

온도변화에 따른 GaAs MESFET's 노이즈 특성 연구

A study on the GaAs MESFET's noise characteristics with temperature dependency

김시한*, 이명수**, 박지홍*, 안형근*, 한득영*

(Si-Han Kim*, Ji-Hong Park*, Hyung-Keun Ahn*, Deuk-Young Han*)

Abstract

In this study, noise figures of $0.3\mu\text{m}$ -GaAs MESFETs are predicted experimentally with different temperatures. Both the noise figure and the gate leakage current are obtained with wide range of temperatures ($27^\circ\text{C}\sim 300^\circ\text{C}$). From the results, gate leakage current increases with temperatures. It is expected that gate leakage current contributes directly to the increase of shot noise current. It is therefore highly recommended to apply an accurate noise analysis to the design of the devices and modules at high temperatures. Finally the relation between the gate currents resulting in the increase of noise and the noise figures of submicron GaAs MESFETs are traced with different temperatures

Key Words : MESFET, Thermal noise, $1/f$ noise, Gate leakage current

1. 서론

현재 급속도로 발전하는 통신 기술과 군사적, 상업적 기술요구로 인해 동작 주파수 영역 또한 마이크로파 및 밀리미터파에 이르고 있다. 그에 따른 고속 소자 및 집적회로가 요구되고 있으나, 기존의 Si 소자는 물질 자체의 특성에 의한 한계로 인해 GaAs를 이용한 소자가 주목받고 있다. GaAs는 높은 이동도와 작은 유효질량을 가지며, 이에 따른 고주파 대역에서의 동작과 빠른 스위칭속도가 그 주된 특성이라고 할 수 있다. 그러나 GaAs MESFET은 Si를 이용한 소자보다 까다로운 공정과 높은 가격으로 인해 일반적인 이용에는 제한이

많았다. 그러나 이동 통신이나 RF회로, LNA 등에 사용범위가 점차 넓어지고 있으며, 그에 따라서 GaAs MESFET의 노이즈 특성에 관한 이해는 더욱 중요하게 되었다. 지금까지 다양하게 노이즈 분야에 대한 연구가 진행되어 왔으나 현재까지의 연구는 온도에 대한 해석이 부족하고, 온도에 대한 특성을 제시한 경우도 극저온이나 상온에서의 해석이 대부분이었다. 또한 상온이상의 해석에서도 그 온도범위가 낮았다. 초고주파 직접 회로 설계에 있어서, 노이즈 특성에 대한 정확한 예측이 필요하므로, 보다 확대된 범위의 온도변화에 따른 영향도 고려해야한다.[1-5] 본 논문에서는 온도변화에 따른 GaAs MESFET의 노이즈 특성을 실험적으로 알아보았다.

2. GaAs MESFET의 노이즈

GaAs MESFET의 Intrinsic 노이즈 등가회로는 훨씬 더 넓은 주파수 범위에서 사용되기 때문에

* 건국대학교 전기공학과
(서울시 화양동 1번지,
Fax: 02-447-9186
E-mail : kim_sian@yahoo.com
** 산업자원부 기술표준원
Fax: 031-507-1924

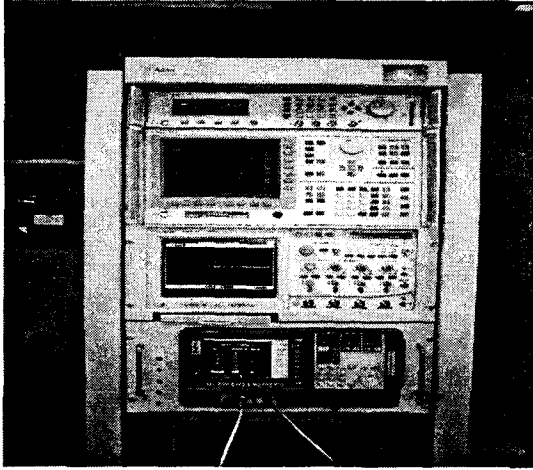


그림 1. Noise Figure 어날라이저와 반도체 파라미터 어날라이저

Fig. 1 Noise Figure analyzer & semiconductor parameter analyzer

복잡하다. GaAs MESFET에서의 드레인 전류 노이즈 I_{nd} 는 채널에서의 썬열 노이즈와 채널과 서브스트레이트 버퍼의 결합으로부터 발생하는 $1/f$ 노이즈로 구성된다.[1] 수 메가Hz 이상(중간 밴드 영역)이상에서의 주파수에 대해서는 I_{nd} 는 주파수에 독립적인 white noise이다. 이 white noise는 두 가지의 소스로 구성된다. 하나는 채널의 옴틱 콘택 지점의 낮은 전계로부터의 썬열 노이즈이고 또 하나는 채널의 속도 포화상태(확산 노이즈)의 썬열 노이즈이다.[2-3]

