

논문 2001-10-5-04

## NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 혼합액을 이용한 GaAs 의 습식식각 특성 연구 및 이를 이용한 부유된 사각형 단면을 가지는 GaAs 미세구조물의 제작 방법

김종팔\*, 박상준\*, 백승준\*, 김세태\*, 구치완\*, 이승기\*\*, 조동일\*

### Wet-etching Properties of GaAs Using NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O Mixed Solution and Its Application to Fabrication Method for Released GaAs Microstructures with Rectangular Cross Section

Jongpal Kim\*, Sangjun Park\*, Seung-Joon Paik\*, Setae Kim\*,

Chiwan Koo\*, Seung-Ki Lee\*\*, and Dong-il "Dan" Cho\*

#### 요 약

본 연구에서는 NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 식각액을 이용하여 GaAs의 식각 특성을 파악하였으며, (001) GaAs 기판을 이용한 사각형 단면을 가지는 GaAs 미세구조물의 제작방법을 개발하였다. 먼저 결정방향별 습식식각 특성을 파악하기 위해 16가지 조성에 대한 NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 식각액의 식각률 및 식각 단면 형상과 5가지 조성에 대한 언더컷률에 관한 자료를 구하였다. 본 실험을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 새로운 GaAs 마이크로머시닝 방법을 제시하고, 이를 이용하여 사각형 단면을 가지는 브리지 형태의 부유된 구조물을 제작하였다. 개발된 빔 부유 공정은 RF 구성요소인 저손실 및 고가변 정전용량기 제작에 유용하며, 또한 광송수신부와 미러 집적화에도 적용가능성을 지닌다.

#### Abstract

In this research, we investigate wet-etching properties of GaAs in NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, and develop the fabrication method of GaAs microstructures with rectangular cross section using (001) GaAs substrate. For obtaining wet-etching properties with respect to crystallographic orientation, the etch rates and cross-section etch profiles of (001) GaAs with 16 different compositions and the undercut rates with 5 different compositions are measured using NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O mixed solutions. From these experimental data, a new GaAs micromachining method in bulk (001) GaAs is proposed, and used to fabricate a released microbridges with a rectangular cross section. The developed GaAs micromachining method can be very useful for low-loss, highly-tunable capacitors for RF components and for integration with GaAs optical components.

#### 1. 서 론

\* 서울대학교 전기·컴퓨터공학부, ASRI/ISRC/ERC-NBS(School of Electrical Engineering and Computer Science, ASRI/ISRC/ERC-NBS, Seoul National University)

\*\* 단국대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Dankook University)  
<접수일자 : 2001년 4월 10일>

미세전기기계시스템(MEMS: microelectromechanical systems)에서 기판 및 구조물의 재료로써 주로 실리콘을 이용한 연구가 많이 진행되었는데, 이는 기존의 실리콘 반도체 공정 및 장비를 MEMS 공정에 그대로 적용할 수 있고, 실리콘의 기계적 특성이 우수하며, 기판 가격이

저렴하다는 장점에 기인한 것이다. 이에 비하여 GaAs는 실리콘에 비하여 많은 장점을 지니고 있으나 이를 이용한 미세가공에 대한 연구가 미미한 실정이다.

표 1. GaAs의 전기 및 기계적 성질.  
Table 1. Electrical and mechanical properties of GaAs.

Properties	Si	GaAs
Atoms/cm <sup>3</sup>	5.0 x 10 <sup>22</sup>	4.42 x 10 <sup>22</sup>
Atomic weight	28.09	144.63
Breakdown field [V/cm]	~ 3 x 10 <sup>5</sup>	~ 4 x 10 <sup>5</sup>
Crystal structure	Diamond	Zincblende
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	2.33	5.32
Dielectric constant	11.9	13.1
Energy bandgap [eV]	1.12	1.424
Intrinsic resistivity [W-cm]	2.3 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>8</sup>
Electron mobility (drift) [cm <sup>2</sup> /V/s]	1500	8500
Young's modulus [GPa]	E <sub>(100)</sub> = 130.2 E <sub>(110)</sub> = 168.9 E <sub>(111)</sub> = 187.5	E <sub>(100)</sub> = 82.3 E <sub>(110)</sub> = 121.3 E <sub>(111)</sub> = 141.2
Piezoelectric coefficient [pm/V]	0	d <sub>14</sub> = 2.69

표 1에 실리콘과 GaAs의 기본물성을 비교하였다<sup>(1)</sup>. 실리콘에 비하여 GaAs는 높은 전하이동도 (electron mobility)와 포화속도 (saturate drift velocity)를 갖고, 열적 안정성이 우수하며, 진성 (intrinsic) GaAs 기판은 준부도체 (semi-insulating) 상태의 높은 저항을 갖는

