

Citric acid 조성 비율에 따른 식각 특성에 관한 연구

설우석, 이복형, 김성찬, 이성대, 김삼동, 신동훈, 이진구

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구 센터

전화 : 02-2260-8698 / 핸드폰 : 011-418-2139

Studies on Wet Etching of PHEMT with Citric acid based solutions

Woo-Suk Sul, Bok-Hyoung Lee, Sung-Chan Kim,

Sung-Dae Lee, Sam-Dong Kim, Dong-Hoon Shin, Jin-Koo Rhee

Millimeter-Wave INnovation Technology Research Center (MINT) of Dongguk University

E-mail : skysnow@dongguk.edu

Abstract

In this paper, we have studied the characteristics of wet etching using citric acid based wet etchant. We have used the citric acid / hydrogen peroxide solution, citric acid / hydrogen peroxide / D.I. water solution. From our experimental result, a volumetric 1 : 3 ratio of citric acid and hydrogen peroxide and 1 : 3 : 1 ratio of citric acid, hydrogen peroxide, and D.I. water is shown to be a better wet etchant of PHEMT's system.

전기적 특성으로만 용액을 선택하는 경우가 대체적이다. 본 논문에서는 게이트 리세스 공정에 사용되는 혼합 구연산 용액의 각 조성 비율에 따른 식각 특성에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구의 수행을 위하여 구연산, 과산화수소(H_2O_2) 및 초순수(D.I. Water : 18 M Ω) 등의 비율에 따른 식각 특성 경향을 관찰하였다.

I. 서론

밀리미터파 대역에서 적용 가능한 PHEMT를 제작하기 위해서는 단위 공정의 최적화가 이루어져야 한다. 특히 PHEMT의 특성을 좌우하는 게이트 리세스 공정의 최적화가 무엇보다 필요하다. PHEMT의 좋은 정류성 접합(Schottky contact)을 형성시키기 위해서는 n^+ Cap층의 제거를 통한 원하는 Idss값의 구현, 높은 항복 전압을 얻기 위한 게이트 리세스(Gate recess) 식각 공정이 필요하다[1]. 일반적으로 게이트 리세스 식각 공정은 습식 식각 공정으로 이루어지고 있으며, 사용되는 식각 용액은 암모니아(NH_4OH), 인산(H_3PO_4) 및 구연산(Citric acid) 계열의 용액들이 사용되고 있다[2][3]. 그러나 게이트 리세스 공정에서는 그 식각 정도가 미세하기 때문에 식각 계면 특성과 식각율 등을 확인하기 어렵고, 그로 인해

II. 식각 용액의 구성

게이트 리세스 식각 용액으로 사용하기 위한 식각 용액의 구성은 구연산, 과산화수소 및 초순수로 구성되어 있다. 상기의 구성 요소 중 구연산은 친수성 구연산(Citric Acid Monohydrate)을 사용하였다. 친수성 구연산은 상온에서 일정한 크기가 없는 덩어리(Granule)로 되어 있어, 일반적으로 초순수와 구연산을 혼합한 구연산 수용액(Citric Acid Solution)이 사용되어진다[4]. 본 논문에서 사용한 구연산 수용액은 50%의 구연산 수용액으로 친수성 구연산과 초순수의 혼합 비율이 1 : 1 (1 g : 1ml)로 혼합되었으며, 완전한 용액으로 만들기 위하여 2시간 이상 교반시킨 후 사용하였다. 게이트 리세스 식각에 사용되는 용액은 구연산 수용액과 과산화수소를 혼합한 용액과 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수를 혼합한 용액을 사용하였으며, 각 구성 요소들의 안정화를 위해 혼합 후 2시간 이상 동안 교반시킨 후 사용하였다.

