

표면 활성화 처리가 비정질 규소 박막의 결정화에 미치는 영향

이의석, 김영관

인천대학교 재료공학과, 인천, 402-749
(1998년 12월 1일 접수)

The effect of the surface activation treatment on the crystallization of amorphous silicon thin film

Ui Sock Lee and Young Kwan Kim

Department of Material Science and Engineering, University of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(Received December 1, 1998)

요 약 본 연구에서는 비정질 규소 박막의 결정화를 촉진시키기 위하여 표면 활성화 처리의 영향을 관찰하였다. 표면 활성화 방법으로는 습식 연마법(Wet Blasting)과 Nd:YAG 레이저의 빔을 사용하였고, 700~800°C에서 관상로 열처리를 행하여 고상 결정화에 미치는 영향을 보았다. 결정화 정도의 기준으로는 XRD 분석을 통해 얻은 (111) 피크강도를 이용하였으며, 결정의 품질을 분석하기 위해 Raman분석을 행하였다. 결정화의 표면 형상에 대한 관찰은 주사전자 현미경(SEM)을 사용하였다. 본 실험 결과 표면 활성화 처리는 비정질 규소박막의 결정화를 촉진하고, 결정의 품질을 향상시키는 것으로 확인되었다. 습식 연마법(Wet Blasting)의 경우 2 Kgf/cm²의 압력이 가장 효과적이었고, 레이저의 에너지는 100~200 mJ/cm²가 효과적이었다. 이것은 표면활성화 처리를 통하여 비정질 실리콘 박막의 표면에 strain energy가 형성되어 결정화에 필요한 엔탈피에 영향을 미친 효과 때문으로 예상된다.

Abstract The effect of the surface activation treatment on the crystallization of the amorphous silicon film was investigated. The amorphous silicon film was deposited on the silica substrate with LPCVD technique. Wet blasting with silica slurry or exposure with Nd:YAG laser beam was applied on the amorphous silicon film before annealing for the crystallization. For the analysis of the crystallinity, XRD, Raman, and SEM were employed. In this investigation, the prior surface activation treatment like silica wet blasting or Nd:YAG laser beam exposure before annealing for the crystallization were found to be effective in the enhancement of the crystallization. It is believed that these treatment lower the activation energy required for the crystallization of the amorphous silicon film.

1. 서 론

정보화의 발전에 따라 차세대 정보 표시기로 기존의 음극선관(CRT)을 대체할 정보 표시 소자로 박형, 경량, 고밀도, 고정세 평판 표시 소자(flat panel display) 개발이 최근 활발히 진행되고 있다. 개발표시소자중 액정표시소자(liquid crystal display)의 경우 그 화소(pixel) 특성이 비교적 우수한 것으로 알려져 있다. 기존의 액정 표시 소자는 화소(pixel)의 스위칭을 위한 비정질 실리콘 박막 트랜지스터와 구동용 IC로 이루어져 있다. 상품화된 능동 행렬(active matrix) 액정표시소자 경우 화소 구동 소자인 박막트랜지스터(TFT)의 활성층(active

layer)으로 사용하는 실리콘 박막은 낮은 공정 온도로 인해 유리 기판을 사용할 수 있다는 이유로 비정질 박막을 사용하고 있다. 그러나 비정질 실리콘 박막은 표시화소 구동 소자의 전기적 특성(낮은 전계효과 이동도: 0.1~1.0 cm²/V.S)과 신뢰성 저하 및 표시 소자 대면적화에 어려움이 있다[1-3]. 대면적, 고밀도, 고정세 및 panel 영상구동회로, 일체형 laptop computer, 벽걸이 TV 등 OA, AV용 액정표시소자의 상품화는 우수한 전기적 특성(높은 전계효과 이동도: 30 cm²/V.S 이상, 고주파 동작특성 및 낮은 누설 전류)의 화소 구동 소자 응용을 요구하며 이는 고품위(한정적 조대 결정립 구조 및 낮은 결정결함 밀도)의 다결정 실리콘 박막 트랜지스터

의 응용을 요구하고 있다[4-6].