등의 장점을 지닌다. 높은 전하이동도와 포화속도를 갖는 특성으로 GaAs 반도체는 수십 GHz 영역의 고주파 대역에서 동작하는 고속 집적 회로의 제작에 이용되어 왔다. 또한 준부도체 상태의 높은 저항을 갖는 특성은 기판 전류손실을 크게 줄여 고주파 회로 소자들이 일체화·집적화된 회로 (MMIC : monolithic microwave integrated circuit)의 제작을 가능하게 한다. 이러한 이유로 GaAs 반도체는 고주파 통신용 부품 제작의 핵심 부품 기술로서 그 위치를 확보하였다. 또한 GaAs는 직접 천이 (direct bandgap)의 특성이 있어 가시광선 영역에서의 발광원 및 수광원으로 쓰이는 레이저다이오드, 포토다이오드 및 LED (Light Emitting Diode) 등의 제작에도 많이 이용되어 왔다. 따라서 이러한 GaAs의 장점을 바탕으로 GaAs 미세가공기술을 응용할 경우 GaAs 기존 소자의 성능을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 고주파 및 광 응용의 새로운 기능을 가지는 소자 제작이 가능할 것으로 기대된다. 이에 기반기술로서 본 연구에서는 수산화암모늄 계열 식각액을 이용한 GaAs의 습식식각 특성 및 사각형 단면을 가지는 GaAs 미세구조물 제작에의 응용에 관하여 연구하였다.

## II. GaAs의 습식식각 특성

대부분의 GaAs 식각액은 우선 표면을 산화시킨 후 그 산화막을 제거하는 순서로 작용한다. 일반적인 식각액의 구성은 산화제, 용해제, 및 희석제로 이루어져 있다. GaAs의 산화막은 양쪽성 물질이므로 산 및 염기 어느 것이나 용해제로 사용될 수 있다. 산화제로 사용되는 물질로는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 등이 있으며 용해제로는 NH<sub>4</sub>OH<sup>(2-7)</sup>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>(7, 8)</sup>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub><sup>(9, 10)</sup>, HF<sup>(11-13)</sup>, Br<sub>2</sub><sup>(14)</sup>, citric acid (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>)<sup>(15, 16)</sup>, HCl<sup>(17, 18)</sup> 등의 산·염기 물질이 있다. 또한 혼합용액의 농도 조절을 위해 희석제를 사용하는데 일반적으로 H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 등을 사용한다. 기타 물질들 중에서 CH<sub>3</sub>COOH는 약산으로써 반응성이 약하기 때문에 강산에 섞어서 버퍼용액으로 희석시키는데 사용하며, NaOCl<sup>(19)</sup>은 산화 및 용해 작용을 동시에 하므로 단독으로 사용하거나 다른 용해제와 혼합하여 사용하기도 한다.

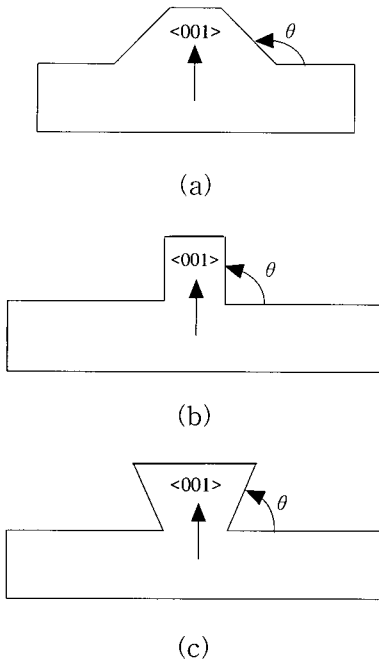


그림 1. GaAs의 전형적인 식각 단면 형상  
Fig. 1. Typical etch cross-section profile of GaAs

위에서 언급한 식각액에 의한 (001)GaAs에서 나타나는 대표적인 식각단면의 형상은 그림 1과 같다. 식각액에 따라서 그림 1의 (a), (b), 및 (c)의 세가지 형상이 모두 나타나기도 하며 (a)의 형상만을 갖기도 한다. 염산 계열, 브롬 계열, NaOCl 계열 및 염화암모늄 계열의 식각액에서 그림 1의 (a), (b), 및 (c)의 형상을 모두 가지는데, 식각면의 거칠기, 식각경사면과 식각기판면의 경계 형태, 및 독성 등을 고려하여 수산화암모늄 계열 식각액을 연구대상으로 선택하였다.