III. 구성 요소 조성비에 따른 식각 특성

첫번째 게이트 리세스 식각 실험을 위한 용액으로 구연산 수용액과 과산화수소를 혼합한 용액의 각 조성 비율에 따른 식각 특성을 변화를 관찰하였다. 구연산 수용액과 과산화수소의 비율 1 : 1을 기준 용액으로 하여 2 : 1 및 3 : 1 등의 구연산 수용액의 비율이 과산화수소의 비율보다 높은 조건과 반대로 1 : 2 및 1 : 3 등의 과산화수소가 구연산 수용액의 비율보다 비율이 높은 조건으로 하였다. 식각 표면의 분석을 위하여 SEM (Scanning Electron Microscopy)으로 각각의 식각 표면을 관찰하였다. 그림 1은 구연산 수용액의 비율과 과산화수소 비율이 1 : 1인 경우로 식각된 시료의 표면 사진이고, 그림 2는 그 비율이 2 : 1 및 3 : 1의 조성비에서 식각된 시료의 식각 표면을 나타낸 것이다. 구연산 수용액의 비율이 높아질수록 식각 형태가 V자 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 게이트 리세스 공정에 적용하기에는 부적합한 식각 형태로 사료되어진다. 그림 3은 구연산 수용액의 비율에 따른 식각을 변화 나타낸 것으로 구연산 수용액의 비율이 높아질수록 식각율은 1.1 A/sec에서 60 A/sec으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

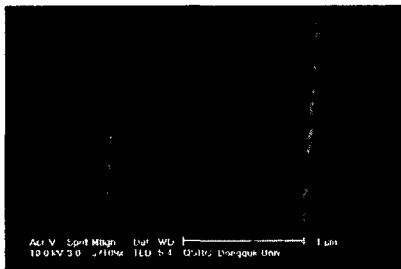
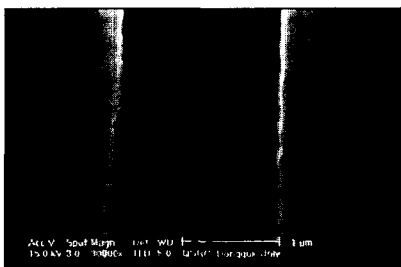
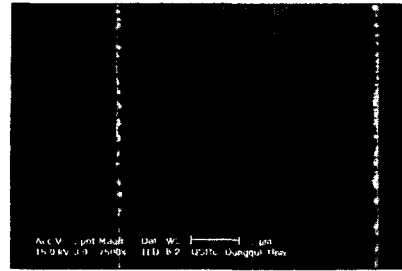


그림 1. 혼합 구연산 용액의 비율 1 : 1에서의 식각 표면



(a) 2 : 1



(b) 3 : 1

그림 2. 혼합 구연산 용액의 비율 2 : 1 및 3 : 1에서의 식각 표면

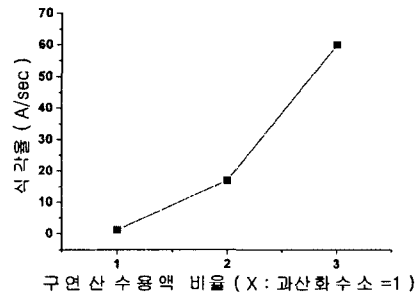


그림 3. 구연산 수용액의 비율에 따른 식각율 변화

그림 4는 과산화수소의 비율이 구연산 수용액의 비율보다 높은 혼합 구연산 용액에서 과산화수소 비율에 따른 식각을 변화를 나타낸 것으로서, 식각율은 과산화수소가 증가할수록 1.1 A/sec에서 0.6 A/sec 및 0.4 A/sec으로 미세하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그림 5은 혼합 구연산 용액의 비율이 1 : 2 및 1 : 3인 경우의 식각 표면을 나타낸 것이다.

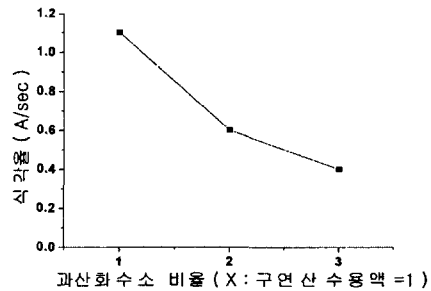
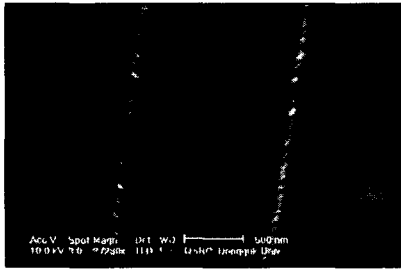
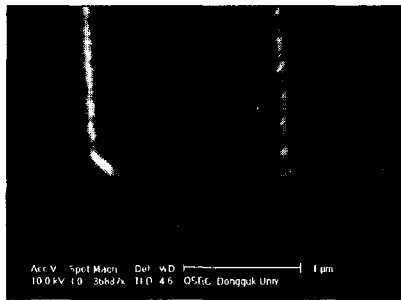


