

GaAs MESFET의 전기적 특성

원창섭, 홍재일
동서울대학

Electrical Characterisycs of GaAs MESFET's

Chang-Sub Won, Jea-Il Hong
Dong-Seoul College

Abstract - 본 논문에서는 속도 포화이후 채널에 발생하는 과잉 캐리어에 의한 채널전하의 발생과 그 영향에 대하여 설명하고 있다. 일반적으로 게이트의 길이가 짧은 GaAs MESFET에서 속도 포화지점에서 전류의 포화가 발생한다. 본 논문은 속도 포화이후 드레인 전압의 증가에 의하여 유입되는 캐리어와 유출되는 캐리어의 차에 의하여 발생하는 채널의 과잉 캐리어에 발생과 이로 인해 채널에 쌓이는 채널의 전기적인 특성을 설명하고 있다.

1. 서 론

GaAs MESFET은 게이트의 구조가 금속과 반도체의 접합으로만 이루어져있어 상대적으로 다른 반도체 소자의 제작공정 보다 제작 공정이 단순하다. 그러므로 제작 단가가 싸고, 수율이 높고, 현재 반도체의 특성인 좀더 작은 규모의 게이트길이를 가지는 소자를 제작할 수 있다. 그러나, MS접합에 의한 공핍층을 사용하여 게이트 하부에 전계를 형성하므로, 누설전류가 상대적으로 크며, 항복전압이 작게 된다. 또한 증가형 소자이므로 회로를 제작할 때 게이트전압이 음의 전압을 인가하여야 함을 고려하여야 한다.

FET의 게이트 길이는 제작공정 기술이 발전을 거듭함으로서 그 길이가 작아져 왔다. 현재에는 수십 나노미터대의 소자를 제작하고 있다. 이러한 게이트 길이 축소는 속도를 향상시키는 역할을 하지만, 소스와 드레인 사이의 일정 전압아래에서 상당히 큰 전계가 인가되어 hot-carrier effect와 같은 문제를 발생시킨다. GaAs MESFET에서 게이트의 축소로 발생하는 현상은 전류의 포화영역에서 전압증가에 따라 전류가 변화하고 있고, 게이트 길이를 점점 축소함에 따라 그 기울기가 커지는 것이다. 그리고, 게이트의 축소로 생성되는 큰 전계는 전자의 속도를 포화시키고, 이러한 전자의 포화는 상대적으로 채널 영역의 높이가 높은 MESFET에서 채널을 공핍하기 전에 전류 포화 영역으로 진입하는 현상을 만든다. 이것은 FET의 기본 가설인 경사 채널 근사(gradual channel approximation)를 벗어나는 과정이 형성된다. 그러므로 실질적인 소자의 동작과 물리적 이론이 불일치할 수밖에 없는 부분이 형성된다.

본 논문은 GaAs MESFET을 해석하기 위하여 초기

의 Shokly 모델에 기반을 두고 속도포화가 일어난 후의 채널내에 전하가 존재한다는 것을 가정하고 GaAs MESFET의 전기적 특성을 해석하려한다. 본 논문에서도 속도 포화가 일어나기 전까지는 경사채널근이로 채널이 공핍층에 의하여 높이가 줄어 들 것이라 사료된다. 그러나 속도포화가 일어나는 점에서 채널 영역은 소스영역으로부터 들어온 전자가 드레인영역에서 속도가 포화되므로 채널을 빠져나가지 못하고 드레인 영역에서 쌓이게 된다고 판단하고 있다. 그러므로 채널에 쌓인 전하가 게이트의 전위장벽에도 영향을 주고, 또한 전위장벽의 영향이 게이트 누설전류를 감소시키고, 전류전압특성을 변화시키는 것으로 사료하고 있다.

2. 본 론

FET의 가정 중에서 가장 일반적인 것은 경사 채널 근사 다. 이것은 다음과 같은 식으로 설명할

$$\frac{\partial V}{\partial y} \geq \frac{\partial V}{\partial x} \quad 2.1$$

2.1 식에서 y방향은 채널의 수직 방향이고 x방향은 채널과 평행한 방향이다. 이 경사 채널 근사는 “길이에 대한 인가된 전압의 변화 즉 전계가 채널길이에 대하여 수평방향보다 수직 방향성분이 크다”라는 것이다. y방향의 전계는 전자를 이동시키는 힘의 원천으로 이동도와 관계하여 전자의 속도를 증가시켜 전류를 크게 하는 역할을 하며, x방향의 전계는 전자의 이동을 방해하는 것으로, 공핍층의 두께를 조절하여 채널 영역의 전도율을 조절함으로써 전류를 제한하는 역할을 한다. 현재와 같이 게이트의 길이가 축소되기 이전의 JFET과 같은 경우, 채널의 두께 즉, y가 채널의 길이 x보다 그 길이가 상당히 길었으므로, y방향의 전압 변화율인 y방향 전계의 영향이 크게 되므로 일정 전압이상에서는 전류가 포화되는 특성을 갖는다. 그러므로 채널내의 물리적인 특성과 형태를 해석하기 위하여, 경사 채널 근사 가설을 적용하여 1차원적으로 해석함으로써 소자의 동작 특성을 이해할 수 있다.

