

다공질 실리콘의 형성과 특성에
관한 연구

성영권, 최복길, 김상영
고려대학교 전기공학과

A Study on the Formation and Properties of Porous Silicon

Yung-Kwon Sung, Bok-Gil Choi, Sang-Young Kim
Dept. of Electrical Eng., Korea University

ABSTRACT

The formation and properties of porous silicon layer(PSL) formed by anodic reaction in hydrofluoric acid solution have been studied. Many micropores are formed randomly inside of PSL and the anodization is achieved uniformly toward the thickness direction. Current density, resistivity and HF concentration in P-type PSL formation are found to play important roles in determining the formation and properties of PSL.

1. 서 론

전자소자 제조의 기초단계로서 HF 용액내에서 Si웨이퍼를 전기 분해하여 가공하는 electropolishing 을 연구하는 과정에서 porous silicon layer (PSL)가 형성된다는 것이 Uhler와 Turner에 의해 처음 보고 되었다. (1)

그후 PSL의 형성기구와 특성에 대한 활발한 연구를 통해 PSL은 Si의 국부적 용해에 의해 형성되고 다수의 세공(micropore)들로 이루어져 있으며 전해조건에 따라 PSL의 형성과 특성이 다르다는 것이 알려졌다. 또한 PSL은 다공성에 의해 화학적으로 대단히 활성적이며 낮은 온도의 일처리 과정에서도 Si단결정보다 빠른 산화가 일어나고 단시간내에 두꺼운 oxidized porous silicon (OPS)층을 형성하므로 집적회로의 isolation 을 위한 새로운 기술로서 OPS의 사용에 관심이 (3)

모아졌다.

PSL의 산화를 통해 full isolation 을 얻을수 있어 parasitic capacitance 와 soft errors를 줄이는 silicon-on-insulator(SOI)구조가 만들어지게 (5) 되므로 PSL은 3차원 IC로의 응용면에 최근 활발한 연구가 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 앞으로 응용이 크게 기대되나 아직도 충분한 연구가 이루어지지 않은 OPS층의 특성에 대한 깊이있는 고찰에 필요한 다공질 실리콘의 형성과 특성에 관한 연구 결과를 보고 하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 (111) P-type 단결정 (ρ : 0.013 - 20 Ω -cm) Si웨이퍼가 사용되었다. 전기분해에 앞서 웨이퍼를 세척한 다음 전해과정에서 균일한 양극 전류 분포를 얻기 위해 Si뒷면에 Si합금층을 형성하였다.

전해되지 않는 부분은 acid-proof wax로 덮고 일정한 전류밀도 하에서 그림 1의 실험장치를 이용하여 HF용액의 농도를 변화 시킨 경우를 제외하고는 시료를 47%의 HF용액내에서 전기분해 하였다.

소음파 세척기는 전해과정에서 웨이퍼 표면에서 발생하는 거품이 PSL표면에 고착되는 것을 방지하기 위해 사용되었다. 전해된 웨이퍼를 D.I water로 헹구고 wax를 제거한 다음 PSL에 남아 있는 HF용액을 제거하기 위해 전공내에서 100 -150°C의

온도로 일치시키 하였다. 시료의 단면은 angle lapping method로 연마한 다음 SEM으로 촬영하였고 PSL의 두께는 PSL의 경계로부터 측정하였다.

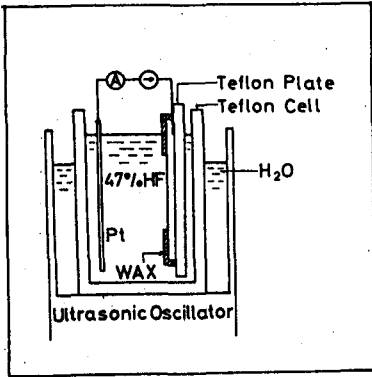


그림-1 실험 장치도

3. 결과 및 고찰

그림 2는 PSL의 구조를 도식적으로 나타내었다. 표면에 가까운 매우 얇은 층인 surface porous film(SPF)은 치밀하며 국부적으로 pit는 존재하나 세공은 관찰되지 않았다. PSL의 형성초기에는 표면에서 간섭무늬가 관찰되었는데 PSL이 두꺼워짐에 따라 표면은 암갈색으로 변화하였다. PSL의 내부에서는 많은 세공이 관찰되며 이러한 세공은 두께방향으로 zig-zag로 형성되었다.