GaAs MESFET에 대한 이 노이즈의 수식은 van der Ziel의 공식을 사용하여 다음과 같이 표현된다.

$$I_{nd}^2 = 4kTG_d \Delta f P \quad 1)$$

위 수식에서 I_{nd} 는 드레인 전류 노이즈를 나타내고 G_d 는 채널 컨덕턴스, P 는 비균일 채널 컨덕턴스를 고려한 바이어스에 의한 노이즈 계수이다. 즉 P 는 측정된 컨덕턴스 G_d 와 생성된 썬열 노이즈 사이의 관계를 나타낸다. 근사적으로 100MHz이하에서는 $1/f$ 가 우세하다. 이 노이즈는 실리콘 소자의 경우보다 훨씬 더 크다. 사실상 이 노이즈는 $1/f$ 라기 보다는 트랩중심으로부터 생성되는 생성-재결합 노이즈(G-R 노이즈)의 합이다. G-R 노이즈는 2)식과 같은 주파수 의존성을 가진다.[1-3]

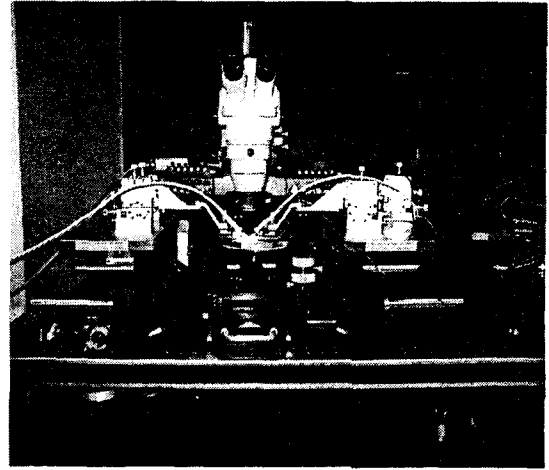


그림2. 소자와 계측기의 연결을 위한 프루브 스테이션

Fig. 2. Probe station for connection between device and analyzer

$$E_n^2 = 4kT \Delta f \left[p_0 \left(\frac{f_0}{f} \right) + \sum_{r=1}^n G_r \right] \quad 2)$$

$$G_r = \frac{p_r (\tau_r / \tau_0)}{1 + (2\pi f \tau_r)^2} \quad 3)$$

여기에서 τ 는 트랩의 특성시간상수이다. τ 는 트랩의 활성화에너지 E_a 와 온도 T 에 매우 의존적이다. 그 관계는 다음과 같이 나타난다.

$$\tau = \tau_0 (300/T)^2 \exp(qE_a/kT) \quad 3)$$

그리고 p_0 는 $f=f_0$ 일때의 등가 게이트 저항이다. p_r 은 G-R 노이즈의 r 번째 성분에 대한 근사 저항이다. τ_r 은 각각의 활동 트랩중심의 시간상수이고 τ_0 는 기준 시간상수를 나타낸다. GaAs MESFET은 고주파영역에서의 사용을 목적으로 하기 때문에 $1/f$ 노이즈는 설계시 거의 고려하지 않는다. 또한 게이트길이가 짧기 때문에, 이 두 가지 요인이 $1/f$ 을 나쁘게 만든다. GaAs MESFET의 또한 노이즈 소스는 식 4)와 같이 표현하는 게이트 전류 노이즈인 I_{ng} 이다. 이 노이즈는 게이트 장벽을 넘은 샷 노이즈와 드레인과 결합된 용량성 노

4. 결론

4.1 베이스 층의 변화에 따른 변환효율

베이스 층의 특성 중 전지의 효율에 크게 영향을 주는 요소는 베이스층의 두께 및 비저항, 후면 재결합 속도와 소수 반송자 수명이다. 베이스 층의 두께는 얇을 수록 좋으나, 이는 소수 반송자 확산 거리에 관계한다. 즉 소수 반송자 확산거리에 가까워질수록 효율이 좋아지며, 길거나 짧으면 효율이 감소한다. 베이스 층의 비저항은 약 0.1 ~ 0.5 Ω -cm에서 최고 변환 효율을 보이나 이는 실제 웨이퍼 생산 시에 정밀한 조절이 어렵다.[4] 실제 변환효율에 큰 영향을 미치며 고도의 기술력이 필요한 요소는 후면 재결합 속도와 소수 반송자 확산 거리이다.

