

GaAs MESFET의 온도변화에 대한 게이트누설전류 특성

원 창 섭, 홍 재 일\*  
 동서울대학 전기정보제어과\*

Gate Leakage Current Charateristics of GaAs MESFETs with Different Temperature

Chang-Sub Won\*, Jea-Il Hong\*  
 DEPT. of Electrical Information Control, Dong Seoul College \*

**Abstract** - In this paper, We make experiment on two methode for GaAs MESFET with temperature variation. One method, we mesure gate leakage current at open source electrode. another we mesure gate leakage current at short source electrode. The difference of two current has been tested and provide that the existence of another source to Schottky barrier height against the image force lowering effect.

1. 서 론

GaAs는 빠른 이동도에 의한 고속 동작 특성, 넓은 밴드갭으로 인한 고온에서의 동작 특성, 직접접이에 의한 광 특성, 반 절연 기판 상의 소자분리에 의한 저 잡음 특성, 등의 다양한 장점을 가지고 여러 분야에 걸쳐 응용되고 있다[1][2]. 그러나, 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고, GaAs가 좀 더 확실하게 차세대 반도체 물질로서 자리를 잡지 못하는 것은 재료의 희소성보다는 안정된 절연막을 만들 수 없어, 소자를 제작하는데 어려움을 가지고 있다는 것이다. 현재, GaAs가 적용되는 Trasistor 소자는 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor), HBT(Heterojunction Bipolar Transistor), HEMT(High Electron Mobility Transistor) 등이 있다.

HEMT는 이종접합의 접합면에 캐리어가 집중되는 것을 이용한 것으로, 채널을 통과하는 캐리어가 게이트의 인가한 전압에 의한 전장의 영향 적게 받으므로 자유로운 캐리어 이동이 가능하여, 빠른 속도를 낼 수 있어, 현재 마이크로파 회로를 제작할 때 가장 많이 사용되는 소자이다. HEMT는 이종접합을 사용하므로 물질을 변경하여 성장층을 형성하여야 하므로 제작경비가 크다, 그리고 HEMT는 입력전압으로 음의 전압을 인가하여야 한다.

HBT는 이종접합을 이용한 바이폴러형 트랜지스터이다. 일반적인 바이폴러 트랜지스터는 농도차에 의한 캐리어 확산에 의한 전류가 주된 것이고, 베이스에 발생하는 과잉소수캐리어의 제거가 원활하지 않아 유니폴러 트랜지스터 보다 응답속도특성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 그러나, HBT는 이종접합을 이용하여 베이스에서 이미터로 주입되는 캐리어의 이동을 막으므로 해서 직류 이득이 커지고, 베이스의 농도를 증가할 수 있으므로 속도를 빠르게 할 수 있다. HBT도 이종접합을 이용한 소자로서 제작비용이 크고, 이종접합에 의해 발생되는 스

파이크에 의하여, 생성-재결합에 의한 누설전류가 발생한다.

MESFET은 공정이 단순하여, 제작단가가 싸고 수율이 높은 특성이 있으나, MS접합에 의한 공핍층을 사용하여 게이트 하부에 전계를 형성하므로, 누설전류가 상대적으로 크며, 입력 신호 전압이 작게 된다. 또한 회로를 제작할 때 게이트전압이 음의 전압을 가짐을 고려하여야 한다.[4]

MESFET의 구조적 단점인 누설전류는 반도체-금속 접합에 의하여 생성되는 전위장벽의 높이에 가장 큰 영향을 받는다.[5] 본 논문은 온도를 상온에서 350℃까지의 온도를 상승 시키며 GaAs MESFET동일소자를 Diode형태와 FET의 형태로 전압을 인가하였을 때 게이트의 누설전류를 측정하였다. 상온에서는 두전류의 차가 발생하였고, 고온 영역으로 가며 이 영향은 점차 줄어들고 있다. 상온에서의 두 전류의 차는 일반적으로 잘 알려진, 금속-반도체접합에서, 영상전하에 의한 전위장벽 강화효과 이외의 효과로 인하여 GaAs MESFET의 게이트전위장벽이 변화하고 있음을 설명하고 있다.