수산화암모늄 계열 식각액에 관하여는 다음과 같은 기존의 특성 연구결과가 발표된 바 있다. 프린스턴 대학의 Gannon 등은 GaAs의 도펀트 종류와 도핑농도에 따른 식각률을 연구하였으며, 일정한 조성비를 가지는 수산화암모늄과 과산화수소의 절대 농도에 따른 식각률에 관하여 연구하였다<sup>[2]</sup>. 벨 연구소의 Lepore 등은  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 에서 Al의 비율이 증가함에 따라 식각률이 급격히 감소함을 밝혔다<sup>[3]</sup>. 모토롤라사의 Kenefick은 식각액의 산도와 지그 재질에 따른 식각률을 연구하였다<sup>[4]</sup>. 스탠포드 대학의

Hill 등은  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 의 In 농도에 따른 식각률과 온도에 따른 식각률을 연구하였다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는  $\text{NH}_4\text{OH}-\text{H}_2\text{O}_2-\text{H}_2\text{O}$  혼합액의 GaAs <001> 방향 식각률, 단면 식각 프로파일, 언더컷 특성 및 언더컷률에 관하여 연구하였다. 습식식각은 30 wt% 수산화암모늄, 30 wt% 과산화수소, 및 물로 구성된 식각액을 이용하여 18 °C에서 수행되었으며, 식각액 총량은 항상 500 ml로 고정하였다.

### 1. 식각액 조성에 따른 <001>방향 식각률

수산화암모늄 및 과산화수소의 16가지 조성에 따른 <001> 방향 식각률을 표 2에 정리하고, 이를 그림 2에 3차원으로 도시하였다.

표 2. 식각액 조성에 따른 <001> 방향 식각률.  
Table 2. <001>-directional etch rate with respect to etchant combination.

30 wt% $\text{H}_2\text{O}_2$ [ml]	30 wt% $\text{NH}_4\text{OH}$ [ml]	$\text{H}_2\text{O}$ [ml]	(001) etch rate [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]
5	5	490	0.12
25	25	450	0.60
25	140	335	2.49
25	250	225	2.78
25	360	115	2.61
25	475	0	1.96
140	25	335	0.72
140	140	220	2.11
140	250	110	3.38
140	360	0	4.80
250	25	225	0.57
250	140	110	1.53
250	250	0	1.92
360	25	115	0.49
360	140	0	0.71
475	25	0	0.24

식각률은 조성에 따라 최소 0.12  $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서 최대 4.80  $\mu\text{m}/\text{min}$  사이의 값을 가진다. 일반적으로 과산화수소의 농도가 높아질수록 식각율은

증가하나 식각 균일도와 표면거칠기가 나빠지고, 반대로 낮아질수록 식각율은 감소하지만 식각 균일도와 표면거칠기는 좋아진다. 여러 조성비 중에서 30 %wt H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 30 %wt NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O = 25 ml : 25 ml : 450 ml 인 식각액에서 비교적 좋은 식각 균일도와 표면거칠기를 보이며 0.6 μm/min 의 식각율을 보인다.

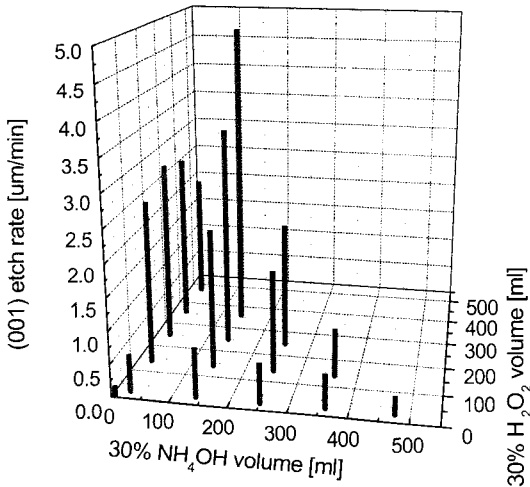


그림 2. <001> 방향 식각률.  
Fig. 2. Etch rates in <001>.

**2. 결정방향별 언더컷률**

결정 방향별 언더컷률은 그림 3(a)의 웨곤휠을 이용하여 측정하였다. 일반적으로 알려진 바와 같이 <110>, <100>, 및 <110> 방향 빔의 단면 프로파일이 각각 그림 3의 (b), (c), 및 (d)와 같은 형태를 보인다. 식각경사면과 식각기판면은 각각 <110>, <100>, 및 <110> 방향 빔의 경우 137°, 90°, 및 74°를 이룬다. 웨곤휠의 각 방향별 언더컷률을 측정하여 정리하면 그림 4와 같은 나비모양의 형태를 지닌다. 일반적으로 <110> 방향에서 <100> 방향으로 갈수록 언더컷률이 증가하고, <100> 방향에서 최대가 되며, 다시 <110> 방향으로 갈수록 언더컷률이 감소한다. 다섯가지 조성에 대한, <110> <110>, 및 <100> 방향별 언더컷률을 정리하여 표 3에 정리하였고, 방향별 언더컷비를 그림 5에 도시하였다. 식각액 조성 30 %wt H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 30 %wt NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O = 25 ml : 25 ml : 450 ml

