

이산화실리콘 층의 예각부식

(Acute Angle Etching of Silicon Dioxide Layer)

崔 然 益*

(Yearn Ik Choi)

要 約

열적으로 성장된 이산화실리콘 층 위에 실리카필름 박막을 도포함으로써, 열산화막의 예각부식 공정이 제안되었다. 실리카필름의 밀화온도를 175°C에서 1,150°C로 변화시킴에 따라, 3°에서 40° 사이의 경사각을 얻었다. 또한 예각부식 공정의 해석적인 모형이 제시되었으며, 이산화실리콘 층의 부식단면을 기술하는 방정식이 Fermat의 최단시간 정리를 이용하여 유도되었다. 전자주사 현미경으로 부터 얻어진 부식단면과 이론적으로 계산된 단면을 비교한 결과, 서로 잘 부합되었다.

Abstract

Acute angle etching process of thermally grown silicon dioxide layer has been proposed by depositing a thin layer of silicafilm on the thermal oxide layer. As densification temperature of silicafilm is varied from 175°C to 1,150°C, taper angles from 3° to 40° are obtained. Analytical model of the acute angle etching process has also been presented and etched profile equations of the silicon dioxide layer have been derived using Fermat's principle of least time. Etched profiles obtained from scanning electron microscope analysis show good agreement with the theoretically calculated profiles.

I. 序 論

이산화실리콘은 실리콘 반도체소자의 제작에 있어서 절연격리(dielectric isolation), 선택확산(selective diffusion), 표면안정화(surface passivation) 등 여러 가지 중요한 기능을 수행하고 있다. 이산화실리콘의 패턴을 제작하기 위하여 일반적으로 화학부식법(chemical etching)이 널리 이용되고 있다. 표준화학부식 공정을 사용하여 형성된 SiO₂의 패턴 가장자리는 기판(substrate)과 90°에 가까운 수직벽(vertical wall)이 나타난다. 이러한 수직벽은 소자의 금속전극 제작시에 전극의 불연속이 나타날 확률이 높으며, 따라서 소자

의 신뢰도에 나쁜 영향을 초래할 가능성이 높다. 한편 SiO₂의 경사벽(taper wall)은 금속전극의 신뢰도 개선에 활용될 수 있을 뿐만 아니라 고전압 반도체소자,^[1] 집적광학소자^[2] 등의 제작에도 이용되고 있다.

그림 1(a)는 표준 부식공정에서 SiO₂를 부식시킬 경우, 시간이 지남에 따라 부식되는 단면을 보여주고 있다. 사진감광액(photoresist)과 SiO₂의 부착성(adherence)이 좋고, SiO₂의 부식률(etch rate)이 균일하고 등방성이라고 가정하면, 부식단면의 윤곽선은 감광액 가장자리를 중심으로 하는 원의 일부 즉 호를 이루면서 진행하게 된다. SiO₂의 부식은 부식액이 실리콘 기판에 도달할 때 까지 원을 확장하며 진행하게 되고, 약간의 과부식(over etch)이 되면 부식단면은 수직선에 가까워진다. 그림 1(a)에서 단면의 번호, 1은 부식이 전혀 안된 경우, 2는 SiO₂ 두께의 반이

*正會員, 亞洲大 工大 電子工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Ajou University)

接受日字: 1985年 2月 27日

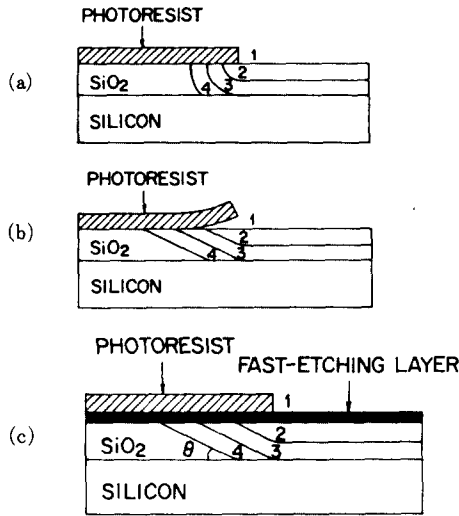


그림 1. 화학부식의 개략도
 (a) 표준부식공정
 (b) SiO₂ 단일층을 사용한 감광액 리프트오프 방법
 (c) SiO₂와 고속부식층의 이중층을 이용한 undercutting

Fig. 1. Schematic illustrations of chemical etching.
 (a) Standard etching process.
 (b) Photoresist lift-off method using a single layer of SiO₂.
 (c) Undercutting method using a double layer of the fast-etching layer and thermal SiO₂.

부식된 경우, 3은 실리콘 기판이 드러날 때까지 부식된 경우, 4는 50% 과부식이 된 경우를 나타낸다.

