

論文96-33A-6-21

# 엑시머 레이저를 이용하여 결정화한 PECVD 및 LPCVD 비정질 실리콘 박막의 특성 분석

## (Characterization of PECVD and LPCVD a-Si Films Crystallized by Excimer Laser)

崔弘錫\*, 李成圭\*\*, 張根浩\*\*, 全明鐵\*\*\*, 韓民九\*

(Hong-Seok Choi, Seong-Kyu Lee, Keun-Ho Jang, Myung-Chul Jun, and Min-Koo Han)

### 요 약

PECVD와 LPCVD 방법으로 증착된 비정질 실리콘 ( $a$ -Si:H,  $a$ -Si)박막을 XeCl 엑시머 레이저를 조사하여 결정화시킨 후 그 특성을 분석하였다. 결정화된 박막의 전기적 특성, 표면 거칠기 및 결정화도를 측정하였다. 이 경우, 레이저 에너지 밀도와 조사 회수를 증가시킬수록 박막의 전도도, 결정화도, 표면 거칠기는 커짐을 알 수 있었으며, LPCVD 박막의 특성이 PECVD 박막의 특성에 비해 우수함을 알 수 있었다. 또한 레이저 열처리시, 높은 에너지 밀도로 결정화하는 것보다 비교적 낮은 일정 에너지 밀도로 결정화하는 것이 결정화도를 유지하면서 표면거칠기가 개선됨을 알 수 있었다.

**주요어** : XeCl 엑시머 레이저, PECVD, LPCVD, 전도도, 결정화도, 표면 거칠기

### Abstract

We have characterized XeCl excimer-laser-induced crystallization of thin amorphous silicon films deposited by PECVD ( $a$ -Si:H) and LPCVD ( $a$ -Si). The electrical properties, surface roughness and crystallinity of crystallized thin films have been measured. The dc conductivities, crystallinity and surface roughness of the films increased as the laser energy density and shot density were increased. The properties of laser annealed films deposited by LPCVD were better than those of thin films deposited by PECVD. We have also found that the multiple shots with relative low energy density were more beneficial to the improvement of surface roughness than the single shot with high energy density preserving the crystallinity.

**Key words** : XeCl excimer laser,  $a$ -Si:H,  $a$ -Si, conductivity, crystallinity, surface roughness,

### I. 서 론

액정 표시기 (Liquid Crystal Display, LCD)의 화

\* 正會員, 서울大學校 電氣工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Seoul National University)

\*\* 正會員, 現代電子  
(Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.)

\*\*\* 正會員, LG電子  
(LG Electronics Inc.)

接受日字: 1995年1月4日, 수정완료일: 1996年5月7日

소소자 및 구동소자로서 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 사용하는 경우에는 다결정 실리콘 소자를 유리기판 위에 제작하여야 하므로 비정질 실리콘 박막을 기판 위에 증착시킨 후, 다결정 실리콘으로 결정화하는 공정은 유리 기판의 변형을 막기 위해 600 °C 이하의 저온상태에서 이루어져야 한다.<sup>11)</sup> 비정질 실리콘을 결정화하는 방법으로는 600 °C로 장시간의 열처리를 통한 고상 결정화 (Solid Phase Crystallization, SPC) 방법과 엑시머 레이저를 이용한 결정화 (Excimer Laser Annealing, ELA) 방법 등이 제시되고 있다.<sup>12)</sup>

<sup>31</sup> SPC 방법으로 결정화하는 경우에는 장시간 (24 시간 이상) 동안 600 °C의 furnace 내에서 열처리를 하여야 하므로 유리 기판의 변형에 따른 많은 문제가 발생한다. 반면, ELA 방법으로 결정화를 하면 순간적인 고온 (~100 nsec, 1400 °C)에 의해 액체에서 고체상태로 결정화가 이루어지므로 낮은 평균 온도로 유리 기판에 손상을 주지 않는다.<sup>14)</sup> 비정질 실리콘 박막은 여러가지 증착 방법을 이용할 수 있으며, 증착 방법 및 증착 조건에 의해 박막의 특성이 달라진다.<sup>15)</sup>

