

GaAs MESFET의 온도변화에 따른 게이트 누설전류 특성

Gate Leakage Current Characteristics of GaAs MESFETs' with different Temperature

원 창 섭, 김 시 한, 안 형 근, 한 득 영
(Chang-Sub Won, Si-Han Kim, Hyungkeun Ahn, Deuk-young Han)

Abstract

In this study, gate leakage current mechanism has been analyzed for GaAs MESFET with different temperatures ranging from 27°C to 300°C. It is expected that the thermionic and field emission at the MS contact will dominate the current flow. Thermal cycle is applied to test the reliability of the device. From the results, it is proved that thermal stress gradually increases the gate leakage current at the same bias conditions and leads to the breakdown and failure mechanism which is critical in the field equipment. Finally the gate contact under the repeated thermal shock has been tested to check the quality of Schottky barrier and the current will be expressed in the analytical form to associate with the electrical characteristics of the device.

Key Words : MESFET, Temperature, gate Leakage Current, Shottky Barrier Height

1. 서 론

MESFET은 공정을 단순화시킬 수 있어 경제적이고, GaAs의 재료적인 특성인 바른 이동도와 넓은 밴드갭으로 인한 안정적인 소자로서 현재 현재 PCS 시스템을 비롯한 RF시스템과 온도 안정성을 요구하는 항공우주, 자동차, 등의 시스템의 기본 소자로 널리 사용되고 있다. 그러나 GaAs MESEFT은 FET의 기존 성질인 전계 효과를 주기 위하여 절연층으로 공핍층을 사용하므로 절연효과와 취약으로 인한 구조적인 결함을 가지고 있다. 이러한 구조적인 결함은 게이트 누설전류를 발생하고, 이로 인하여 이득 특성이 감소하고, 노이즈가 증가하며, 전류 전압 특성이 변화하여, 시스템을 유지할 수 없게 한다. GaAs MESFET의 온도에 대한 영향은 여러 연

구자에 의하여 다양한 트랜스 컨덕턴스, 캐패시턴스, 문턱전압등 다양한 파라미터에 대하여 수행되어져 왔다.[1-4] 초기에는 상온에서 120°C 정도의 일상적인 온도에서의 영향을 연구하였으나, 극한 환경에서의 사용을 고려한 120°C 이상에서의 온도에서도 연구가 되어지고 있다. 온도에 대한 연구에서 게이트 누설전류의 영향은 실제적으로 모든 파라미터의 온도에 대한 영향의 원인이 된다.

본 논문은 MESFET의 게이트 누설전류의 온도에 대한 변화로 넓은 영역(27°C ~ 350°C)에서의 온도에 대한 게이트 누설전류의 영향을 분석하였다. 또한 단일소자의 반복실험을 통하여 여러번의 열적인 스트레스에 의한 게이트 접촉면의 파괴 현상을 추적하였다.

2. 전류의 발생

게이트 누설전류를 발생시키는 게이트 접촉면에서의 전류의 이동 메커니즘은 네 가지로 설명할 수

건국대학교 전기공학과
(서울시 광진구 화양동 건국대학교,
Fax: 02-447-9186
E-mail : hkahn@kkucc.konkuk.ac.kr)

있다.[5] 첫째, 반도체에서 메탈면으로 전위장벽을 넘어서는 전자의 이동으로 발생하는 것으로 열주입과 확산이론으로 구할 수 있고 그것은 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$J = J_s(e^{qV/kT} - 1) \quad (1)$$

$$J_s = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2)$$

여기에서

$$A^{**} = \frac{f_D f_Q A^*}{1 + f_D f_Q V_D / V_D} \quad \text{이다.}$$

두 번째는 양자역학적인 터널링에 의하여 전위장벽을 뚫고 전자가 이동하므로 발생한다. 이것은 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$J_t \sim \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{E_{00}}\right) \quad (3)$$

여기에서

$$E_{00} \equiv \frac{q\hbar}{4\pi} \sqrt{\frac{N_D}{\epsilon_s m^*}} \quad (4)$$

터널링은 온도에 의한 변화량은 온도보다는 전계 에너지에 의한 현상으로 거의 무시할 수 있다.