한편 SiO₂의 경사벽을 제작하는 방법은 대별하여 두 가지로 알려져 있다. 첫째는 SiO₂의 단일층만을 이용한 감광액 리프트오프(lift-off) 방법¹³⁾이 있고, 둘째는 SiO₂ 위에 부식률이 높은 고속부식층(fast etching layer)을 형성하여, 감광액 아래로 undercutting을 시키는 방법이 있다. 첫째 방법은 그림 1(b)에서 보는 바와 같이, 감광액의 부착성에 의존하고 있으며, SiO₂의 경사벽의 각도는 SiO₂의 부식률과 수평방향 리프트오프 비에 의하여 결정된다. 따라서 감광액과 SiO₂의 부착성에 영향을 미치는 주변요인 즉 온도, 습도, 표면의 오염 등에 매우 민감하다. 이러한 방법을 사용하는 경우 경사각의 정밀한 조절이 어렵고, 따라서 공정의 재현성(reproducibility)을 기대하기 힘들다.

반면에, 그림 1(c)와 같이 이중층을 사용한 방법은 첫째 방법에 비해 주변 요인에 영향을 덜 받기 때문에 경사각의 조절 및 재현성에 있어서 우수하다. 이 경우, 실리콘 표면과 SiO₂의 벽이 이루는 각도는 SiO₂

와 고속부식층의 부식률의 함수로 주어지기 때문에¹⁴⁾, 경사각을 임의로 조절할 수 있고, 부식공정 중에도 기울기가 일정하게 유지된다. 고속부식층으로는 이온주입 손상층(ion-implantation damaged oxide),¹⁵⁾ 플라즈마 노출층(plasma exposed oxide),¹⁶⁾ deposited oxide¹⁷⁾ 등이 알려져 있다. 그러나 고속부식층을 형성 시켜주기 위하여 이온주입기, 플라즈마반응로, CVD반응로 등의 고급장비를 사용하여야 하며, 약 10° 이상의 경사각만 제작할 수 있다고 보고된 바 있다.

본 논문에서는 값비싼 장비를 사용하지 않고도 3° 근방의 매우 낮은 경사각을 제작할 수 있는 새로운 예각부식 공정을 제안하고자 한다.

II. 예각부식 공정

1. 공정의 개요

그림 2에 열산화막을 예각으로 부식시키는 공정의 순서도를 나타냈다. 실험에 사용된 초기 웨이퍼는 비저항이 3~8 Ω·cm이고 결정방위가 (100)인 n형 실리콘이다. 실리콘 기판 위에 열산화막을 습식산화법(wet oxidation)에 의해 1,150°C에서 100분간 성장시켰으며, 그 두께는 약 1.0 μm이었다. SiO₂를 성장시킨 후, 고속부식층으로서 사용될 실리카필름¹⁸⁾을 회전기(spinner)를 사용하여 SiO₂ 위에 도포하였다. 실리카 필름 막은 175~1,150°C의 공기 분위기 하에서 약 20분간 열처리한다. (그림 2(a)). 실리카 필름 막의 부식률은 밀화온도(densification temperature)에 따라

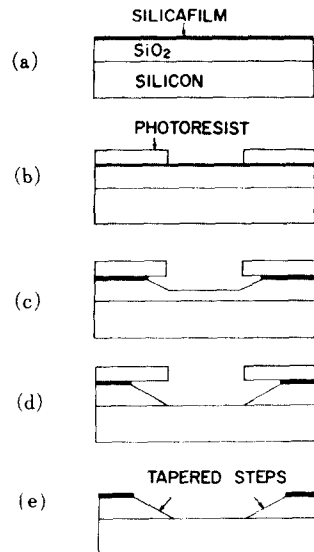


그림 2. 실리카필름을 사용한 예각부식공정의 순서도
 Fig. 2. Schematic processing sequence for acute angle etching using a silica film.

변화하기 때문에, 이 단계는 여러가지 각도의 경사벽을 제작하는데 있어 매우 중요하다.

표준 사진공정을 이용하여 이중층 위에 패턴이 정의된다(그림 2 (b)). 패턴부식은 실온에서 수행되었고, 부식액은 40% NH_4F 와 49% HF를 체적비 6:1로 혼합한 완충(buffered)HF 용액을 사용하였다(그림 2(c), 2(d)). 실리카필름과 열산화막의 적절한 부식시간은 패턴이 없는 시편 혹은 웨이퍼 뒷면에서 부식액이 반발하는 순간(repellency point)을 관찰하여 결정하였다. 사진감광액이 제거되면, 열산화막의 예각으로 부식된 단면이 최종적으로 나타난다. (그림 2 (e))

2. 실험 결과 및 고찰

1) 정상적인 관찰

이산화실리콘 층의 부식단면을 광학현미경, 전자주사현미경을 사용하여 관찰하였다. 광학현미경으로 관찰된 간섭 줄무늬(interference fringe pattern)를 그림 3에 나타냈다. 밀화온도가 증가할수록 간섭 줄무늬의 간격은 점점 좁아진다. 이 결과로 부터 밀화온도

