증가할수록 I_D 가 감소한다. V_{GS} 증가는 V_P 보다 작은 V_{DS} 값에서 일정 전류가 시작되는 핀치-오프에 도달

차단전압



a) 차단에서 JFET



b) p 채널 JFET의 바이어스

그림 8-6 · JFET의 동작

- I_D 값이 거의 0이 될때의 V_{GS} 값을 차단전압 $V_{GS(off)}$ 이라 함
- JFET는 $V_{GS}=0V$ 와 차단전압 사이에서 동작.
- 게이트-소스 전압 범위내에서 I_D 는 I_{DSS} 의 최대값에서 거의 0인 최소값까지 변함.
- V_{GS} 값이 (-)로 충분히 크면, I_D 는 0으로 감소. (차단효과)
- 차단효과의원인: 채널이 서로 완전히 만나는 지점까지 공핍영역이 넓어지기 때문

JFET 전달 특성

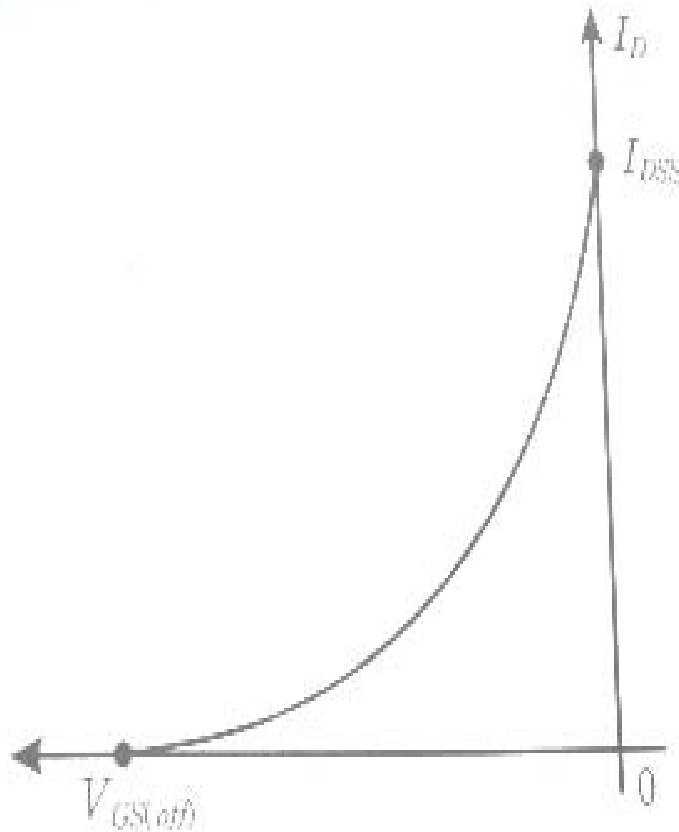


그림 8-7 : JFET의 전달특성곡선

- 특성곡선의 하단 끝은 V_{GS} 축상에 있고 그값은 $V_{GS(off)}$ 이다
- $V_{GS} = V_{GS(off)}$ 일 때 $I_D = 0$
- $V_{GS} = 0$ 일때 $I_D = I_{DSS}$
- JFET의 전달 특성곡선은 거의 포물선 형태이므로 다음과같이 근사적으로 나타낼수 있다

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - V_{GS}/V_{GS(off)}\right)^2$$

핀치-오프와 차단과의 비교

- 핀치-오프와 차단 사이에는 확실한 차이와 연관성이 있다.
- V_P 드레인 전류가 일정하게 되는 점이 V_{DS} 값이고 이 값은 $V_{GS} = 0V$ 에서 측정된다.
- 그러나 핀치-오프는 V_{GS} 가 0이 아닐 때는 V_P 보다 적은 V_{DS} 값에서 일어난다.
- $V_{GS(off)}$ 와 V_P 는 항상 크기는 같지만 부호는 반대이다.

상호 컨덕턴스

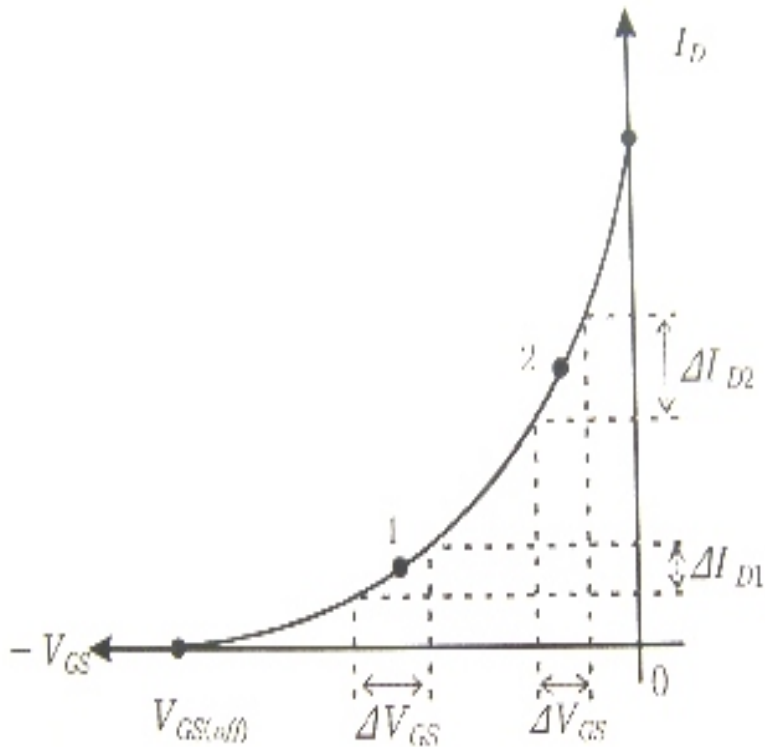


그림 8-9 · V_{GS} 의 변화에 따른 g_{m0} 값

- 순방향 전달 컨덕턴스
 $g_m = \frac{\text{드레인 전류의 변화}}{\text{게이트소스전압의 변화}}$
- JFET의 전달 특성 곡선이 비선형 이기 때문에 g_m 값은 곡선상의 위치에 따라 달라진다.
- g_{m0} 가 주어진 경우
 $g_m = g_{m0} (1 - V_{GS} / V_{GS(off)})$
- g_{m0} 의 값을 이용할 수 없는 경우
 $g_{m0} = (2I_{DSS} / |V_{GS(off)}|)$

입력 저항과 입력 용량

- JEFT는 게이트-소스가 역방향 바이어스로 동작되므로 게이트에서의 입력 저항이 매우 크다.
- 높은 입력 저항은 바이폴라 트랜지스터에 비해 좋은 장점이다.
- $R_{IN} = |V_{GS}/I_{GSS}(\text{게이트 역방향 전류})|$