그런데, 소자의 집적도가 증가시키기 위하여 또는 주파수 특성을 좋게 하기 위하여 게이트의 길이가 줄어들고, 일정 부분이상의 채널 높이를 가지는 소자에서 채널 내의 전계가 높아지면, x방향의 전계가 높아져 공핍층이 닫히기 전에 전자의 속도 포화가 발생한다. 이러한 속도의 포화는 전류의 포화를 만들게 된다. 실제적인 실험에서도 공핍층이 채널을 덮는 전위인 핀치오프 전압이 발생하기 전에 전류의 포화가 발생하고, 이것은 채널내의 전자의 속도 포화에 기인한 것으로 생각된다.

전자 속도 포화로 전류가 포화된 이후, 공핍층은 정지할 것으로 사료된다. 만일 공핍층이 정지하지 않고, 전자의 속도가 일정한 상태에서 전자가 통과하는 단면적인 줄어들게 된다면, 전류는 단면적인 줄어드만큼, 공핍층이 늘어난 만큼 줄어들 것이다. 그러나 전류는 줄어들지 않고, 반대로 늘어나고 있다.

그림 2.1는 $x=L$ 인 지점인 드레인 쪽에서의 에너지 다이어그램을 나타내고 있다. 드레인 전압이 0인 경우는 그림 2.1.5에서 곡선 a와 같고, 그때의 공핍층길이는 W_0 이다. 드레인 전압을 증가시키면, 반도체 전도대역의 에너지 준위는 아래쪽으로 내려가게 된다. 속도 포화가 시작되는 전압 V_{sat} 에 도달한 전도대 에너지 준위 곡선이 b이다. 이때의 공핍층은 W_{sat} 이다. 드레인에 포화 전압 V_{sat} 을 넘어서는 전압 V_D 를 인가하면 곡선c와 같이 전도대 에너지 준위 곡선이 더 아래로 내려가고, 공핍층 또한 W_D 와 같이 넓어져야 하지만 실제로는 채널에 쌓인 전자에 의한 전압과 포화지점 이후의 저항성분에 의한 전압에 의하여 y 방향의 전계는 더 증가하지 못하고 채널 영역에 머물게 된다.

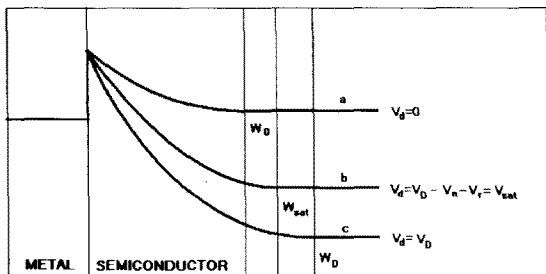


그림. 2.1 드레인 영역에서의 에너지 다이어그램

그림 2.1.5에서 포화된 이후의 전압 V_D 는 다음과 같이 표현한다.

$$V_{sat} = V_D - V_n - V_r \quad 2.2$$

여기에서 V_n 는 채널내에 쌓인 전자에 의한 전압이다. 포화가 일어나는 점 에서부터 드레인쪽 게이트 끝

지점인 $x=L$ 인 지점까지의 전자에 의한 전위이다. 그리고, V_r 은 포화구간에서의 채널영역에서의 저항 성분에 의한 전압강하이다.

V_r 은 채널의 저항률과 채널의 높이에 의해 변화하게 된다. 채널의 두께가 커지면 V_r 은 커지게 된다. 그리고, 전자의 농도가 증가하게 되면, V_r 은 작아지게 된다. 그러므로 채널의 두께가 작아지는 영역 즉 게이트의 전압이 음의 방향으로 증가하게 되면, V_r 의 성분이 커지게 되어, V_n 의 성분이 작아지게 되고, 채널이 길이가 긴 형태의 효과를 가지게 된다.

채널의 전자의 농도와 이에 의한 전압은 공핍층과 저항성분과의 관계 등으로 부터 직접적으로 구할 수 없다. 그래서 본 논문에서는 포화 구간 내에서의 전자의 농도를 일차원적 증가로 가정할 것이다. 그리고, 그 특성들을 분석하여 근접한 농도를 구하려 한다.

