

Spin processor에 의한 저잡음 p-HEMT 제작

Implementation of Low Noise p-HEMT Using Spin processor

김송강*

(Song Gang Kim*)

Abstract

One set of MMIC library has been developed using gate recess etching by spin processor. It is superior than that of dipping Method in the uniformity and the reproducibility of gate recess. A DC characteristics of p-HEMT have a uniform characteristics in the whole wafer than that of dipping method. The low noise p-HEMT with the $0.6\mu\text{m}$ and $200\mu\text{m}$ of gate length and gate width, respectively, has a uniform characteristics of I_{dss} 130~145 mA, conductances 190~220mS/mm, and threshold voltage -0.7~-1.1V in the drain voltage of 2V.

Key Words : Gate recess etching, Spin processor, p-HEMT

1. 서 론

GaAs 웨이퍼를 이용하는 고전자이동도 트랜지스터(HEMT)는 높은 주파수에서의 저 잡음 특성과 소자 특성이 우수하여 MMIC 및 초고속 LSI의 제작에 각광을 받고 있는 소자이다.^(1~4) 이와같은 초고주파 집적회로(MMIC)의 Library를 제작하기 위해서는 단위 소자의 DC 및 RF 특성이 우수해야 하며 재현성 있는 data 및 웨이퍼 내의 균일한 소자 특성을 가지는 공정을 구현해야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 소자 특성의 재현성 및 균일성을 얻기 위하여, 게이트 recess 식각을 dipping 방법보다 재현성 및 균일성이 좋은 spin processor를 이용하였다. 게이트 recess 식각은

HEMT 소자의 V_{th} 를 조절하기 위하여 일반적으로 암모니아계 용액이나 인산계 용액을 이용하여 서서히 식각한다. 건식 식각을 할 경우 웨이퍼 전체를 균일하게 식각을 할 수 있으나 식각도중 고 에너지의 RF에 소자의 활성 영역(active area)이 노출되므로 소자 제작 후 leakage 전류, 전달 컨덕턴스, 또는 기타 특성에 영향을 미친다.

본 논문에서 사용한 암모니아계($\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 200$) 용액은 습식 식각 용액으로 많이 사용되고 있으나 웨이퍼의 에피택시 구조나 식각 방법 등에 따라 그 결과가 많은 차이가 나고 있다. 또한 기존의 dipping 방법에 의한 게이트 recess 식각은 식각에 중요 변수로 작용하는 식각 시간, 용액 조성, 용액의 agitation등의 변수들이 작업자에 따라 다를 수 있으며, 수심 A를 식각하여 게이트 전류를 조절하기가 매우 어렵다.

이와 같은 단점을 보완할 수 있도록 본 논문에서는 Spin processor를 이용하여 식각 시간에 따른 식각률 및 run-to-run 재현성을 S. I GaAs 웨이퍼를

* 중부대학교

이용하여 실험하였으며, 소자 제작 후 DC 특성 및 식각 특성을 알아보기 위하여 MBE로 성장시킨 GaAs p-HEMT 구조의 웨이퍼에 소자를 제작하여 그 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 Spin processor를 이용한 게이트 recess 식각

Spin process에 의한 습식 식각은 항상 동일한 조건에서 식각을 할 수 있다는 장점이 있으며, 회전수, 식각 용액 공급량, 용액 분사 압력 및 식각 시간 등의 변수에 따라 식각의 재현성 및 균일성을 얻을 수 있다.

p-HEMT 소자 제작에 spin process를 적용하기 전에 실험 결과의 재현성을 확보하기 위하여 S. I GaAs 웨이퍼를 이용하여 각 변수에 따른 식각 특성을 조사하였다. 이때의 식각 조건은 회전수 1500rpm, 용액 분사압력 30psi, 식각 용액 공급량은 10ml/sec로 고정 시켰으며, 식각 시간에 따른 영향을 살펴보았다. 식각 시간 변화는 60sec를 1회에 식각한 경우와 식각 시간 60sec를 15sec씩 4회 식각(15sec × 4 cycle)하였다. 식각 시간에 따른 영향은 1회의 recess 식각으로 정확한 recess 전류를 조절하기가 어려워, 경우에 따라서는 수초(1-2sec)의 추가 식각을 한다. 이때 추가 식각하는 동안 식각률의 변화는 없어야 하므로 시간에 따른 식각 특성은 recess 전류를 조절하는데 가장 중요한 변수이다. 식각 용액은 암모니아계(NH4OH : H2O2 : H2O = 1 : 1 : 200)를 이용하였다. 표 1 및 그림 1은 식각 시간 60sec를 1 cycle로 식각 했을 때의 결과이다. 4회의 식각 실험을 하였으며, 웨이퍼 당 4 point의 식각 depth를 측정하여 식각률과 run-to-run 식각 depth의 재현성을 살펴보았다. 식각률은 22~23Å/sec 이었으며, run-to-run 재현성은 3% 이내의 균일한 결과를 얻을 수 있었다.