드레인 소스 저항

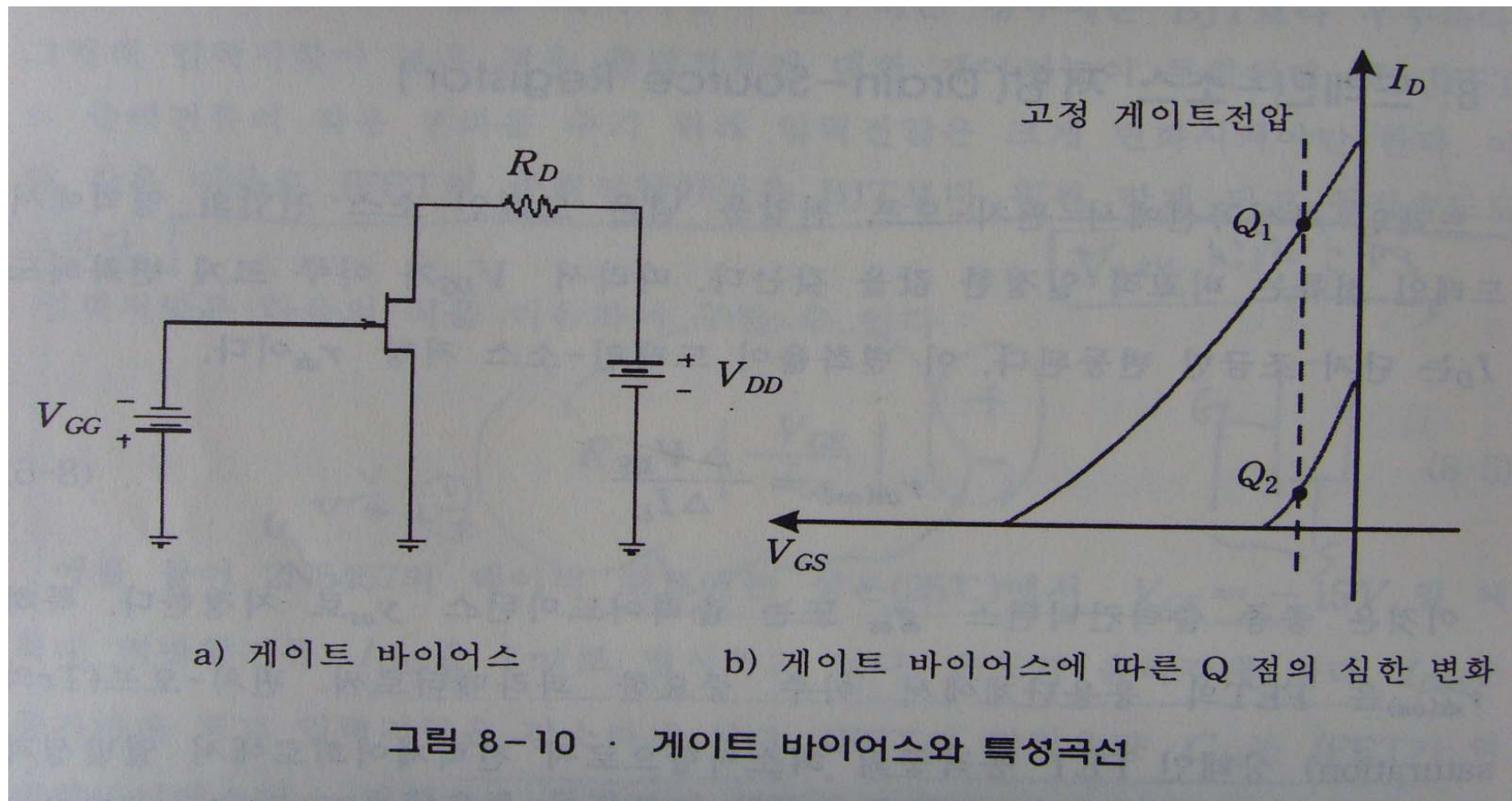
- 드레인 특성 곡선으로부터 핀치-오프 영역에서는, 드레인-소스 전압의 변화 범위에서 드레인 전류가 상대적으로 거의 일정한 값을 가진다.
- V_{DS} 의 큰 변화는 I_D 의 작은 변화를 야기한다. 이 변화율이 드레인-소스 저항 r'_{ds} 이다.