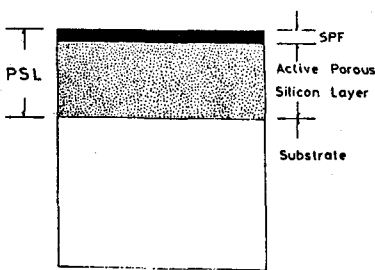
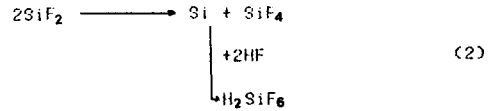


그림-2 PSL의 구조

PSL은 두께방향으로 균일하게 형성되므로 실리콘은 전해과정에서 두께방향으로 균일하게 용해된다는 것을 알수있다. 세공의 크기는 비저항과 전류밀도가 증가함에 따라 증가하였다.

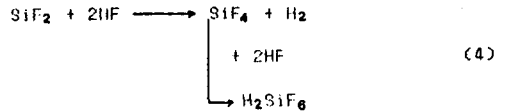
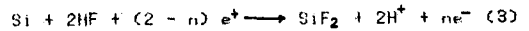
PSL표면에 존재하는 SPF은 Si etch로 용해되나 HF에는 용해되지 않으며 아래의 반응에 의해 생성된 실리콘의 퇴적에 의해 형성된다. (6)



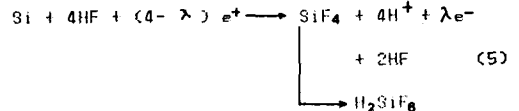
여기서 $n < 2$ 이며, e^+ 와 e^- 는 hole 과 electron을 나타낸다.

위의 SPF의 생성반응은 PSL표면에서 PSL의 형성초기 단계에서만 나타나므로 양극반응 시간이 증가함에 따라 SPF의 두께는 포화하게 되며 PSL의 성장은 이 SPF을 통해서 이루어진다. PSL에서 세공은 아래의 2가와 4가의 양극반응에 의해 생성된다.

2가 양극반응은



로 주어지며 4가 양극반응은



로 주어지며 여기서 $\lambda < 4$ 이다.

그림 3은 제안된 PSL의 형성기구를 보여준다.

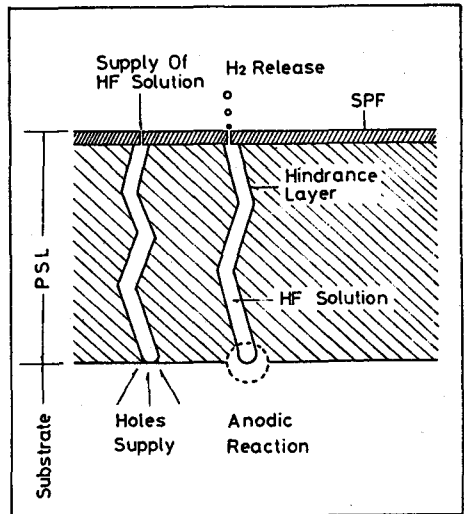


그림-3 PSL의 형성기구

세공에서 양극반응은 두께방향으로 균일하게 진행되며 PSL의 바닥에 존재하는 세공에서만 일어난다. PSL은 SPF에서 시작하여 실리콘산으로

아래어진 방해층에 의해 촉진되는 실리콘의 국부적인 용해에 의해 형성된다. 물과 Si, SiF₄Li SiF₄와 반응으로 생성된 실리콘산은 전해과정에서 PSL에 반이 방해층으로 작용하므로 양극반응은 실리콘산이 생성되지 않은 곳에서만 진행된다.