표1. Spin processor로 60초 식각 후 식각률 및 depth 분포(60sec, 1cycle)

	1	2	3	4	AVERAGE	ETCH RATE
RUN1	1375	1394	1404	1393	1392	23.2
RUN2	1368	1377	1393	1403	1385	23.1
RUN3	1350	1400	1385	1383	1380	23.0
RUN4	1356	1374	1359	1372	1365	22.8
AVERAGE	1362	1386	1385	1388	1380	23.0
ETCH RATE	22.7	23.1	23.1	23.1	23.0	

Etchant : NH4OH : H2O2 : H2O = 1 : 1 : 200

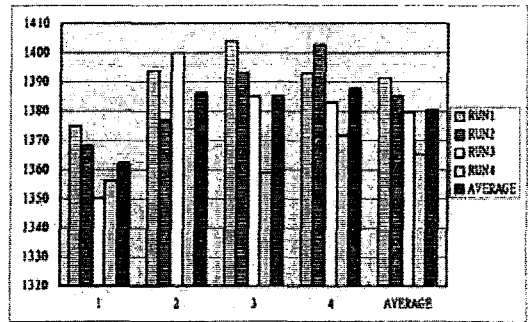


그림 1. Spin processor로 60초 식각 후 식각률 및 depth 분포(60 sec, 1cycle)

표 2 및 그림 2는 식각 시간 60sec를 4 cycle로 식각하여 그 결과를 나타낸 것으로 5회의 식각 실험을 하였으며, 웨이퍼 당 4 point의 식각 depth를 측정하였다. 식각률은 23~24Å/sec 이었으며, 3% 이내의 재현성 있는 결과를 나타내었다.

표2. Spin processor로 60초 식각 후 식각률 및 depth 분포(15sec, 4cycle)

	1	2	3	4	AVERAGE	ETCH RATE
RUN1	1396	1408	1433	1417	1414	23.6
RUN2	1422	1438	1434	1433	1432	23.9
RUN3	1433	1443	1478	1446	1450	24.2
RUN4	1455	1433	1444	1439	1443	24.0
RUN5	1420	1449	1440	1431	1435	23.9
AVERAGE	1425	1434	1446	1433	1435	23.9
ETCH RATE	23.8	23.9	24.1	23.9	23.9	

Etchant : NH4OH : H2O2 : H2O = 1 : 1 : 200

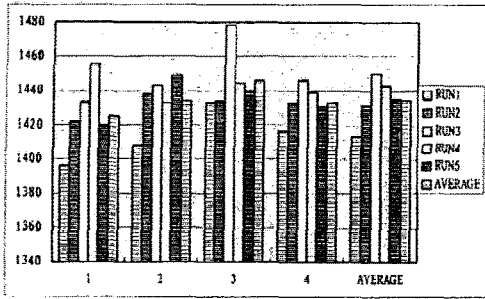


그림2. Spin processor로 60초 식각 후 식각률 및 depth 분포(15sec, 1cycle)

그림 3은 S. I GaAs 웨이퍼에 $0.6\mu\text{m}$ 게이트 패턴을 형성한 후 60sec(1 cycle) 식각한 결과를 보여주는 SEM 사진이다. 식각 depth는 1400\AA 이었으며, 식각률은 $23\text{\AA}/\text{sec}$ 임을 알 수 있다. 이상의 결과는 S. I GaAs 웨이퍼를 사용하였으며, 식각 depth 만을 측정하여 식각 특성을 살펴보았다. 그러므로 실제의 HEMT 제작시 게이트 전류를 측정하면서 recess 식각할 때와의 결과와 정확히 일치한다고 할 수는 없겠으나 상대적인 식각 특성을 알 수 있으므로 HEMT 소자 제작에 spin processor를 사용하면 기존의 dipping 방법에 의한 것보다 게이트 전류를 조절하기가 용이할 것으로 시료된다.

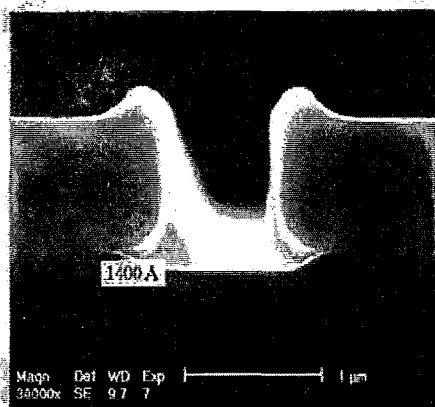


그림 3. Spin processor로 60초 식각한 후의 SEM 사진(60sec, 1cycle)