$$r'_{ds} = \Delta V_{DS} / \Delta I_D$$

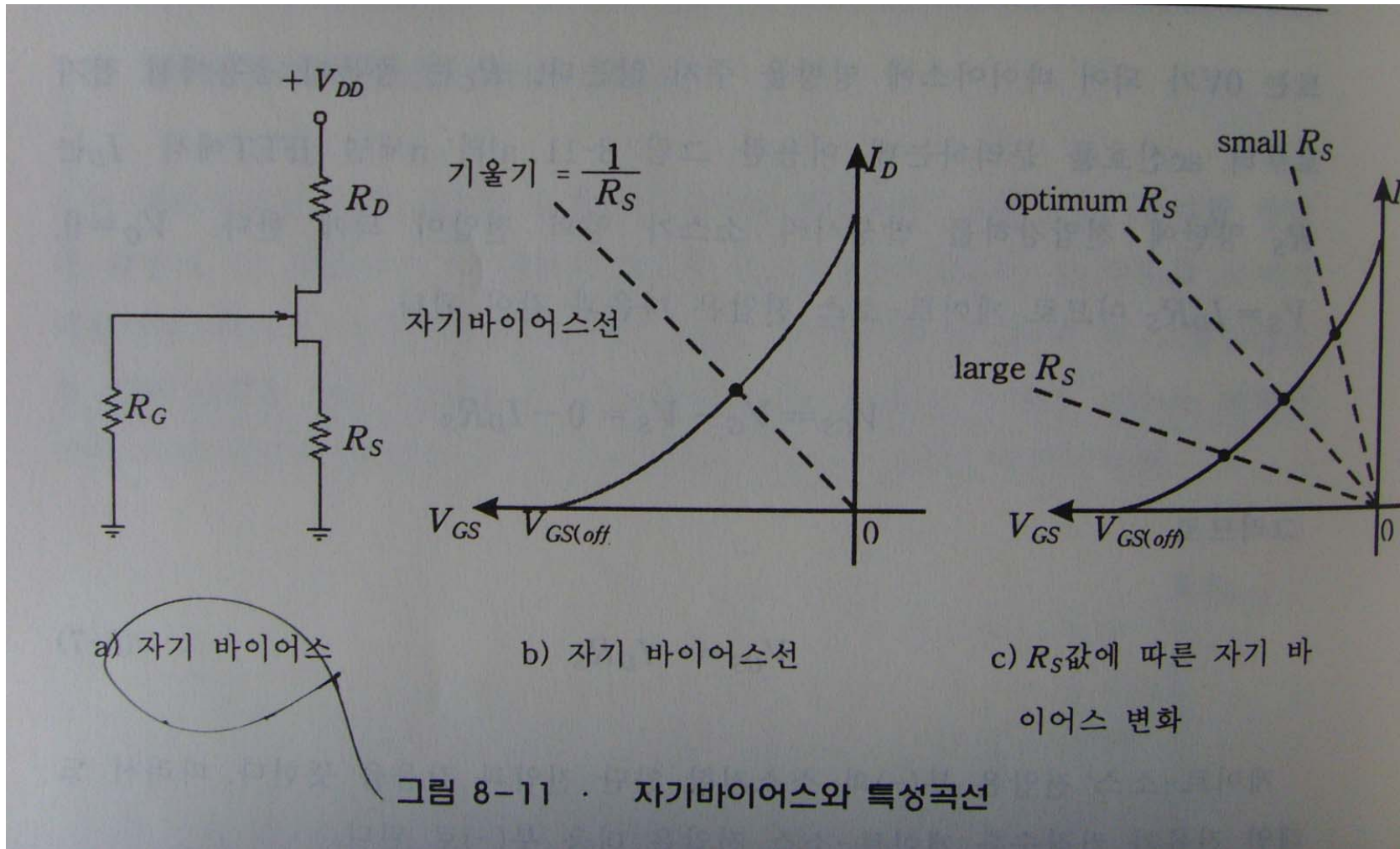
8.3 JFET Biasing

1. Gate Bias – 선형 JFET 증폭기의 Q점을 설정하기 위한 가장 불리한 방법

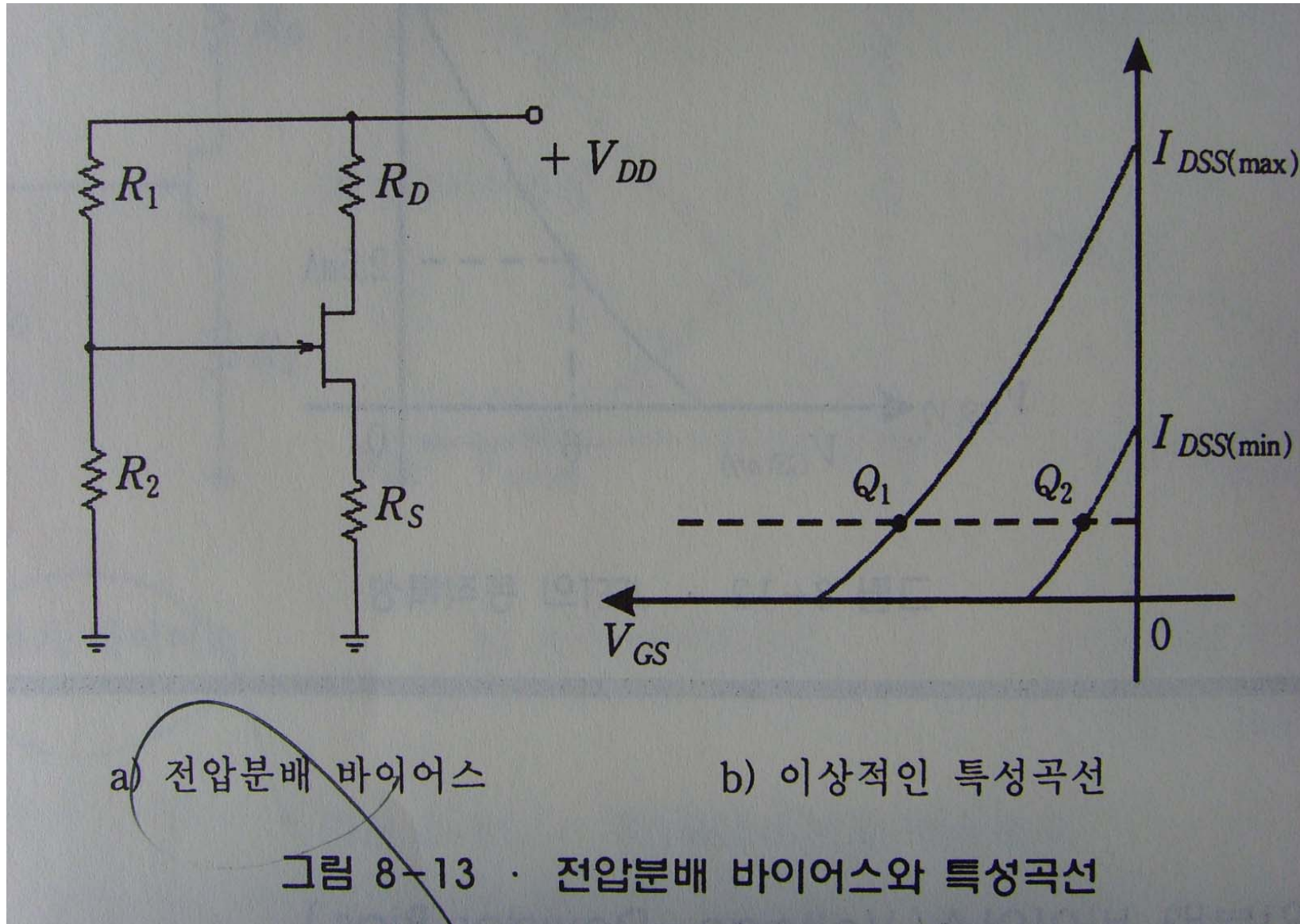
이유: JFET파라미터의 최소값과 최대값이 큰 차이를 보인다.



2. Self-Bias - 게이트전원은 사용하지 않고 드레인 전원만 사용한다.



3. Voltage-Devider Bias - JFET를 바이어스하는 더 좋은 방법중 하나이다.



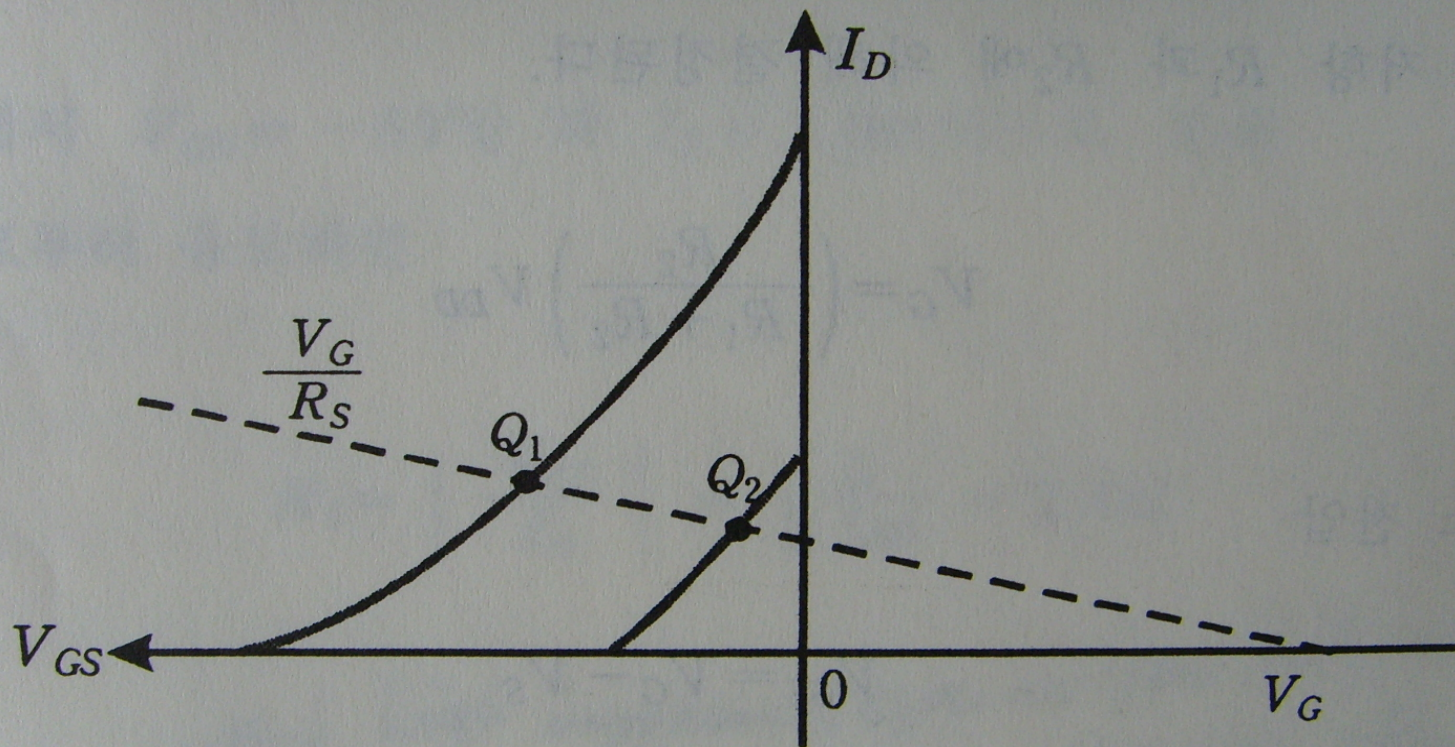


그림 8-14 · 바이어스 증가에 의한 드레인 전류의 미소 증가

4. BJT와 FET의 비교 요약

- ① FET의 동작은 단지 다수 캐리어의 흐름에만 관계
- ② FET가 제조하기에 더 간편하고 집적된 형태에서 더 작은 공간을 점유
- ③ BJT는 전류제어 전압소자이고 FET는 전압제어 전류소자이다.
- ④ 입력저항이 FET가 높고 출력저항은 조금 낮다.
- ⑤ FET가 열 영향이 적고 노이즈에 강하다.
- ⑥ FET의 드레인 전류에서 오프셋전압을 나타내지 않는다.
- ⑦ BJT보다 FET가 적
- ⑧ BJT보다 FET가 적고 동작시간은 BJT보다 느리다.
- ⑨ FET는 취급에 주의해야 한다.
- ⑩ 증폭소자로는 BJT가 유리하고 스위칭소자로는 FET가 유리하다

