

광전소자 패키징에서 광섬유 정렬을 위한 Si V-groove 형성

유영석, 김영호*

삼성전기 종합연구소, *한양대학교 재료공학과

The Formation of Si V-groove for optical fiber alignment in optoelectronic devices

Youngseck You and Young-Ho Kim*

Samsung Electro-mechanics, *Department of Materials Engineering, Hanyang University

(1999년 9월 1일 접수, 1999년 9월 22일 게재승인)

초 록 : 광 패키징에서 광섬유와 광전소자를 정확히 정렬하기 위한 V-groove의 치수 정밀도에 미치는 마스크 재료와 에칭용액의 영향을 연구하였다. PECVD nitride, LPCVD nitride, thermal oxide(SiO₂)를 마스크재료로 사용하였고 실리콘을 이방성에칭하는 용액으로 KOH(40wt%)용액과 KOH(40wt%)용액에 IPA를 첨가한 용액을 이용하였다. 마스크재료로는 LPCVD nitride가 가장 좋은 선택적에칭특성을 나타내었으며 사용된 마스크재료 중 thermal oxide가 가장 빠른 속도로 에칭되었다. V-groove의 크기 증가는 마스크층 아래의 undercutting에 의해 생겼는데 이는 주로 (111)면으로의 에칭 때문이었다. KOH(40wt%)용액에서 (111)면의 에칭속도는 0.034 - 0.037 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 마스크재료에 관계없이 거의 일정하였다. IPA를 KOH(40wt%)용액에 첨가하면 (100)면과 (111)면의 에칭속도는 모두 감소하지만 (111)면에 대한 (100)면의 에칭속도비는 증가하였다. 그러므로 이런 용액에서 (111)면으로의 에칭에 의한 undercutting현상은 줄어들었으며 V-groove의 크기를 더 정확하게 조절할 수 있었다.

Abstract : The effects of mask materials and etching solutions on the dimensional accuracy of V-groove were studied for the alignment between optoelectronic devices and optical fibers in optical packaging. PECVD nitride, LPCVD nitride, or thermal oxide(SiO₂) was used as a mask material. The anisotropic etching solution was KOH(40wt%) or the mixture of KOH and IPA. LPCVD nitride has the best etching selectivity and thermal oxide was etched most rapidly in KOH(40wt%) at 85°C among the mask materials studied here. The V-groove size enlarged than the designed value. This phenomenon was due to the undercutting beneath the mask layer from the etching toward Si (111) plane. The etch rate of (111) plane was 0.034 - 0.037 $\mu\text{m}/\text{min}$ in KOH(40wt%). This rate was almost same regardless of mask materials. When IPA added to KOH(40wt%), the etch rate of (100) plane and (111) plane decreased, but etching ratio of (100) to (111) plane increased. Consequently, the undercutting phenomenon due to etching toward (111) plane decreased and the size of V-groove could be controlled more accurately.

1. 서 론

광전소자(optoelectronic device)와 광섬유(optical fiber)를 집적하는 광패키징(optical packaging)에서 광전소자와 광섬유를 정확히 정렬하여 레이저의 emitting영역에서 나온 빛을 광섬유의 중심에 정확히 일치시키는 것이 매우 중요하다[1, 2]. 광섬유의 정렬방법으로 Si

wafer를 기판으로 사용하고 에칭 용액에 따라 결정면의 에칭 속도가 매우 큰 차이를 보이는 이방성에칭용액에서 Si를 에칭하여 V자 모양의 notch (V-grooves)를 형성하고 그 위에 광섬유를 고정하는 방법이 제시되었는데[3], 이 방법은 광전소자와 광섬유의 접속 효율을 향상시킨다.

정렬된 광섬유의 중심의 위치는 V-groove가 형성된 크기로 결정된다. 현재 광섬유로 이용

되는 단일 모드 광섬유중심의 지름이 5 μm 정도 이므로 광전소자와 단일 모드 광섬유의 정렬이 1 μm 이하의 정확도를 요구하게 되었고 이에 따라 실리콘 위에 형성되는 V-groove의 치수 정밀도 향상이 중요하게 되었다[1,4].

