

단결정 Si 기판의 결정 의존성 식각에 의한 Knife형 Si tip array의 제조

정유호, 고창기, 김철주, 주병권, 오명환*

서울시립대학교 전자공학과, *한국과학기술연구원 정보전자연구부

Fabrication of Knife type Si tip array by orientation dependent etching of single silicon substrate

Yu Ho Jung, Chang Gi Ko, Chul Ju Kim, Byeong Kwon Ju, Myung Hwan Oh*
Dep. Electronic Engineering Seoul City Univ., *Div. Elect. & Inform. Tech., KIST

Abstract

In this study we fabricate Knife type Si-tip array using (110) Si wafer. We can fabricate vertical structure by anisotropic etching using EPW and observe it by SEM. After the step, we perform isotropic etching and oxidation sharpening of the structure and also observe it by SEM, respectively. The purpose of isotropic etching is to reduce the oxidation time. We attain a optimal tip whose radius is about 100Å after anisotropic etching 2.25 min. + isotropic etching 5 min. + oxidation 1 hour and 23 min.

I. 서론

지금까지 냉음극소자(cold cathode device)의 개발을 위해서 많은 다른 물질, 구조, 기술들에 대한 많은 연구들이 행해져왔다. 실리콘 전계방출소자는 금속 전계방출소자에 비해 전류밀도는 낮지만 제작이 간단하고 기존의 초고집적회로(VLSI)기술과 병목할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Silicon 에 비등방성 식각을 이용하여 groove 를 제작하거나 Knife-edge 형태의 수직구조물을 형성하면 solar cell¹⁾, amplifier²⁾, 마이크로센서³⁾ 등의 응용범위가 넓기때문에 많은 개발이 이루어지고 있다. Field emitter 를 제작하는 데 주로 사용되는 (100) 웨이퍼는 {100} 면과 {111} 면이 54.74° 의 각으로 교차하므로 에미터의 높이가 커지면 팁간의 거리가 늘어난다는 구조적 제한을 가지고 있다. 그러나 (110) 웨이퍼는 {110} 면과 {111} 면이 직각으로 교차하므로 수직 구조 형성시에 좁은 면적에 고밀도의 field emission array 를 만들 수 있다. 일반적으로 비등방성 식각을 이용하면 {110} 면의 식각율이 {111} 면의 식각율보다 수백배 이상 빠른 특성을 보인다.⁴⁾ 본 논문에서는 줄무늬 형태의 식각 마스크를 이용하여 거의 수직인 긴 막대구조를 형성시킨 후에 등방성 식각과 Oxidation sharpening 을

수행하여 knife 형태의 Si tip array⁵⁾ 를 제작하였다.

II. 실험

CZ growth method 로 성장되고 1~15 ohms·cm 의 저항율을 갖는 4인치 (110) 단결정 실리콘 웨이퍼를 전기로에서 건식산화(dry oxidation)법으로 1100°C 에서 산화시켜 약 2000Å 의 산화막을 형성하였다. {111} 면을 따라 slicing 된 시료위에 일반적인 사진식각공정을 거쳐 5µm 선폭에 10µm 간격을 가진 줄무늬 산화막 패턴을 형성하였다.

실리콘의 비등방성 습식식각을 수행하기 위한 식각용액으로 EPW (ethylene diamine [NH₂(CH₂)₂NH₂] 171 ml, pyrocatechol [C₆H₄(OH)₂] 54.72 g, water [H₂O] 54.72 ml, pyrazine [C₄H₄N₂] 1.026 g)를 사용하여 110~115 °C 에서 magnetic stirrer 로 agitation 시키면서 식각을 수행하여 주사전자현미경으로 관찰하였다. 이때 lateral 방향으로의 식각율을 알기위해 식각 마스크로 쓰인 산화막을 제거하지 않았다. 비등방성 식각후에 등방성 식각용액 (HF : CH₃COOH : HNO₃ = 2 : 3 : 95)으로 등방성 식각을 행한후에 주사전자현미경으로 관찰하고 이때에도 역시 같은 이유로 산화막을 제거하지 않았다. 이어서 oxidation sharpening⁶⁾ 을 수행하여 주사전자현미경으로 관찰하였다.

III. 결과 및 토의

그림 1 은 비등방성 식각만을 2분 15초 행한경우이다. 이때 높이는 1.76µm, 폭(width)은 3.16µm 정도의 수직구조물을 얻을 수 있었다.

그림 2(a) 는 비등방성 식각을 2분 15초 행한 후에 등방성 식각을 5분 행한 경우이며, 2(b) 는 비등방성 식각을 2분 45초 행한 후에 등방성 식각을 5분행한 경우이다. 모두 마스크로 쓰인 산화막을 남겨둔 상태이다. (a)에서는 높이 3.8µm에 폭 0.8µm 정도의 수직

구조물을 얻을 수 있었으며 (b)에서는 높이 4.2 μm 에 폭 0.3 μm 정도의 수직 구조물을 얻을 수 있었다. 이때 평균 식각율은 vertical 방향의 경우에 약 0.61 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이고 lateral 방향에서 비등방성 식각의 경우 약 0.11 $\mu\text{m}/\text{min}$, 등방성 식각의 경우 약 0.48 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다.

