

다양한 습식식각법을 이용한 (100), (110), (111) Si tip의 제작

¹박홍우, ²주병진, ³고 창기, ⁴홍순관, ⁵오영환, ⁶김철주

* 서울시립대학교 전자공학과 ** 한국과학기술연구원 정보전자 연구부

Fabrication of (100), (110), (111) Si Tips using Various Wet Etching Method

¹Heung-Woo Park, ²Byeong-Kwon Ju, ³Chang-Gi Ko, ⁴Soon-Kwan Hong, ⁵Myoung-Hwan Oh ⁶Chul-Ju Kim

* Seoul City Univ. Dept. Electronic Engineering

** KIST Div. Electronics and Information Technology

Abstract

(100), (110) and (111) Si wafers are etched by isotropic etching method, anisotropic etching method using KOH etchant and EPW etchant and combined two-step etching method to compare the results. Isotropic etching method is effective in fabrication of wedge-shaped tips, especially (110) Si. Anisotropic etching method of (100) Si using EPW etchant can fabricate sharp cone-shaped tips and isotropic etching after anisotropic etching of (100) Si can fabricate wedge-shaped tips.

각법과 등방성 용액을 이용하는 등방성 식각법[6], KOH 용액과 EPW 용액을 이용하는 비등방성 식각법[7,8], 두 방법을 혼합한 2단계 식각법[9], 재산화 방법[10] 등이 있다. Si 기판 위에 원뿔 모양의 tip을 제작하기 위한 방법은 많이 연구되었으나 켈기 모양의 tip을 제작하기 위한 연구는 거의 없었다. 본 연구에서는 등방성 식각법, EPW 용액과 KOH 용액을 이용한 비등방성 식각법, 두 식각법을 혼합한 2단계 식각법 등을 이용하여 (100), (110)과 (111)의 기판 방위를 가진 Si를 식각하여 각각의 결과들을 비교해 보고자 한다.

1. 서 론

발달된 IC 제조 기술을 이용하는, 전자발출원(electron source)으로서 전계 방출 음극(field emitter cathode)을 이용하는 미세 진공 소자가 새롭게 떠오르고 있다[1,2]. tip에서의 전계의 세기는 tip의 곡률과 tip-top과 양극(anode)사이의 거리에 의존하며 tip-top 부근에서 가장 크다[3]. tip의 밀도와 높이가 모두 높을수록 방출되는 전자가 많아져서 전계 방출 효율이 높아지겠지만 너무 tip들이 가까이 있으면 tip간의 상호 작용에 의하여 그 효율이 떨어지게 된다. tip의 밀도와 높이를 절충해야 하는데 높이고 밀도를 모두 높이려면 tip-top의 반경이 작고 폭지각이 작은 tip을 제작해야 한다. 같은 tip 반경과 tip-top과 양극간의 거리들 가진 때, 원뿔 모양의 tip은 켈기 모양의 tip보다 출력 전류가 더 크고 켈기 모양의 tip은 원뿔 모양의 tip보다 압력 의존성이 더 크다[3]. 켈기 모양의 tip을 이용하여 압력 센서를 제작할 때, 센서의 감도(sensitivity)와 동작 범위는 기판의 두께와 양극의 크기를 바꾸어서 조절 가능하고 유효 전계 방출 길이들 증가시키면 tip-top의 반경이 작아야하는 요구를 줄일 수 있다. tip의 모양으로는 원뿔(cone) 모양과 켈기(wedge) 모양이 주로 사용되고 응용 분야로는 평판 표시 소자, 압력 센서, 가속도 센서 등이 있다[4,5]. Si tip을 제작하기 위한 Si의 식각 방법에는 RIE, plasma 등을 이용하는 전식 식

