

X-밴드 저잡음 증폭기용 0.25 μ m T-형 게이트 P-HEMT 제작

이 강 승, 정 윤 하
포항공과대학교 전자컴퓨터공학부
전화 : 054-279-2897 / 핸드폰 : 011-9853-6430

Fabrication of 0.25 μ m P-HEMT for X-band Low Noise Amplifier

Kang-Seung Lee and Yoon-Ha Jeong
School of Electronic and Computer Engineering, Pohang University of Science
and Technology
E-mail : kaslee@postech.ac.kr

Abstract

We have enhanced the yield of 0.25 μ m T-gate $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}/\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ P-HEMT using three-layer E-beam lithography process and selective etching process. The three-layer resist structure (PMMA/copolymer/ PMMA=2000 Å/3000 Å/2000 Å) and three developers (Benzene:IPA=1:1, Methanol:IPA=1:1, MIBK:IPA=1:3) were used for fabrication of a wide-head T-gate by the conventional double E-beam exposure technology. Also 1wt% citric acid: H_2O_2 : NH_4OH (200ml:4ml:2.2ml) solution were used for uniform gate recess. The etching selectivity of GaAs over $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ is measured to be 80. So these P-HEMT processes can be used in X-band MMIC LNA fabrication .

I. 서론

저잡음 증폭기는 초고주파 수신단의 앞부분에 위치하여 시스템 전체의 잡음 특성을 결정하므로 잡음 특성과 이득 특성을 동시에 구현해야 한다.[1,2] 따라서 저잡음 증폭기용 능동소자로는 고주파 대역에서의 안정성이 뛰어나고 고출력, 저잡음 특성이 우수한 GaAs/AlGaAs/InGaAs 이중 접합 구조를 갖는

P-HEMT(Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor) 가 많이 연구되고 있다.[3]

저잡음 증폭기에 능동소자로써 사용하려면 균일한 특성을 갖는 P-HEMT를 제작하여야 한다. 그러나 P-HEMT 제작시에 게이트 리세스 정도에 따른 P-HEMT의 특성변화, 게이트 형성시에 게이트에 가해지는 충격에 의한 수율저하등으로 인하여 균일한 특성을 얻기가 힘들다. 그리고 게이트 폭이 줄어들어 따라 이득은 증가하지만 게이트 저항의 증가로 인하여 잡음 지수가 커지는 문제가 있다.[4] 따라서 본 연구에서는 P-HEMT의 균일한 전기적 특성을 얻기 위하여 선택적 에칭 방법을 사용한 게이트 리세스 공정과, 게이트 형성시에 게이트 수율을 높이고 저잡음 특성을 구현하기 위하여 T-형 게이트 공정을 이용하여 P-HEMT를 제작하고 그 특성을 분석하였다.

II. 0.25 μ m P-HEMT의 제작

2.1 에피구조와 특성

본 논문에서 사용한 에피 구조는 GaAs 반절연 기판 위에 1 μ m 두께의 GaAs 버퍼층, 그 위에 120 Å의 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 층, 50 Å의 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 층, $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 의 Si 델타도핑층, 350 Å의 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$, 그리고 250 Å의 GaAs 캡 층으로 구성되어 있다. 300 K에서 측정

된 전자 이동도는 $6880 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 이고, 면전하 밀도는 $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 였다. 에피구조는 QED사에서 MBE (Molecular Beam Epitaxy)를 이용하여 성장된 것이다.