2. 게이트 누설 전류와 Schottky Effect

게이트 누설전류는 3가지의 캐리어 전달 프로세스에 의하여 흐르는 것으로 알려져 있다. 첫 번째는 열적주입에 의한 것이다. 충분한 에너지를 가지는 캐리어가 전위장벽 위에서 금속에서 반도체로 이동하는 것이다.

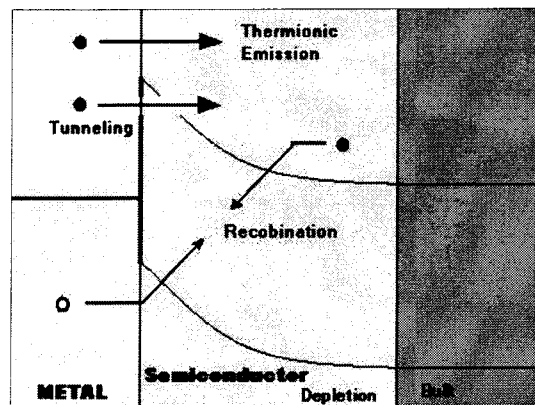


그림 1. 게이트 누설 전류의 캐리어 전달 프로세스  
 fig 1. Carrier transport process of gate leakage current.

전류를 발생시키는 두 번째 원인은 전위장벽을 통과하는 캐리어에 의하여 발생한다. 전위장벽의 두께가 좁고, 장벽에너지가 크지 않으면 캐리어는 장벽을 뚫고 지나간다. 마지막으로 전류에 영향을 주는 것은 재결합에 의한 것이다. 이러한 세 가지의 원인에 의하여 게이트 누설전류가 발생하는데, 열적주입은 Schottky Barrier Height로 알려진 전위장벽의 크기에 영향을 많이 받고, 터널링은 전위장벽의 크기와 두께에 영향을 받고, 재결합은 트랩 농도에 관련한 함수이다.

금속-반도체 접합에서 전위장벽을 변화시키는 영향은 Schottky Barrier Effect로 잘 알려진 영상전하에 의한 전위장벽 강하이다.[2] 이것은 공핍층에 쌓여있는 전하에 의하여 게이트 금속에 영상전하가 발생하고, 이 영상 전하에 의한 전기적 에너지가 금속과 반도체 사이의 전위장벽을 낮추는 역할을 한다. 금속과 반도체 사이의 전압을 증가시키면, 공핍층의 두께가 증가하고, 또한 공핍층내에 축적되는 전하도 증가하게된다. 공핍층에서 증가된 전하는 금속부분에 영상전하를 생성하고, 생성된 영상 전하에 의한 전계는 금속과 반도체 사이에 인가된 전압에 의한 전계를 약화시킨다. 이때 발생한 영상전하에 의한 전계는 거리제곱에 반비례하므로 금속과 반도체의 접합면의 에너지 프로파일을 변경하며 공핍층 전체의 크기를 줄이지는 않는다. 금속면의 영상전하로 인하여 전위장벽이 감소하며, 게이트 누설전류가 증가하게된다. 이러한 Schottky Barrier Effect는 금속-반도체접합 시스템에서 역전압이 인가될 때, 전류가 증가하는 것을 설명할 수 있다.

금속-반도체접합에서 역전압이 인가되고, 전위장벽의 크기가 고정된다면, 장벽의 두께가 줄어들므로 전류 변화의 대부분은 터널링 프로세스에 의한 전류일 것이고, 터널링 프로세스에 의한 전류의 증가는 실제로 흐르는 전류증가를 설명할 수가 없다.

금속-반도체 접합을 이용한 소자로 현재사용하고 있는 것은 Schottky 다이오드와 MESFET이다. 두 소자는 전류의 방향이 다르고, 전류흐름의 프로세스가 다르나, 역전압을 인가하였을 때 금속에서 반도체로 흐르는 전류의 크기는 전류를 발생시키는 캐리어 이동 프로세스가 동일할 것으로 예상된다.

그러나 본 논문의 실험에 의하면 두 가지의 소자를 동일조건에서 실험하였을 때 전류의 흐름이 다른 것으로 나타나고 있다. 이것은 전류흐름의 다른 영향이 있음을 보여주고 있다.