위의 실험에서 비등방성 식각 2분 15초에 등방성 식각을 5분 행한 경우의 수직 구조물의 폭이 0.8 μm 이고 좌우에서 동시에 oxidation 이 되므로 실제 sharpening 해야하는 양은 0.4 μm 임을 알 수 있다. 따라서 oxidation 시에 oxide 의 두께는 Si 쪽으로 45%, Si 위쪽으로 55%의 비율로서 구성⁷⁾된다는 점을 참조로 하여 wet oxidation time 을 추정할 결과 (110) 웨이퍼의 경우 0.4 μm 두께의 Si 를 없애기 위해서는 약 0.9 μm 정도의 oxide 를 키워야 함을 알 수 있었고 그때의 wet oxidation time 은 약 2시간 3분이었다. 따라서 이를 기준으로 하여 1시간 23분부터 시간을 변화시켜 가면서 oxidation sharpening 을 수행한 결과 점점 tip 이 sharp 해짐을 알 수가 있었고 oxidation time 을 1시간 53분 정도로 해주었을때가 높이 4 μm 에 폭이 0.02 μm 인 가장 sharp 한 tip 을 얻을 수 있었다. 이것을 각각 그림 3(a) 와 (b) 에 나타내었다. 그리고 (b) 를 6×10^4 배 확대하여 그림 3(c) 에 나타내었다. 그 시간보다 더 긴 시간동안 oxidation 을 수행하면 (2시간 3분) 폭이 0.12 μm 로서 tip 이 덜 sharp 함을 알 수 있다. 이것이 그림 4에 보여지고 있다.

각각의 실험 결과를 표1에 나타내었다.

IV. 결론

(110) 단결정 웨이퍼 위에 비등방성 식각에서의 (110)면과 (111)면의 매우 큰 식각율 차($R_{110} > R_{111}$)를 이용하여 수직 구조물을 형성시켰다. 이 수직 구조물에 등방성 식각과 oxidation sharpening 을 이용하여 knife 형태의 tip array 를 제작하였다. 이후에 이를 바탕으로 하여 여기에 insulator 와 metal 을 증착시켜서 FED 의 에미터 소자로서 응용하는 것이 향후에 진행될 계획이다.

참고 문헌

[1] J. F. Wise, Wright Patterson Air Force Base, Patent No.3, 690, 953
 [2] Henry G. Kosmahl, "A wide-bandwidth high-gain small-size distributed amplifier with field-emission triodes(FETRODE's) for the 10 to 300 GHz frequency range", IEEE Trans. vol. ED 36, no 11, p.2728 (1989)
 [3] Lee H.C. and Huang R.S., "A theoretical study on field emission array for microsensors", IEEE Trans. vol. ED 39, no 2, p.313(1992)

[4] K.F.Bean, "Anisotropic etching of silicon", IEEE Trans. vol. ED 25, no 10, p.1185 (1978)
 [5] B.Lee et al., "Knife-edge thin film field emission cathodes on (110) silicon wafers", J. Vac. Sci. Technol., vol. B12, no.2, p.644 (1994)
 [6] T.S.Ravi et al., "Oxidation sharpening of silicon tips", J.Vac. Sci. Technol., vol. B9, no.6, p.2733 (1991)
 [7] 이종덕, "실리콘 집적회로 공정기술", 大英社, 2차 개정판, p.5 (1993)

표 1. 구조물들의 비등방성, 등방성 식각과 oxidation sharpening시의 결과

그림	tip 높이 (μm)	tip sharp ness (μm)	vertical etch rate ($\mu\text{m}/\text{min}$)	lateral etch rate (비등방성) ($\mu\text{m}/\text{min}$)	lateral etch rate (등방성) ($\mu\text{m}/\text{min}$)	비고
1	1.76	3.16	0.78	0.14		EPW 2분 15초
2(a)	3.8	0.8	0.52	0.14	0.48	EPW 2분 15초 + ISO 5분
2(b)	4.2	0.3	0.54	0.06	0.49	EPW 2분 45초 + ISO 5분
3(a)	3.92	0.24				EPW 2분 15초 + ISO 5분 + OXI 1시간 43분
3(b) 3(c)	4	0.02				EPW 2분 15초 + ISO 5분 + OXI 1시간 53분 (C)는 6×10^4 배
4	5.65	0.12				EPW 2분 15초 + ISO 5분 + OXI 2시간 3분
평균 etch rate			0.61	0.11	0.48	