본 연구에서는 PECVD 및 LPCVD로 증착된 비정질 실리콘 박막에 대하여 XeCl 엑시머 레이저 ( $\lambda = 308 \text{ nm}$ )의 에너지 밀도 및 조사회수 변화에 따라 결정화 박막의 전기적 전도도를 분석하였으며, 자외선 반사도 (UV reflectance)를 측정하여 박막의 결정화도를 분석하였다. 또한 자외선 반사도와 AFM (Atomic Force Microscope) 측정을 통하여 박막의 표면 거칠기를 평가하였으며, SEM (Scanning Electron Microscope) 분석을 통하여 박막의 그레인 형상을 고찰하였다.

## II. 다결정 실리콘 박막의 제작

LPCVD를 사용할 경우, 증착 온도는 550°C 부근에서 증착된 비정질 실리콘 (a-Si) 박막이 우수한 레이저 열처리 특성을 보이므로<sup>16)</sup> 본 논문에서도 이 온도를 적용하였다. PECVD의 경우, 증착된 비정질 실리콘 (a-Si:H) 박막내에 존재하는 수소가 레이저 열처리시 순간적인 높은 열에 의해 외부로 방출되어 막내에 공핍층이 생기므로 트랜지스터 제작시 특성 저하를 초래하게 된다. 이러한 영향을 줄이기 위해 레이저 열처리 전에 약 400 °C로 1 시간 이상 탈수소 처리하여 비정질 실리콘 박막내 존재하는 수소량을 억제하였다.

표 1. 비정질 실리콘 박막 증착 조건  
Table 1. Deposition Conditions of a-Si films.

	LPCVD	PECVD
기판	열산화막 실리콘 웨이퍼	유리기판 (Corning 7059)
기판 온도	550 °C	250~350 °C
압력	0.3 Torr	0.3~1.0 Torr
SiH <sub>4</sub> 유속도	20 sccm	4~20 sccm
H <sub>2</sub> 유속도	-	0~100 sccm
r.f.power	-	0.01~0.03 W/cm <sup>2</sup>
탈수소화	-	400 °C, 90 min

표 1에 본 연구에서 사용된 비정질 실리콘 박막의 증착 장비에 따른 증착 조건을 보였다. LPCVD의 경우, 기판은 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 레이저 열처리 실리콘 기판이 seed로 작용하는 것을 방지하기 위하여 5000 Å의 열산화막이 형성된 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.

## III. 다결정 실리콘 박막의 특성

### 1. 전기적 특성

다결정 실리콘은 그레인과 그레인 사이의 물성 형태가 결정질-비정질-결정질을 이루고 있으므로, 전기적으로는 그레인과 그레인이 만나는 그레인 경계면에 전위 장벽이 존재하게 된다. 지금까지 연구 보고된 바에 의하면, 다결정 실리콘의 전하이동 메커니즘은 그레인 경계면에 존재하는 전위 장벽의 영향에 의해 결정질 실리콘에서와 매우 차이가 나며, 따라서 다결정 실리콘의 전도 메커니즘은 그레인 경계에서의 전하 열적방출 (thermionic emission)에 따른 포획 모델로 설명된다.<sup>17)</sup>

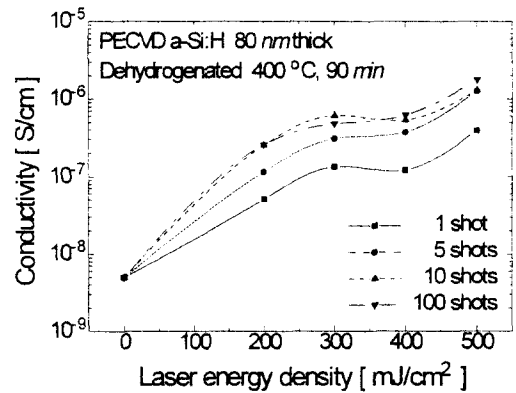


그림 1. PECVD a-Si:H 박막의 레이저 에너지 밀도 및 조사회수에 따른 전도도의 변화

Fig. 1. The variation of electrical conductivity in PECVD a-Si:H thin films as functions of excimer laser energy density and shot number.