8.4 MOSFET Construction and Operation

- MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)
= IGFET (Insulated-Gate FET : 절연 게이트 FET)라고도 부른다.
 - : 금속산화물 FET는 소스와 게이트 및 드레인으로 구성
 - : JFET와 다른 점 - 게이트가 채널로부터 절연되어 있다.
 - : 게이트 전압이 정(+)이든 부(-)이든간에 게이트 전류는 거의 흐르지 않는다.
 - : 흔히 MOS라고 약하여 부르며 반도체 기억소자로 집적도를 높일 수 있어 대규모 집적회로에 많이 쓰인다.

1.공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

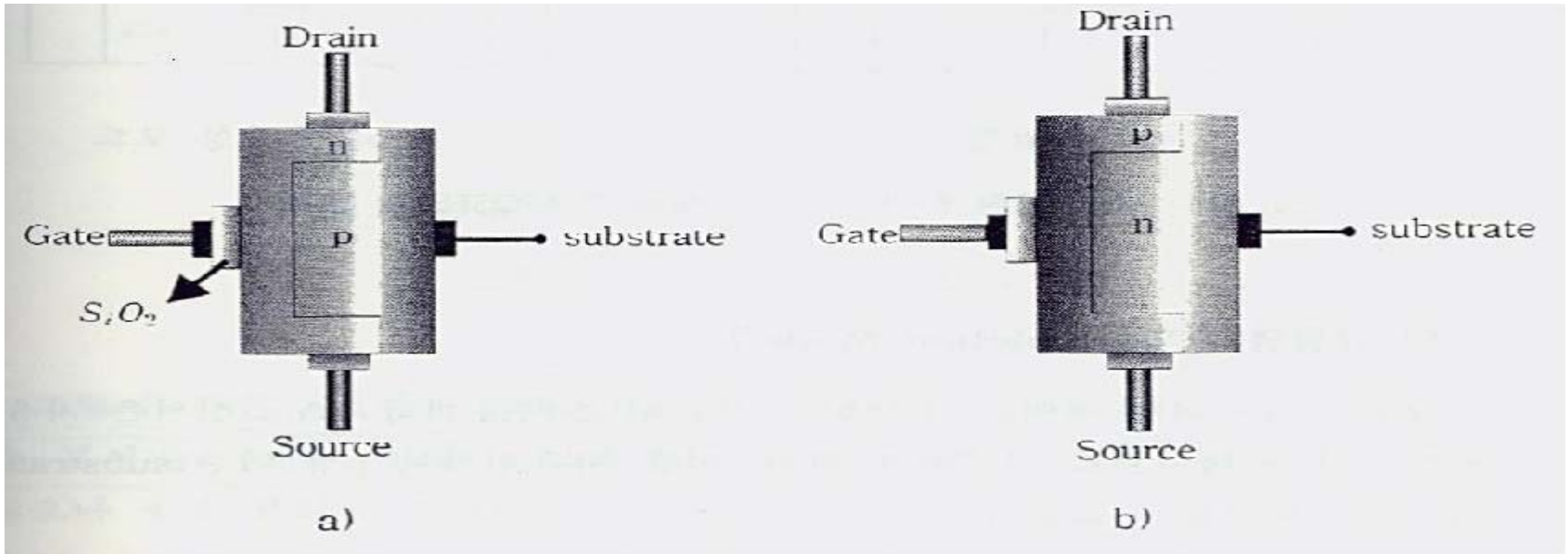


그림 8-16 D-MOSFET의 기본구조

- :드레인과 소스는 기판재료에 확산시켜 만들고 절연게이트 옆으로 좁은 채널로 연결된다.
- :p채널 동작은 전압극성이 반대인 것을 제외하면 n채널 동작과 동일하다.

1. 공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

공핍형 MOSFET는 공핍형과 증가형의 두 가지 모드 중 어느 하나로 동작될 수 있고, 종종 공핍-증가형 MOSFET 라고 부른다.

1) 공핍형 모드(Depletion Mode)

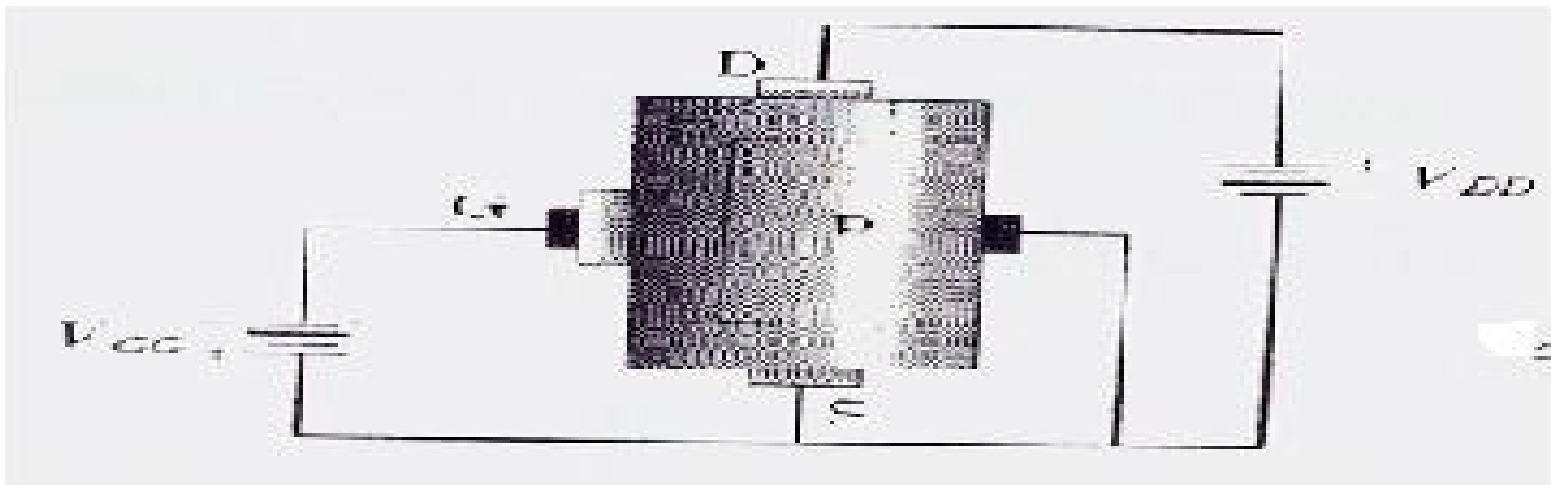


그림 8-17 a) 공핍형 모드
: 게이트 전압이 (-)인 MOSFET

1.공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

:VDD 전원은 자유전자를 소스에서 드레인으로 이동하게 한다.

:이들 자유전자는 p형 기판 왼쪽의 좁은 채널을 통과한다.

:게이트 전압은 채널폭을 제어한다.