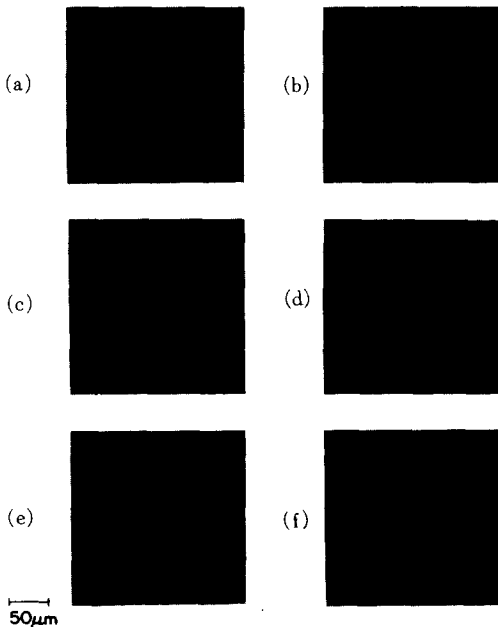


그림 3. 열산화막의 부식패턴을 광학현미경으로 관찰한 사진. 확대율: 200배; 실리카필름의 밀화온도는 (a) 175°C (b) 400°C (c) 600°C (d) 800°C (e) 1,000°C (f) 1,100°C

Fig. 3. Optical micrographs of etched windows in thermal SiO_2 ; magnification 200X; densification temperatures of the silicafilm are (a) 175°C (b) 400°C (c) 600°C (d) 800°C (e) 1,000°C and (f) 1,100°C.

의 증가에 따라 실리카필름 산화막의 부식률이 감소하게 되고, 경사각도 점차 급경사를 이루는 것을 알 수 있다. 줄무늬 선(fringe line) 사이의 간격이 균등한 것은 단면의 기울기가 직선에 가까운 것을 나타내주고 있다. 그림 3 (a)~(d)의 1000°C 미만에서 밀화된 샘플에서는, 경사각을 측정하기 위하여 광학현미경 사용법(optical microscopy)이 가장 신속하고도 용이한 방법이다. 이 경우 경사각은 산화막의 두께와 경사영역의 밀변으로 부터 쉽게 결정된다.

한편 1,000°C 이상에서 밀화된 샘플에서는, 줄무늬가 너무 좁고 복잡하여 광학현미경으로 개개의 줄무늬 선을 구별하기는 곤란하다. 이러한 경우 SEM을 사용하여 보다 분명한 단면을 얻을 수 있고, 샘플의 경사각을 측정할 수 있다. 그림 4는 1,000°C 이상에서 실리카필름을 밀화시킨 경우, 열산화막에서의 부식벽의 단면(etched wall profile)에 대한 SEM 사진이다. 그림 4 (a), (b)에서는 경사 단면이 거의 직선에 가까우나, 그림 4 (c)와 같이 1,100°C에서 밀화된 경우에는 경사단면이 더 이상 직선이 아니다. 광학현미경 사용법과 SEM 분석으로 부터 얻어진 경사각과 밀화온도 사

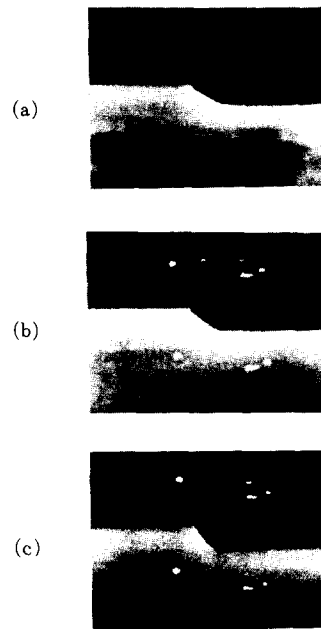


그림 4. SiO_2 의 부식단면의 SEM 사진. 밀화온도는 (a) 1,000°C (b) 1,050°C (c) 1,100°C

Fig. 4. Scanning electron micrographs of the etched profiles in SiO_2 . Densification temperatures are (a) 1,000°C (b) 1,050°C and (c) 1,100°C.

이의 관계는 다음 절의 부식률 자료에 의한 결과와 함께 그림 8에 나타냈다.

2) 부식률 자료에 의한 정량적 해석

산화막의 부식률에 대한 정량적인 연구를 수행하기 위해서는, 우선 부식의 종결점(end point)을 결정하는 방법을 확립하여야 한다. 본 논문에서 사용한 방법은 불산(HF)을 포함하는 수용액에 대하여 실리콘 표면과 SiO₂ 표면 사이의 친습특성(wetting characteristics)의 차이에 기본을 두고 있다. 실리콘 웨이퍼를 이러한 부식액에 담그면, 실리콘 표면은 불소이온의 흡착(adsorption)으로 인하여 순식간에 소수성(hydrophobic)으로 된다.¹⁾ 반면에 이산화실리콘은 HF수용액에 접촉하거나 용해되는 동안 친수성(hydrophilic)으로 유지되고 있다. 그러므로 SiO₂층을 갖고 있는 실리콘 기판은 SiO₂층이 완전히 부식될 때까지는 부식액에 젖어 있는 상태이다. 실리콘 기판이 부식액에 노출되는 순간부터 실리콘은 용액을 밀어낸다. 따라서 용액은 샘플에 더 이상 묻어있지 않고, 이슬 방울처럼 굴러 떨어진다. 이러한 변화는 부식시간의 종결점을 결정하는데, 정확하고도 편리한 기준(criterion)을 제공해준다.