비정질 박막을 재결정화 방법으로는 크게 관상로에 의한 고상결정화(SPC), 레이저 어닐링 액상결정화(LPC), 급속결정화(RTP) 및 금속원소 유입 고상결정화(MIC) 등으로 분류할 수 있다[7-9]. 고상결정화 연구는 증착된 비정질막을 열처리를 통해 재결정화 하거나, 증착된 다결정 박막에 이온주입을 통해 비정질화 한 후 다시 다결정화하는 방법 등이 제안되었다. 고상결정화는 비교적 저렴한 열처리 비용과 낮은 표면조도(surface roughness) 특성 및 고품위 결정화가 가능하다는 장점이 있지만 corning 변형점 이하의 저온 결정화는 장시간(최소 20시간) 열처리에 의한 낮은 생산성 문제가 있다[10]. 레이저 어닐링 액상결정화 다결정막의 경우 상대적으로 좋은 물성을 보여주고 있으나 대면적 평판표시 소자에 응용시 균일성과 결정화 정도 등에 문제점을 갖고 있다[11, 12]. 금속원소 유입 고상결정화는 비정질 규소의 결정화 온도는 500°C 이하로 낮아지게 되나, 금속 이온에 의한 오염으로 인해 실제 트랜지스터에 응용하기는 더욱 많은 연구가 필요하다[13, 14]. 최근 관심을 끄는 새로운 연구 주제는 비정질 실리콘 선행막에 인위적으로 핵을 생성(artificial nucleation)시킨 후 열처리를 통하여 단시간에 조대한 결정립을 가지는 다결정 실리콘 박막을 제작하는 것이다. 인위적으로 핵을 만드는 방법으로는 고온 급속 열처리(RTP)를 하여서 고체 상태에서 원자들을 응집(solid state agglomeration)시켜 핵을 만드는 방법, 레이저로 핵을 만드는 방법(selective laser-induced nucleation) 등이 제시되고 있다[15-17].

본 실험에서는 표면 활성화 전처리 방법으로 실리카 슬러리를 이용한 습식 연마법(wet blasting)과 Nd:YAG 레이저 빔 조사법의 응용 가능성을 실험하였다. 표면 활성화 처리를 통하여 비정질 규소 박막의 표면 에너지 준위를 상승시켜, 결정화에 필요한 활성화 에너지(엔탈피)를 감소시키는 효과를 확인하려고 하였다. 또한 투명한 기판을 사용하기 때문에 기판이 연화되거나 Corning 기판의 불순물이 박막으로 확산되기 이전에 결정화를 끝낼 수 있도록 관상로를 이용하여 고온 단시간에 열처리를 하였다.

2. 실험 방법

비정질 실리콘 박막은 disilane(Si_2H_6)을 source gas로 이용하여 485°C의 온도에서 저압화학 기상증착(LPCVD)으로 3" 실리카 기판 위에 증착하였다. 증착 압력은 0.25 Torr, 박막의 두께는 2000 Å으로 증착하였다. 비정질 규소 박막의 표면 활성화를 위해서 반도체공

정의 금속불순물 gettering 방법인 기계적 습식 연마(mechanical wet blasting)와 Nd:YAG 레이저를 응용하였다. 기계적 습식연마는 입자 크기가 $3.4 \pm 0.4 \mu\text{m}$ 인 SiO_2 를 물과 섞어 슬러리를 만들어 사용하였다. 슬러리 농도는 $102.5 \pm 0.5 (\text{g}/\text{H}_2\text{O} 100 \text{cc})$ 로 하였다. 이 슬러리를 Ar gas를 이용하여 규소 박막에 분사하였는데, 분사 압력은 $2, 4 \pm 0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 이고 시간은 20초 동안 하였다. 위에 기술한 습식 연마의 변수들은 실제 반도체 공정에서 사용되는 변수들이다.

Nd:YAG 레이저는 파장이 532 nm인 레이저 빔을 비정질 박막의 표면에 육안으로 확인할수 있는 손상이나 변형을 주지 않는 범위인 126, 200, 256 mJ/cm^2 로 에너지를 변화하여 조사하였다.

비정질 규소 박막의 결정화를 위한 열처리는 관상로를 사용하였다. 열처리는 700, 750, 800°C 세 온도에서 열처리 시간을 달리하였고 질소 분위기에서 이루어졌다. 결정화된 규소 박막의 결정화 정도를 비교하기 위해 650°C에서 72시간 동안 질소 분위기에서 열처리한 표준시편을 만들었다.

결정화의 기준으로는 XRD 분석을 통해 얻은 (111) 피크강도를 이용하였는데, 30 KV, 40 mA로 20°에서 60°까지 분당 3°의 스캔속도로 측정하였다. Thin film mode를 이용하여 1°의 각도로 측정하였다. 결정의 품질을 분석하기 위해 Raman분석을 행하였다. Raman 분석은 Ar 레이저(514.5 nm)를 사용하였고, 400~600 cm^{-1} 까지 분당 120 cm^{-1} 의 속도로 측정하였다. 결정화되는 표면 형상은 주사전자 현미경(SEM)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간과 온도에 따른 실리카 슬러리 습식 연마 효과 분석

Fig. 1은 800°C에서 5분 열처리한 시료와 650°C에서 72시간 동안 열처리한 표준시편의 XRD 피크를 비교한 것이다. 표준시편은 지금까지 연구된 저온 고상 결정화 조건(550~650°C, 40~100 hr)[18] 중 가장 좋은 특성을 나타내는 열처리 조건을 이용하였다. 표준시편의 결정화율은 100%라고 확신할 수는 없지만 본 실험에서 가장 좋은 결정화율을 나타내기 때문에 표준시편의 (111) 피크의 크기를 기준으로 결정화율을 분석하였다. 다결정 실리콘의 XRD 피크는 (111), (220), (311)이 있는데 이중 결정화된 실리콘의 경우 (111) 피크가 가장 크므로 (111) 피크를 결정화의 기준으로 삼았다. 저온에서 장시간 열처리한 표준시편의 (111) 피크가 가장 크게