2.3 게이트 제작을 위한 전자선 묘화 공정

게이트 길이가 $0.25 \mu\text{m}$ 인 P-HEMT를 제작하기 위해서 전자빔 묘화 공정을 이용하였다. 그리고 T-형 게이트를 제작하기 위해서 3중 레이어 레지스트 구조를 사용하였다. 먼저 2000 \AA 의 PMMA (Poly Methyl Meth Acrylate)를 코우팅 한후, 3000 \AA 의 copolymer (PMMA/MAA : Methyl MethAcrylic Acid)를 코우팅하였다. 그리고 마지막으로 2000 \AA 의 PMMA를 코우팅 하였다. 각각의 층은 코우팅 한후에 $170 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 30분간 소프트 베이킹 (Soft-baking)을 실시하였다. 전자빔 주사는 가속전압이 30 keV , Beam 전류는 0.015nA 인 조건에서 두꺼운 상층부 T형 게이트를 형성시키기 위해서 이중 노출을 하였다. $0.25 \mu\text{m}$ 라인을 형성시키기 위해서 center beam은 $4 \mu\text{sec/dot}$ 속도로 조사하고, wide head T게이트를 형성시키기 위해서 $0.75 \mu\text{m}$ 라인을 $18 \mu\text{sec/dot}$ 속도로 조사하였다. 한번에 이중 노출을 하지 않고 2단계노출을 하면 좀더 재현성 있는 패턴을 형성할수 있다.

3중 레이어를 선택적으로 현상하기위해 3가지의 현상용액을 사용하여 현상하였다. 가장 상층부의 PMMA는 벤젠:IPA(1:1) 혼합액에서 20초간 현상하였다. 결과적으로 약하게 dose 된 선폭까지 현상됨으로써 $0.75 \mu\text{m}$ 의 선폭이 현상되었다. 그리고 중간 of copolymer 레이어는 IPA:Methanol(1:1) 혼합액에서 20초간 현상하였다. Methanol이 copolymer에 대해서는 강한 현상용액이므로 중간 of 레이어는 과도 현상이 되어서 게이트 메탈 리프트 오프시에 게이트에 가해지는 충격을 줄여준다. 그리고 마지막 PMMA 층은 MIBK:IPA(1:3) 혼합액을 사용하여 30초간 현상을 하였다.

그림 1은 현상이 끝난 후의 3중 레이어 레지스트의 단면도를 보여주고 있다. 가장 상층 of PMMA는 $0.75 \mu\text{m}$ 정도의 선폭을 형성하고, 중간레이어는 과도현상되어 있는 것을 볼수 있다. 그리고 그림 2는 메탈 증착까지 끝난 상태 of 완성된 T형 게이트를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 아래층 of 선폭은 $0.25 \mu\text{m}$ 이고 윗층 of 선폭은 $0.75 \mu\text{m}$ 인 T형 게이트가 제작되었다.

2.4 게이트 리세스 공정

P-HEMT제작에서 균일한 문턱 전압을 얻기위해서

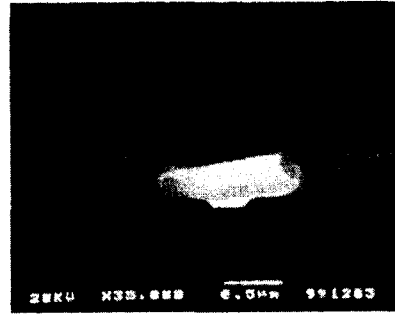


그림 1. 현상이 끝난후의 PMMA/copolymer/PMMA 레지스트 단면도



그림 2. 완성된 T형게이트의 단면도

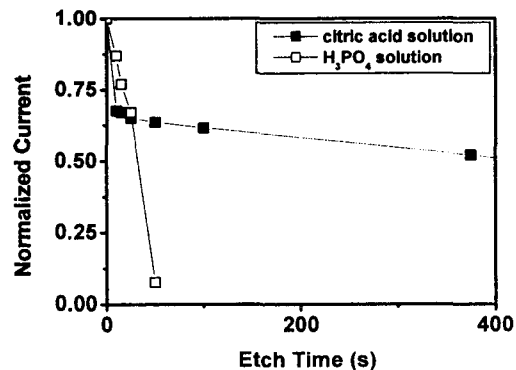


그림 3. H₃PO₄ 용액과 citric acid 용액의 에칭 시간에 따른 전류의 변화

는 게이트 리세스 공정이 수 옴스트롬(A) 이내로 제어 되어야 한다. 정확한 에칭 깊이의 제어는 소자의 전기적 특성과 직결되므로 AlGaAs에 대한 GaAs 에칭 선택도가 높은 에칭 용액 개발이 매우 필요하다.