표면의 친습도(wettability)는 샘플을 용액 밖으로 꺼냈을 때만 알 수 있기 때문에, 친습도 관찰을 위해서는 샘플을 순간적으로 꺼낼 필요가 있다. 짧고도 빈도가 높게 꺼냄으로써 종결점의 정확한 시간 측정이 가능하다. 짧은 시간 동안 샘플을 부식액으로부터 꺼낸다 해도, 지속적인 부식에는 별 영향을 미치지 못한다. 이것은 부식액이 SiO₂의 친수성 때문에 샘플 표면에 묻어 있어 용액조(bath) 밖에서도 부식이 계속 진행될 수 있기 때문이다. 부식률의 측정은 실온에서 수행하였으므로, 샘플이 용액조 밖으로 나왔을 때도 부식액의 온도는 부식률에 심각한 영향을 미치지 않는다. 또한 부식될 샘플의 양에 비해 부식액을 다량 사용하였으므로, 부식도중에 부식액의 농도변화도 거의 무시될 수 있다.

실리카 필름과 열산화막의 부식률을 측정하는 장치를 그림 5에 나타냈다. 교반기(stirrer)는 폴리프로필렌 비이커(poly propylene beaker) 속에 있는 자석을 회전시켜 부식공정이 진행되는 동안 계속 용액의 혼합을 행하며, 회전자속은 부식액을 정온(constant temperature)으로 유지시켜 준다. 부식장치는 안전을 위하여 배출후드(exhaust hood)가 있는 chemical station 내에 설치하였다.

실리카필름과 열산화막의 두께는 다중빔간섭기(multiple beam interferometer)와 SEM 사진에 의해

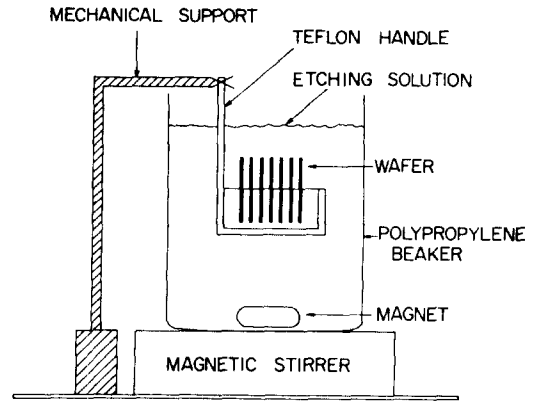


그림 5. 부식시간 측정을 위한 부식조의 단면도
Fig. 5. Cross-sectional drawing of etching bath for the etch-time measurement.

측정하였다. 부식공정의 시간 측정은 샘플을 부식액에 넣을 때 시작하여, 샘플 표면의 부식액이 굴러 떨어질 때 종결한다. 이때 부식률은 측정된 부식시간과 산화막의 두께로부터 계산될 수 있다.

그림 6에 실리카필름 산화막의 부식률과 밀화온도와와의 관계를 도시하였다. 밀화는 공기분위기 하에서

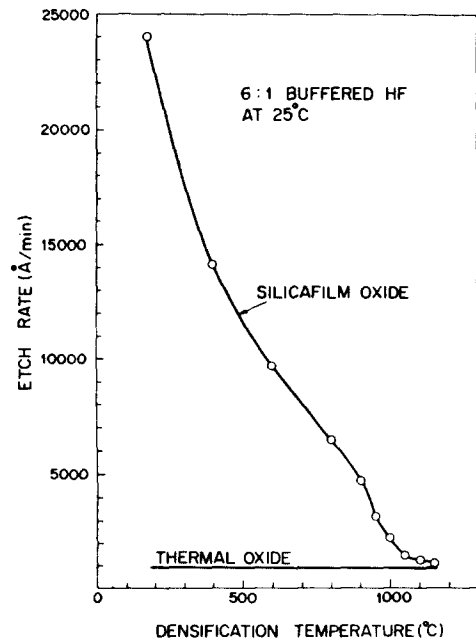


그림 6. 부식률과 실리카필름의 밀화온도와의 관계
밀화시간: 20분, 분위기기체: N₂: O₂=4: 1
Fig. 6. Etch rate vs. densification temperature of the silicafilm. Densification was conducted for 20 min in N₂: O₂=4: 1 ambient.

20분간 시행되었다. 열산화막의 부식률은 참고로 표시하였다. 1, 150°C 에서 밀화된 실리카 필름의 부식률이 열적으로 성장된 산화막보다 약간 크다는 사실을 알 수 있다.