본 논문에서 전도도 측정을 위한 전극 형성은 PECVD 및 LPCVD로 각각 800 Å, 1000 Å의 두께로 증착된 비정질 실리콘 박막에 레이저 에너지 밀도 및 조사 회수를 변화시켜 조사한 후, 그 위에 스퍼터링에 의해 증착된 알루미늄을 사진식각하여 co-planar

구조로 제작하였으며, 이 때 전극 길이는 300과 200  $\mu\text{m}$ 이고 전극과 전극 사이의 간격은 100, 80, 50 및 40  $\mu\text{m}$  이다. 레이저 에너지 밀도는  $500 \text{ mJ/cm}^2$  까지 변화하였으며, 레이저 조사회수에 대하여 repetition rate 는 100 ppm 으로 고정하였다. 그림 1은 PECVD 로 유리 기판 위에 증착한 비정질 실리콘의 레이저 에너지 밀도 및 조사 회수에 따른 전도도의 변화특성이 다.

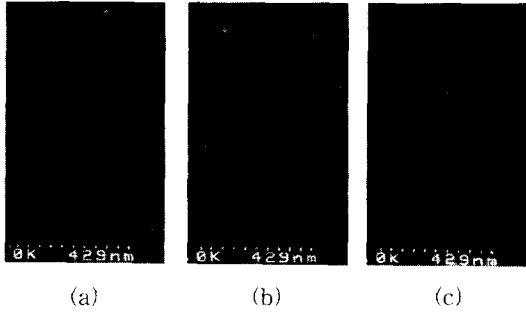


그림 2. PECVD a-Si:H 박막의 레이저 에너지 밀도 및 조사회수 (a) 200  $\text{mJ/cm}^2$ , 1회, (b) 200  $\text{mJ/cm}^2$ , 10 회, (c) 350  $\text{mJ/cm}^2$ , 1회 에 따른 SEM 이미지

Fig. 2. The SEM images of PECVD a-Si:H film irradiated with laser energy density and shot number of (a) 200  $\text{mJ/cm}^2$ , 1 shot, (b) 200  $\text{mJ/cm}^2$ , 10 shots, (c) 350  $\text{mJ/cm}^2$ , 1 shot.

그림 1 에서 에너지 밀도가 200  $\text{mJ/cm}^2$  일 때 전도도의 급상승이 보이고 그 이후 증가 폭이 적어져서 점진적인 증가가 이루어짐을 알 수 있다. 조사회수에 따라서는, 전도도가 회수에 따라 증가하다가 10 회 조사 이후 더 이상의 증가는 없음을 볼 수 있다. 그림 2 는 PECVD 박막에 200  $\text{mJ/cm}^2$  의 단일 조사와 10회 조사 및 350  $\text{mJ/cm}^2$  의 단일조사에 따른 박막표면의 SEM 이미지이다. 그레인 크기는 레이저 밀도에 따라 증가함을 알 수 있으나, 조사회수에 대해서는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 레이저 열처리 박막의 전도도는 레이저 에너지 밀도에 따라 그레인 크기의 성장으로 점진적인 증가가 이루어지며, 조사 회수에 따라서는 그레인 성장보다는 그레인 내부 결함의 제거로 전도도의 향상을 초래하는 것으로 사료된다. LPCVD로 증착한 비정질 실리콘을 레이저 열처리한 다결정 실리콘 박막은 단일 조사의 경우, 250  $\text{mJ/cm}^2$  에서 전도도의 증가가 두드러지며, 레이저 조사 회수에 대해서는 높은

에너지 밀도에서 전도도가 빨리 포화됨을 그림 3 으로 부터 알 수 있다. 또한 레이저 에너지 밀도에 무관하게 조사회수가 증가함에 따라 전도도가 일정해 짐을 알 수 있으며, 레이저 조사회수에 따른 결함처리 효과가 전도도 향상에 크게 기여함을 알 수 있다.