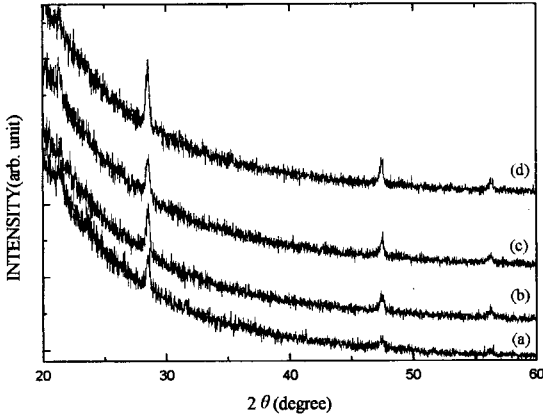


Fig. 1. XRD peak of crystallized silicon films at 800°C, 5 min. (a) non-activated film, (b) and (c) wet blasted film 2, 4 kgf/cm² (d) standard sample (650°C, 72 hr).

나타난 것을 볼 수 있다. 또한 표면 활성화 처리(습식 연마)를 한 시편이 활성화 처리를 하지 않은 시편보다 (111) 피크가 강한 것으로 보아 표면 활성화처리가 비정질 규소박막의 결정화에 긍정적인 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 이는 표면 활성화 처리에 의해 비정질 기지 내에 불균일한 잔류응력이 형성되어 결정화를 촉진하는 효과가 있는 것으로 생각된다. 그 이유는 반도체 웨이퍼링 공정에서 사용되는 외인성 게터링의 습식연마는 웨이퍼의 뒷면에 잔류응력을 형성시켜 dislocation 등의 결함을 제어하는 역할을 하기 때문이다.

Fig. 2는 식(1)과 같이 각 시편의 (111) 피크 높이를 표준시편의 (111) 피크 높이로 나누어 온도와 시간에 따른 결정화율을 나타낸 것이다.

$$X_T = \frac{\text{Intensity of (111)}_{\text{specimen}}}{\text{Intensity of (111)}_{\text{standard}}} \quad (1)$$

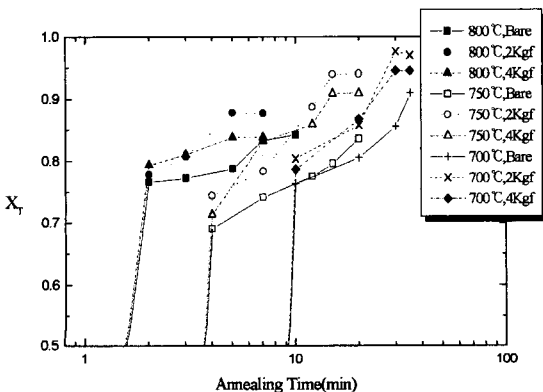


Fig. 2. Transformation fraction of wet blasted film vs. annealing time on various temperature.

Fig. 1과 마찬가지로 습식 연마가 결정화를 촉진함을 알 수 있다. 700°C의 경우 30분 열처리했을 때 2 kgf의 결정화율은 0.976, 4 kgf는 0.945, 활성화 처리하지 않은 것은 0.855로 나타났다. 결정화율이 가장 큰 2 kgf의 경우, 800°C에서는 0.877, 750°C에서는 0.94, 700°C에서는 0.976으로 결정화율이 나타났다. 시간이 증가할수록 결정화도 역시 증가하나 800°C에서 5분, 750°C에서 12분, 700°C에서 30분 정도에 결정화가 포화됨을 알 수 있다. 또한 결정화를 위한 열처리에서는 저온(700°C)에서의 표면 활성화 효과가 뚜렷하게 나타났다. 저온(700°C)에서 효과가 큰 이유는 고온일수록 열의 효과가 활성화 효과에 비하여 상대적인 기여가 크기 때문으로 판단된다.

Fig. 3은 습식 연마 압력의 변화에 따른 활성화 처리한 시편과 활성화 처리하지 않은 시편의 결정화에 필요한 엔탈피의 차이를 나타낸 것이다. 이때 사용한 수식은 Johnson-Mehl-Avrami[19]의 이론에서 유도한 것으로,

$$1 - X_T = \exp(-Kt^4) - Kt^4 = \ln(1 - X_T) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{where, } K &= \frac{\pi}{3} R_N R_G^3 \\ &= \frac{\pi}{3} R_{N0} R_{G0}^3 \exp\left(-\frac{\Delta H_{tot}}{kT}\right) \\ \Delta H_{tot} &= \Delta H_N + 3\Delta H_G \quad (3) \end{aligned}$$