V-groove의 크기는 실리콘 마스크 크기에 의해 결정되는데 마스크 패턴은 마스크재료를 증착하고 단결정 실리콘의 <110>방향과 정확히 정렬하여 패턴닝하는 공정을 거쳐 얻는다. 따라서 실리콘을 에칭하여 형성되는 V-groove의 크기는 마스크패턴의 크기가 변화하거나 실리콘의 <110>방향과의 정렬오차로 발생하는 마스크재료 밑으로의 에칭으로 인하여 변화하며 마스크 패턴을 정확히 정렬하여도 관찰할 수 있는 마스크 밑으로의 undercutting현상에 의해서도 변화할 수 있다[5]. 마스크 밑으로의 undercutting 현상은 에칭 마스크재료와 Si의 에칭 특성 등에 따라 달라진다. 따라서 이러한 여러가지 마스크 재료에 따른 에칭특성의 변화에 대한 연구가 필요하며 V-groove의 치수 변화를 일으키는 요인을 정확히 알아보고 V-groove를 형성하는 공정에서 치수 정밀도를 향상시키는 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 마스크재료로 PECVD nitride, LPCVD nitride, thermal oxide(SiO_2)를 사용하여 KOH 용액에서 마스크재료의 선택적 에칭 특성과 마스크의 패턴닝 방법에 따른 패턴을 관찰하였으며 마스크재료에 따른 (100)방향과 (111)방향의 에칭속도를 계산하여 V-groove의 치수 변화에 대한 연구하였다. 그리고 KOH용액에 complexing agent로 알려진 용액 중 isopropyl alcohol(IPA)을 첨가하여 에칭용액조성의 변화에 따른 에칭특성 변화와 V-groove의 치수 정밀도 향상에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

Si 에칭 마스크 재료로는 plasma enhanced chemical vapor deposition(PECVD)방법으로 증착한 두께 414 nm의 SiN_x 박막, low pressure chemical vapor deposition(LPCVD) 방법으로 증착한 325 nm 두께의 SiN_x 박막, thermal oxidation방법으로 형성한 438 nm의 SiO_2 를 사용하였다. 마스크 재료는 사진식각작업 후 reactive ion etching(RIE) 장비를 이용하여 패턴닝하였다. 실리콘

이방성 에칭용액으로 40wt%의 KOH용액과 KOH(40wt%)용액에 IPA를 첨가한 용액을 사용하였다. 마스크 재료의 두께변화는 Ellipsometer로 측정하였으며 Si (100)면과 (111)면의 에칭속도는 SEM과 광학현미경을 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과

3.1. 마스크재료에 따른 실리콘의 이방성 에칭 특성 변화

3.1.1. 실리콘 마스크재료의 선택적 에칭특성
그림 1은 KOH 용액에서 마스크 재료의 에칭 시간에 대한 에칭 두께의 변화를 나타낸 그림이다. LPCVD nitride는 0.1 nm/min 미만의 매우 낮은 에칭속도를 보인 반면 PECVD nitride는 0.73 nm/min의 에칭속도를, thermal oxide는 10.4 nm/min의 상당히 빠른 에칭속도를 나타내었다.

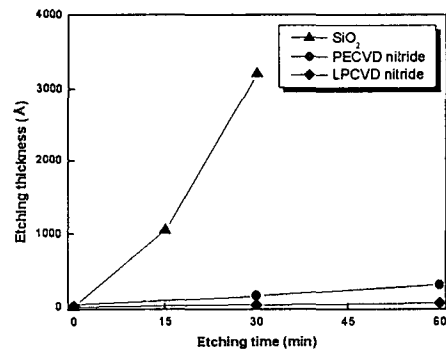


Fig. 1. The thickness reduction of masking materials in KOH(40wt%) solution at 85°C.