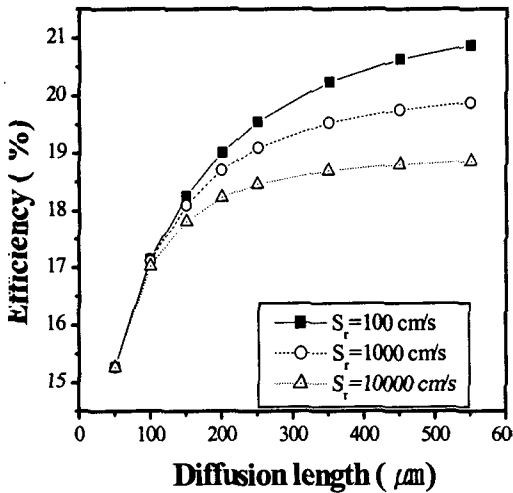


그림 3. 베이스층의 소수반송자 확산거리와 후면 재결합 속도에 따른 변환효율

Fig 3. Conversion efficiency as a function of minority carrier diffusion length and rear surface recombination velocity of base layer

그림 3에 이들이 변환효율에 미치는 영향을 보였다. 소수 반송자 확산 거리가 100 μm 까지는 후면 재결합 속도에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 이는 후면에서 생성된 EHP가 공핍영역에 도달하기 전에 이미 p층내에서 재결합을 하게 되므로 후면의 영향을 거의 받지 않음으로 해석된다. 그러

나 확산 거리가 증가할수록 후면 재결합 속도의 영향이 매우 중요하게 작용한다. 확산 거리가 p층의 두께인 250 μm 이상이 되면 단락 전류는 포화상태가 되어 거의 증가하지 않게 되며, 개방 전압은 베이스 포화 전류(I_{0b})가 감소하므로 전체적인 전지의 역 포화전류가 감소하여 계속 증가하게 된다. 따라서 효율이 계속 증가하는 것은 개방전압의 영향으로 해석된다.

4.2 에미터층의 변화에 따른 변환 효율

그림 4에서는 에미터층의 표면저항이 태양전지의 효율에 미치는 영향을 그래프로 나타낸 것이다.

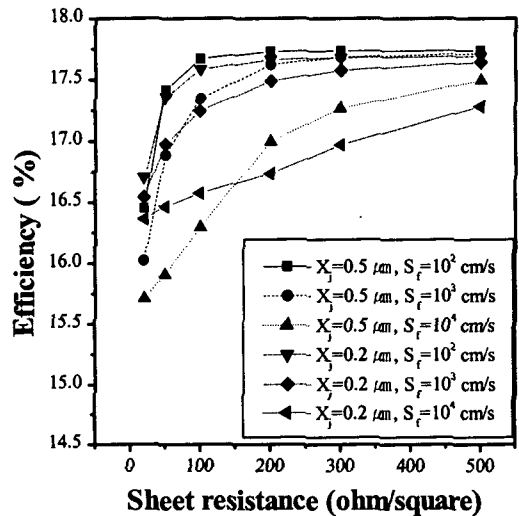


그림 4. 에미터층의 접합깊이, 전면 재결합 속도, 면저항에 따른 변환효율

Fig 4. Conversion efficiency as a function of junction depth, front surface recombination velocity and sheet resistance of emitter layer

후면의 재결합 속도가 에미터층의 모의 실험에 주는 영향을 최소화하기 위하여 재결합 속도는 100 cm/s로 고정하고 에미터층의 모의 실험을 수행하였다. 에미터층의 표면저항은 전면 전극을 설계할 때 매우 중요한 요소이므로 이를 이용하여 도핑 농도를 변화 시켰다.