선택 에칭 용액으로는 NH₄OH/H₂O₂ 혼합액이나, citric acid/ H₂O₂ 용액등이 AlGaAs에 대하여 GaAs만을 선택적으로 에칭 할수 있는 용액으로 알려져 있

는데, $\text{NH}_4\text{OH}/\text{H}_2\text{O}_2$ 혼합액의 경우는 citric acid 의 경우보다 에칭된 후의 표면이 균일하지 않다는 사실이 알려져 있다.[5] 따라서 본 논문에서는 citric acid 혼합액을 사용하여 게이트 리세스를 하였다.

먼저 200 ml 의 DI Water 에 2mg 의 citric acid 결정을 넣어서 1wt % citric acid 용액을 만든다음, 1wt % citric acid 와 H_2O_2 를 50:1 의 비율로 혼합하고, pH 조절을 위해서 NH_4OH 2.2 ml를 혼합한다. 그리고 교반기를 이용해서 30분가량 섞어 준다. 그리고 스테링이 없는 상태에서 에칭을 하였다.

그림 3에는 $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}(3:1:80)$ 용액을 사용한 경우와 citric acid 용액을 사용한 경우에 대하여 에칭 시간에 따른 소스 드레인 간의 전류 변화를 나타내었다. 선택성이 없는 H_3PO_4 혼합액의 경우는 전류가 너무 빨리 떨어져서 균일한 특성을 얻기가 힘들다. 그에 반해 citric acid 혼합액의 경우는 선택성이 뛰어나서 균일한 특성을 얻을수가 있다. citric acid 혼합액의 GaAs의 에칭율은 20 Å/s 였고, $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 의 에칭율은 0.25 Å/s 로써 선택성은 80 으로서 좋은 선택성을 보였다.

III. 제작된 P-HEMT의 특성 분석

제작된 HEMT는 HP 4155를 이용하여 DC 특성을 측정하였다. 그림 4는 제작된 HEMT의 게이트전압이 -1 V에서 0 V 까지 0.2 V 간격으로 변함에 따른 $V_{\text{DS}}-I_{\text{DS}}$ 곡선을 보여준다. 게이트 전압이 0 V일때 최대 드레인 전류밀도는 307 mA/mm 이었고, 문턱 전압은 1.2V 였다. 그리고 그림 5는 게이트 전압이 -2 V에서 1 V까지 변함에 따른 전달 컨덕턴스(g_m)와 드레인 전류의 변화를 보여주고 있다. V_{GS} 가 -0.52 V에서 g_m 이 최고였으며 303.8 mS/mm 였다. 그리고 이때의 전류 밀도는 166 mA/mm였다.

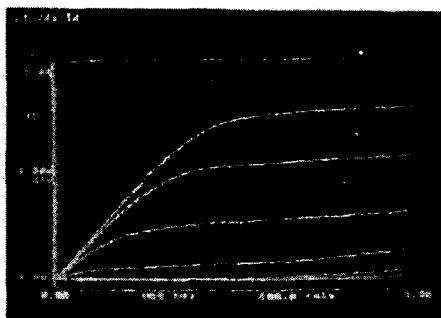


그림 4. $V_{\text{DS}}-I_{\text{DS}}$ 곡선 ($V_{\text{GS}}=0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1\text{V}$)