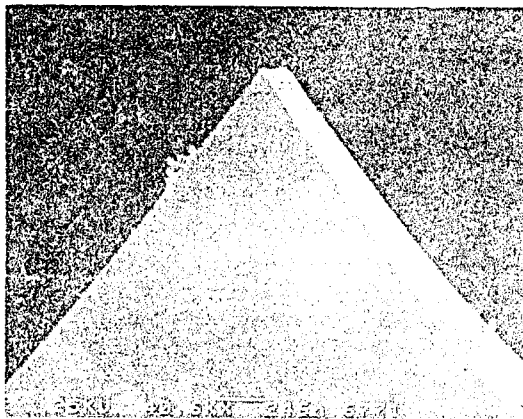
2. 실험방법

35×35 개의 tip을 가지는 전계 방출 전극이 (100), (110)과 (111) Si 기판 위에 식각마스크로서 2000Å의 전식 산화막을 이용하여 제작되었다. 각각의 tip은 5μm×7μm의 크기를 하고 있으며 (110)면에 수직 또는 수평으로 정렬되었다. (100) Si를 등방성 용액으로 등방성 식각을 하였고, KOH 용액과 EPW 용액으로 각각 비등방성 식각을 하였다. 또, KOH 용액과 EPW 용액으로 비등방성 식각을 한 후에 등방성 식각을 하였으며, 등방성 식각을 한 후에 KOH 용액으로 비등방성 식각을 하였다. 그리고, (111) Si를 등방성 식각용액으로 등방성 식각을 하였고 EPW 용액을 이용하여 비등방성 식각을 하였다. 또, (110) Si에 대하여 등방성 용액으로 등방성 식각을 하였다. 식각이 끝난 모든 시료에 대하여 BHF 용액으로 산화막을 제거한 후에 SEM으로 관찰하여 tip의 특성을 평가하였다. 본 연구에서는 등방성 식각액[6]으로 HF : CH₃COOH : HNO₃ = 2 : 3 : 95를 사용하였고 비등방성 식각액[7,8]으로는 Ethylenediamine : Pyrocatechol : Water : Pyrazine = 1000ml : 320g : 320ml : 6g과 KOH : H₂O = 50g : 100ml를 사용하였다. 식각온도는 등방성 식각에서 약 27°C, 비등방성 식각에서 EPW 용액이 105~110°C이고 KOH 용액이 50°C이다. 비등방성 식각

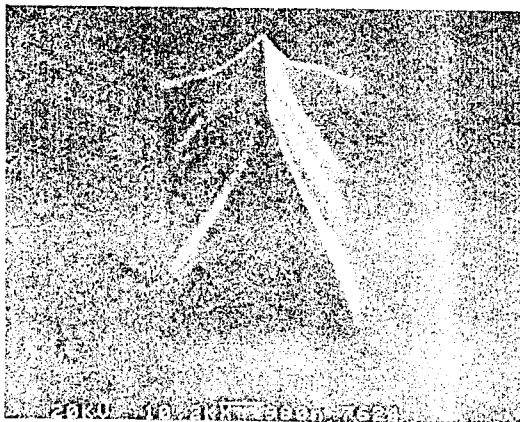
에서 식각온도를 일정하게 유지하기 위하여 물중탕을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림1은 (100) Si을 동방성 식각액으로 식각한 경우의 SEM사진이다. 그림1(a)는 16분동안 식각한 경우의 tip의 끝부분으로서 쐐기 모양을 하고 있으며, tip의 꼭지각, 높이, 유효 전계 방출 길이가 각각 68° , $3.36\mu\text{m}$, $1.6\mu\text{m}$ 이고 균일성은 아주 우수하다. 그림1(b)는 초음파 진동을 가한 상태에서 7분동안 식각한 경우로서 tip의 꼭지각, 높이, 유효 전계 방출 길이가 각각 50° , $1.4\mu\text{m}$, $1.5\mu\text{m}$ 이고 균일성은 우수하다. 그림2는 (100) Si을 비동방성 식각액으로