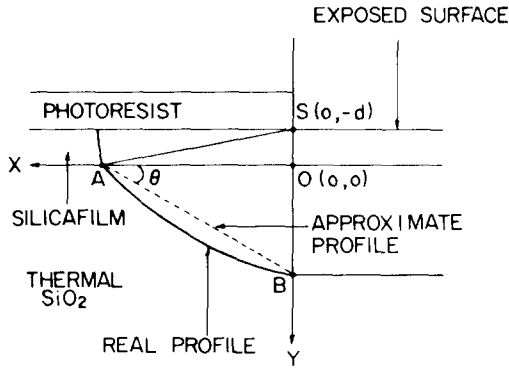


그림 7. 부식률자료로부터 경사각을 계산하기 위한 실리카필름/열산화막 이중구조의 개략도
 Fig. 7. Schematic drawing of a double-layer structure of silicafilm and thermal oxide to predict the taper angle from etch rate data.

고속부식을 위한 실리카필름 층과 그 밑에 있는 열산화막의 부식률 자료는 경사각의 예측을 가능하게 해준다. 그림 7에서 보여주는 바와 같이 부식시간, t 이후의 경사각은 대략 다음 식과 같이 된다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{OB}{OA}$$

이때, 점 A, B의 좌표로부터 식(1)이 얻어진다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(t - \frac{d}{u_1})u_2}{\sqrt{(u_1 t)^2 - d^2}} \quad (1)$$

여기서 u_1 과 u_2 는 각각 실리카필름과 열산화막의 부식률을 가리키고, d 는 실리카필름 산화막의 두께이다. 식(1)에서 $u_1 > u_2$ 이고, d 는 열산화막의 두께에 비해 일반적으로 매우 작으므로, 부식이 실리콘 표면이 노출되도록 완결되는 경우 d 는 $u_1 t$ 에 비해 무시될 수 있다. 따라서 식(1)은 다음과 같이 축소된다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{u_2}{u_1} \quad (2)$$

즉 경사각은 부식률비의 역탄젠트(arc tangent)로 주어진다.

이제 경사각과 밀화온도와의 관계는 그림 6과 식(2)에 의해 예측할 수 있다. 이 결과를 그림 8에 나타냈다. 광학현미경 사용법과 SEM분석으로부터 얻어진 결과 또한 도시하였다. 이 세가지 방법으로 부터 얻어진 결과는 전온도범위에서 비교적 잘 들어맞고 있다.

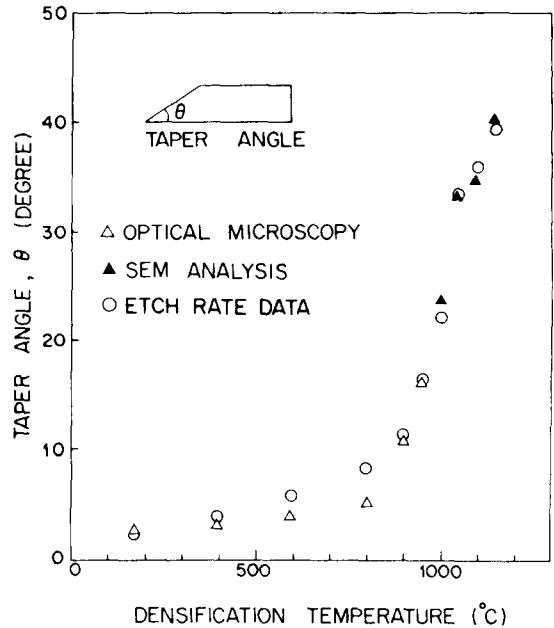


그림 8. 광학현미경 사용법, SEM분석, 부식률 자료로부터 각각 얻어진 경사각과 밀화온도와의 관계

Fig. 8. Taper angle vs. densification temperature from optical microscopy, SEM analysis and etch rate data.

단지 600°C와 800°C에서의 차이는 부분적으로 부식률 측정 또는 광학현미경 사용법에서 수반되는 실험오차에 기인한다고 생각된다.

III. 부식단면의 해석적 모형

1. 이론

종래의 연구^{14,15}에서는 이산화실리콘 층의 부식단면을 일정한 기울기를 갖는 직선으로 표시했었다. 그러나 이것은 단지 근사(approximation)에 불과하다. 예를 들어 고속부식층과 열산화막의 이중층의 부식률이 같은 경우를 생각해 보자. 이때, 이중층은 단일층으로 퇴화하게 되고, 부식단면은 식(2)에 의해 예견되는 바와 같이 45°의 기울기를 갖는 직선이 아니라, 원의 1/4 혹은 원호가 된다. 경사각이 작은 경우, 예를 들어 20°이하일 때는, 경사단면을 2장의 실험결과와 같이 직선으로 근사시킬 수 있다. 그러나 이밖의 경우에는 부식단면은 원과 직선 사이의 중간형을 취할 것이라고 예상된다.