에서 <100>/<110> 언더컷비 3.97, <110>/<110> 언더컷비 1.49의 값을 갖는다

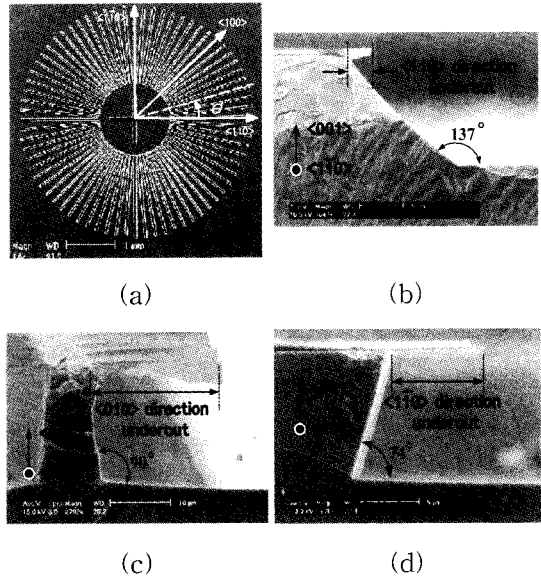


그림 3. 결정 방향에 따른 빔 단면 (a) 웨곤휠, (b) <110> 방향 빔 단면, (c) <100> 방향 빔 단면, (d) <110> 방향 빔 단면.

Fig. 3. Beam cross-section as a function of crystallographic orientation (a) wagon wheel, (b) cross section of <110>-directional beam, (c) cross section of <100>-directional beam, (d) cross section of <110>-directional beam.

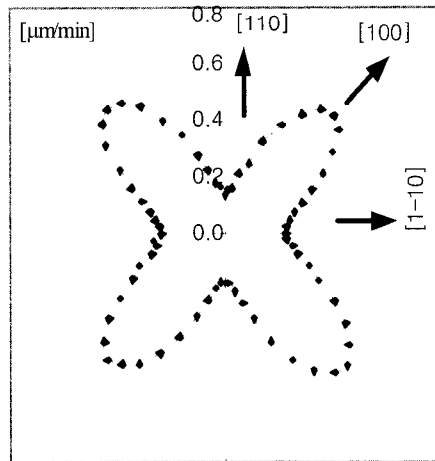


그림 4. (001) GaAs 에서의 언더컷률.  
Fig. 4. Undercut rates on (001) GaAs.

표 3. 식각액 조성에 따른 주요 결정 방향의 언더컷률.

Table 3. Undercut rate of dominant crystallographic orientation with respect to etchant combination.

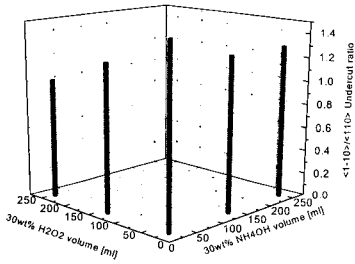
Composition*	A	B	C	C/B	A/B
25:25:450	0.23	0.16	0.62	3.97	1.49
25:140:335	0.85	0.69	2.21	3.07	1.23
25:250:225	1.15	1.16	2.29	1.98	1.00
140:25:335	0.30	0.24	0.69	2.92	1.29
250:25:225	0.23	0.18	0.54	2.99	1.28

\* 30 wt% NH<sub>4</sub>OH : 30 wt% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O

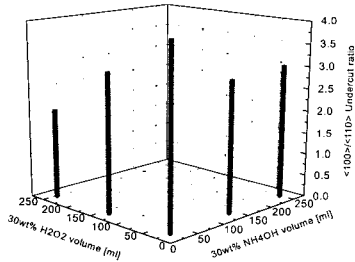
A: <110>-directional undercut rate [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]

B: <110>-directional undercut rate [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]

C: <100>-directional undercut rate [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]



(a)



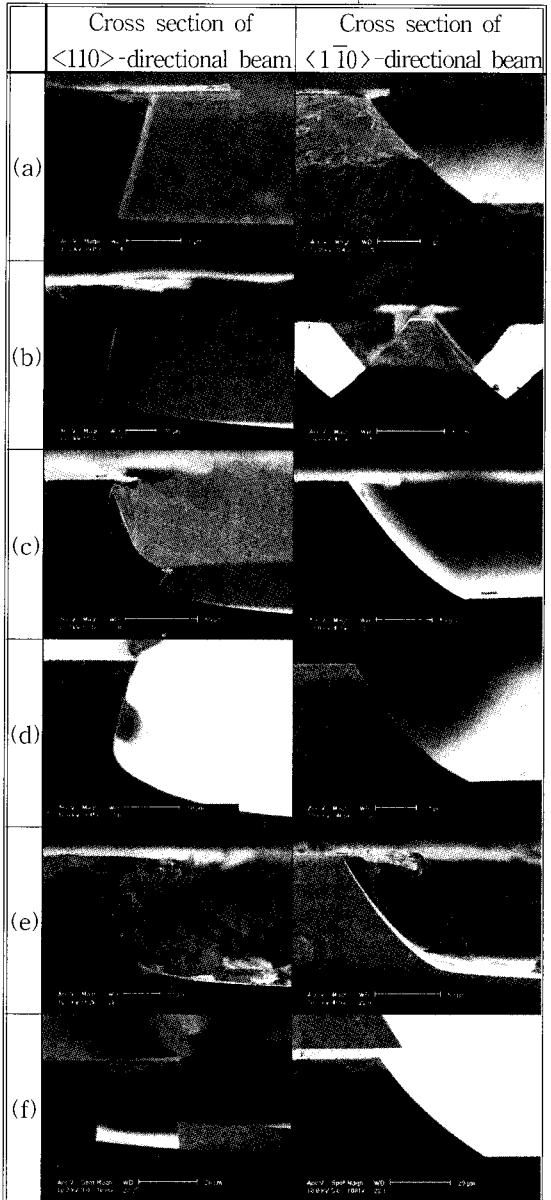
(b)