LPCVD방법으로 증착한 silicon nitride박막이 PECVD방법으로 증착한 시편에 비하여 더욱 낮은 에칭속도를 보이는 것은 LPCVD방법으로 증착한 silicon nitride박막은 Si_3N_4 로 정확한 stoichiometry로 증착되나 PECVD방법으로 증착한 silicon nitride박막은 10~30 at%의 수소를 포함한 $\text{Si}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 로 증착되므로 [6] LPCVD nitride가 KOH용액에서 보다 더 안정된 특성을 보이는 것으로 생각된다. 그리고 SiO_2 는 KOH용액내에서 2OH^- 기와 반응하

여 $\text{SiO}_2(\text{OH})_2^-$ 를 형성하면서 에칭되므로 KOH용액에서 빠르게 에칭된다[7]. 그러므로 SiO_2 를 mask재료로 사용하기 위해서는 매우 두꺼운 산화막이 필요할 것이다.

3.1.2. 실리콘 이방성 에칭과 마스크재료에 따른 (100)면의 에칭 속도

그림 2는 RIE로 건식에칭한 PECVD nitride를 마스크재료로 사용하여 85°C, KOH (40wt%)용액에서 1시간동안 에칭하여 250 μm의 마스크 패턴에서 형성된 V-groove를 찍은 사진이다. 이러한 V-groove는 완전한 V자를 형성하지 못하고 에칭이 진행되는 (100)면이 보이는 V-groove를 형성하였다. 이러한 V-groove를 관찰하여 밑면의 너비를 측정하면 실리콘이 (100)방향으로 에칭된 두께를 알 수 있다. 이때 창의 너비인 W와 밑면의 길이인 L 값을 알면 다음식에 의하여 에칭두께 T를 측정할 수 있다.

$$T = \left(\frac{W-L}{2}\right) \times \tan 54.74^\circ \dots\dots \text{식(1)}$$

실리콘의 (100)면 에칭속도는 PECVD nitride에서 1.68 μm/min, LPCVD nitride에서 1.66 μm/min로 mask종류에 관계없이 거의 일정하였다.

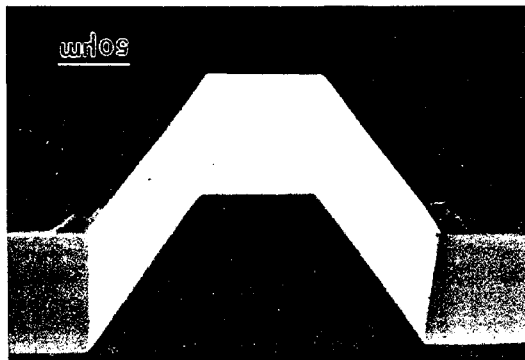


Fig. 2. SEM cross sectional micrographs showing V-groove of 250 μm pattern using PECVD nitride as masking material.

3.1.3. 마스크재료에 따른 (111)면의 에칭 속도

그림 3은 PECVD nitride의 마스크재료를

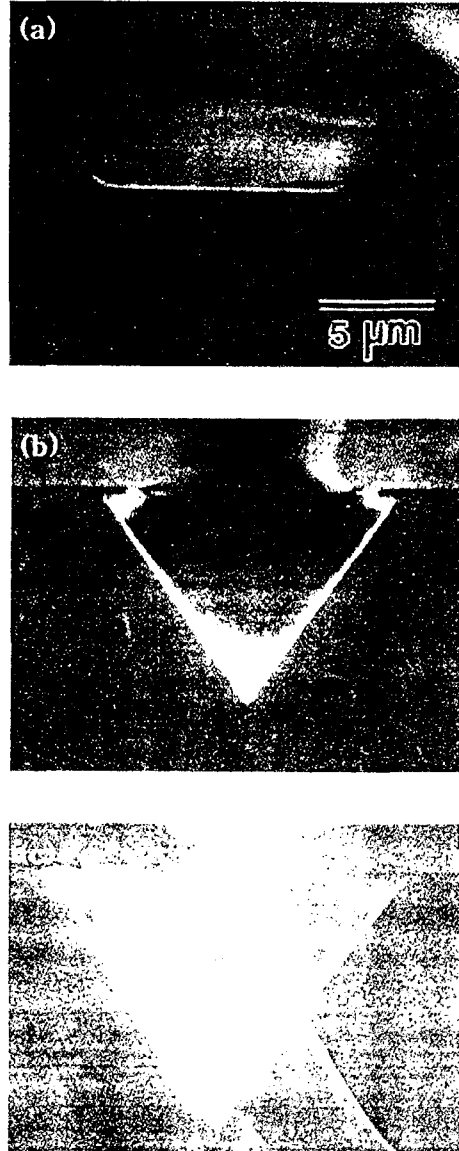


Fig. 3. SEM cross sectional micrographs showing V-grooves of 10 μm PECVD nitride pattern according to etching time. (a) initial stage (b) after 30 min (c) after 60 min