3 장에서는 고속부식층과 저속부식층 (slow-etching layer)의 이중층 구조에서 일반적인 부식단면을 기술할 수 있는 방정식이 유도되었다. 이러한 해석적 모형

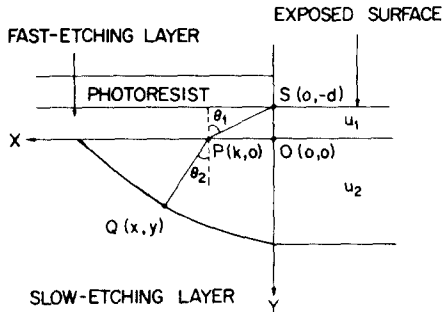


그림 9. 고속 및 저속부식층의 이중층구조의 개략도
 Fig. 9. Schematic illustrations of the double layer of fast- and slow-etching layer.

은 Fermat의 최단시간에 대한 정리¹¹⁾에 기본을 두고 있다. 그림 9는 본 모형에 사용된 이중층 구조의 단면을 나타내주는 개략도이다. 점 S가 원형 HF 용액에 노출되는 순간부터 부식은 시작된다. 이산화실리콘 층의 부식단면을 조사하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

(7) 사진감광액의 부착도는 양호하다. 따라서 감광액-SiO₂ 경계면에서의 상승된 하부부식 (enhanced undercut) 은 오로지 고속부식층에 의해서만 이루어진다.

(L) 부식률은 고속부식층이나 저속부식층내에서는 균일하고(homogeneous), 등방성(isotropic)을 갖고 있다.

(C) 부식공정이 진행되는 동안 부식액의 농도변화는 무시된다. 즉 부식률은 시간에 따라 일정하다.

(R) 부식조(etch bath) 내의 온도분포는 일정하고, 부식액은 용액조 내에서 균일하게 분포되어 있다.

이러한 가정 하에서, 이중층의 부식행동(etching behavior)은 광선광학(ray optics)에서의 Fermat의 정리를 이용하여, 빛의 전파와 유사한 방법으로 다룰 수 있다. 따라서 부식액은 점 S에서 Q로 진행하는 시간이 최소가 되는 경로를 택하게 된다. 이중층 구조의 각 층이 등방성을 갖는다고 가정하였기 때문에, 각 층내의 어느 두 점 사이의 최단 경로는 직선이 된다. 이로 인해 고속부식층과 그 아래에 있는 SiO₂ 층의 경계면에서는 각 층의 부식률이 다르기 때문에 부식액의 경로가 굴절하리라고 예상된다.

그림 9에서, SPQ는 고속부식층 S에서 출발하여 저속부식층 Q에 도착하는 부식액의 경로를 나타낸다. 부식이 t=0에서 시작된다고 하면, 점 Q가 부식액에 노출되는 시간은 다음과 같이 주어진다.

$$t = \frac{SP}{u_1} + \frac{PQ}{u_2} \quad (3)$$

여기서 u₁과 u₂는 각각 고속부식층과 저속부식층의 부식률이며, 따라서 u₁ ≥ u₂이다. 식(3)은

$$t = \frac{\sqrt{k^2 + d^2}}{u_1} + \frac{\sqrt{(x-k)^2 + y^2}}{u_2} \quad (4)$$

로 다시 쓸 수 있으며, k는 점 p의 x 좌표값이다. Fermat의 정리에 의하여 점 p의 위치는 변수 k에 대한 t의 미분도함수를 0으로 놓음으로써 정해될 수 있다. 따라서

$$\frac{k}{u_1 \sqrt{k^2 + d^2}} = \frac{x-k}{u_2 \sqrt{(x-k)^2 + y^2}} \quad (5)$$

그림 9를 보면 알 수 있듯이, 식(5)는

$$\frac{\sin \theta_1}{u_1} = \frac{\sin \theta_2}{u_2} \quad (6)$$

으로 바꾸어 쓸 수 있으며, Snell의 법칙¹¹⁾과 비슷하다.

식(4)와 (5)를 이용하여 점 Q의 좌표 (x, y)를 얻는다.

$$x = k(1 - \alpha^2) + \alpha^2 u_1 t \frac{k}{\sqrt{k^2 + d^2}} \quad (7-a)$$

$$y = \left(\frac{u_2 t}{\sqrt{k^2 + d^2}} - \alpha \right) \sqrt{(1 - \alpha^2)k^2 + d^2} \quad (7-b)$$

for x ≥ 0 and y ≥ 0

여기서 α = u₂/u₁ (≤ 1)이다. 부식률이 낮은 SiO₂ 층의 부식단면은 임의의 시간 t에서 Q의 제적으로 표현된다. 또한 고속부식층 내부에서는 부식단면이 x² + (y + d)² = (u₁t)² (8)

for x ≥ 0 and -d ≤ y ≤ 0

므로 기술되며, 식(8)은 원의 호(arc)를 나타낸다.

부식공정의 물리적 행동과 비교해보기 위하여 두가지 극단적인 경우에 대한 부식단면 방정식을 유도하였다. 이와같은 근사방정식은 식(7-a)와 (7-b)로부터 쉽게 구할 수 있다.

