

고온 동작 MESFET 의 온도특성 해석

High Temperature Characteristics of submicron GaAs MESFETs.

원창섭, 유명한, 신훈범, 한득영, 안형근

(Chang-Sub Won, Young-Han Yu, Hoon-Bum Shin, Hyungkeun Ahn, Deuk-young Han)

Abstract

GaAs has wide band gap, Therefore that material can be used for high temperature application. In this paper we explain the current-voltage characteristics of thermal effect. We experiment on thermal test of current-voltage characteristics and gate leakage current with real device.

As a result, we propose a current-voltage characteristics model that model based on gate leakage current, and gate leakage current influence gate source voltage.

Key Words : MESFET, Drain Current, Temperature, Gate Leakage Current

1. 서 론

반도체 재료로서의 실리콘은 경제성을 위시하여 여러 가지 강점을 가짐으로서 지금까지 사용되어지고 있고, 앞으로도 계속 사용되어질 것이다. 그리고, 게이트 길이의 감소 등 다양한 공정의 발전으로 실리콘 재료를 이용한 소자는 계속 개선되어, 한계주파수 등 여러 가지 부분에서 계속 발전되고 있다. 또한 근자에는 공정의 연속성을 가지는 실리콘 화합물을 이용한 소자가 다수 개발되어지고 있다. 아직은 실리콘을 대변할 만큼 시장이 형성되지 않았지만 머지 않아 많은 발전이 있을 것이라 사료된다.

화합물 반도체 재료인 GaAs는 초기에는 당장에 실리콘을 대체할 것으로 예상되었으나, 재료의 희소성, As의 휘발 등과 같은 여러 문제점으로 인하여, 아직까지는 실리콘 만큼 많은 영역에 걸쳐사

용되어지지 않고 있다. 특히 구조적으로 안정된 실리콘의 MOSFET와 같은 안정한 MIS구조의 소자 형성에 많은 어려움이 있다. 그래서, 현재 GaAs 재료는 공정이 단순한 장점이 있으나, 전계 효과 소자의 게이트 전류 차단층으로 공핍층을 사용하므로 누설 전류의 발생이 높은 금속-실리콘(MES) 접합구조의 MESFET과 양자우물을 사용하여 게이트 전하에 의한 인력을 줄임으로 하여 소자의 주파수 특성을 현격하게 증대하였으나, 제조 공정이 까다로운 Hetero Junction 구조의 HEMT 소자등에 사용되고 있다.

그러나, GaAs의 재료적인 특성, 즉 이동도가 크고, 밴드갭이 넓은 재료적인 특성은 아직도 매력적이다. 이것은 동일 Dimension의 실리콘 소자보다는 향상된 속도의 소자를 제작할 수 있으며, 실리콘 소자의 운전 온도보다 향상된 영역에서 사용이 가능한 소자를 제작할 수 있다.

현재 RF영역에서의 LNA(Low Noise Amplifier)에 많이 사용되어지고 있는 GaAs MESFET은 지금 까지 많은 연구가 이루어졌다. 그리고 근래의

건국대학교 전기공학과
(서울시 화양동 1번지,
Fax: 02-447-9186
E-mail : hkahn@konkuk.ac.kr

연구는 온도, 압력이 아주 높은 극한 상황에서의 소자특성 해석과 전자파의 영향에 대한 특성 해석에 대하여 이루어지고 있다.

본 논문은 고온 영역에서의 MESFET소자의 특성중 직류특성의 가장 기본이 되는 전류 전압 특성에 대한 온도변화를 해석하고자한다. 본 논문에서는 장채널과 단채널에서의 전류 전압 특성을 실험 하였고, 게이트 누설 전류에 대한 실험을 하였다. 전류 전압 특성에서 온도에 대하여 일정 게이트 전압 하에서 전류가 감소 하였고, 일정 온도에서 전류가 다시 증가하는 것을 볼수 있었다. 이것은 다양한 원인이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 이것이 게이트 누설 전류의 증가에 따른 것으로 판단하고 있다.

2. MESFET의 전류전압특성의 온도변화

MESFET의 온도에 대한 전류전압특성은, 온도가 증가하면 채널층에서 온도에 의하여 격자 산란이 증가하고 전류가 감소할 것으로 생각되어져 왔다. 그런데, 300℃내외의 고온영역 까지의 온도 특성을 다음과 같이 실험하여 측정된 결과 자체 제작한 결과와 몇가지의 상용소자를 온도실험한 결과는 일정온도 이상에서 전류가 갑자기 증가하는 특성을 보이고 있다.