세 번째는 공간전하 영역에서 홀 전자쌍의 재결합에 의하여 발생하는 것으로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$J_{rec} = \int_0^W qU dx \sim niN_t \quad (5)$$

N_t 는 트랩 농도이다.

마지막으로 반도체에서 메탈로 홀의 주입에 의하여 발생한다.

3. 실험

3.1 실험 방법

실험에 사용된 GaAs MESFET은 오실레이터 어플리케이션을 위하여 설계되었고, 일반용 증폭기로도 사용되는 2에서 16 GHz의 주파수 대역에서 사용하고, $0.3 \times 250 [\mu m]$ 의 게이트를 가지는 소자 (Dev)를 사용하였다. 실험은 HMS(M&M) Thermal

System을 이용하여 온도를 제어하였고, HP 4156B Semiconductor Parameter Analyser를 사용하여 전류 전압 값들을 인가하고 추출하였으며, 모든 데이터와 인가전압의 조절은 각 측정기간을 표준규격 IEEE 488A인 GPIB 인터페이스를 사용하였으며, VEE LAB Package 프로그램을 이용하여, Network으로 전반적인 제어 및 데이터 수집을 할 수 있도록 구현하였다. 그림 1은 실험의 개략도를 나타내고 있다.

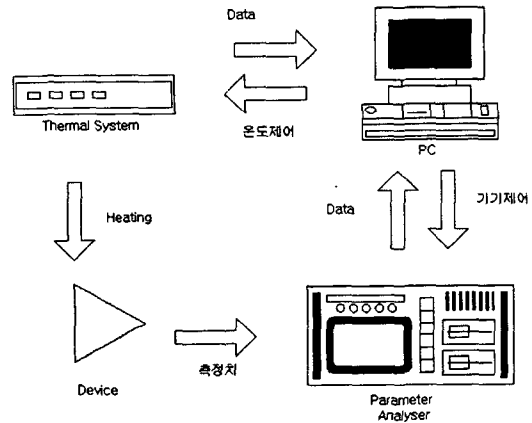


그림 1. 측정 시스템의 개략도.

Fig. 1. Test System Blockdiagram.

3.2 실험 결과

그림 2는 게이트 전압 -1 [V]에서의 온도에 대한 전류 전압 특성곡선의 변화를 보이고 있다. 온도에 대하여서 전류전압 특성 곡선은 줄어들고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 온도가 상승하면 격자의 산란이 증가하여, 캐리어의 이동도를 감소시키므로 전류의 흐름을 방해하는 것으로 사료된다. 또한 그림에서 $^{\circ}C$ 부근에서 전류가 조금 증가하는 것으로 보인다. 이것은 게이트 누설전류에 의한 것으로 보이며, 이는 누설전류와 비교하여 설명할 것이다.

그림 3은 상온에서의 게이트 누설 전류를 나타내고 있다. 게이트전압이 음의 방향으로 증가할수록, 드레인 전압이 증가할수록 누설전류가 증가한다. 이것은 게이트와 드레인간의 역전압이 증가함으로 전계 에너지가 증가함으로 발생한다.

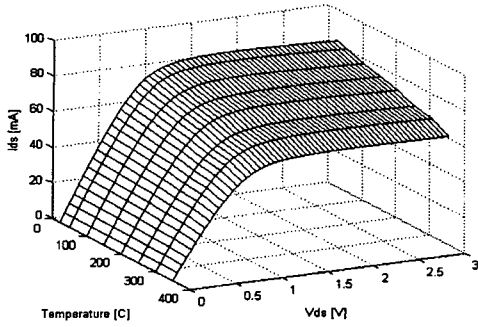


그림 2. 온도에 대한 전류전압 특성곡선.

Fig. 2. IV characteristic curve with different Temperature.