### 3. 게이트 누설 전류 실험

본 논문에서의 실험재료로 사용한 소자는 상용소자로서 일반용 증폭기로 도 사용되는 2에서 16 GHz의 주파수 대역에서 사용하고,  $0.3 \times 250 [\mu m]$ 의 게이트를 가지는 소자를 사용하였다. 측정기기는 HP4156B를 이용하여 측정하였고 온도는 상온  $37^\circ C$ 에서  $350^\circ C$ 까지를 변화하며 측정하였다.

각 온도에서 처음에는 소스를 개방한 상태에서 게이트에 0V에서  $-2.5V$ 를  $-250 [mV]$ 씩 변화하며 인가하였

고, 드레인에 0에서 2V의 20 [mV]단위로 전압을 변화하며 인가하며 게이트 누설전류를 측정하였다..

다음에는 소스를 0V의 일정전압을 인가한 후에 위의 실험을 반복하였다. 마지막으로 소스에 드레인전압과 동일한 전압을 인가하며 위의 실험을 반복 하였다.

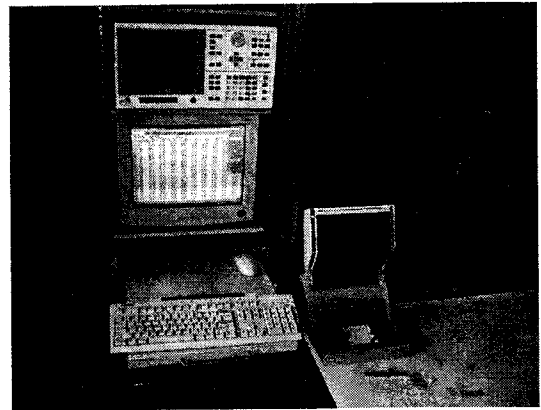


그림 2. 실험 장치

Fig 2. Test Equipment.

### 3. 결과 및 고찰

그림 3은 게이트 전압을 0[V]로 인가하였을 때,  $27^\circ C$ 에서  $350^\circ C$ 로 온도가 변화함에 따라 드레인 전류의 변화를 보이고 있다. 온도가 증가함에 따라 드레인 전압이 2V일때는 드레인 전류가 감소함을 볼 수 있다. 또한 핀치오프 전압도 감소함을 볼 수 있다.

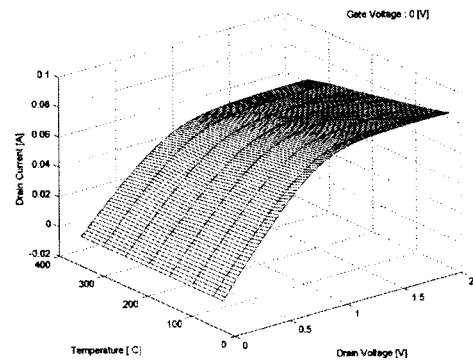


그림 3. 온도변화에 대한 전류전압특성곡선

Fig 3. DC characteristics of MESFET with different temperature

이것은전달이득이 온도에 대하여 감소하는 방향을 가지고 있는 요인이 가장 크다. 전달이득에서 온도에 민감한 계수는 캐리어의 농도와 이동도 있다. 캐리어의 농도는 온도가 증가하면, 증가하나, 이동도는 온도에 반비례한다. 그러나 MESFET의 포화전류에 민감한 것은 이동도의 포화에 있다. 온도가 상승하면 이동도의 포화가 빨리된다, 즉 캐리어의 속도 포화가 빨리 발생하므로써 드레인 포화전류가 그림 3과 같이 감소하는 것으로 사료되며, 또한 핀치오프 전압도 감소하는 것으로 보인다.