2.1 실험장치 및 실험

실험은 HMS(M&M) Thermal System을 이용하여 온도를 제어하였고, HP 4156B Semiconductor Parameter Analyser를 사용하여 전류 전압 값들을 인가하고 추출하였으며, 소자와 계측장비와의 연결은 Probe Station을 이용하였다. 모든 데이터와 인가전압의 조절은 각 계측기간을 표준규격 IEEE 488A인 GPIB 인터페이스를 사용하였으며, VEELAB Package 프로그램을 이용하여, Network으로 전반적인 제어 및 데이터 수집을 할 수 있도록 구현하였다. 그림 1은 실험장치의 사진이다.

실험은 두가지소자를 사용하여 실험 하였다. 장채널 소자는 제작한 소자로서 150 $\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 크기의 게이트가지고 있고, 단채널로 사용된 소자는 상용소자를 사용하였으며, 750 $\mu\text{m} \times 0.3\mu\text{m}$ 크기의 게이트를 가지는 소자를 사용하였다.

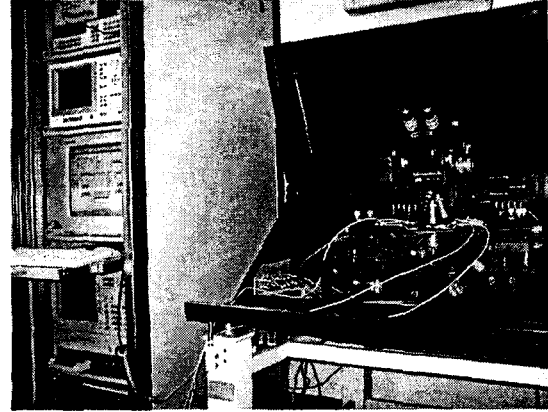


그림 1. 실험 장치.

Fig. 1. Test Equipment.

실험은 온도를 실온인 27℃부터 300℃을 측정하였다. 그림2는 통채널 디바이스의 온도에 대한 전류 전압 특성을 보이고 있다. 게이트 전압은 -1V로 고정하고 드레인 전압을 변경하며 측정된 데이터이다. 그림과 같이드레인 전류는 각 드레인 전압에 대하여 27℃에서 250℃ 까지는 온도가 상승함에 따라 전류가 감소 하고 있다. 그런데, 300℃에서 드레인 전류가 증감함을 보이고 있다.

그림 3은 온도에 관한 게이트의 누설 전류를 나타내고 있다. 이것 또한 드레인 전압과 동일한 환경에서 측정하였다. 그림3에서 게이트 누설 전류는 온도가 증가할수록 증가하는 것을 볼수 있다.

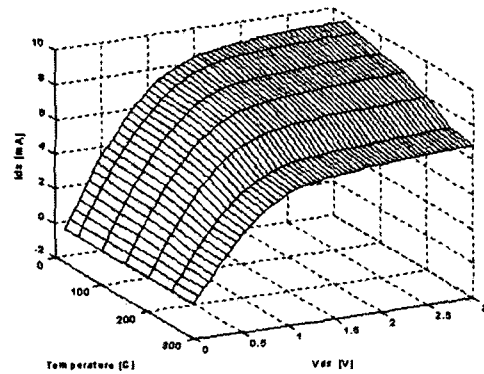


그림 2. 온도에 대한 전류전압 특성 실험 곡선.

Fig. 2. Current-voltage characteristic with different temperature (experimentation)

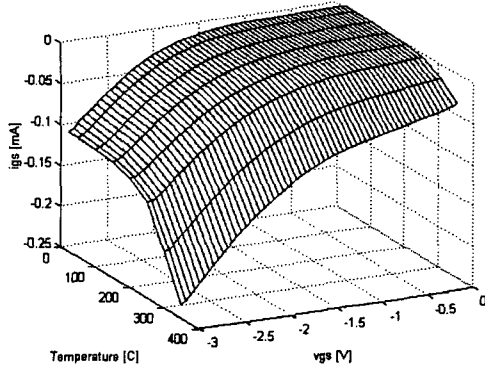


그림 3. 온도에 대한 게이트 누설전류 .

Fig. 3. gate leakage current with different temperature (experimentation)

3. 전류 모델

본 논문에서 드레인 전류의 모의 실험을 위하여 사용된 전류 모델식은 가장 일반적으로 사용되고 있는 다음과 같은 모델식을 사용하였다. 이것은 MESFET 전류전압 특성식중 3/2승 으로 표현된 것을 Taylor 시리즈확장으로 구하여진 것으로 다음과 같다.[1]

$$I_{DS} \approx \beta [2(V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - V_{DS}^2] (1 + \lambda V_{DS}) \quad (1)$$

$$V_{DS} \leq V_{GS} - V_{TH}$$

$$\beta (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$$

여기에서 사용된 전달이득 β 는 M. Shur의 속도포화 모델을 사용하였고 이것은 다음과 같은 식으로 나타난다.[2]

$$\beta \approx \frac{2\mu_e \epsilon_s W u_{sat}}{a (\mu_e V_{PO} + 3u_{sat} L)} \quad (2)$$

식2에서 μ_e 는 저전계에서의 GaAs의 이동도이고,

ϵ_s 는 GaAs의 유전율, W 는 소자에서 게이트의 폭, u_{sat} 은 GaAs의포화 속도, a 는 실제 채널의 두께, V_{PO} 는 핀치오프 전압, L 은 소자의 게이트 전극의 길이를 나타낸다. 이 전달이득 β 는 온도에 대한 함수를 포함하고 있으며, 온도에 대하여 감소한다.[1]

식1에서 V_{DS} 는 소스 드레인 사이의 전압을 나타내고, V_{GS} 는 소스 게이트 사이의 전압을 나타낸다.