2.2 저 잡음 p-HEMT 제작

소자 제작에 사용된 에피층은 MBE로 성장된 δ -도핑된 p-HEMT 구조이다. 본 논문에서 제작한 소자는 HMML06 Library를 제작하기 위하여 게이트 길이가 $0.6\mu\text{m}$, 게이트 넓이는 $60\mu\text{m}$ 와 $100\mu\text{m}$ 이고, 게이트 finger 수는 2개, 6개, 10개로 구성하였다. 소스와 드레인 간의 간격은 $3\mu\text{m}$ 으로 하였고 소스와 게이트 간의 거리는 $1.2\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. p-HEMT 소자의 제작 순서는 소자 격리, ohmic 접촉 전극 형성, 게이트 패턴 형성 및 recess 식각, 게이트 전극 (Schotky) 형성 등의 공정 순서로 진행하였다. 소자 간의 전기적 격리를 위하여 암모니아계 용액으로 1400\AA 을 식각한 후 소스, 드레인 ohmic 접촉을 하였다. Ohmic 금속은 급속 열처리시 balling을 방지하고 접촉 저항을 작게 하기 위하여 Ni $100\text{\AA}/\text{AuGe}$ $1200\text{\AA}/\text{Pt}$ $250\text{\AA}/\text{Ni}$ $150\text{\AA}/\text{Au}$ 4000\AA 을 E-gun 증착기로 증착하고 급속 열처리 장치를 이용하여 질소 분위기에서 430°C 에서 30sec동안 열처리하였다.(6)

얻어진 접촉 저항은 $0.2\sim 0.3\Omega\cdot\text{mm}$ 의 낮은 값이었다. 게이트 recess 식각은 spin processor를 이용하여 게이트 전류를 측정하면서 암모니아계(NH₄OH : H₂O₂ : H₂O = 1: 1: 200) 용액으로 7sec 식각하였다. 이 때 PCM의 게이트 전류는 $110\sim 200\text{mA}/\text{mm}$ 이었다. 게이트 금속은 Ti $1000\text{\AA}/\text{Pt}$ $100\text{\AA}/6500\text{\AA}$ E-gun 증착 후 리프트 오프로 패턴을 형성하였다.

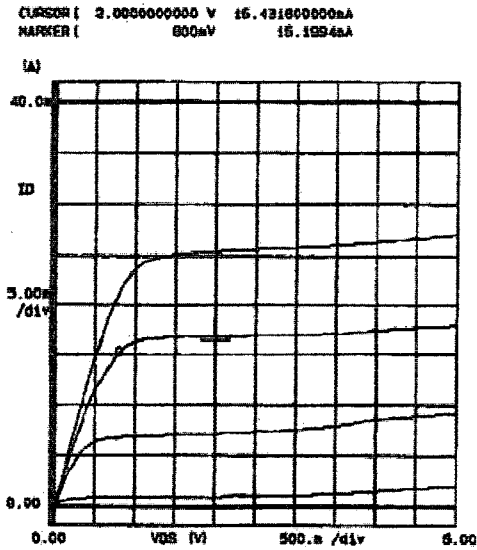
3. 결과 및 고찰

그림 4의 (a)는 $120\mu\text{m}$ 게이트 넓이를 갖는 소자의 전류-전압 특성 곡선이다. 게이트 전압 0V에서의 포화 전류 Idss는 13.5mA 이었으며 이를 전류 밀도로 환산하면 $136\text{mA}/\text{mm}$ 이다. Idss에서의 무릎 전압(effective knee voltage)은 0.8V 로 매우 낮았으며, 최대 전류에서의 효과 무릎 전압(effective Knee voltage ; 최대 전류가 $100\text{mA}/\text{mm}$ 일 때의 드레인 전압)이 0.3 (NH₄OH : H₂O₂ : H₂O = 1: 1: 200)으로, 작은 값을 갖는다.

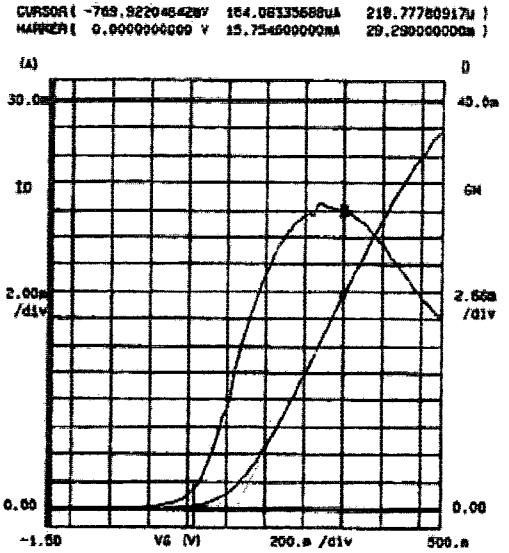
그림 4의 (b)는 게이트 전압에 대한 전달 컨덕턴스를 보여 주고 있으며 최대 전달 컨덕턴스는 $244\text{mS}/\text{mm}$ 이고, Vth는 -0.76V 로 나타났다.