건식에칭방법으로 패턴닝하고 85°C의 KOH (40wt%)용액에서 에칭하여 10 μm의 패턴너비를 지닌 V-groove를 에칭시간에 따라 SEM으로 관찰한 단면 사진이다. 그림 3(a)에서 PECVD nitride의 초기 패턴된 너비는 실제로 10.7 μm이었고 그림 3(b)에서 30분 동안 이방성에칭한 후에 창의 너비가 13.5 μm인

V-groove를 관찰할 수 있었고 마스크재료 밑으로의 undercutting현상을 관찰할 수 있었다. 그리고 그림 3(c)에서 60분 동안 에칭한 시편은 30분 동안 에칭한 시편보다 마스크재료 밑으로의 undercutting현상(화살표로 표시)이 더욱 커지면서 V-groove의 크기가 증가하였다. 에칭시간에 따라 마스크재료의 너비변화와 창의 너비변화를 측정하여 표 1에 나타내었다. 표 1(b)에서 LPCVD nitride는 실리콘이 이방성 에칭되는 동안 거의 에칭되지 않았으나 표 1(a)에서 PECVD nitride는 60분이 지난 후에 1.7 μm 가 더 넓어졌다. 그리고 V-groove의 창의 너비가 초기 마스크 패턴의 크기보다 넓어진 길이는 LPCVD nitride 시편은 5 μm 이었으며 PECVD nitride는 5.5 μm 이었다. 따라서 undercutting이 일어나 V-groove가 커지는 이유는 실리콘이 (111)면으로 에칭되어 생기는 현상임을 알 수 있었다.

(111)면으로의 에칭 속도는 마스크재료 밑으로 undercutting된 길이를 측정하므로 계산이 가능하다. (111)면은 마스크 재료와 54.74°

를 이루고 있으므로 실리콘이 이방성 에칭된 시간을 알고 undercutting이 이루어진 부분의 너비를 측정하면 (111)면의 에칭두께(T)와 에칭속도를 구할 수 있으며 이러한 관계는 식 2로 나타내었다. 이러한 방법으로 측정된 결과 LPCVD nitride/Si 시편은 60분 동안 에칭된 (111)면의 에칭두께는 2.04 μm 이고 에칭속도는 0.034 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었으며 PECVD의 에칭속도는 0.037 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다.

$$T = \left(\frac{W-L}{2} \right) \times \sin 54.74^\circ \dots \dots \text{식}(2)$$

3.2. IPA 용액 첨가의 영향

표 2는 LPCVD nitride을 마스크재료로 사용한 Si wafer를 KOH(40wt%)용액에 IPA를 첨가하여 85°C에서 60분간 에칭하고 V-groove의 밑면 너비를 광학현미경으로 측정하여 식 1과 2에 의하여 에칭속도를 측정된 결과를 나타내었다. IPA를 1:1의 질량비로 첨가한 경우에 에칭속도는 1.14 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었으며 1:2로 첨가한 경우에 (100)면의 에칭속도는 1.12 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. 이러한 결과는 IPA를 첨가하지 않은 경우에 나타내었던 LPCVD nitride의 에칭속도인 1.66 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에 비하면 상당히 감소하였음을 알 수 있으며 IPA의 첨가량을 증가시킴에 따라서 (100)면으로의 에칭속도가 더욱 감소하였다.

또한 (111)면의 에칭속도는 IPA를 1:1로 첨가한 용액의 경우 0.022 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이며 IPA를 1:2로 첨가한 용액은 0.019 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. 따라서 IPA를 첨가하지 않은 시편에서 계산하였던 0.034 $\mu\text{m}/\text{min}$ 인 (111)면의 에칭속도보다 감소하였음을 알 수 있었다. 이는 KOH용액에

Table 1. Size variations of mask patterns and V-groove windows in KOH(40wt%) solution at 85°C.