그림 4는 양극반응 시간과 PSL 두께와의 관계를 나타낸다. PSL의 두께는 양극 반응시간이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하며 전류밀도가 증가함에 따라 기울기는 증가하였다.

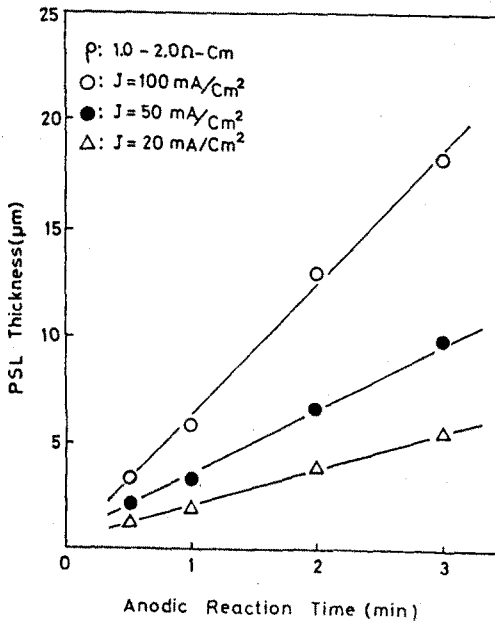


그림-4 양극 반응시간과 PSL 두께와의 관계

그림 5는 HF 농도와 PSL 생성률과의 관계를 나타낸다. HF 농도가 증가함에 따라 PSL의 생성률은 직선적으로 증가하며 전류밀도가 증가함에 따라 PSL의 생성률은 더욱 급속히 증가하였다. 전류밀도가 적을 때는 PSL 생성률에 대한 HF 농도의 영향은 작았다. 전류밀도 100mA/cm² 와 50 mA/cm² 에서는 높은 HF 농도에서 작은 (1) electropolishing 이 관찰되었으며 electropolishing 이 발생하면 일정한 전류 밀도를 HF 농도가 증가하면 증가하였다.

그림 6은 전류밀도와 PSL 생성률과의 관계를 나타낸다. 전류밀도가 증가함에 따라 PSL 생성률은 직선적으로 증가하였다. 기판의 비저항이 감소하면 PSL 생성률은 증가하며 전류밀도에 대한 PSL 생성률의

기울기는 기판의 비저항이 감소하면 약간 증가하였다.