그림 5. <110>, <110>, 및 <100> 방향간의 언더컷비, (a) <110>/<110> 언더컷비, (b) <100>/<110> 언더컷비

Fig. 5. Undercut ratios between <110>, <110>, and <100>-directions, (a) <110>/<110> undercut ratio, (b) <100>/<110> undercut ratio

### 3. 조성에 따른 식각 단면 프로파일

조성에 따른 식각 단면 프로파일이 그림 6에 정리되었다. <110> 방향 단면 프로파일은 식각액 조성과 상관없이 항상 같은 단면을 보여준다. 그러나 <110> 방향 법 단면 프로파일의 경우 수산화암모늄의 양을 25 ml로 고정시키고 과산화수소의 양을 증가시키에 따라 식각경사면과 식각기판면 경계부분이 완곡화됨을 볼 수 있다. 반대로 과산화수소의 양을 25 ml로 고정시키고 수산화암모늄의 양을 증가시켜 보았을 때 <110> 방향 단면 프로파일은 크게 변함이 없다.



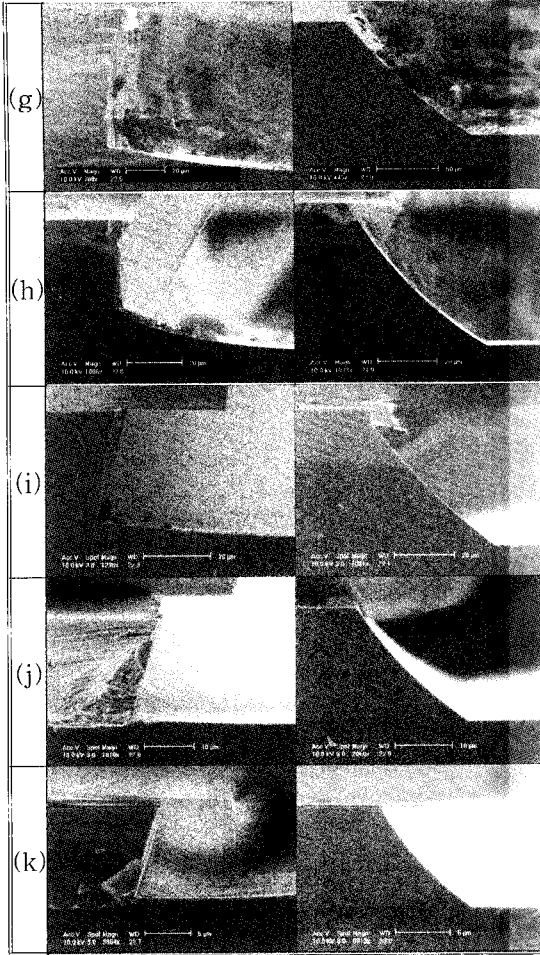


그림 6. 식각액 조성별 단면 프로파일.  
 Fig. 6. Profiles of cross section with respect to etchant compositions.

- 30wt%NH<sub>4</sub>OH[m] : 30wt%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>[m] : H<sub>2</sub>O[m] =
- (a) 25 : 25 : 450, (b) 25 : 140 : 335
  - (c) 25 : 250 : 225, (d) 25 : 360 : 115
  - (e) 25 : 475 : 0, (f) 140 : 25 : 335
  - (g) 140 : 140 : 220, (h) 140 : 250 : 110
  - (i) 250 : 25 : 225, (j) 360 : 25 : 115
  - (k) 475 : 25 : 0

### III. 미세구조물 제작

GaAs 습식식각 특성상 미세가공기술 구조물 중 가장 간단한 형태인 브리지는 <100> 방향과 <110> 방향 사이의 구간에서만 가능하다. 그림 7은 부유직전의 <110> 방향 빔의 단면 사진이