※공핍모드 : (-)게이트 전압에 의한 동작

=채널 내 자유전자의 감소를 좌우하므로

1.공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

2)증가형 모드(Enhancement Mode)

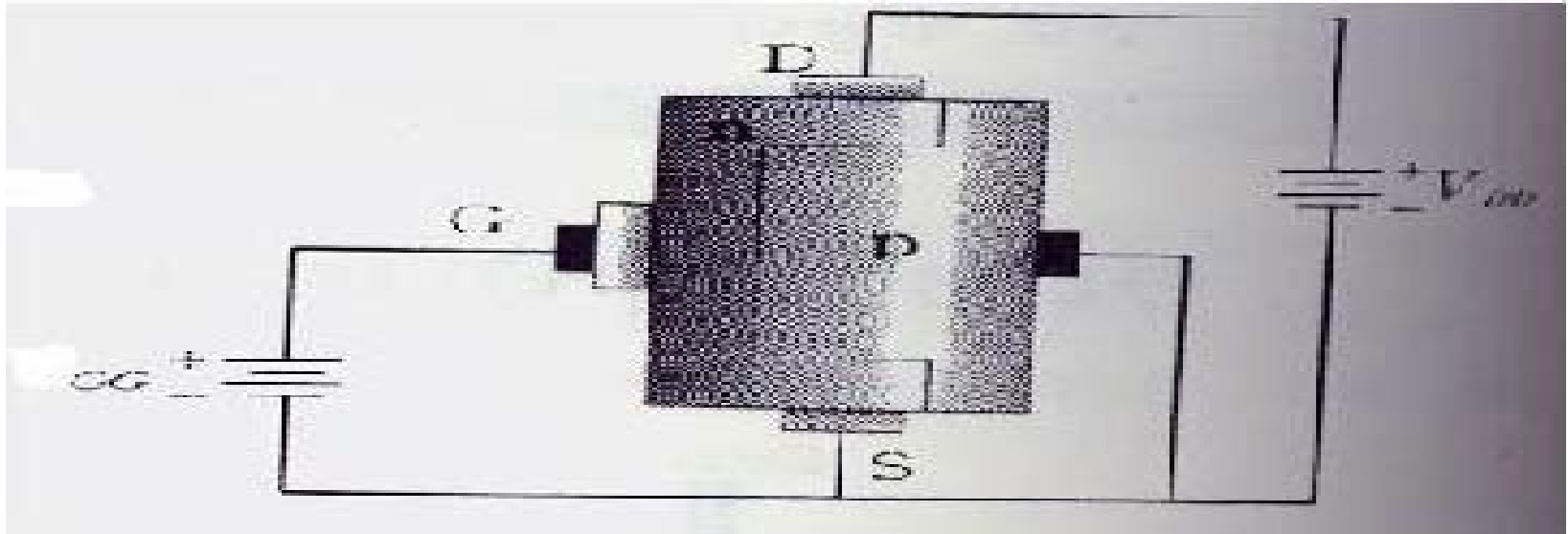


그림 8-17 b)증가형 모드

- :정(+)의 게이트 전압은 채널을 통해 이동하는 자유전자의 수를 증가시킨다.
- :정(+)의 게이트 전압을 게이트 정(+)으로 크게 할수록 소스와 드레인간의 전도를 증가시킨다.

1.공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

※증가모드 : 정(+)의 게이트 전압에 의한 동작

3)MOSFET의 기호(MOSFET Symbol)



그림 8-18 n채널과 p채널 공핍형 MOSFET에 대한 도식기호
: 화살표로 표시된 기판은 항상 일정하지 않지만 보통 소스와 내부적으로 연결되어 있으나 종종 분리된 기판을 두기도 한다.

1.공핍층 MOSFET (Depletion MOSFET)

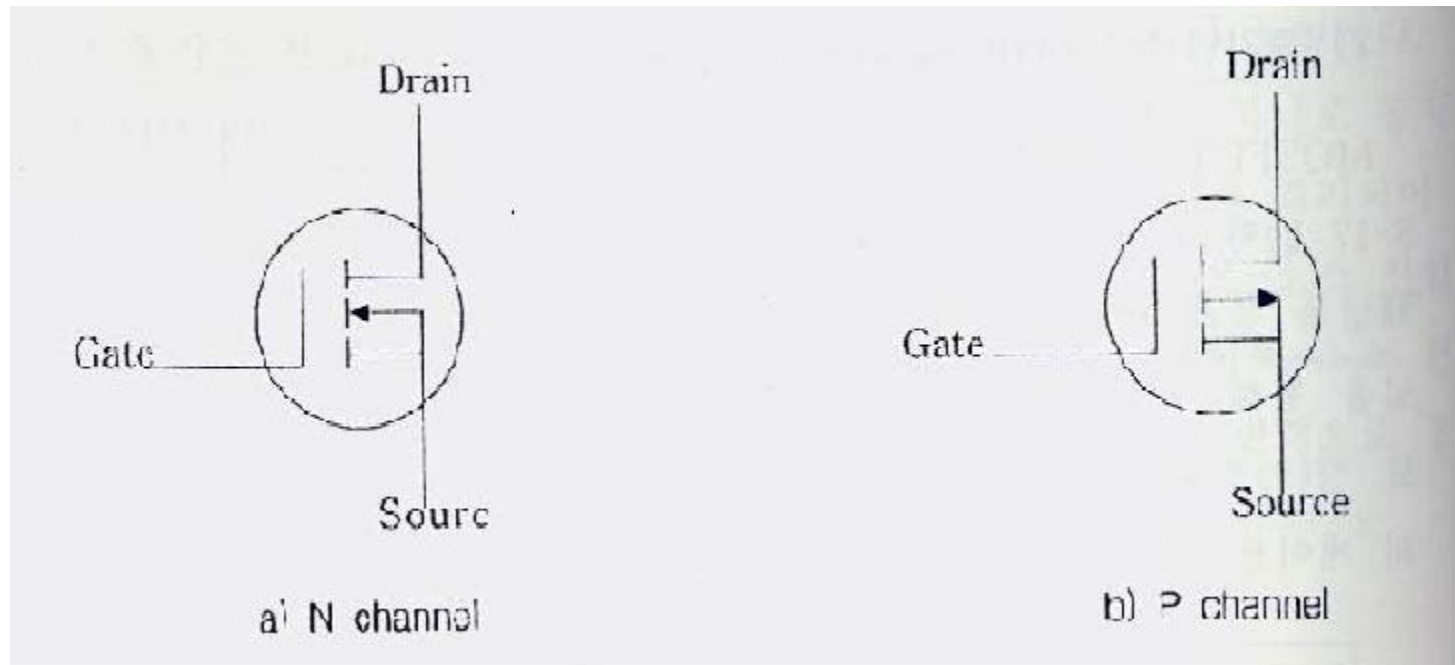


그림 8-19 증가형 MOSFET에 대한 도식기호

:기판 내부로 향하고 있는 화살표는 n채널을 의미하고 외부로 향하고 있는 화살표는 p채널을 의미한다.

2. 증가형 MOSFET(Enhancement MOSFET: E- MOSFET)

:n채널 MOSFET의 내부구조를 변화시킴으로써 증가형 모드로만 동작하는 새로운 종류의 MOSFET를 만들 수 있다.