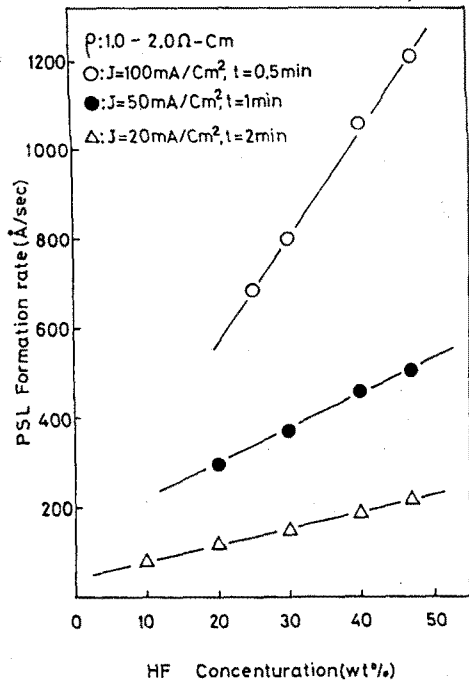


그림-5 HF 농도와 PSL 생성률과의 관계

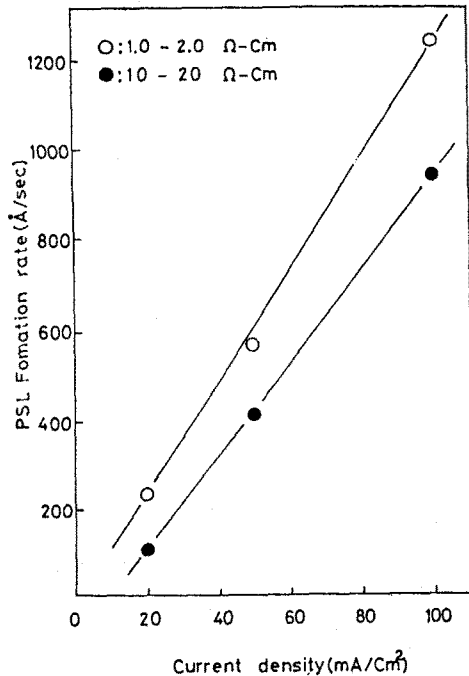


그림-6 전류밀도와 PSL 생성률과의 관계

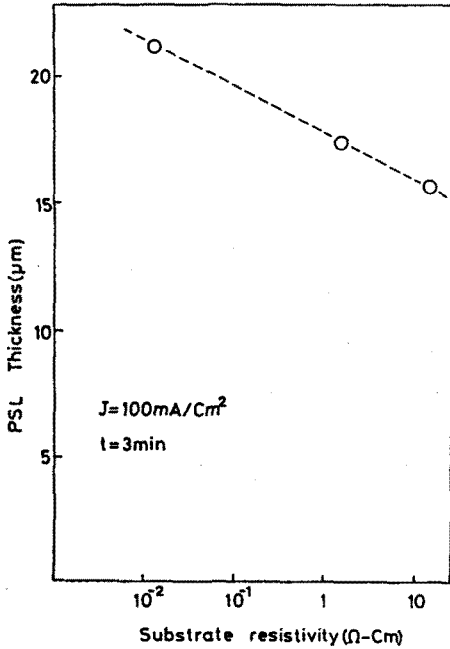


그림-7 기판의 비저항과 PSL두께와의 관계

그림 7은 기판의 비저항과 PSL두께와의 관계를 나타낸다. 기판의 비저항이 증가하면 PSL의 두께는 직선적으로 감소하였다.

4. 결 론

HF용액에서 양극반응에 의해 형성된 PSL의 성장과정과 특성을 조사한 결과 PSL표면은 치밀하였고 내부에서는 수 많은 새공이 관찰되었으며 양극반응은 두께방향으로 균일하게 이루어졌다. PSL의 특성은 전해조건에 따라 크게 변하였으므로 OP3를 isolation과 다른 목적으로 사용하기 위해서는 제어된 PSL의 형성이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) D.R. Turner : "Electropolishing Silicon in Hydrofluoric Acid Solutions", J. Electrochem. Soc., Vol. 105, No.7, 402 - 408(1958)
- 2) Y.Watanabe, et al: "Formation and Properties of Porous Silicon and Its Application", J. Electrochem. Soc., Vol.122, No.10, 1351 - 1355(1975)

- 3) T.C.Teng : "An Investigation of the Application of Porous Silicon Layers to the Dielectric Isolation of Integrated Circuits", J. Electrochem. Soc., Vol.126, No.5, 870 - 874(1979)
- 4) K. Imai and H. Unno : "FIPOS Technology and Its Application to LSI's", IEEE Trans., Vol. ED-31, No.3, 297 - 302 (1984)
- 5) H. Takai and T. Itah : "Porous Silicon Layer and Its oxide for the Silicon-On-Insulator Structure", J. Appl. Phys., Vol.60, No.1, 222 -225(1986)
- 6) T. Udagami : "Formation Mechanism of Porous Silicon Layer by Anodization in HF Solution", J. Electrochem. Soc., Vol.127, No.2, 476-483(1980)