식(2)와 (3)을 이용하여 결정화율과 엔탈피에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{\Delta H_{totA} - \Delta H_{totB}}{kT}\right) = \ln\left[\frac{\ln(1 - X_{TB})}{\ln(1 - X_{TA})}\right] \quad (4)$$

식(4)와 같이 XRD 피크를 이용하여 결정화율을 정하면 결정화에 필요한 엔탈피를 비교할 수 있다. 즉 활성화

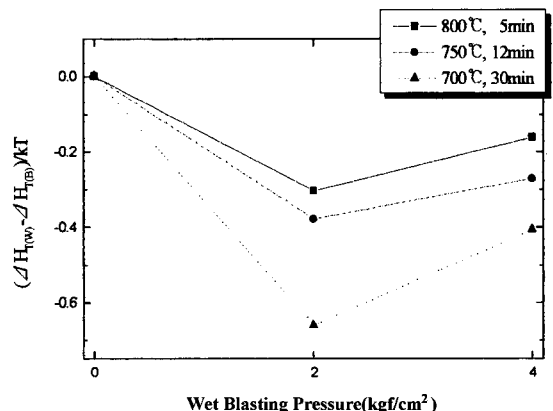


Fig. 3. Variation of ΔH for crystallization vs. Wet blasting pressure.

화 처리한 것의 엔탈피에서 처리하지 않은 것의 엔탈피를 빼면 그 값의 부호로 활성화 처리의 효과를 알 수 있다. 식(4)의 좌변이 음수가 되면 활성화 처리했을 경우 결정화에 필요한 엔탈피가 감소함을 뜻한다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 습식 연마는 결정화에 필요한 엔탈피를 감소시킨다. 엔탈피 감소의 효과는 2 kgf/cm²의 압력과 저온(700°C)에서 더 크게 나타났다. 이것은 2 kgf/cm² 보다 압력이 적은 경우엔 저장되는 strain 에너지가 적고, 2 kgf/cm² 이상이 되면 오히려 격자를 파괴하여 strain 에너지의 저장 양을 줄이는 것으로 예상된다. 또한 저온(700°C)에서 효과가 큰 이유는 고온일수록 열의 효과가 활성화 효과에 비하여 상대적 인 기여가 크기 때문으로 판단된다. 하지만 결정화에 필요한 총 엔탈피의 변화를 확인하였지만 습식연마가 핵 생성에 필요한 엔탈피를 줄이는 것인지, 핵 성장에 필요한 엔탈피를 줄이는 것인지에 대해서는 확인이 불가능하다.

Raman spectrum의 경우 비정질 실리콘이 wave number가 480 cm⁻¹에서 넓은 피크가 나타나고, 단결정 실리콘은 521 cm⁻¹에서 강한 피크가 나타난다. 다결정 실리콘 박막의 경우는 521 cm⁻¹에서 낮은 wave number 쪽으로 shift된 피크가 나타난다. 습식 연마 압력에 따른 Raman shift를 Fig. 4에 나타내었다. 습식 연마 처리한 것의 wave number가 표준 시편에 근접함을 볼 수 있다. 따라서 습식 연마가 결정의 품질을 향상시킴을 알 수 있다. 박막의 품질을 평가할 수 있는 또 하나의 기준은 피크의 폭이다. 단결정 실리콘과 다결정 실리콘의 Raman spectrum의 피크를 Lorentz fitting을 한 후 normalize한 것을 비교하면 피크 중심에서 높은 wave number쪽의 피크폭은 거의 비슷하나 낮은 wave number쪽의 피크폭은 차이가 남을 알 수 있다. 이를 비교하기 위해 Fig. 5에 보여진 바와 같이 최고

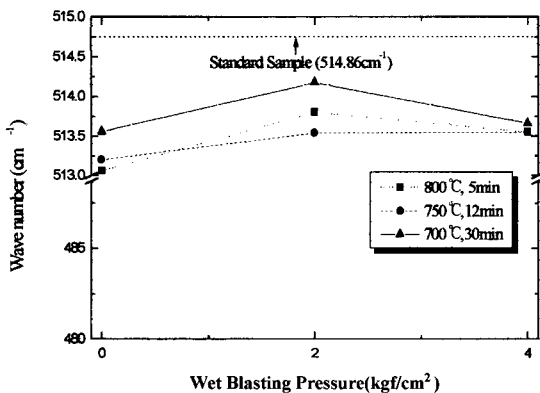


Fig. 4. Raman shift vs. Wet blasting pressure on annealing condition.