다. <110> 방향 빔은 GaAs 식각특성상 식각경사면이 기판식각면과 74°를 이루므로 <001> 방향으로 식각을 진행함에 따라 자연스럽게 부유된다. 이때 부유되는 빔폭과 두께는 간단히 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 Chong 등은 열전쌍형 적외선 센서에 역삼각형 단면을 가지는 <110> 방향 미세브리지를 제작하였다<sup>[20]</sup>.

$$w_1 = 2h_1 \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right) \quad (1)$$

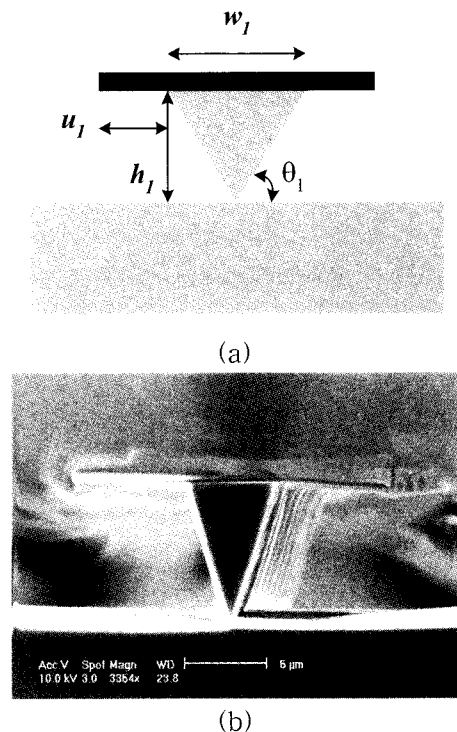


그림 7. <110> 방향 빔의 부유, (a) 주요 파라미터, (b) 부유직전의 빔 단면.  
 Fig. 7. <110>-directional beam releasing (a) dominant parameters, (b) beam cross-section just before releasing.

한편 <110> 방향 빔의 단면은 역삼각형의 형태를 지니므로 그 응용 범위에 제한이 따르게 된다. 반면 <100> 방향 빔의 식각단면은 기판면과 수직이므로 이러한 성질을 이용할 경우 사각단면을 가지는 빔을 부유시킬 수 있다. 본 논문에서 처음으로 습식식각을 이용하여 사각단면을 가지는 GaAs의 빔을 제작하였으며 그 공정 순서는

그림 8과 같다. PECVD 저응력 질화막을 증착한 후 사진묘화공정을 거쳐 이를 패터닝하면 습식식각될 GaAs 기판면이 드러나도록한다. 이후 두 번째 습식식각으로 ( $h_1 + h_2$ ) 만큼 <001> 방향으로 식각하면 그림 8(d)와 같이 ( $h_1 - h_3$ )의 두께를 갖는 사각단면의 빔 구조물을 제작할 수 있다. 그림 8에서의 공정 변수와 부유될 빔폭과 두께의 관계는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} w &= D - 2h_1 \\ t &= h_1 - h_2 \end{aligned} \quad (2)$$

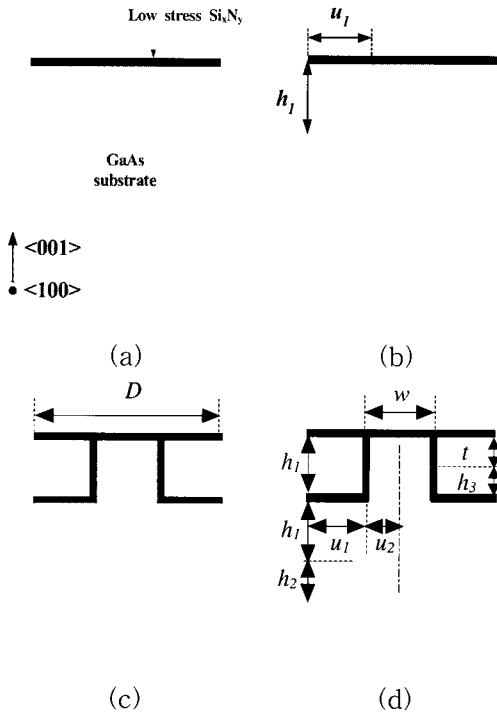


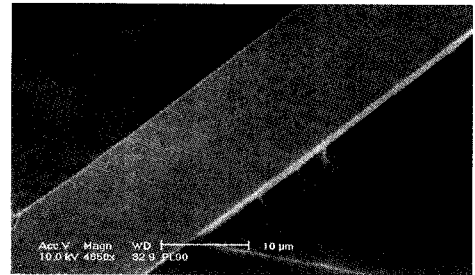
그림 8. 미세브리지제작을 위한 <100> 방향 빔 부유 공정도 (a) 질화막 패터닝, (b) 첫번째 습식식각, (c) 벽면보호, (d) 두번째 습식식각.