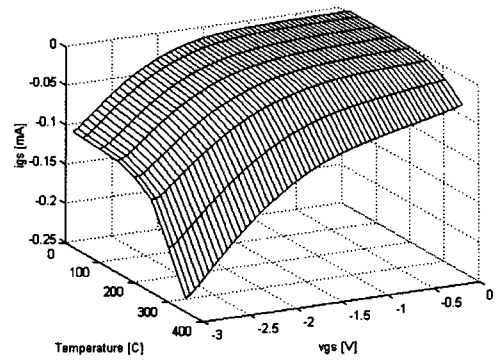


그림 4. 온도 변화에 대한 게이트 누설 전류.

Fig. 4. gate Leakage current at different Temperature.

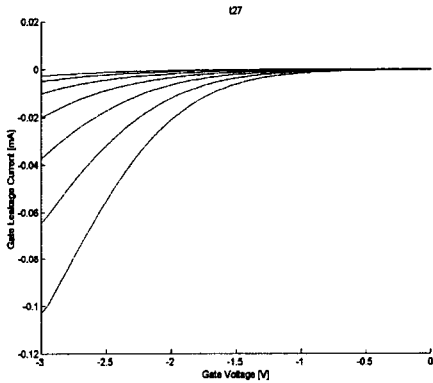


그림 3. 상온에서의 게이트 누설 전류.

Fig. 3. Gate Leakage Current at room Temperature.

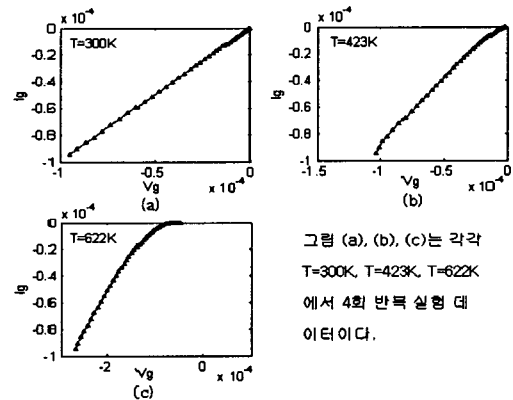


그림 (a), (b), (c)는 각각 T=300K, T=423K, T=622K 에서 4회 반복 실험 데이터이다.

그림 5. 4회 반복실험후 게이트 누설전류 .

Fig. 5. gate leakage current after 4 times repeat test.

그림 4는 온도에 대한 게이트 누설전류를 나타내고 있다. 온도에 대하여 누설전류의 양이 증가하고, 또한 낮은 게이트의 전압에서도 전류가 누설전류가 크게 발생하고 있다.

그림 5는 소자 한 개를 여러번 열적인 스트레스를 가했을 때의 누설전류의 변화를 본 것이다. 350℃까지의 온도를 4번 반복 측정하여 얻은 결과이다. 온도에 대한 변화는 크게 나타나고 있지 않고 있는 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 온도에 대한 게이트 누설전류의 변화를 측정을 통하여 알아보았다. 게이트 누설전류는 온도가 증가함으로 증가함을 보수 있었으며, 소자에 영향을 미칠만한 누설전류가 나타나는 게이트 전압이 온도가 증가함으로 낮아지고 있는 것을 알수 있었고, 게이트의 누설전류가 나타나는 지점에서 드레인 전류가 증가함을 볼 수 있었다. 이것은 누설전류가 공핍층의 저항성분과의 곱으로 게이트전압 강하

성분을 발생하므로 공핍층의 넓이를 줄어둘게 힘으로 드레인 전류를 증가시키는 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] F. S. Shoucair and P. K. Ojala, "High Temperature Electrical Characteristics of GaAs MESFET's (25-400°C)", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 39, No. 7, pp.1571-1577, Jul. 1992.
- [2] P. Godts and J. Vanbremeersch, "Realization of Very High Transconductance GaAs MESFETs", *Electronics Letters*, Vol. 24, No. 13, pp.775-776. Jan. 1988.
- [3] B. J. Moon and T. Ytterdal., "Enhanced GaAs MESFET CAD Model for Wide Range of Temperature", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 42, No. 10, pp.1724-1733, Oct. 1995.
- [4] 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.
- [5] S.M. Sze, "*Physics of Semiconductor Devices*", 2nd ed., John Wiley & Sons, 1981