(a) no agitation

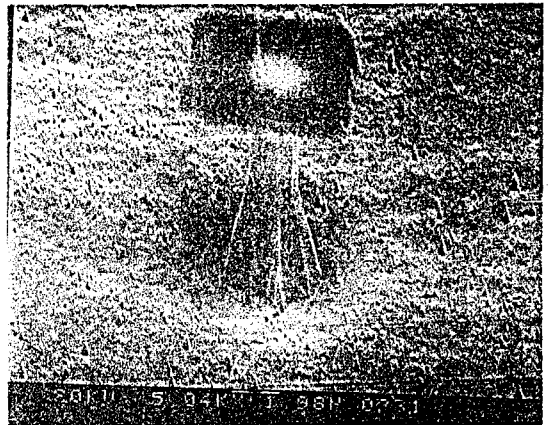


(b) with ultrasonic agitation

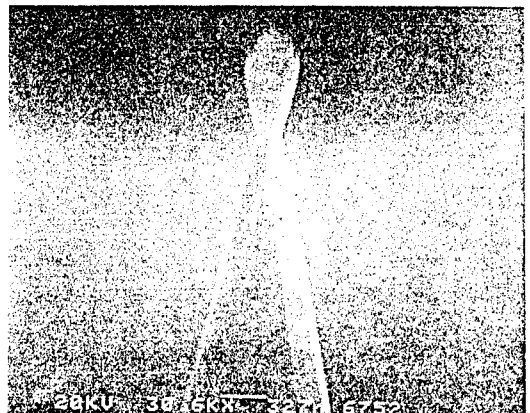
그림1. Isotropic etching of (100) Si

식각한 경우의 SEM사진이다. 그림2(a)는 KOH 용액으로 12분 동안 식각한 경우로서 tip 끝부분이 거동모양을 하고 있다. 식

각시간을 12분 이상으로 증가시키도 tip의 끝부분이 뾰족해지지 않는 것을 알 수 있으며 표면이 거칠고 균일성이 매우 안 좋을 것을 알 수 있다. 그림2(b)는 EPW 용액으로 4분 30초동안 식각한 경우로서 비동방성 식각액의 식각특성때문에 잘록하게 들어간 부분이 형성된 것이다[11]. 꼭지각은 30° 로서 (100) Si을 동방성 식각하였을 때보다 작으며 높이는 $5\mu\text{m}$ 로서 더 높음을 알 수 있고 균일성은 우수하다. 그러나, (100) Si을 EPW 용액으로만 식각하였을 때는 식각특성 때문에 원뿔 모양의 tip은 제작할 수 있지만 쐐기 모양의 tip은 제작할 수 없다는 것을 알 수 있다. 그림3은 (100) Si을 2단계로 식각한 경우의 SEM사진이다. 그림3(a)는 KOH 용액으로 10분동안 식각하고 동방성 용액으로 3분동안 식각한 경우로서 KOH 용액만으로 식각한 경우보다 표면이 매우 깨끗함을 알 수 있고 tip의 높이가 낮으며 tip을 제어하기가 상당히 어렵다. 그림3(b)는 EPW 용액으로 3분동안 식각하고 동방성 식각액으로 1분동안 식각한 경우로서 tip의 꼭지각, 높이, 유효 전계 방출 길이는 각각 30° , $5\mu\text{m}$, $0.6\mu\text{m}$ 로서 약간의 과도 식각이 일어난 경우이다. 그러므로,

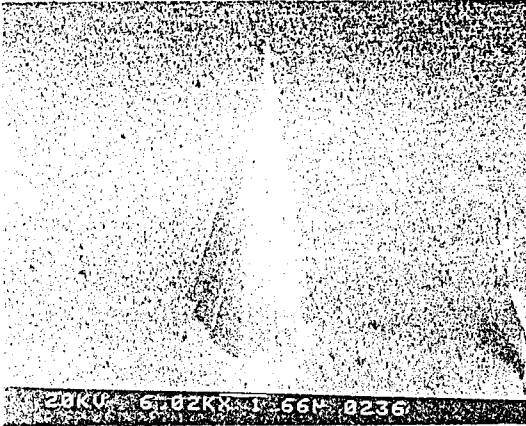


(a) KOH (12min)

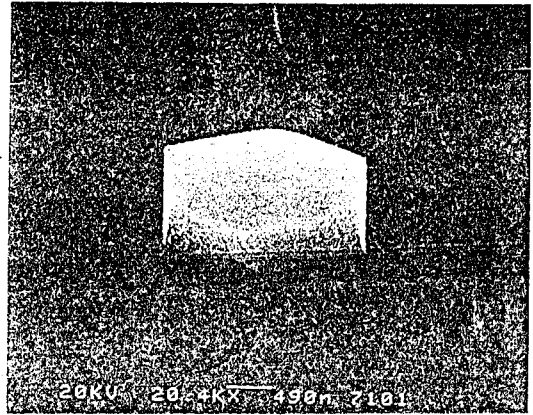


(b) EPW (3min 30sec)

그림2. Anisotropic etching of (100) Si

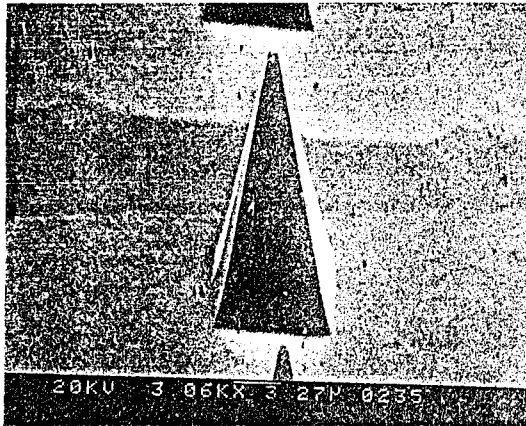


(a) KOH (10min) → Isotropic (3min)



(b) EPW (3min)

그림4. Etching of (111) Si



(b) EPW (3min) → Isotropic (1min)

그림3. 2-step etching of (100) Si

(100) Si을 EPW 용액으로 비등방성 식각을 하고서 등방성 식각액으로 마무리를 하면 뿔 모양의 tip을 제작할 수 있음을 알 수 있다. 그림4는 (111) Si을 식각한 경우의 SEM사진이다. 그림4(a)는 등방성 식각용액으로 14분동안 식각한 경우이고 tip의 꼭지각, 높이, 유효 전계 방출 길이가 각각 55° , $0.7\mu\text{m}$, $1.85\mu\text{m}$ 로서 유효 전계 방출 길이가 (100) Si을 등방성 식각액으로 식각한 경우보다 더 길다. 그림4(b)는 (111) Si을 EPW 용액으로 3분동안 식각한 경우인데 tip이 기둥 모양을 하고 있다. 식각시간을 증가시켜도 tip은 뾰족해지지 않고 높이가 낮아지기만 한다. 그림5는 (110) Si을 등방성 식각액으로 12분동안 식각한 경우의 SEM사진이다. tip의 꼭지각, 높이, 유효