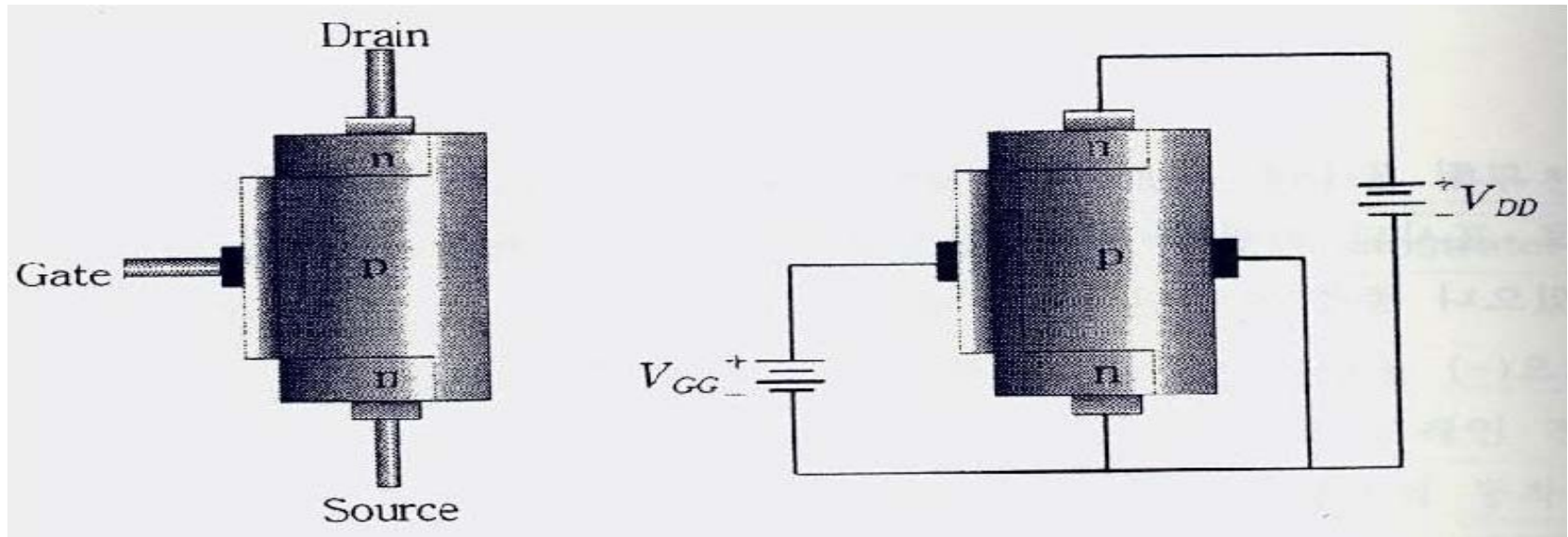


그림 8-20 E- MOSFET의 구조 및 동작

:표면 누설전류를 제외하고 소스와 드레인과 사이에 흐르는 전류가 없기 때문에 마이크로프로세서와 컴퓨터 기억소자로 폭넓게 이용된다.

2. 증가형 MOSFET(Enhancement MOSFET: E- MOSFET)

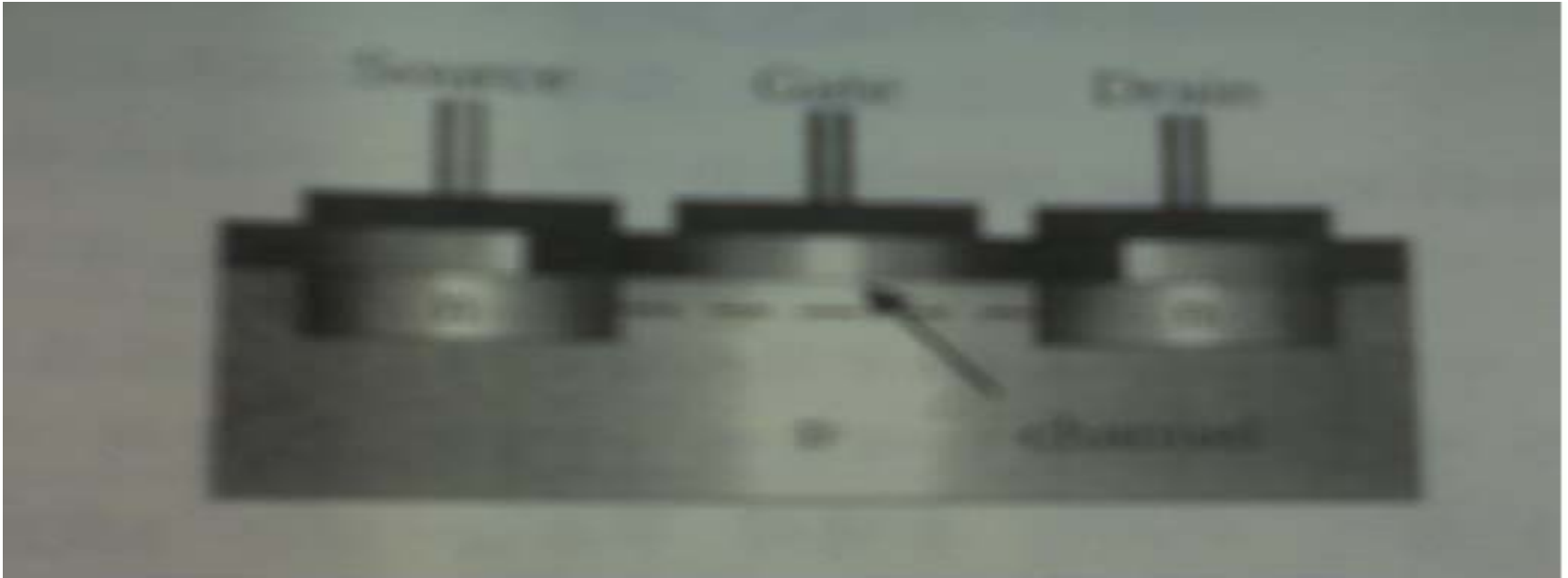


그림 8-21 E-MOSFET의 채널형성

- :게이트 전압이 임계전압까지 SiO_2 층에 인접한 기판 영역에 얇은 채널이 형성된다.
- :길고 얇은 채널을 갖고 있다.

3. 그밖의 MOSFET(The others MOSFET)

1) 측면 이중확산 MOSFET (LSMOSFET)

: 전력응용을 위해 설계된 증가형 MOSFET의 일종

: 보통 E-MOSFET보다 드레인과 소스 사이에 채널이 짧다.

2) VMOSFET (Vertical MOS)

: V_{GS} 가 임계전압보다 큰 경우 자유전자는 소스에서 드레인으로 수평이동한다.

: 자유전자는 점선으로 표시된 좁은 반전층을 따라 이동해야 하기 때문에 이러한 종래의 구조와 허용되는 최대 전류에는 한계가 있다.

3.그밖의 MOSFET(The others MOSFET)

:장점 = 열폭주 현상에 대해 강하다.

(전력증폭기에 이용)

= 캐리어의 축적시간이 짧다.

(스위칭 레귤레이터 등과 같은 스위칭 회로에 이용)

3)TMOS

:TMOS는 V자 홈을 쓰지 않는 것 이외에 VMOS개념과 비슷

:TMOS는 VMOS보다 훨씬 큰 포장밀도를 만드는 반면 채널 이점을 갖는다.

3. 그밖의 MOSFET(The others MOSFET)

4) 이중 게이트형 MOSFET(Doubleness gate MOSFET)

:이중 게이트 MOSFET는 공핍형 또는 증가형으로 할 수 있다.

:두 개의 게이트를 갖고 있다.

:장점 = 입력용량을 줄여 소자를 RF증폭기 응용에 사용할 때 매우 유용하다.