(a) PECVD nitride/Si

시간	Mask의 창의 너비 (μm)	Mask 너비의 증가치 (μm)	V-groove의 너비 (μm)	V-groove 너비의 증가치 (μm)
초기	10.7		10.7	
30분	11.2	0.5	13.5	2.8
60분	12.4	1.7	16.2	5.5

(b) LPCVD nitride/Si

시간	Mask의 창의 너비 (μm)	Mask 너비의 증가치 (μm)	V-groove의 너비 (μm)	V-groove 너비의 증가치 (μm)
초기	11.2		11.2	
30분	11.2	0	14.2	3.1
60분	11.2	0	16.2	5.0

Table 2. Etch rate of (111)plane according to adding IPA to KOH(40wt%) solution at 85°C.

질량비 KOH : IPA	V-groove의 너비 (μm)	V-groove 너비의 증가치 (μm)	(111)면의 에칭 두께 (μm)	(111)면의 에칭 속도 ($\mu\text{m}/\text{min}$)
1 : 1	14.2	3.2	1.306	0.022
1 : 2	13.8	2.8	1.143	0.019

IPA를 첨가하면 IPA가 에칭되는 (100)면과 (111)면을 덮어서 OH기가 Si과 반응하는 것

을 막거나 에칭후 반응 물질이 떨어져 나가는 것을 방해하여 에칭 속도를 감소시키는 완화제로 작용하였음을 보여 준다[8].

4. 고 찰

4.1. 마스크재료에 따른 실리콘의 이방성 에칭 특성 변화

마스크재료에 따른 실리콘 (100)에칭속도는 1.62-1.68 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 마스크재료에 따라 약간의 차이가 있었다. 그러나 디자인된 마스크 패턴과 패턴닝한 마스크재료의 패턴 사이의 크기 변화가 존재하며 (111)면으로의 에칭으로 인해 마스크재료 밑으로도 에칭된다. 따라서 이러한 변위는 에칭속도를 계산하는 그림 4에서 창의 너비인 W값의 변화를 발생시키므로 앞에서 계산된 (100)면의 에칭속도를 보정하여야 한다. 앞에서 패턴닝된 PECVD nitride, LPCVD nitride를 관찰한 결과 PECVD nitride는 0.7 μm , LPCVD nitride는 1.2 μm 의 차이를 보였으며 실제로 이러한 차이를 보정한 에칭속도는 PECVD nitride는 1.69 $\mu\text{m}/\text{min}$, LPCVD nitride는 1.67 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 에칭속도는 커지며 에칭속도의 차이는 줄어든다. 그리고 (111)면으로의 에칭으로 인한 영향으로 생긴 변화도 에칭속도를 0.06 $\mu\text{m}/\text{min}$ 만큼 증가시킬 것이며 이러한 영향으로 인한 마스크재료에 따른 에칭속도의 차이는 발생하지 않은 것으로 보인다.

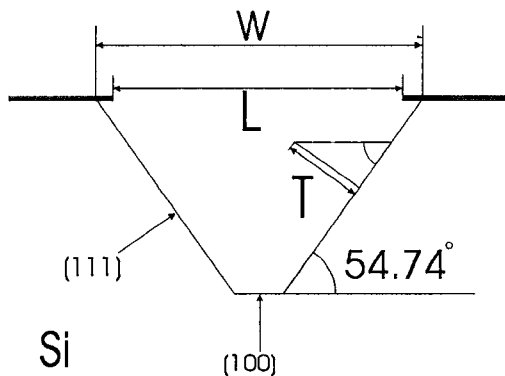


Fig. 4. Cross sectional feature of V-groove etched under masking materials.