Fig. 8. Process for releasing beams in <100> directions for microbridge fabrication (a) nitride patterning, (b) first wet etch, (c) sidewall passivation, (d) second wet etch.

그림 9는 부유된 <100> 방향 빔의 SEM 사진과 뒷면 SEM 사진이다. 부유된 빔의 폭은 17 $\mu$ m, 두께는 4  $\mu$ m, 길이는 4 mm 이다.



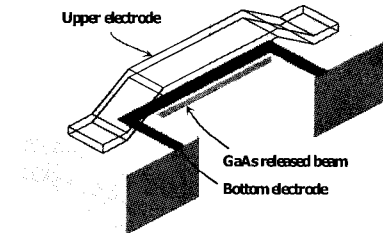
(a)



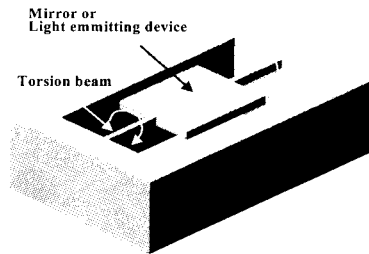
(b)

그림 9. 부유된 <100> 방향 빔, (a) 부유된 <100> 방향 빔, (b) 부유빔의 뒷면.

Fig. 9. Released beams in <100> directions, (a) Released beams in <100>, (b) backside of the released beam.



(a)



(b)

그림 10. GaAs 미세 가공의 응용, (a) RF 응용, (b) 광 응용.

Fig. 10. Applications of GaAs micromachining, (a) RF application, (b) optical application.

이상에서 개발된 빔의 부유기술은 그림 10(a)와 같이 MMIC와 함께 적용할 경우 Q (quality factor) 및 튜닝범위가 개선된 RF 필터나 VCO (Voltage-controlled oscillator) 에 응용될 수 있을 것이다. 또는 그림 10(b)와 같이 레이저 및 LED(Light emitting diode) 와 같은 발광부나 광검지기와 같은 수광부와 함께 부유빔이 집적화될 경우 미러를 거치지 않아도 되므로 효율 높은 광시스템이 기대된다.

#### IV. 결 론

GaAs 물체미세가공기술 개발을 위해 NH<sub>4</sub>OH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 식각액의 조성별 식각율과 결정방향별 식각 특성 및 언더컷 특성을 연구하였다. 실험결과 조성에 따라 0.12 μm/min ~ 4.80 μm/min 의 <001> 방향 식각율을 보였으며, 30%wt H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 30%wt NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O = 25 ml : 25 ml : 450 ml 식각액에서 좋은 식각 특성을 보였다. 또한 얻어진 데이터를 이용하여 사각형 단면을 가지는 폭 17μm, 두께 4 μm 및 길이 4 mm의 GaAs 브리지를 제작하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부와 과학기술부가 주관하는 초소형정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다. 저자의 일부 (김종팔, 박상준, 백승준, 김세태, 구치완) 는 두뇌한국21사업에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

[1] S. M. Sze, Semiconductor sensors, John Wiley & Sons, Inc., 1994.  
 [2] J. J. Gannon, C. J. Nuese, "A chemical etchant for the selective removal of GaAs through SiO<sub>2</sub> masks," J. Electrochem. Soc., Vol. 121, No. 9, p. 1215, Sep. 1974.

[3] J. J. Lepore, "An improved technique for selective etching of GaAs and Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As," J. Appl. Phys., Vol. 51, No. 12, p. 6441, Dec. 1980.  
 [4] K. Kenefick, "Selctive etching characteristics of peroxide/ammonium-hydroxide solutions for GaAs/Al<sub>0.18</sub>Ga<sub>0.84</sub>As," J. Electrochem. Soc., Vol. 129, No. 10, p. 2380, Oct. 1982.  
 [5] S. H. Jones, D. K. Walker, "Highly anisotropic wet etching of GaAs using NH<sub>4</sub>OH:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O," J. Electrochem. Soc., Vol. 137, No. 5, p. 1653, May 1990.  
 [6] D. G. Hill, K. L. Lear, J. S. Harris, Jr., "Two selective etching solutions for GaAs on InGaAs and GaAs/AlGaAs on InGaAs," J. Electrochem. Soc., Vol. 137, No. 9, p. 2912, Sep. 1990.  
 [7] GaAs 반도체 소자 공정기술 연구 (Study on GaAs Semiconductor Process Technology), 주관연구소 한국전자통신연구소, 협동연구기관 한국과학기술원, 과학기술처 특정연구개발사업, 1986.  
 [8] A. Grub, K. Fricke and H. L. Hartnagel, "Highly controllable etching of epitaxial GaAs layers by the pulse etching method," J. Electrochem. Soc., Vol. 138, No. 3, p. 856, Mar. 1991.  
 [9] A. Raman, S. Kapoor, S. Prabhakar, R. Gulati and I. Chandra, "Study of mesa undercuts in GaAs with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> based etchant," J. Electrochem. Soc., Vol. 136, no. 8, p. 2405, Aug. 1989.  
 [10] Y. Mori, and N. Watanabe, "A new etching solution system, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, for GaAs and its kinetics," J. Electrochem. Soc., Vol. 125, no. 9, p. 1510, Sep. 1978.  
 [11] X. S. Wu, L. A. Coldren, and J. L.