가) α = 1 (혹은 u₁ = u₂ ≡ u)인 경우

식(7)은 다음과 같이 축소된다.

$$x^2 + (y + d)^2 = (ut)^2 \quad (9)$$

for x ≥ 0 and y ≥ -d

식(9)는 그림 10에 나타낸 바와 같이 중심이 (0, -d)에 위치하고 있고 반경이 ut인 원의 1/4을 가리킨다. 부식액은 부식율이 u인 SiO₂의 단일층 내부에서 등방성을 갖고 전파해 가는 것을 의미한다.

나) α < 1 (혹은 u₁ > u₂)인 경우

식(7)을 다음과 같이 근사시킬 수 있다.

$$\frac{x^2}{d^2} - \frac{(y - u_2 t)^2}{\alpha^2 d^2} = -1 \quad (10)$$

for x ≥ 0 and 0 ≤ y ≤ u_2 t

식(10)은 두 개의 점근선, y = ±αx + u₂t를 갖는 쌍곡선

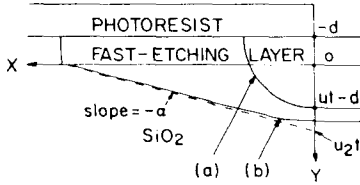


그림 10. 두가지 극단적인 경우의 부식단면도
 (a) $\alpha = 1$ (혹은 $u_1 = u_2 \equiv u$)인 경우
 (b) $\alpha \ll 1$ (혹은 $u_1 \gg u_2$)인 경우

Fig. 10. Etched-edge profiles for two limiting cases.

- (a) In case $\alpha = 1$ (or $u_1 = u_2 \equiv u$).
- (b) In case $\alpha \ll 1$ (or $u_1 \gg u_2$).

의 1/4을 나타낸다(그림 10 참조). 일반적으로 대부분의 부식공정은 약간의 과부식을 행하고 있고, 과부식이 되면 부식단면은 직선으로 나타나기 때문에 실제로 쌍곡선 단면을 관찰하기는 쉽지 않다. 그림 9에서 점 S의 우측에 위치하고 있는 점에서는 부식액의 최단경로는 X 축에 수직이다. 그러므로 이러한 점에서 출발한 부식액은 모서리에서의 부식단면에 큰 영향을 미치지 않는다.

2. 실험

앞에서 유도한 두가지 극단적인 경우를 생각해 볼때, α 가 1보다 약간 작은 경우에는 부식단면은 원도 아니고 쌍곡선도 아닌 그 중간형을 갖는다고 추측할 수 있다.

이를 조사하기 위하여 특별한 샘플이 제작되었고 몇 가지 실험이 수행되었다. 실리콘이산화막은 습식산화법에 의하여 1,150°C에서 14시간 동안 실리콘 웨이퍼 위에 성장시켰다. 산화막의 두께는 3.0 μ m이었고, 고속부식층으로 사용될 실리카필름은 회전기에 의해 도포시켰다. 실리카필름을 1,000°C 및 1,100°C의 공기분위기에서 20분간 밀화시킨 결과 실리카필름 산화막의 두께는 약 0.2 μ m이었다.

그림 11은 1,000°C 및 1,100°C에서 밀화된 샘플에 관하여 SEM사진으로부터 얻어진 부식단면을 부식률 자료와 식(7)을 사용하여 구한 이론적인 단면과 함께 나타내주고 있다. 이론적인 단면은 그림 5의 부식조를 사용하여 별도의 실험에 의해 측정된 부식률로부터 구하였다. SEM으로 관찰된 단면은 그림 11(a)에서 부식시간이 15분인 경우의 (b)의 20분인 경우에 대하여 이론적으로 계산한 단면과 잘 일치하고 있다. 그림 11(a)의 부식시간이 32분인 경우에는 SEM 단면이 이론적인 단면과 다소 차이가 나고 있으나, 이것은 SEM 분석을 위한 샘플을 절단할 때 발생한 기계

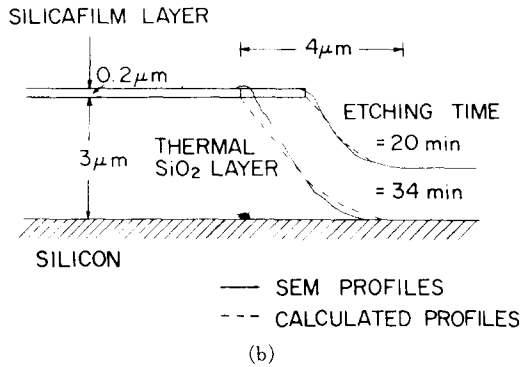
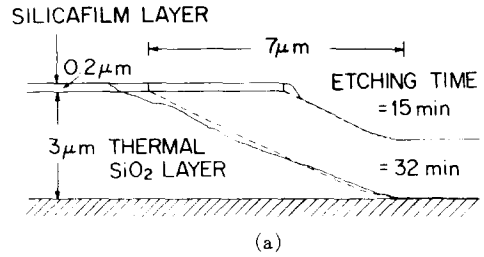