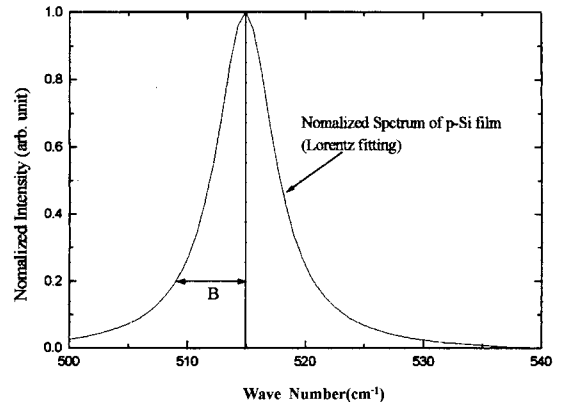


Fig. 5. Normalized Raman spectrum of p-Si films.

피크 강도를 1로 normalize 시킨 후 상대피크강도가 0.2가 되는 지점에서 낮은 wave number 쪽으로의 피크 폭을 B라 정의했다. B 값이 클수록 내부변형이나 결정 결함이 많다고 볼 수 있다[20]. Fig. 6은 Raman 피크의 B 값을 나타낸 것이다. B 값은 습식 연마 압력에 따라 감소함을 볼 수 있다. 즉 습식 연마가 결정의 품질을 향상시킴을 알 수 있다.

Fig. 7은 주사 전자 현미경(SEM)으로 750°C에서 12분간 열처리한 박막의 표면을 찍은 사진이다. Fig. 7 (a)는 표준 시편의 사진으로 2.5 μm 정도의 상당히 조대한 결정립이 형성된 것을 볼 수 있다. 활성화 처리를 하지 않은 것은 결정화가 계속 진행 중이며, 습식 연마를 한 (c)와(d)는 결정화가 거의 포화되었고, 활성화 처리하지 않은 것 보다 조대한 결정립이 형성됨을 볼 수 있다.

이처럼 습식 연마 처리는 핵 생성을 위한 활성화 에너지를 낮추며 동시에 핵 생성물의 지역별 치동화를 가져와 생성되는 핵의 수가 적게되어 결국에는 조대한 고품질의 결정립 생성을 가져온다고 예상 할 수 있다.

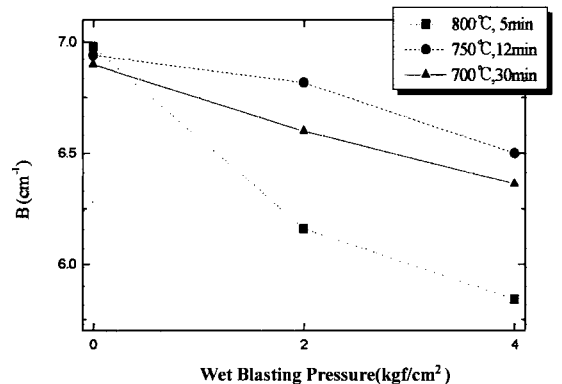
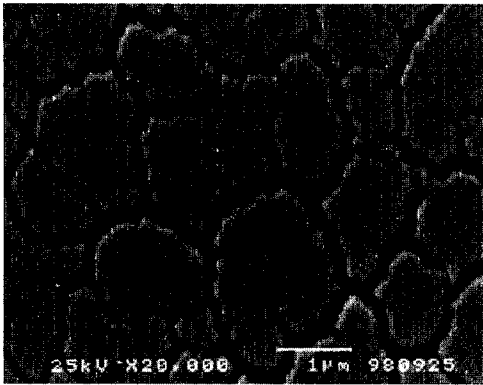
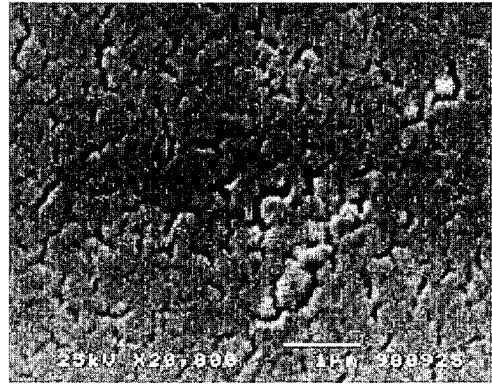


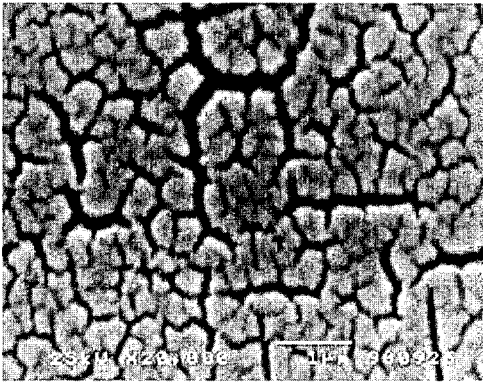
Fig. 6. B vs. Wet blasting pressure on annealing condition.