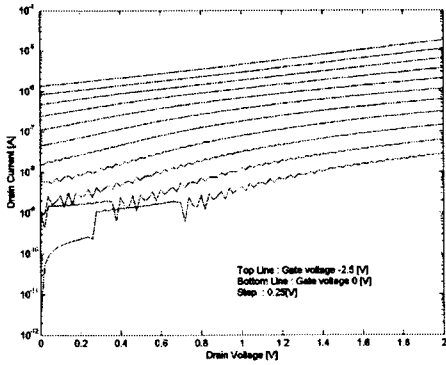


그림 4. 27°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 4. short source Gate leakage current at 27°C

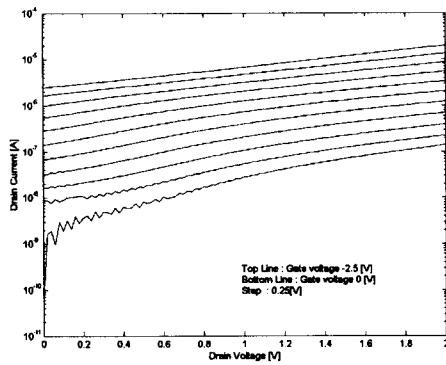


그림 5. 100°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 5. Short source Gate leakage current at 100°C

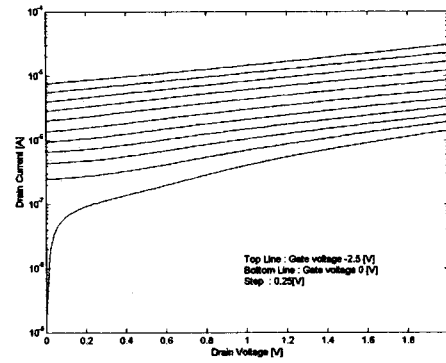


그림 6. 200°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 6. Short source Gate leakage current at 200°C

그림 4에서 7은 소스를 단락하였을 때의 게이트 누설 전류를 측정된 결과이다. 온도가 증가할수록 누설 전류가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 온도가 상승하면 캐리어의 에너지가 증가하므로 전위장벽을 넘을 수 있는 에너지를 가지는 캐리어가 증가고, 또한 전위장벽은 온도가 증가할수록 감소하기 때문에 전류가 증가하게 된다. 그림 8에서 11은 소스를 개방하였을 때의 게이트 누설 전류를 측정된 결과이다. 이들 그래프 또한 온도가 증가할

때 전류가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 4와 그림 8은 27°C에서의 소스개방과 단락시의 게이트 누설 전류를 보이고 있다. 게이트 전압이 0V, 드레인 전압이 2V, 온도 27°C에서의 게이트 누설 전류를 보면 소스 단락시의 전류가 소스 개방시의 전류보다 작은 것이 나타나고 있다. 동일 조건의 온도 300°C에서 그 차이가 상대적으로 많이 줄어든 것을 볼 수 있다.

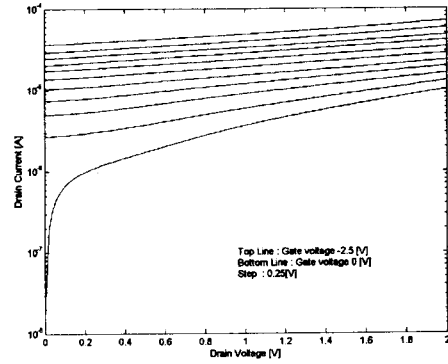


그림 7. 300°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 7. Short source Gate leakage current at 300°C

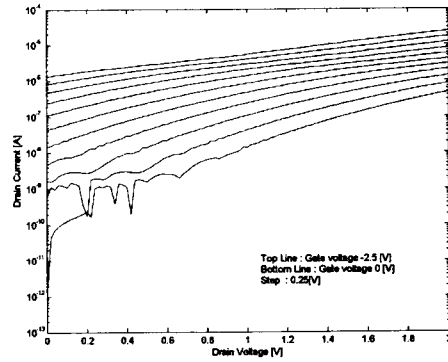


그림 8. 27°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 8. Open source Gate leakage current at 27°C

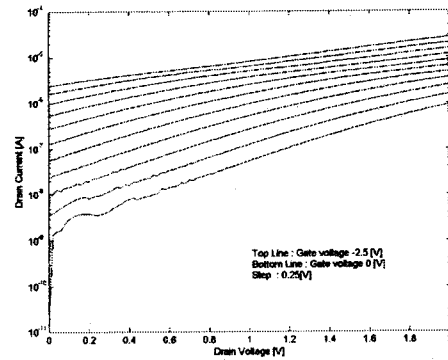


그림 9. 100°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 9. Open source Gate leakage current at 100°C