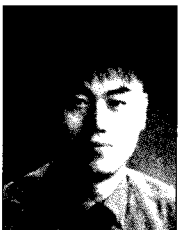


- Merz, "Selective etching characteristics of HF for Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As/GaAs," *Electro. Lett.*, Vol. 21, No. 13, p. 558, June 1985.
- [12] E. Yablonovitch, T. Gmitter, I. P. Harbison, and R. Bhat, "Extreme selectivity in the lift-off of epitaxial GaAs films," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 51, No. 26, p. 2222, Dec. 1987.
- [13] K. Bock, A. Grub and H. L. Hartnagel, "Improved thinning of GaAs substrates by wet chemical etching," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 137, No. 10, p. 3301, Oct. 1990.
- [14] Y. Tarui, Y. Komiya, Y. Harada, "Preferential etching and etch profile of GaAs," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 118, p. 118, 1971.
- [15] C. Juang, K. J. Kuhn, and R. B. Darling, "Selective etching of GaAs and Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As with citric acid/hydrogen peroxide solution," *J. Vac. Sci. Technol., B*, Vol. 8, No. 5, p. 1122, 1990.
- [16] G. C. DeSalvo, W. F. Tseng, and J. Comas, "Etch rate and electivities of citric acid/hydrogen peroxide on GaAs, Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As, In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As, In<sub>0.53</sub>Al<sub>0.47</sub>As and InP," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 139, No. 3, p. 831, Mar. 1992.
- [17] S. Adachi and K. Oe, "Chemical Etching of GaAs," *J. Electro-chem. Soc.*, Vol. 131, No. 1, p. 126, 1984.
- [18] J. R. Flemish and K. A. Jones, "Selective wet etching of GaInP, GaAs and InP in solutions of HCl, CH<sub>3</sub>COOH and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 140, No. 3, p. 844, 1993.
- [19] A. Khoukh, S. K. Krawczyk, R. Olier, A. Chabli and E. Molva, "Chemomechanical polishing and etching of GaAs: In and GaAs in Aqueous solutions of NaOCl," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 134, No. 7, p. 1859, 1987.
- [20] N. Chong, T. A. S. Srinivas, and H. Ahmed, "Performance of GaAs microbridge thermocouple infrared detectors," *J. Microelectromech. Sys.*, Vol. 6, No. 2, p. 136, 1997.

---

著 者 紹 介

---



김 중 팔(金鍾汎)

1972년 9월 2일 생.  
1995년 2월 중앙대학교 기계  
설계학과 졸업(공학사).  
1997년 2월 KAIST 기계공  
학과 대학원 졸업(공학석사).  
1999년 2월 서울대학교 전기

공학부 대학원 박사 과정 수료.



구 치 완(具治完)

1977년 3월 25일 생.  
2000년 2월 서울대학교 전기  
공학부 졸업(공학사).  
현재 서울대학교 전기 및 컴퓨  
터 공학부 대학원 석사과정.



**박 상 준(朴相俊)**

1974년 1월 10일 생.  
1997년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업(공학사).  
1999년 2월 서울대학교 전기공학부 대학원 졸업(공학석사).  
2001년 2월 서울대학교 전기

공학부 대학원 박사 과정 수료.

**이 승 기(李承起)**

1963년 5월 15일 생.  
1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사).  
1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사).  
1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).  
1992-1993년 일본 동북(東北)대학교 기계전자공학과 특별연구원(JSPS fellow).  
1994-현재 단국대학교 전기공학부 부교수.



**백 승 준(白承俊)**

1975년 6월 15일 생.  
1999년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업(공학사).  
2001년 2월 서울대학교 전기 및 컴퓨터 공학부 대학원 졸업(공학석사).

현재 서울대학교 전기 및 컴퓨터 공학부 대학원 박사과정.

**조 동 일(趙東日)**

1958년 6월 15일 생.  
1980년 카네기멜론대 졸업(공학사).  
1984년 MIT대 졸업(공학석사).  
1987년 MIT대 졸업(공학박사).  
1987-1993년 프린스턴대학교 기계항공공학과 조교수 역임.  
1993-현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 부교수.



**김 세 태(金世泰)**

1976년 6월 14일 생.  
1999년 8월 연세대학교 전기공학부 졸업(공학사).  
현재 서울대학교 전기 및 컴퓨터 공학부 대학원 석사과정.