

Metal tip FEA 의 제조시 식각 용액이 게이트 산화막에 미치는 영향

정유호*, 정재훈, 박홍우, 송만호, 이윤희, 주병권, 오명환, 김철주*

*서울시립대학교 전자공학과, 한국과학기술연구원 정보전자연구부

The effect of wet-etching process on the gate insulator for fabrication of metal tip FEA

Yu Ho Jung*, Jae Hoon Jung, Heung Woo Park, Man Ho Song, Yun Hi Lee,

Byeong Kwon Ju, Myung Hwan Oh, Chul Ju Kim*

*Department of Electronic Engineering, Seoul City University,

Division of Electronics and Information Technology, KIST

Abstract

In order to optimize the characteristics of gate insulator for FED(field emission device), we investigated the effect of wet-etching process on the gate insulator for fabrication of FED. We used the general three types of etchants for fabrication of the metal tip FEA(field emitter array), they are MO and oxide etchants to form the gate hole, and Al etchant to remove the release layer.

In the result of the breakdown field of the insulator by the measure of the current-voltage characteristics, the breakdown field of insulator for immersing in oxide etchant was rapidly lowering with increasing etching time, but that for immersing in Al etchant was slow lowering. Also, in comparing cleaning with non-cleaning samples, the breakdown field of the cleaning samples was higher than that of non-cleaning samples.

I. 서론

현재 전계방출소자(FED:field emission device)에서 전자 방출원으로써 사용되는 micro tip 에 대한 연구는 매우 활발히 이루어지고 있다. 전계방출소자의 동작시 게이트에 외부 전압이 인가되면 전기장의 대부분이 절연막에 인가되기 때문에 절연막의 특성에 크게 영향을 받게 되므로 [1] 게이트 절연체 재료 및 특성 분석에 대한 연구등은 매우 중요하다.

일반적인 metal tip FEA 의 제조 공정 중에서 게이트 절연막의 특성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 공정으로

는 게이트 홀의 형성시 사용되는 습식 식각 공정들과 release layer 제거용 식각 공정등이다. 따라서 이러한 식각 공정들이 게이트 절연막의 절연 파괴 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필수적이다.

따라서 본 실험에서는 게이트 홀의 형성시 사용되는 Mo 식각 용액 및 산화막 식각 용액, 그리고 release layer 를 제거하는데 사용되는 Al 식각 용액이 게이트 절연막에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각 공정 전·후의 절연 파괴 전장을 측정하였다. 또한 절연 파괴 특성 변화에 식각 잔류물이 미치는 영향을 조사하기 위하여 식각 공정후 후-세척 공정을 수행한 시편 표면을 비교, 검토하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서는 비저항 $0.005 \Omega\text{cm}$, n^{++} As doped (100) Si wafer 를 기판으로 사용하였고, 전기로에서 습식 산화 방법으로 두께 $1\mu\text{m}$ 의 열산화막을 성장시켜 게이트 절연막으로 사용하였다. 게이트 전극 형성을 위해 RF magnetron sputtering 을 이용하여 Mo 을 증착하였다. 증착한 Mo 식각 용액은 $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}(5 : 3 : 2)$ 의 혼합 용액이며, 산화막 식각 용액은 $\text{HF} : \text{NH}_4\text{F}(1 : 7)$ 의 혼합 용액을 사용하였고, 희생층인 Al 의 식각 용액은 $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{CH}_3\text{COOH} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}(4 : 4 : 1 : 1)$ 의 혼합 용액을 사용하였다. 각 식각 단계의 식각 시간을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1. Etching time with variable step of etching process.

| | Mo Etchant | Oxide Etchant | Al Etchant |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Etching Time | 0, 30, 60, 90,120, 150(sec) | 0, 5, 10, 13. 5(min) | 0, 10, 15, 20, 25, 30(min) |
| Cleaning | 150(sec) | 13. 5(min) | 30(min) |

Keithley SMU 237 을 사용하여 전류-전압 특성을 측정하였고, 식각 시간에 따른 절연 파괴 전장을 계산하였다. 이때 절연 파괴 전장은 누설 전류 밀도가 1×10^{-6} A/cm² 일때의 전장으로 정하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1 은 Mo 식각 용액으로 처리한 시간에 따른 절연 파괴 전장의 변화를 나타낸다. 본 실험에서 성장시킨 열산화막의 파괴 전장은 8 MV/cm 로서 전형적인 열산화막의 특성을 나타내고 있다.

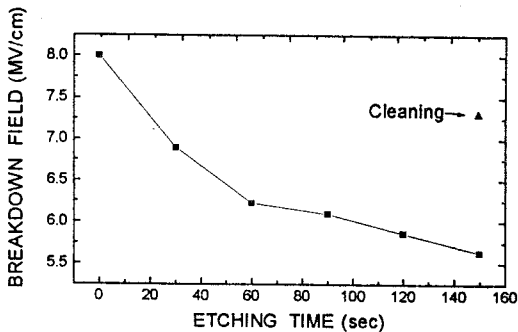


Fig. 1. Breakdown field of oxide with variable etching time for Mo etchant.

처리 시간이 증가함에 따라 절연 파괴 전장이 급격히 감소한다. 실제 FEA 제조 공정에서는 Mo 식각 용액과 Mo 의 반응으로 인한 식각 잔류물이 전기적 특성에 주된 영향을 미치겠지만, 본 실험에서는 식각 용액에 처리한 후 Mo 전극을 증착시켰으므로 식각 잔류물에 의한 효과 보다는 산화막의 손상에 의한 결함 발생이 절연 파괴 전장 감소의 주요 원인인 것으로 생각된다. 그러나 표면의 식각 잔류물에 의한 효과를 Fig.1 에서 확인할 수 있다.