PECVD nitride와 LPCVD nitride인 마스크 재료를 사용한 시편에서 마스크재료 밑으로

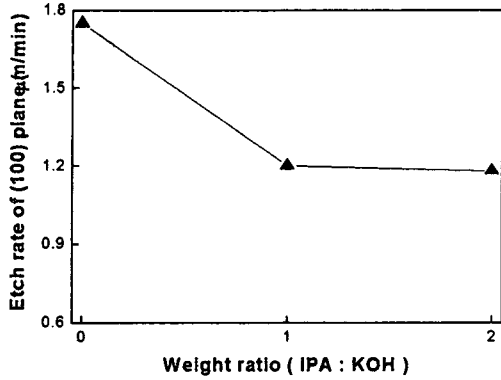
의 undercutting의 관찰을 통한 (111)면의 에칭속도 계산에서 PECVD nitride와 LPCVD nitride의 선택적 에칭의 차이로 인한 마스크재료 자체의 에칭차이에도 불구하고 (111)면의 에칭속도는 거의 일치하였다. 그러나 이러한 (111)면으로의 에칭으로 인한 V-groove의 크기 변화가 발생하며 (111)면의 에칭속도(V_{111})에 대한 V-groove의 창 크기의 변화(ΔW)는 식 3으로 나타낼 수 있다. 따라서 V-groove의 창 크기의 변화를 줄이기 위해서는 (111)면의 에칭속도를 감소시키는 것이 필요하다.

$$\Delta W = \frac{V_{111} \cdot t}{\sin \theta} \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

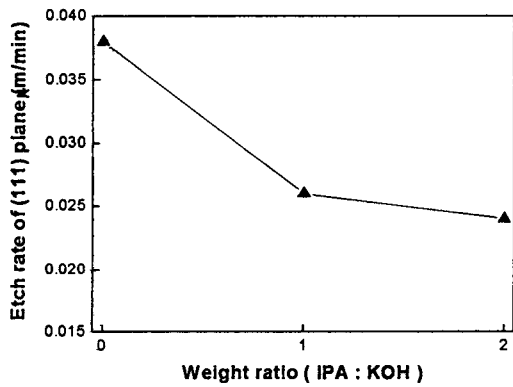
그러나 (111)면의 속도를 작게하기 위하여 (100)면의 속도가 작아진다면 에칭시간이 길어져 결국 변위는 같아지게 되므로 (100)면의 속도를 증가시키면서 (111)면의 에칭속도를 감소시켜야 한다. 이러한 (100)면의 에칭속도에 대한 (111)면의 에칭속도를 나타내는 에칭비를 향상시키는 연구가 필요함을 알 수 있었다.

4.2. 에칭용액의 조성을 변화에 따른 Si 에칭 특성 변화

KOH(40wt%)용액에 IPA를 첨가하여 실리콘을 에칭하고 측정된 (100)면의 에칭속도는 앞에서와 마찬가지로 마스크 패턴의 크기 변화와 undercutting된 길이를 보정하여야 하며 IPA를 1:1로 첨가한 경우에 에칭속도는 1.19 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었으며 1:2로 첨가한 경우는 1.17 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이었다. 이러한 LPCVD nitride를 마스크재료로 사용한 시편의 (100)면의 에칭속도와 (111)면의 에칭속도 그리고 (100)면의 에칭속도를 (111)면의 에칭속도로 나눈 이방성 에칭비(R_{100}/R_{111})를 KOH(40wt%)에 첨가한 IPA의 질량비에 따라서 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a), (b)에서 IPA의 첨가함에 따라 실리콘의 (100)면과 (111)면의 에칭속도가 모두 감소함을 볼 수 있다. 그러나 그림 5(a)와 (b)를 비교해 보면 (100)면의 에칭속도의 감소가 (111)면의 에칭속도 감소보다 더 작으므로 그림 5(c)에서 처럼 IPA를 첨가하지 않은 KOH(40wt%)용액은 (111)에칭속도에 대한 (100)면의 에칭비(R_{100}/R_{111})가 51.2이고 IPA를 1:1로 첨가한 경우에 56.7이며 IPA를 1:2로 첨가한 경우에 61.5로 에칭비가 향상되었다. 이



(a)



(b)

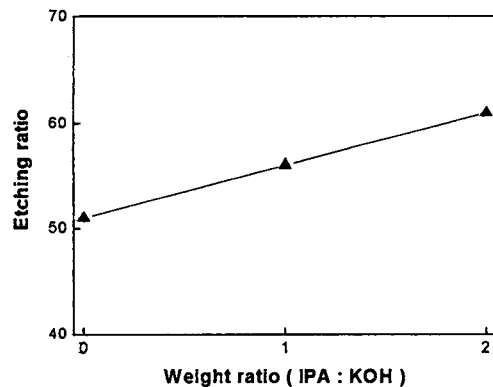


Fig. 5. Etch rates and etch ratios according to IPA adding ratio in KOH(40wt%) at 85°C.