에미터층의 표면 재결합이 1000 cm/s이하인 경우에 표면 저항이 약 100 Ω/\square 이하에서 변환 효율이 급격히 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 도핑 농도가 높아짐에 따라 에미터층의 반송자 이동도가 현저

구하였다. 마찬가지로 게이트 누설전류를 구하기 위한 DC특성도 동일한 온도 범위에서 측정하였다. 실험에 사용된 소자는 $0.3\ \mu\text{m}$ 의 게이트 길이를 가지는 총 게이트 표면면적 $250\ \mu\text{m}$ 크기 소자를 사용하였다.

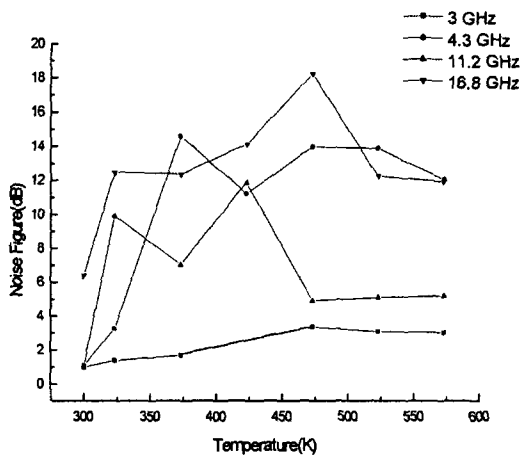


그림 4. 온도 변화에 따른 Noise Figure 특성
Fig. 4. Variations of noise figure characteristics with different temperature

4. 실험결과 및 고찰

실험 결과는 그림 3에서처럼 전체적으로는 온도의 증가에 따라 Noise Figure의 값이 증가하는 경향이 나타나는 것을 볼 수 있다. 노이즈 특성은 3GHz에서 가장 안정적인 특성을 보여주었다. 450K이후에 노이즈가 오히려 감소하는 경향을 보이는 것은 제작한 지그 자체의 내열성 한계로 인한 것으로 사료된다. GaAs MESFET의 온도에 대한 노이즈 특성을 실험하면서 온도증가에 따른 Noise Figure 증가의 원인을 예측하였다. 그림 5에서 보듯이 온도증가에 따라 게이트 누설 전류가 증가하는 것을 볼 수 있다.[4] 이 누설 전류에 의해 고온영역에서는 썬들 노이즈 외에도 식 4)에 나와있듯이 게이트의 샷 노이즈가 증가함으로써 전체 노이즈가 증가하는 것을 예측할 수 있었다. 향후 게이트 누설전류에 의한 샷 노이즈 증가에 따른 노이즈 특성 변화를 해석적으로 모델링하고자 한다.

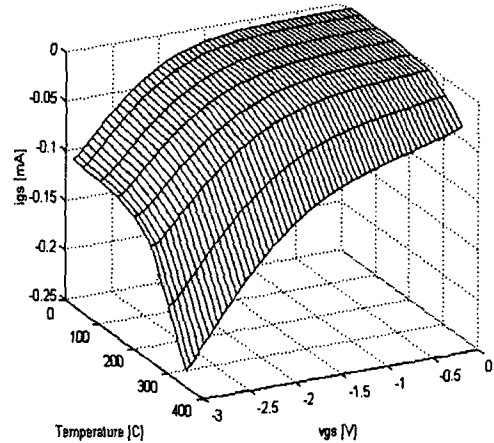


그림 5. 온도에 따른 게이트 누설 전류[4]
Fig. 5. Gate leakage current with different temperature[4]

참고 문헌

- [1] C.D. Motchenbacher, J.AConnolly "Low-Noise Electronic System Design", JOHN WILLEY & SONS, INC, pp. 140-167, 1993.
- [2] van der Ziel, A., "Thermal Noise in Field Effect Transistor", *Proc. IEEE*, Vol. 50, No. 8, pp. 72, 278, Aug, 1962.
- [3] van der Ziel, A., "Gate Noise in Field Effect Transistors at Moderately High Frequencies," *Proc. IEEE*, Vol. 51, No.3, pp.461-467, Mar, 1963.
- [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] B. J. Moon and T. Yteerdal, "Enhanced GaAs MESFET CAD Model for Wide Range of Temperature", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 42, No. 10, pp.1724-1733, Oct, 1995.