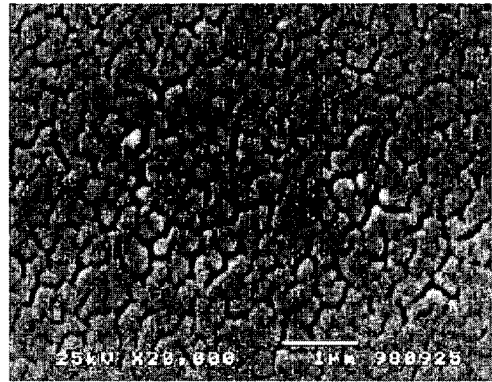
(a) 650 °C, 72hr



(b) 750 °C, 12min, bare



(c) 750 °C, 12min, 2kgf



(d) 750 °C, 12min, 4kgf

Fig. 7. SEM photograph of wet blasted p-Si.

3.2. 시간과 온도에 따른 Nd:YAG 레이저빔 효과 분석

Fig. 8은 800°C에서 5분 열처리한 시편들의 XRD 그림이다. Nd:YAG 레이저를 조사한 시편의 (111) 피크가 더 강하게 나타남을 볼 수 있다. Fig. 9는 조사된 레이저의 에너지와 결정화 온도에 따른 결정화율의 변화를 보여준다. 결정화율은 Fig. 2와 같은 방법으로 계산했다. 750°C의 경우 12분 열처리했을 때 126 mJ의 결정화율은 0.9, 200 mJ은 0.886, 250 mJ은 0.88 활성화 처리하지 않은 것은 0.775로 나타났다. 반면에 800°C에서는 레이저를 조사한 박막의 결정화율은 거의 비슷하나 126, 200, 250 mJ의 순으로 나타났다. 습식 연마와 마찬가지로 레이저를 조사한 시편이 결정화율이 높게 나타났으며, 활성화 처리를 하지 않은 것보다 일찍 결정화가 포화됨을 알 수 있다. 800°C 보다는 750°C에서 열처리한 것이 결정화가 더 촉진되었음을 볼 수 있다. 즉 표면 활성화 처리는 저온에서 더욱 효과적임을 알 수 있다. 이것 역시 습식 연마의 경우와 마찬가지로 본 결정화 과정

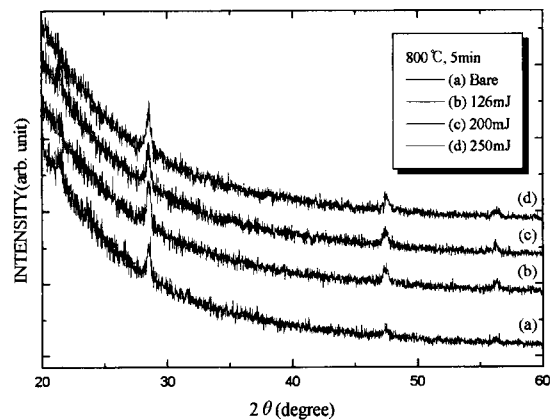


Fig. 8. XRD peak of crystallized silicon films at 800°C, 5 min. (a) non-activated film, (b), (c) and (d) Nd:YAG Laser exposed film 126, 200, 250 mJ/cm².

이 열적 활성화 과정이므로 온도가 높을수록 열적 기여가 활성화 처리의 기여에 비하여 상대적으로 커지게 된

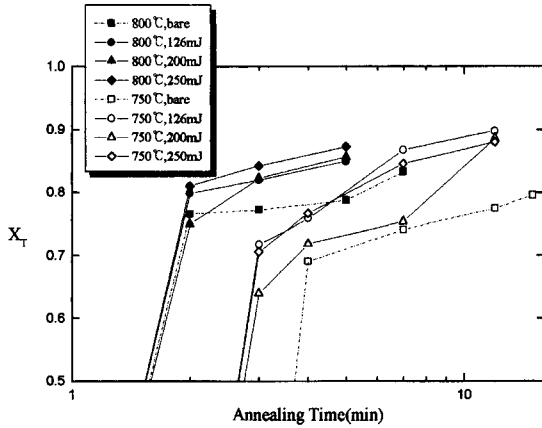


Fig. 9. Transformation fraction of Nd:YAG laser exposed film vs. Annealing time on various temperature.

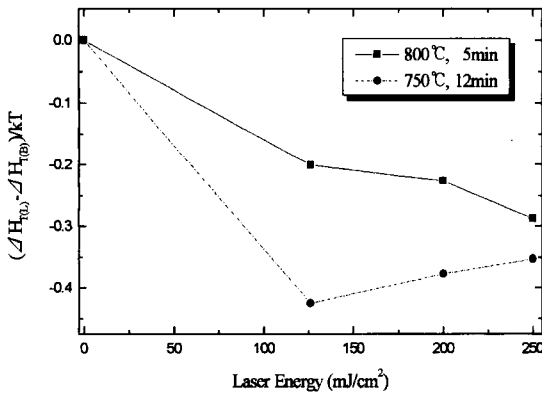


Fig. 10. Variation of ΔH for crystallization vs. Nd:YAG laser energy.

것으로 판단된다.