V_{TH} 는 문턱전압을 나타내고 있으며, 이것은 온도에 밀접한 관계를 가지고 있고, 다음의 식으로 나타낸다.[4]

$$V_{TH} = V_{bi} - V_{PO} - V_L \quad (3)$$

식 3에서 V_{bi} 는 게이트의 금속과 반도체 간의 빌트인 전압이고, V_L 은 게이트 누설 전류에 의한 전압 강하 성분이다. 이것은 온도에 대하여 게이트 누설전류의 증가로 하여 문턱전압이 변화하는 온도 함수 이다.

이것을 이용하여 온도에 대한 전류 전압 특성을 모의실험 하면 다음과 같은 결과를 얻을수 있다.

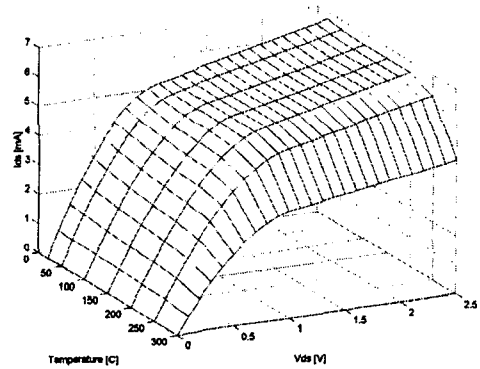


그림 4. 온도에 대한 드레인 전압전류 특성 모의 실험도

Fig. 4. current-voltage charateristic with different temperature (simulation)

그림 4에서 전류전압 특성 곡선은 낮은 온도에서 점차적으로 감소하다가 게이트 누설전류가 급격히 증가하는 부분에서 드레인 전류가 급격히 감소함을 나타내고 있다. 이것은 그림 2의 실험 결과

와 비교하여 볼 때 전류의 특성이 고온 영역에서의 감소가 두드러지고, 또한 전류가 다시 상승하는 것을 볼 수 없다. 그것으로 다음과 같은 것을 제안하였다.

식1에서 게이트 전압 V_{GS} 는 게이트 인가 전압으로 실제적으로 채널의 넓이를 조절하는 공핍영역의 폭을 제어한다. 그러나, 이것 에도 게이트 누설이 발생하여 전압 강하분이 발생하는 것으로 사료되며, 그리하여 이것을 다음과 같이 변화하여 제시하였다.

$$V_{GS}' = V_{GS} - V_L' \quad (4)$$

이것을 이용하여 식1을 다시 쓰면 다음과 같고, 여기에서 V_L' 누설 전류와 공핍층의 저항값에 의하여 정하여 진다.

식 (1)을 식 (4)를 포함하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$I_{DS} \approx$$

$$\beta [2(V_{GS}' - V_{TH})V_{DS} - V_{DS}^2] (1 + \lambda V_{DS}) \quad (5)$$

$$V_{DS} \leq V_{GS}' - V_{TH}$$

$$\beta (V_{GS}' - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

$$V_{DS} \geq V_{GS}' - V_{TH}$$

식4)에 의한 누설전류는 식3)에 의한 누설전류와는 차이를 가지고 있다. 식3)에서의 게이트 누설 전류는 문턱전압 지점에서의 인가 전압 상태에서의 게이트 누설 전류이다. 그런데 식4)에 의한 게이트 누설 전류는 게이트 인가 전압이 0인점 에서부터 시작하여 포화 영역에서는 문턱전압을 넘어서는 부분까지의 전압으로 게이트 누설전류가 한점에서의 전압이 아니므로 두가지의 전압강하 성분이 같지 않다.

4. 결 론

본 논문은 고온 영역에서 사용할수 있는 MESFET을 제작하는 기초 연구로서, MESFET의 DC특성중에 가장 중요한 전류 전압특성에 대한 온도의 변화를 설명하였다. 본 논문에서는 온도에 대한 전류 전압 특성 실험을 하였고, 또한 게이트 누설전류실험을 하였다. 이것을 기반으로 하여 온

도에 대한 전류전압식을 새로이 제안 하였다.

참고 문헌

- [1] F. S. Shoucair and P. K. Ojala, "High Temperature Electrical Charateristics 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, "Realisation 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 Charateristic 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