동일하게 150 초 동안 Mo 식각 용액에 처리한 시편중 일부 시편을 세척을 한 다음 파괴 전장을 측정하였다. 세척을 하지 않은 경우의 시편은 파괴 전장이 약 5.6 MV/cm 로 계속 감소하고 있지만, 세척을 한 경우는 파괴 전장이 약 7.3 MV/cm 정도로 높아졌다. 이는 표면에 존재하는 식각 잔류물이 표준 세척 과정 후에 제거됨으로써 절연 특성이 회복된 것으로 설명할 수 있다.

Fig.2 는 산화막 식각 시간에 따른 절연 파괴 전장의 변화를 나타내고 있다.

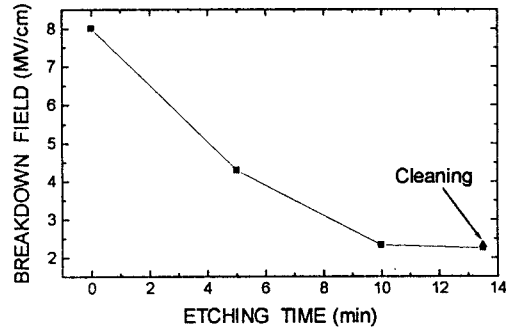
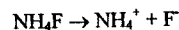
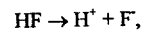
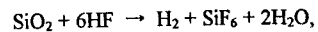


Fig.2. Breakdown field of oxide with variable etching time for oxide etchant.

Fig.2 는 Fig.1 에서와 같이 식각 시간이 증가함에 따라 파괴 전장이 감소함을 나타낸다. 그러나, Fig.1 에 나타난 파괴 전장의 감소율보다 더욱 급격하게 감소하며, 세척 전·후의 파괴 전장 변화는 관측되지 않았다. 이는 식각에 따른 파괴 전장 감소의 주된 원인이 식각 표면 잔류물에 의한 것이기 보다는 산화막의 손상으로 발생한 계면의 결함 때문이라 예상된다.

산화막의 식각 메커니즘을 고려하면, 불산(HF)의 불화 이온(F⁻)이 산화막 식각에 관여하며, 이때 생긴 수소 이온이 용액의 pH 값을 변화시키게 되는데 이는 식각율에 영향을 미치게 된다. 그러므로 불화 암모늄을 첨가함으로써 용액의 pH 값을 유지할 수 있다[2]. 식각 반응식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



이때, NH_4F 가 완충제라기 보다는 $(NH_4)_2SiF_6$ 를 형성하여 침전시키고 complexing agent의 역할을 한다는 주장도 있다. 따라서 산화막 표면에는 $(NH_4)_2SiF_6$ 과 같은 침전물과 HF_2 , HF , F^- , H^+ 와 같은 이온 물질이 남아서 절연 파괴에 영향을 준다[3].

Fig.3은 Al 식각 시간에 따른 절연 파괴 전장의 변화를 나타내고 있다. 이 경우는 앞의 두 경우보다 급격하지는 않지만 파괴 전장이 계속 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 1과 같이 세척을 한 시편은 식각액에 담그지 않은 시편과 비슷한 절연 파괴 전장을 나타내므로, 세척에 의하여 표면에 남아 있는 식각 잔류물이 제거된 것으로 설명된다.

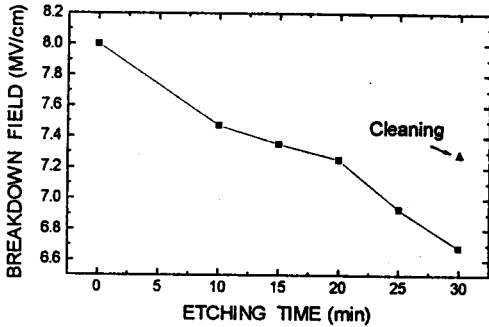


Fig.3. Breakdown field of oxide with variable etching time for Al etchnat.

IV. 결론

Metal tip FEA의 제조시 수반되는 식각공정이 게이트 절연막에 미치는 영향을 조사하기 위하여 절연 파괴 전장의 변화를 고찰하였다.

Mo 식각 용액의 경우, 산화막 표면에 남은 식각 잔류물은 그 후의 공정인 산화막 식각시 제거되지만, 게이트 금속의 under etching된 면에 존재할 수 있는 식각 잔류물의 영향을 확인할 수 있다.

산화막 식각 용액의 경우, 가장 급격한 파괴 전장의 감소를 보였으며 세척 전·후의 파괴 전장의 차이가 없는 것으로 보아 식각 잔류물에 의한 영향은 무시할 수 있다.

Al 식각 용액에 대한 경우, 파괴 전장의 감소는 크지 않지만 식각 잔류물의 영향을 확인할 수 있다.

실제 소자 제조에 있어서는 세가지 식각 공정이 순차적으로 진행되기 때문에 식각 용액의 중첩된 효과를 조사할 예정이다. 또한, 표면의 식각 잔류물이 파괴 전장 크기의 변화에 미치는 영향을 규명하기 위해서 표면 성분 분석 연구가 진행될 필요가 있다.

참고문헌

- [1] N. B. Goodman and H.Fritzsche, "Analysis of field-effect and capacitance-voltage measurements in amorphous semiconductors", *Phil. Mag.* **B42**, 149 (1980)
- [2] S.Wolf and R.N.Tauber, "Silicon processing for the VLSI Era", vol.1-process technology, Lattice Press, 532 (1986)
- [3] J.L.Vossen and W.Kern, "Thin film processes", Princeton New Jersey, 414 (1978)