는 IPA첨가가 에칭비를 향상시킨다는 Seidel 등의 결과와 일치한다(7). 이러한 에칭비와 V-groove의 치수변화의 관계는 식 3의 (111)면의 에칭속도와 V-groove의 치수변화를 나타낸 식으로 부터 (111)면의 에칭속도를 에칭비와 (100)면의 속도로 나타낸 식 4로 나타낼 수 있다. 식 4에서 똑같은 크기의 패턴을 통하여 V-groove를 형성한다면 에칭두께($V_{100} \cdot t$)는 일정하며 V-groove의 치수 변화(ΔW)는 에칭비($R_{100/111}$)에 반비례한다. 따라서 KOH(40wt%)용액에 IPA를 첨가시킨 용액에서 V-groove를 형성할 때 에칭비를 증가하므로 더 정밀한 V-groove를 형성시킬 수 있다.

$$\Delta W = \frac{V_{100}t}{R_{100/111} \sin \theta} \dots\dots\dots \text{식 (4)}$$

5. 결 론

1. KOH용액에서 마스크재료는 각기 다른 선택적 에칭 특성을 지녔으며 LPCVD방법으로 증착한 silicon nitride는 거의 에칭되지 않으므로 증착두께가 작아도 마스크재료로써 충분한 역할을 할 수 있는 반면에 silicon dioxide는 에칭이 빨랐다.

2. 에칭이 진행중인 (100)면이 있는 V-groove를 관찰하여 (100)면의 에칭속도를 측정할 수 있었으며 KOH(40wt%), 85°C에서 마스크재료에 상관없이 실리콘 (100)면의 에칭속도는 1.74 μm/min로 일정하였다.

3. 마스크재료 밑으로의 undercutting현상으로 측정할 수 있었던 (111)면의 에칭속도는 마스크재료에 상관없이 대략 0.034 - 0.037 μm/min로 거의 일정하였으며 (111)면의 에칭이 V-groove의 치수 정밀도를 저해하는 요인이었다.

4. KOH용액에 IPA를 첨가한 용액에서 Si (100)면과 (111)면의 에칭속도는 감소하지만 에칭비를 향상시키므로써 V-groove의 치수 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 한국전자통신연구원의 송민규 박사님을 비롯한 여러분께 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. M. R. Matthews, B. M. Macdonald and K. R. Preston, "Optical Component - New challenge in packaging," IEEE Trans. CHMT, Vol. 13, pp.798 - 806 (1990)
2. S. Sriram and R. L. Holman, "Packaging of components for optical fiber technology", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 108, pp. 419 - 430 (1988)
3. Craig A. Armiento, Alfred J. Negri, Marvin J. Tabasky, Robert A. Boudreau, Mark A. Rothman, Thomas W. Fitzgerald and Paul O. Haugsjaa, "Gigabit transmitter array modules on silicon wafer board", IEEE Trans. CHMT, Vol. 15, pp. 1072 - 1080 (1992)
4. M. Saruwatari and K. Nawata, "Seondcor laser to single-mode fiber coupler", Applied Optics, Vol. 18, No. 11, pp. 1847 - 1856 (1979)
5. Michael J. Wale and Colin Edge, "Self-aligned flip chip assembly of photonic devices with electrical and optical connections", IEEE Trans. CHMT, Vol. 13, pp. 780 - 786 (1990)
6. S. Wolf and R. N. Tauber, "Silicon Processing", Lattice Press, pp. 518 - 532 (1987)
7. H. Seidel, L. Csepregi, A. Heuberger and H. Baumgärtel, "Anisotropic Etching of Crystalline Silicon in Alkaline Solutions", J. Electrochem. Soc., Vol. 137, No. 11, pp. 3612 - 3625 (1990)
8. E. D. Palik, H. F. Gray and P. B. Klein, "Raman Study of Etching Silicon in Aqueous KOH", J. Electrochem. Soc., Vol. 130, No. 4, pp. 956 - 959 (1983)