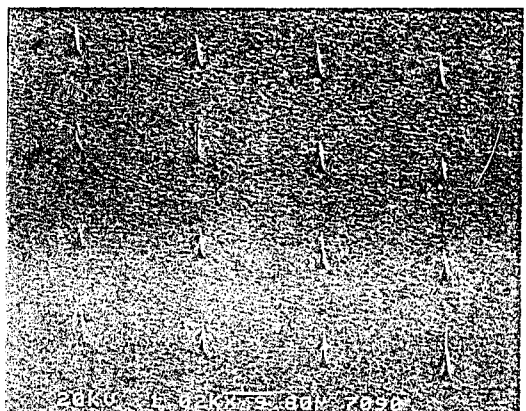


그림5. Isotropic etching of (110) Si (12min)



(a) Isotropic(14min)

전계 방출 길이가 각각 32° , $0.88\mu\text{m}$, $2.96\mu\text{m}$ 로서 (100) Si을 등방성 식각액으로 식각하였을 때보다 꼭지각이 절반정도이고 유효 전계 방출 길이는 약 2배 정도이다. 이상의 결과들을 표1에 나타내었으며 어떤 경우에도 뾰족한 tip이 형성된 이후에

는 tip의 높이가 급격히 감소하기 때문에 tip의 모양을 제어하기가 어렵다.

4. 결 론

(100), (110)과 (111) Si의 등방성 식각은 tip 끝의 폭이 좁고 꼭지각이 작은 쐐기 모양의 tip을 얻기 위한 효과적인 방법이다. 특히, (110) Si을 등방성 식각하면 유효 전계 방출 길이가 가장 긴 쐐기 모양의 tip을 얻을 수 있다. 또한, (100) Si을 EPW 용액으로 비등방성 식각하면 tip의 높이가 높고 꼭지각이 작으며 균일성이 우수한 원뿔 모양의 tip을 얻을 수 있다. 그리고, (100) Si을 EPW 용액만으로는 쐐기 모양의 tip을 얻을 수 없으나 등방성 식각용액을 이용하여 2단계로 식각하면 쐐기 모양의 tip을 얻을 수 있다. 그러나, tip의 꼭지각, 높이, 유효 전계 방출 길이와 tip-top의 반경 등과 같은 파라미터들간의 정확한 관계는 아직 연구 대상이다.

참고문헌

- [1] R.Green et al., IEDM Tech. Dig., 172(1985)
- [2] R.N.Thomas et al., Solid State Electronics, Vol. 17, 155(1974)
- [3] Hsein-Chung Lee et al., ED, Vol. 39, NO. 2, 313(1992)
- [4] C.A.Spindt et al., ED, Vol. 36, 225(1989)
- [5] T.Y.Bin et al., Sensors and Actuators, Vol. 11, 1(1987)
- [6] T.S.Ravi et al., J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 9, NO. 6, 2733(1991)
- [7] A Reisman et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 137, NO. 11, 3625(1990)
- [8] H.Seidel et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 137, NO. 11, 3612(1990)
- [9] P.C.Allen, Proc. 2nd Int. Conf. on Vacuum microelectronics, p 17, July(1989)
- [10] Johann T.Trujillo et al., J. Vac. Sci. Technol. B 11(2), 454 Mar/Apr(1993)
- [11] Donald.F.Weirauch, J. Appl. Phys., Vol. 46, NO. 4, 1478(1985)

표1. Optimum condition

Etching method		Etching time (min)	Tip height	Tip angle	Tip shape	Effective emission length	Tip uniformity
(100) Si	Isotropic	16	3.36 μm	68°	wedge	1.6 μm	very good
	Isotropic (Ultrasonic Agitation)	7	1.4 μm	50°	wedge	1.5 μm	good
	Anisotropic	4.5	5 μm	30°	cone	x	good
	KOH \rightarrow Isotropic	10 \rightarrow 3	x	x	Cone	x	poor
	EPW \rightarrow Isotropic	3 \rightarrow 1	5 μm	30°	Wedge	0.6 μm	good
(110) Si	Isotropic	12	0.88 μm	32°	wedge	2.96 μm	bad
(111) Si	Isotropic	14	0.7 μm	55°	wedge	1.85 μm	good
	Anisotropic	x	x	x	pillar	x	good