그림 4. 과산화수소 비율에 따른 식각율 변화



(a) 1 : 2



(b) 1 : 3

그림 5. 혼합 구연산 용액의 비율 1 : 2 및 1 : 3에서의 식각 표면

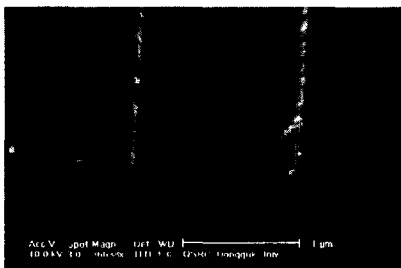


그림 6. 혼합 구연산 용액의 비율 1 : 3 : 1에서의 식각 표면

두 번째는 구연산 수용액과 과산화수소 및 초순수를 혼합한 용액의 식각 특성을 분석하기 위하여 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수의 비율 1 : 1 : 1을 기준 용액으로 하여 3 : 1 : 1, 1 : 3 : 1 및 1 : 1 : 3일 때의 식각 특성을 연구하였다. 1 : 1 : 1의 비율에서의 식각 특성은 일정한 방향성이 없는 부적합한 식각 형태를 나타내고 있으며, 또한 빠른 식각율 (10 Å/sec)을 가지고 있어 소자 제작을 위한 게이트 리세스 공정에는 사용할 수 없음을 확인할 수 있었다. 3 : 1 : 1인 용액의 식각 특성 또한 빠른 식각율 (7 Å/sec)과 식각 계면에서는 역방향의 기울기를 가지고 있어 소자 제작에는 역시 사용하기

어려움을 확인할 수 있었다. 1 : 1 : 3의 비율에서는 빠른 식각율(6 Å/sec)로 인해 식각 공정에서 식각 종료 시점을 맞추기에 어려움을 확인할 수 있었다. 1 : 3 : 1의 조성 비율에서는 낮은 식각율 (0.75 Å/sec)과 균일한 식각 표면 및 균일한 방향성을 가지기 때문에 소자 제작을 위한 게이트 리세스 공정에 적합하다. 그림 6는 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수의 비율 1 : 3 : 1일 때의 식각 표면을 나타낸 것이다.

IV. 소자 제작에 적용 가능한 리세스 식각 용액

소자 제작 시 게이트 리세스 공정에 적용 가능한 식각 용액은 과도하거나 부족하게 식각되는 것을 방지하기 위해 식각 조절이 용이하도록 낮은 식각율 및 식각된 표면이 깨끗하게 식각 되어야 하며, 균일하게 식각되는 것이 중요하다. 본 논문에서 비교적 낮은 식각율을 가지는 용액들에 대하여 식각면의 AFM (Atomic Force Microscopy) 측정을 수행하였다. 용액의 조성비율이 1 : 1, 1 : 2 및 1 : 3의 구연산 수용액과 과산화수소의 혼합 용액과 1 : 3 : 1의 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수의 혼합 용액을 이용하여 식각한 시료의 식각 표면을 AFM으로 측정한 결과는 표 1과 같이 평균 거칠기와 RMS(Root Mean Square) 거칠기로 나타내었다.

표 1. 용액 비율에 따른 거칠기 결과

	Non-Etched	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 3 : 1
Average	3 Å	5.2 Å	3.3 Å	3.7 Å	3 Å
RMS	3.3 Å	6 Å	4.2 Å	4.7 Å	3.7 Å

또한 상기의 식각 용액 중 용액의 조성 비율이 1 : 2인 식각 용액과 1 : 3 : 1인 식각 용액은 식각 후 마스크 패턴의 크기가 유지되는 반면, 나머지 조성 비율의 식각 용액은 식각 후 패턴 크기가 증가함을 보여 미세 패턴에서의 식각 시에 어려움을 확인할 수 있었다. 상기의 실험에서 본 논문에서 구연산 용액을 이용한 게이트 리세스 식각에 사용하기 위하여 조성 비율이 1 : 2 및 1 : 3 : 1인 식각 용액은 게이트 리세스 공정에 적용이 더욱 용이할 것으로 사료된다. 그림 7과 그림 8은 조성 비율이 1 : 2인 식각 용액과 1 : 3 : 1인 식각 용액을 사용하여 식각된 시료의 거칠기에 대한 AFM 측정 결과를 나타낸 것이다.