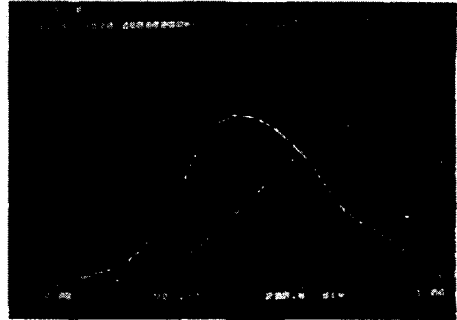


그림 5. $V_{\text{DS}}=2\text{ V}$ 일 때 V_{GS} 의 변화에 따른 g_m 과 I_{DS} 곡선

초고주파 특성은 HP 8510B 네트워크 분석기와, HP 8970B 잡음 측정장비를 이용하여 온 웨이퍼 (On-wafer)로 측정되었다. 그림 6은 0.5 GHz에서 20 GHz 까지 측정된 S-파라미터를 보여주고 있다. 측정 결과로부터 전류차단주파수는 30 GHz 이다. 그리고 그림 7은 20 % 드레인 포화 전류(I_{DSS}) 조건에서 6 GHz에서 12 GHz 까지 측정된 최소 잡음 지수와 관련이득 곡선이다. 9 GHz에서 잡음 지수는 1.61 dB였고, 관련 이득은 10.66 dB 였다.

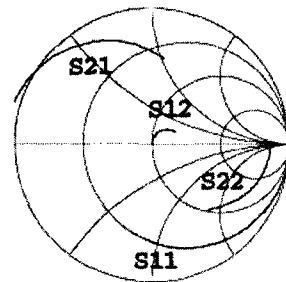


그림6. 0.5 GHz에서 20 GHz 까지 측정된 S-파라미터

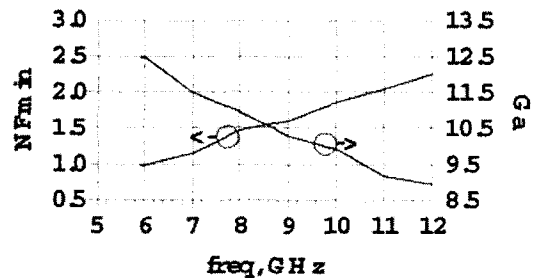


그림 7 . 최소 잡음 지수와 관련이득 (6GHz -12GHz)

IV. 결론

본 연구에서는 선택 에칭방법을 이용하여 P-HEMT의 균일성을 향상시켰고, T형 게이트를 이용하여 잡음 특성을 개선하였다. 그 결과 G_m 은 300 mS/mm, 전류 차단 주파수는 30 GHz, 그리고 9 GHz, 20 % I_{DSS} 에서 잡음지수는 1.61 dB, 그 관련 이득은 10.66 dB인 P-HEMT가 제작되었다. 본 논문에서는 한번에 이중 노출을 하였지만, 2단계 노출을 하면 좀더 재현성 있는 P-HEMT 제작이 기대된다.

참고문헌

- [1] G. E. Brehm, "Multifunction MMIC history from a process technology perspective", *IEEE trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, pp. 1164-1169, 1990
- [2] Y. J. Jeon, M. Y. Jeon, J. M. Kim, Y. H. Jeong, D. H. Jeong, and D. M. Kim, "Monolithic Feedback Low Noise X-Band Amplifiers Using 0.5 μ m GaAs MESFET's : Comparative Theoretical Study and Experimental Characterization", *IEEE Journal of Solid-state circuits*, vol. 33, no. 2, 1998
- [3] D. Scherrer, P. Apostolakis, J. Middleton, P. J. Mares, J. Kruse and M. Feng, "Noise and gain comparison of 0.25 μ m gate MESFETs and PHEMTs for low power wireless communication circuits", *Solid-State Electronics*, vol. 39, no. 4, pp. 431-437, 1996.
- [4] J. H. Lee, H. S. Yoon, C. S. Park, and H. M. Park, "Ultra low noise characteristics of AlGaAs/InGaAs/Ga-As pseudomorphic HEMTs with wide head T-shaped gate", *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 16, no. 6, 1995.
- [5] C. Juang, K. J. Kuhn, and R. B. Darling, "Selective etching of GaAs and Al_{0.30}Ga_{0.70}As with citric acid/hydrogen peroxide solutions", *J. Vac. Sci. Technol. B* 8(5), Sep/Oct 1990