### 3. 결 론

본 논문에서는 온도의 변화에 대하여, 두 가지의 실험을 하였다. 첫 번째는 소스를 개방한 상태에서 게이트와 드레인에 역전압을 인가하고, 게이트 누설전류를 측정하는 실험이었다. 이것은 Schottky Diode와 같은 특성을 갖는 것으로 사료된다. 두 번째 실험은 소스를 단락한 상태에서 게이트와 드레인 사이에 역전압을 인가하고, 게이트 누설전류를 측정하는 실험을 하였다. 이것은 FET의 특성을 나타내는 것으로 사료된다. 이 두 실험에서 게이트 누설 전류는 영상전하의 영향에 의한 전위장벽 강하의 영향만 있으므로 거의 유사한 전류가 흐를 것으로 사료되나, 실제로는 많은 차이를 나타내고 있다. 이것은 채널내의 전하에 의해 영상 전하에 의한 전위장벽 감소 전계의 영향을 줄이기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 전류의 차이는 온도가 상승하며 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 온도가 증가하면, 온도에 의한 누설전류가 커지므로 채널전하에 의한 장벽 감소의 영향력이 작아짐을 볼 수 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1981
- [2] Won C. S., Ahn H. K., Han D. Y., El Nokali, "DC Characteristic of MESFET's at High Temperatures", *Solid-State Electronics*, Vol. 43. No. 3, pp.537-542, 1999.
- [3] Michael Shur, "GaAs Devices and Circuits", Plenum Press, 1987.
- [4] Shigeru Nakagima, "High-Performance GaAs MESFET's with Advanced LDD Structure for Digital, Analog, and Microwave Applications" *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol.46, No.1, pp.38-47, 1999
- [5] Mansoor M. Ahmed, "Schottky Barrier Depletion Modification - A Source of Output Conductance in Submicron GaAs MESFETs" *IEEE Tans. on Electron Devices*, Vol.48, No. 5, pp.830-834, 2001.

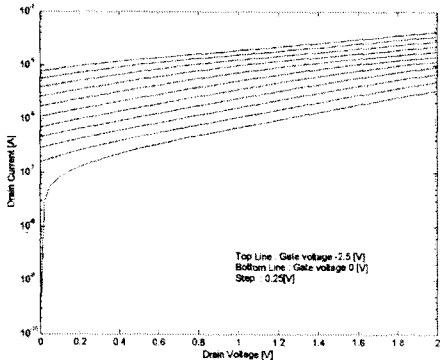


그림 10. 200°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 10. Open source Gate leakage current at 200°C

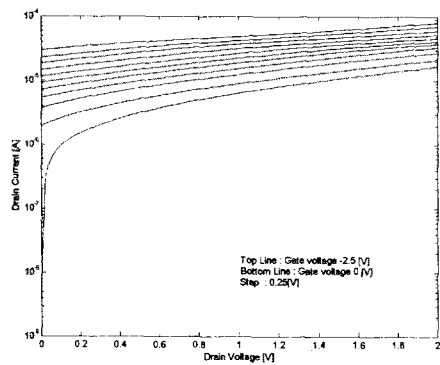


그림 11. 300°C에서의 소스단락시 게이트 전류  
Fig 11. Open source Gate leakage current at 300°C

그림 12는 온도변화에 따른 소스개방과 단락시의 게이트 누설전류비를 나타내고 있다. 상온에서 누설전류비는 10배가 넘게 크고, 온도가 증가할수록 감소하는 것을 볼 수 있다.

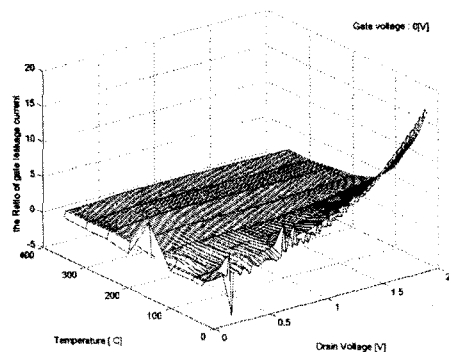


그림 12. 온도변화에 대한 소스개방과 소스단락시의 게이트 전류비  
Fig 12. Leakage current ratio between short and open source with different Temperature