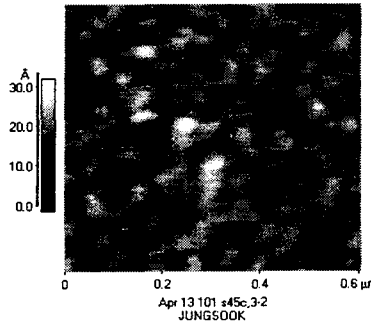
V. 결 론

본 논문에서는 PHEMT 소자 특성을 좌우하는 게이트 리세스 식각 공정을 위한 구연산 계열의 식각 용액 특성을 연구하였다. 식각 용액을 혼합하기 위하여 친수성 구연산을 초순수와 1 : 1로 혼합한 구연산 수용액과 과산화수소를 혼합한 식각 용액과 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수를 혼합한 식각 용액을 이용하여 각 용액 조성 비율에 대한 식각 특성을 분석하였다. 구연산 수용액과 과산화수소를 혼합한 용액의 경우, 구연산 수용액의 비율이 높을수록 식각율이 증가하고 과산화수소의 비율이 높을수록 식각율이 감소하여 식각 제어에 용이하였다. 또한 구연산 수용액, 과산화수소 및 초순수를 혼합한 식각 용액의 경우에는 조성 비율이 1 : 3 : 1인 용액이 낮은 식각율과 균일한 식각면 등의 식각 특성을 나타내었다. 본 논문에서 최적의 게이트 식각 용액의 조성 비율은 1 : 2 및 1 : 3 : 1인 식각 용액이며 이 용액들의 식각율 및 거칠기는 각각 0.6 A/sec 및 0.75 A/sec이고, 3.3 A 및 3 A의 평균 거칠기와 4.2 A 및 3.7 A의 RMS 거칠기 특성을 나타내었다. 상기의 연구 결과들은 초고주파 및 밀리미터파 능동 소자 제작에 대한 연구를 수행하고 있는 연구원에게 정보를 제공하고 소자 제작에 필요한 단위 공정에 대한 데이터 베이스를 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

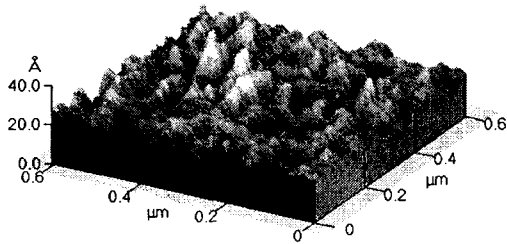
Reference

- [1] Fazal Ali *et. al.*, HEMTs and HBTs : Devices, Fabrication and Circuit, Artech House, 1991.
- [2] 이일형, "PM-HEMT를 이용한 MIMIC 전력 증폭기의 설계 및 제작에 관한 연구", 동국대학교 전자공학과 박사논문, 1999.
- [3] Tomoyuki Ohshima *et. al.*, "Improvement of 0.1 um-gate InGaAs/AlGaAs HEMT performance by suppression of electro-chemical etching in deionized water", Solide-Stste Electronics, No. 43, pp. 1519-1526, 1999.
- [4] M. Tong, *et. al.*, "A Comparative Study of Wet and Dry Selective Etching Processes for GaAs/AlGaAs/InGaAs P-MODFET", Journal of Electronic Materials, Vol. 21, No. 1, pp. 9-15, 1992.

* 이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.

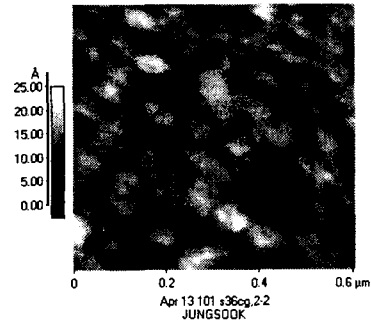


(a) 평면도

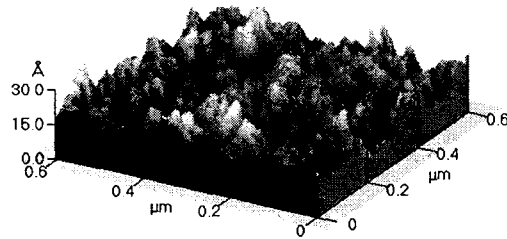


(b) 입체도

그림 7. 혼합 구연산 용액의 비율 1 : 2에서의 AFM 측정 결과



(a) 평면도



(b) 입체도

그림 8. 혼합 구연산 용액의 비율 1 : 3 : 1에서의 AFM 측정 결과