그림 11. SEM 사진으로부터 얻어진 실리카필름/SiO₂ 이중층의 부식단면과 이론적으로 계산된 단면
 (a) T=1,000°C, $u_1=2,180$ A/min, $u_2=940$ A/min, $\alpha=0.43$
 (b) T=1,100°C, $u_1=1,200$ A/min, $u_2=940$ A/min, $\alpha=0.78$
 여기서 T는 밀화온도, u_1 과 u_2 는 각각 실리카 필름과 열산화막의 부식률의 측정치이고 $\alpha=u_2/u_1$

Fig. 11. Etched profiles of silicafilm/SiO₂ double layer obtained from SEM micrographs and calculated profiles.

- (a) T=1,000°C, $u_1=2,180$ A/min, $u_2=940$ A/min, $\alpha=0.43$
- (b) T=1,100°C, $u_1=1,200$ A/min, $u_2=940$ A/min, $\alpha=0.78$

where T is the densification temperature, u_1 and u_2 are measured etch rates of silicafilm and thermal oxide, respectively and $\alpha=u_2/u_1$.

적인 파손에 일부 원인이 있다고 믿어진다. 그림 11(b)에서는 부식시간이 34분 일 때 SEM 단면이 계산된 단면보다 약간 경사가 급하다. 이러한 상이점은 부분적으로 SEM 사진과 부식률 측정시에 발생한 실험 오차에 기인한다고 생각한다. 또한 패터부식이 진행되는 동안 샘플과 피리된 감광액에 의해 막힌 부분에서의 부식액의 공급부족도 일부 영향을 미쳤다고 추측된다. 어느 정도의 실험오차를 감안한다면, 본 연구에서 제안한 부식단면에 대한 해석적인 모형이 실험 결과와

매우 잘 부합된다고 할 수 있다.

IV. 結 論

열산화막 위에 실리카필름을 도포하여 재현성을 갖는 SiO₂의 경사창을 제작하였다. 밀화온도를 175°C에서 1, 150°C까지 변화시킴으로써 경사각을 3°에서 40°까지 조절할 수 있었다. 30°~40°의 급한 경사는 집적회로나 반도체 소자의 전극형성시 양호한 step coverage를 제공해 줄 수 있으며, 완만한 경사는 쇼트키 다이오드 혹은 접합 다이오드의 역방향 특성을 개선하는데 응용될 수 있으리라 기대된다.

고속부식층과 저속부식층의 이중층 구조의 부식단면을 기술하는 일반적인 방정식이 Fermat의 최단시간의 정리를 이용하여 유도되었다. 두가지 극단적인 경우의 부식단면에 관한 근사방정식을 구하여 부식공정의 물리적인 행동과 연관하여 비교해 본 결과 아주 잘 들어맞았으며, 부식물 자료로부터 합성한 이론적인 단면도 SEM 분석에 의해 얻어진 단면과 잘 일치하였다. 이와 같은 결과는 예각 부식 공정의 특성조사에 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

參 考 文 獻

[1] Yearn-Ik Choi, "Enhancement of breakdown voltages of Schottky diodes with a tapered window," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-28, pp. 601-602, May 1981.

[2] 성병호, 정호선, "Channel 도파로를 갖는 집적 광학 검출기 제조", 1984년도 대한전기학회 광파 및 양자전자학회, 대한전자공학회 마이크로파 및 전파전파·반도체 재료 및 부품·광파 및 양

자전자학회 합동학술발표회 논문집. vol. 8, no. 1, pp. 77-79, 1984.

- [3] G. I. Parisi, S. E. Haszko, and G. A. Rozgonyi, "Tapered windows in SiO₂: The effect of NH₄F: HF dilution and etching temperature," *J. Electrochem. Soc.* vol. 124, pp. 917-921, June 1977.
- [4] T. Yanagawa and I. Takekoshi, "Failure analysis of evaporated metal interconnections at contact windows," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-17, pp. 964-970, Nov. 1970.
- [5] J. C. North, T. E. McGahan, D. W. Rice and A. C. Adams, "Tapered windows in phosphorus-doped SiO₂ by ion implantation," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-25, pp. 809-812, July 1978.
- [6] H. Ono and H. Tango, "A new technology for tapered windows in insulating films," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 126, pp. 504-506, March 1979.
- [7] L. K. White, "Bilayer taper etching of field oxides and passivation layers," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, pp. 2687-2693, Dec. 1980.
- [8] Emulsitone Co., *Silicafilm*, Application Notes Form 03-1.
- [9] W. Kern, "A technique for measuring etch rates of dielectric films," *RCA Review*, vol. 29, pp. 557-565, Dec. 1968.
- [10] J. Morgan, *Introduction to geometrical and physical optics*, chap. 1, pp. 8-11, McGraw-Hill, New York, 1953.