= 어떤 RF증폭기에서 자동 이득조절(AGC)입력을 허용

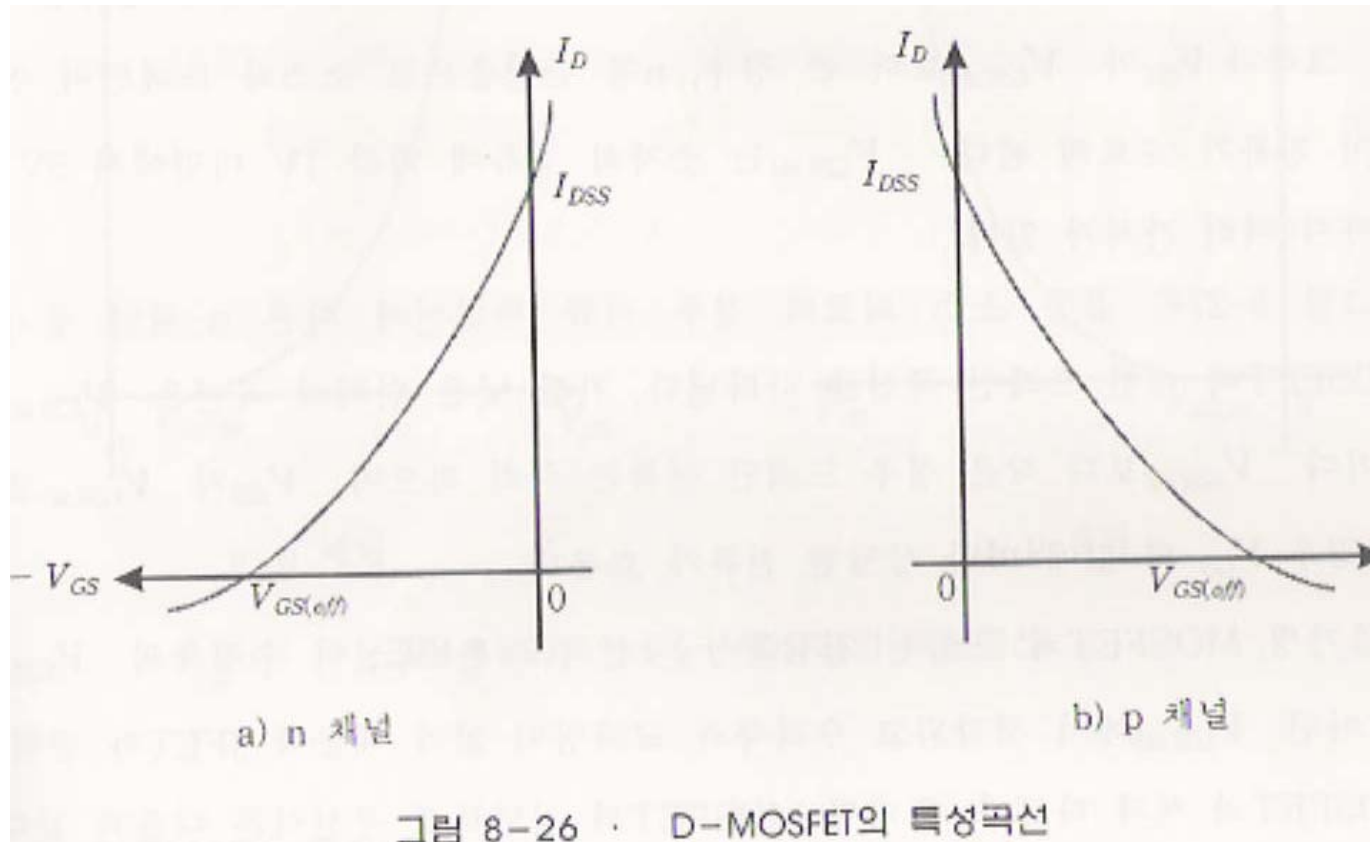
CHARACTERISTICS AND PARAMETERS

- MOSFET의 전달특성과 파라미터를 정의하고 MOSFET의 취급시 주의사항을 알아본다

공핍형 MOSFET의 전달특성(1)

- 양과 음의 게이트 소스 전압에서 동작함 음의 V_{GS} 는 핀치 오프 전압이 될때까지 드레인 전류를 감소시켜 드레인 전류가 흐르지 않게 한다.
- 전달특성은 음의 게이트 소스전압에 대해서는 동일 하지만 양의 V_{GS} 값에 대해서는 드레인 전류는 계속적으로 증가한다.
- 특히 게이트는 V_{GS} 의 음과 양전압 상태에서는 채널과 절연되어 있으므로 디바이스는 V_{GS} 의 어떠한 극성에 대해서도 동작하지만 어느 경우나 게이트 전류는 흐르지 않는다.

공핍형 MOSFET의 전달특성(2)



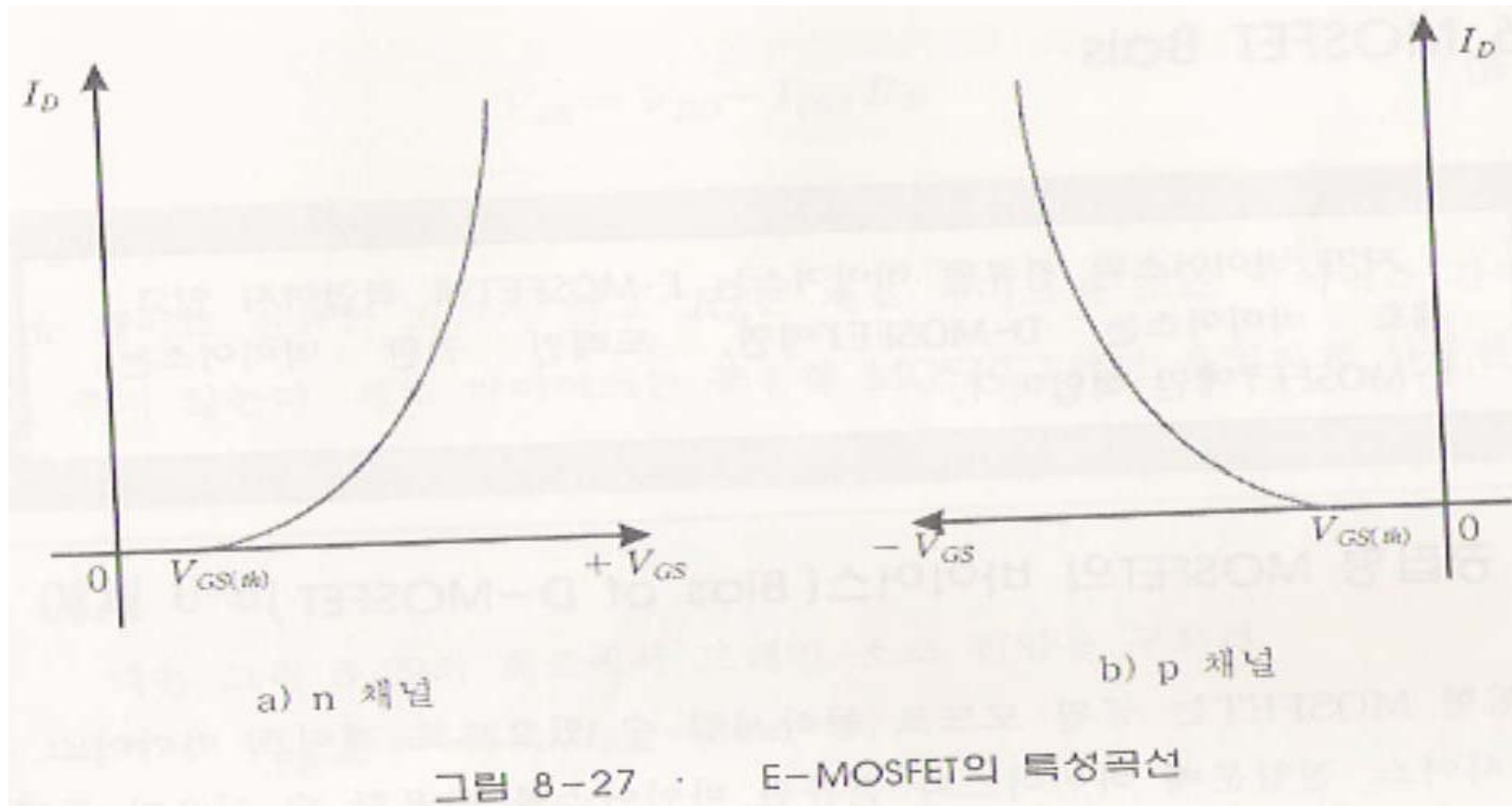
증가형 MOSFET의 전달특성(1)