그림5는 $1\text{ inch} \times 1\text{ inch}$ 의 웨이퍼에 p-HEMT를 제작한 후의 DC 특성의 분포를 나타낸 것이다. $1\text{ inch} \times 1\text{ inch}$ 의 웨이퍼에 9개의 device PCM을 배치시켜 recess 식각시 게이트 전류를 측정할 수 있도록 하였으며, 웨이퍼 전체의 균일한 공정 파라미터를 추출할 수 있도록 하였다. 포화 전류 Idss는 $135 \sim 180\text{mA}/\text{mm}$ 이고, 드레인 전압이 2V 일 때의 전

달 컨덕턴스는 190 ~ 260 mS/mm, 문턱 전압 V_{th} 는 -0.7~-1.1V의 균일한 값을 웨이퍼 전체에 걸쳐 얻을 수 있었다. 웨이퍼 edge 부분은 포토리소그래피의 재현성을 확보하기 어렵기 때문에 게이트 패턴이 오픈 되지 않았거나, miss align 등에 의해 웨이퍼 중간 부분과의 DC 특성이 다소 편차를 보이고 있다. 그러나 HMML06 Library 구성 요소인 DC 특성의 상하한값 범위를 만족하는 분포를 나타내고 있으므로 spin processor에 의한 recess 식각은 p-HEMT 소자 제작에 있어 신뢰성 있는 data 확보가 가능함을 보여준다.



(a)



(b)

그림 4. 게이트 길이 0.6 μ m, 넓이 120 μ m인 GaAs p-HEMT의 DC 특성
(a) 전압 - 전류 특성 (V_g , start=0.3V, V_f , step=-0.3V)
(b) 전달 컨덕턴스($V_d=2V$)

$I_{dss} = 90\text{mA/mm}$ $G_m = 190\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.7\text{ V}$	$I_{dss} = 107\text{mA/mm}$ $G_m = 206\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.9\text{ V}$	$I_{dss} = 120\text{mA/mm}$ $G_m = 222\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.8\text{ V}$
$I_{dss} = 136\text{mA/mm}$ $G_m = 244\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.7\text{ V}$	$I_{dss} = 137\text{mA/mm}$ $G_m = 218\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.9\text{ V}$	$I_{dss} = 135\text{mA/mm}$ $G_m = 268\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.8\text{ V}$
$I_{dss} = 160\text{mA/mm}$ $G_m = 213\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.8\text{ V}$	$I_{dss} = 14\text{mA/mm}$ $G_m = 285\text{mS/mm}$ $V_{th} = -0.7\text{ V}$	$I_{dss} = 181\text{mA/mm}$ $G_m = 213\text{mS/mm}$ $V_{th} = -1.1\text{ V}$

그림 5. 제작이 완료된 p-HEMT의 DC 특성 분포

4. 결 론

Spin processor에 의해 게이트 recess 식각을 하였으며, 저 잡음 p-HEMT 제작 결과 웨이퍼 전면에 균일한 DC 특성을 얻을 수 있었다. S. I GaAs를 spin processor를 이용하여 암모니아 계로 식각한 결과 식각률은 22~24Å/sec 이었으며, 3% 이내의 run-to-run 재현성을 나타내었다. 제작된 소자는 포화 전류 Idss는 135~180mA/mm 이고, 드레인 전압이 2V일 때의 전달 컨덕턴스는 190~260mS/mm, 문턱 전압 Vth는 -0.7 ~ -1.1V의 균일한 값을 웨이퍼 전체에 걸쳐 나타내고 있어 Spin processor를 이용한 Gate recess 방법이 기존의 dipping 방법보다 유효한 특성을 보여 균일성 및 재현성을 확보할 수 있어 신뢰성 있는 p-HEMT 소자의 제작이 가능함을 보였다.

참고 문헌

- [1]. C. F Cempbell, RF IC Sympo pp 195-198 1998.
- [2]. K. Yhland, N Korsman, and N. H. G. Zirath, "T-MTT" part II, pp 2863-2866. 1995.
- [3]. I. Angclov, H. Zirath and N. Korsman, "MTT-S", Val III, 1571-1574. 1994.
- [4]. S. Weinreb. E. Fischer, B. Kane N, Byer, and M Zimmerman, "MCS", 25-28, 1995.
- [5]. 김송강, 조현룡, 이덕형. "HMML06 Lib. ver2.0", 현대전자. 1995.
- [6]. 김송강, 조현룡, 이덕형, 임승무. "초고주파 집적 회로(MMIC)개발", 국방과학연구소, 1995.