우선 전자의 농도를 x의 거리에 대한 일차원적인 함수라고 하자

$$n = Ax + c1 \quad 2.3$$

x의 구간은 포화된 영역 이후로서

$$P < x < L \quad 2.4$$

구간에서 식을 적용할 수 있다. 그리고, P점에서는 불순물의 농도와 같으므로

$$c1 = N_D - AP \quad 2.5$$

그러므로 전자의 농도는

$$n = A(x - P) + N_D \quad 2.6$$

이다.

이제 기울기 A에 대하여 고려하여 보면, A는 결과 값이 농도이어야 하므로, 농도/거리로 표현되어야 한다. 그리고, 전자의 농도에 의한 전압의 영향은 게이트 전압에 영향을 받는 것으로 설명하였다. 그러므로 게이트의 전압에 대하여 농도의 영향을 줄 수 있는 변수이어야 한다. 그래서 농도는 다음과 같은 관계를 가지고 있는 것으로 사료된다.

$$A \propto \frac{N_D}{W_{sat}} \quad 2.7$$

그러므로 상수 k를 가정하여,

$$A = k \frac{N_D}{W_{sat}} \quad 2.8$$

로 놓을 수 있다.

3. 결과 및 고찰

그림 3.1은 드레인 전압에 대한 포화 길이를 나타내고 있다. 드레인 게이트 전압이 작을 때 포화길이도 큰 것을 볼 수 있다.

그림 3.2는 거리에 대한 전자의 농도를 나타내고 있다. 게이트의 길이가 $0.5[\mu\text{m}]$ 이다. 포화되기 전의 전자 농도는 불순물의 농도인 1.3×10^{17} 과 같다. 그런데 포화된 이후의 전자의 농도는 직선적으로 증가하여, 드레인쪽 게이트의 끝지점에서는 약 2.3×10^{17} 정도로 증가하였다.

그림 3.3은 거리에 대한 축적된 전자에 의한 전압강하를 나타내고 있다. 채널 전하에 의하여 전압강하가 발생하고 이것은 채널 끝지점에서 약 $0.45[\text{V}]$ 정도의 감소를 한다.

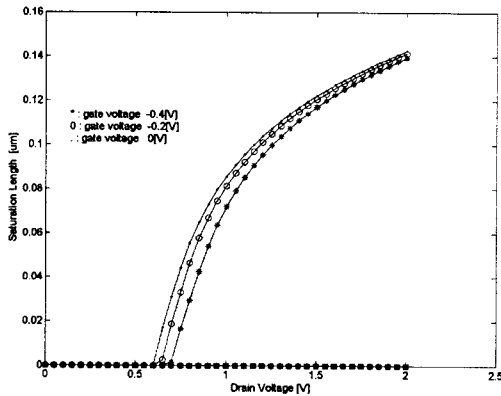


그림. 3.1 드레인 전압에 대한 포화길이

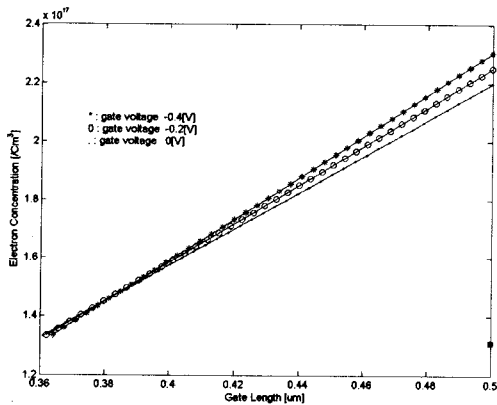


그림. 3.2 거리에 대한 전자의 농도변화

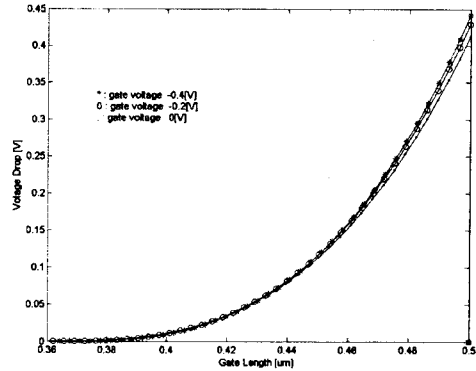


그림. 3.3 거리에 대한 전압강하

[참 고 문 헌]

- [1] Won C. S., Ahn H. K., Han D. Y., El Nokali, "DC Characteristic of MESFET's at High Temperatures", Solid-State Electronics, Vol. 43. , pp. 537-542, 1999.
- [2] A.B. Grebene, "General theory for pinched operation of the junction-gate fet", Solid-State Electron., Vol. 12, 1969, pp.573-589
- [3] M. Shur, "GaAs Devices and Circuits", Plenum Press, 1987.
- [4] S. P. Chin, C. Y. Wu, "A new I-V model for short gate-length MESFET's", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 40, pp. 712-720, Apr. 1993.
- [5] S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1981