- 디바이스 구조에는 드레인과 소스사이에 채널을 갖고 있지 않고 양의 게이트 소스전압을 인가하면 게이트 아래의 기판영역에 있는 정공을 밖으로 밀어내서 공핍영역을 발생시킨다.
- 게이트 전압이 충분히 큰 양전압일때 전자는 공핍영역으로 끌려 들어와 마치 공핍영역이 드레인과 소스사이의 n 채널로써 동작하도록 한다.

증가형 MOSFET의 전달특성(2)

- 게이트 소스 전압이 임계 전압 V_T 를 넘기 전에는 드레인 전류가 흐르지 않는다.
- 양전압이 임계 전압 V_T 이상에서 드레인 전류를 증가시키게 되는데 이때의 임계 전압 V_T 를 문턱전압이라고 한다.

증가형 MOSFET의 전달특성(3)



취급상의 주의점(1)

- MOS 소자는 전도성 스펀지에 운반되고 보관해야 한다
- 조립과 시험에 이용되는 모든 기구와 금속작업대는 접지되어야 한다
- 조립자 또는 취급자의 손목을 긴 전선과 높은 값의 직렬저항을 연결하여 접지시켜야 한다.

취급상의 주의점(2)

- 전원이 켜져 있을 때 회로에서 MOS 소자를 분리하지 말아야 한다
- 직류전원이 꺼져 있을 때 신호를 가하지 말아야 한다
- MOSFET를 회로에 접속후 사용하지 않는 단자는 접지시킨다
- 어떤 MOSFET는 게이트와 소스 사이에 병렬로 제너전압이 V_{GS} 미만인 제너 다이오드를 연결시켜주어야 한다

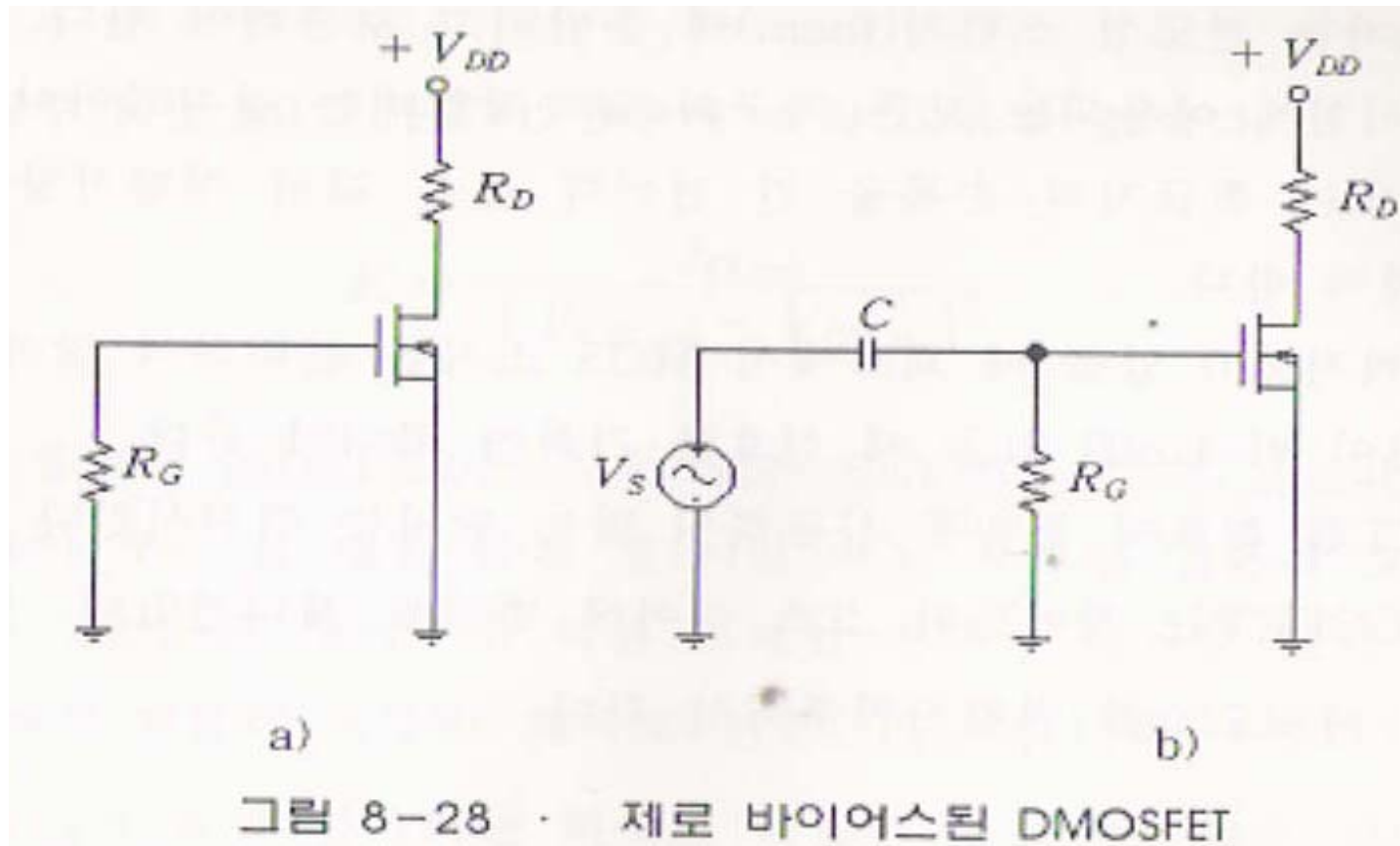
8.6 MOSFET BIAS

- 자기 바이어스와 전류원 바이어스는 E-MOSFET에 적합하지 않다
- 제로 바이어스는 D-MOSFET에만, 드레인 귀한 바이어스는 E-MOSFET에만 적합하다

공핍형 MOSFET의 바이어스(1)

- 공핍형 MOSFET는 공핍 모드로 동작시킬 수 있어 게이트 바이어스, 자기 바이어스, 전압분배 바이어스와 전류원 바이어스를 사용할 수 있다.
- R_G 는 제로 게이트와 소스 바이어스 간에 영향을 주지 않는다.
- 제로 바이어스는 공핍형 MOSFET에만 유일하게 사용된다.

공핍형 MOSFET의 바이어스(2)



증가형 MOSFET의 바이어스(1)

- 증가형 MOSFET에 전류가 흐르도록 하려면 V_{GS} 가 임계값, $V_{GS(th)}$ 보다 커야 한다.
- $$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$
- $$V_{DS(on)} = V_{DD} - R_D I_{D(on)}$$
- $$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DS(on)}}{I_{D(on)}}$$

증가형 MOSFET의 바이어스(2)