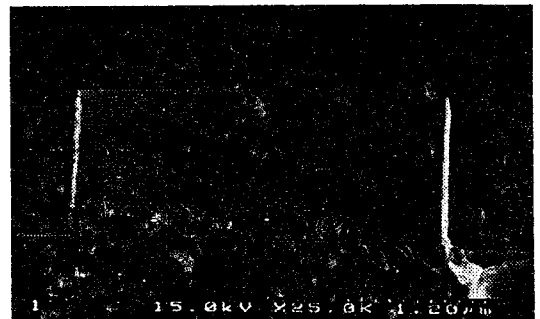


그림 1. (110) Si의 EPW 2분 15초 식각, SEM 25000배

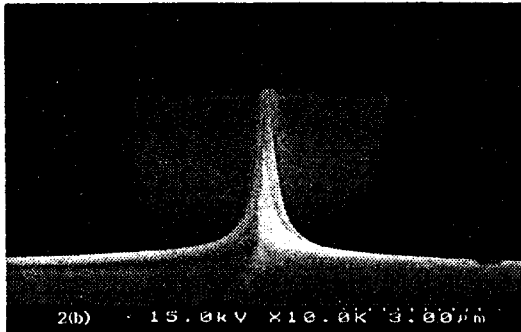
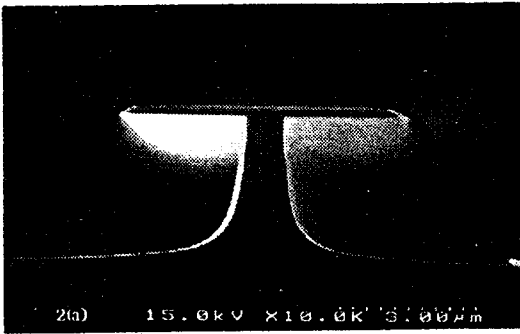


그림 2. (a) (110) Si의 EPW 2분 15초 + 등방성 5분 식각, SEM 10000배
 (b) (110) Si의 EPW 2분 45초 + 등방성 5분 식각, SEM 10000배

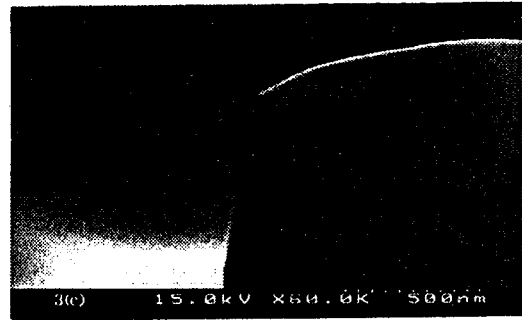
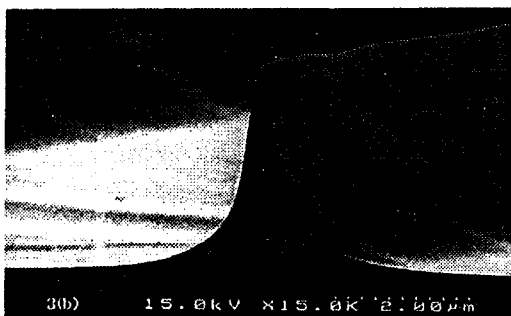
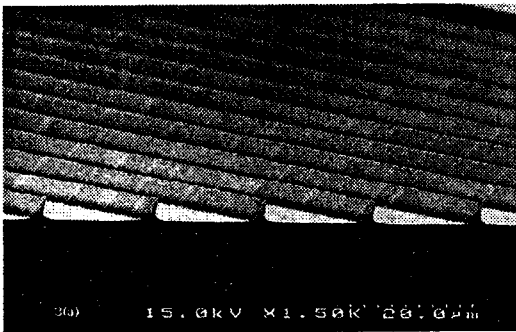


그림 3. (a) (110) Si의 EPW 2분 15초 + 등방성 5분 + oxidation 1시간 43분, SEM 15000배
 (b) (110) Si의 EPW 2분 15초 + 등방성 5분 식각 + oxidation 1시간 53분, SEM 15000배
 (c) (b)의 SEM 60000배

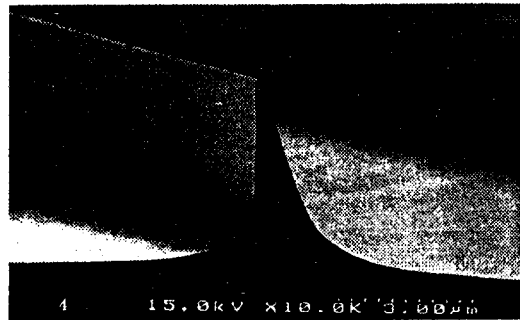


그림 4. (110) Si의 EPW 2분 15초 + 등방성 5분 식각 + oxidation 2시간 3분, SEM 10000배