Fig. 10은 레이저 에너지에 따른 결정화 엔탈피의 변화를 보여주고 있다. 역시 레이저 조사는 결정화에 필요한 엔탈피를 감소시키는 것으로 나타났다. 레이저의 에너지가 125 mJ/cm^2 일 때 가장 많은 엔탈피 감소를 보이며, 저온에서 엔탈피 감소의 효과가 더욱 크다. 이 경우 역시 125 mJ/cm^2 의 에너지 일때가 가장 저장된 strain 에너지가 크게됨을 예상할 수 있다.

Fig. 11은 레이저 에너지에 따른 750°C, 800°C에서의 열처리 공정에 미치는 결정화의 영향을 Raman을 이용하여 분석한 결과이다. Fig. 11에서 보듯이 레이저를 조사한 것이 표준 시편의 wave number 쪽으로 접근하는 것을 볼 수 있다. Raman shift는 200 mJ/cm^2 의 에너지가 가장 적게 나타났다. Fig. 12에서는 결정의 품질을 B 값으로 나타났다. 그림에서 보듯이 레이저를 조사한 것의 B 값이 적어 레이저 조사가 결정의 품질을 향상시키고 있

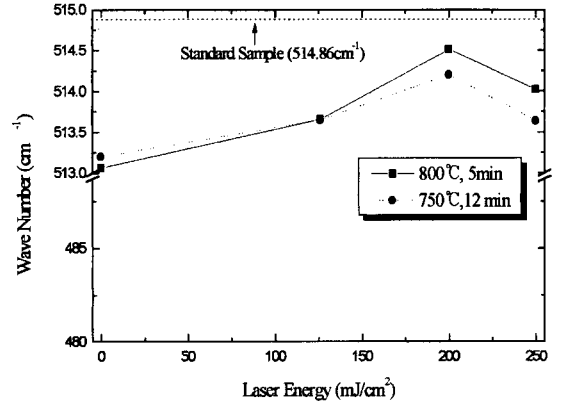


Fig. 11. Raman shift vs. Nd:YAG laser energy on annealing condition.

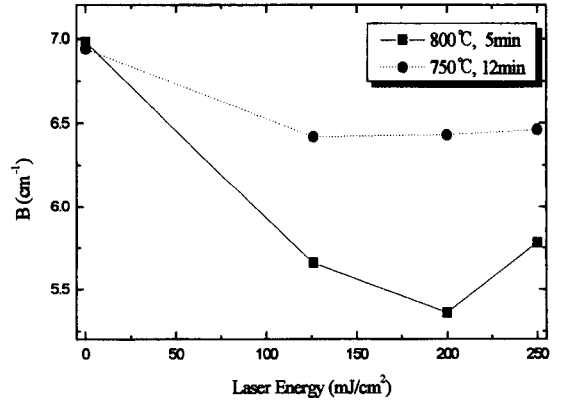
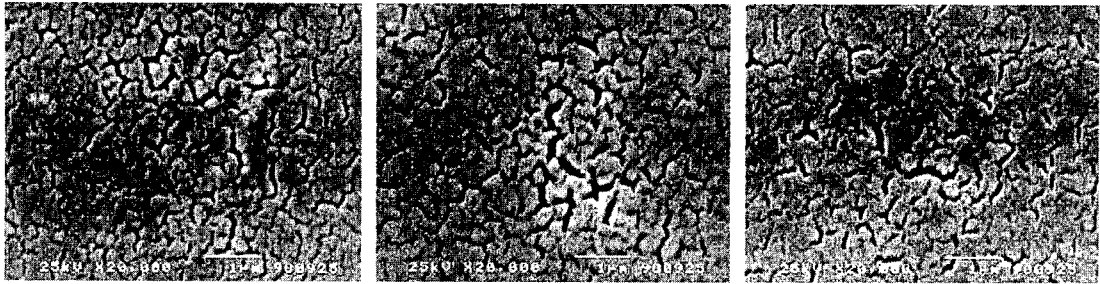


Fig. 12. B vs. Nd:YAG laser energy on annealing condition.

음을 보여준다. Raman 분석을 통해서 200 mJ/cm^2 의 에너지로 조사한 시편의 결정 품질이 가장 좋은 것으로 나타났다. 기계적 손상법의 경우와는 다르게 레이저빔 조사에서는 XRD에서 가장 큰 Peak를 나타내는 에너지와 Raman 분석에서 가장 단결정에 유사한 근사치를 보이는 에너지양이 다르다. 이것은 XRD 보다는 Raman이 결정내부의 결합 정도를 나타내기 때문에 분석된다. 즉 200 mJ/cm^2 의 레이저 에너지가 조사된 경우가 125 mJ/cm^2 경우보다 결정화 촉진 효과는 적으나 성장된 결정의 내부결함이 더욱 적게됨을 예상할 수 있다.

Fig. 13은 750°C에서 12분간 열처리한 박막의 SEM 사진이다. 활성화 처리를 하지 않은 시편의 그림은 Fig. 6의 (b)에 있다. Fig. 13(b)와 비교하면 레이저 전처리를 한 시편들은 결정화가 거의 포화되었다.

이 결과를 보면 Nd:YAG 레이저 전처리하는 박막 표면에 strain 에너지를 형성시켜 결정화에 필요한 활성화 에너지를 낮추어 결정화를 촉진함을 알 수 있다.



(a) 750°C, 12min, 126mJ

(b) 750°C, 12min, 200mJ

(c) 750°C, 12min, 250mJ

Fig. 13. SEM photograph of Nd:YAG laser exposed p-Si.

4. 결 론

실리카 기판에 증착된 비정질 실리콘에 실리카 슬러리를 이용한 습식 연마와 Nd:YAG 레이저 빔 조사를 통한 표면 활성화를 각각 행한 후 열처리 조건(700°C, 750°C, 800°C)에 따른 전처리의 영향을 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 표면 활성화처리(습식 연마, Nd:YAG 레이저빔 조사)를 할 경우, 활성화 처리를 안한 경우보다 결정화 속도가 빠르고 같은 온도와 시간에서 결정성이 향상되었음을 확인하였다. 두가지 표면 활성화 처리 모두 비정질 규소 박막의 표면에 strain 에너지가 저장되어 표면의 에너지 준위를 상승시켜 결정화에 필요한 활성화 에너지를 감소시킬 것으로 예상된다.

2) 표면 활성화 처리는 저온인 700°C에서 효과적이었다. 이 이유는 고온에서는 표면 활성화 처리의 효과와 더불어 열에 의한 활발한 핵 생성 및 성장이 이루어져 상대적으로 표면 활성화 처리의 효과가 적게 나타나기 때문인 것으로 판단 된다.

3) 습식 연마의 경우는 2 kgf/cm²의 압력이 0과 4 kgf/cm² 보다 결정화에 가장 효과적이었고, 레이저의 에너지는 100~200 mJ/cm²의 범위가 가장 효과적이었다. 이 결과는 박막 표면에 너무 큰 충격이 가해지면 오히려 박막의 표면에 저장되는 strain 에너지를 낮추어서 결정화를 저해하는 것으로 유추된다. 때문에 적당한 에너지로 표면활성화를 시키는 것이 결정화를 향상시키는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] P.G. Le Comber, W.E. Spear and A. Ghaith, Electron Letters Vol. 15 (1979) pp.179-181.
- [2] T. Yamashita, T. Matsumoto, Shimada, Y. Akebi, M. Kubo and K. Fujioka, SID '94 Digest (1994) pp.83-86.
- [3] M. Matsuo, T. Hashizume, S. Inoue, M. Miyasaka, S. Takenaka and H. Ohsima, SID '94 Digest (1994) pp.87-90.
- [4] J.I. Woo, H.J. Ihm and J. Jang, Appl. Phys. Lett. Vol. 65 (1994) 1644.
- [5] Y.H Kim, 한국재료학회지 Vol. 5, No. 2 (1995) 203.
- [6] R. Tarao, H. Saito, S. Sawada and Y. Goto, SID '94 Digest (1994) pp.233-236.
- [7] S. Takenaka, M. Kunii and H. Kurihara, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 29, No. 12 (1990) 2380.
- [8] 이상도, 김형준, 한국진공학회지 Vol. 4, No. 1 (1995) 77.
- [9] 이은구, 박진성, 이재갑, 한국재료학회지 Vol. 5, No. 2 (1995) 197.
- [10] Michael Hack, 1st TFT LCD international workshop, RETCAM, SNU, Korea (1995) pp.147-156.
- [11] R.Z. Bachrach, K. Winer and J.B. Boyce, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 157 (1990) 467.
- [12] M. Sakao, N. Kasai and T. Ishijima, Int. Elc. Dvc. Mting. Tech. Digest, Dec. (1992).
- [13] Dong Kyun Sohn, Jeong No Lee and sang Won Kang: Jpn. J. Phys, Vol 35, Part 1, No. 2B (1996) 1005.
- [14] A. Kaan Kalkan and Stephen J. Fonash: J. Electrochem. Soc, Vol. 144, No. 11 (1997) L297.
- [15] J.B. Rem and J. Holleman: Thin Solid Films 296 (1997) 152.
- [16] D. Teot, B. Koopmans and R.B. Bergmann: Appl. Phys. Lett. 69(24) (1996) 3719.
- [17] D. Teot, B. Koopmans and R.B. Bergmann: Thin Solid Films, 296 (1997) pp.49-52.
- [18] G. Fortunato: Thin Solid Films, 296 (1997) pp. 82-90.
- [19] King-Ning Tu and James W. Mayer, Electroic Thin Film Science (Maxwell, 1992) pp.258-262.
- [20] U.S. Lee, H.T. Kim, Y.K. Kim and K.J. Moon: The 13th KACG Tech. Meeting Proc. (1997) pp. 135-139.