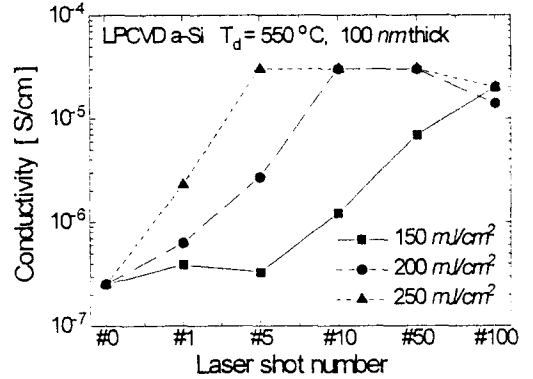


그림 3. LPCVD a-Si 박막의 레이저 에너지 밀도 및 조사회수에 따른 전도도의 변화

Fig. 3. The variation of electrical conductivity in LPCVD a-Si thin films as functions of excimer laser energy density and shot number.

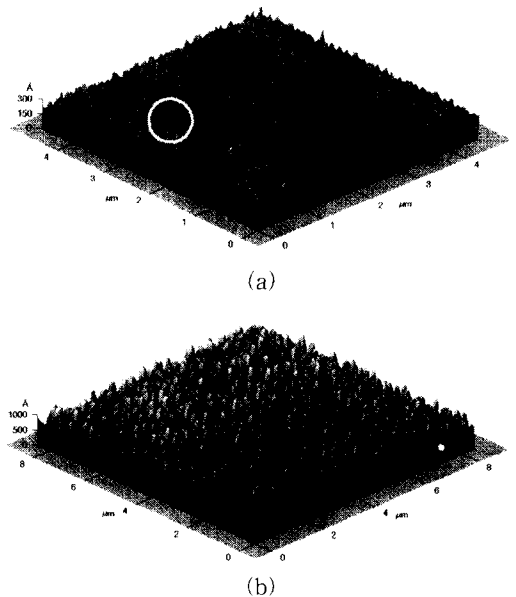


그림 4. 레이저 에너지 밀도 300  $\text{mJ/cm}^2$  로 조사한 (a) PECVD 및 (b) LPCVD 박막의 AFM 사진

Fig. 4. The AFM image of (a) PECVD and (b) LPCVD films irradiated with laser energy density of 300 $\text{mJ/cm}^2$ .

위의 결과를 비교하면, LPCVD 박막이 PECVD 박막에 비해 전도도가 10 배 이상 우수함을 알 수 있는데, 그 이유는 LPCVD 박막이 PECVD 박막에 비해 밀도가 크고, 또한 PECVD 박막의 경우 400 °C 로, 90 분 정도 열처리하여 탈수소 하였지만, 잔존하는 수소가 레이저 열처리 시 폭발적인 증발을 하여 박막에 손상을 가함으로써 전기적 전도성을 감소시키는 것으로 생각된다. 이에 대한 수소유출 현상을 고찰하기 위하여 레이저 열처리한 PECVD 와 LPCVD 박막에 대하여 AFM ( Atomic Force Microscope) 으로 측정하였으며, 이 결과를 그림 4에 나타내었다. 이때 조사 에너지 밀도는 300 mJ/cm<sup>2</sup> 로 LPCVD 박막과는 달리 PECVD 박막의 경우 레이저 조사시 그림 4 a 의 원내부와 같이 수소유출에 따라 부분적으로 파열된 표면 형상을 고찰할 수 있다.

2. 표면 거칠기 및 결정화도 특성

자외선 영역에서의 다결정질 실리콘 박막의 광학적 특성은 결정질 실리콘 박막과 차이를 보인다. 짧은 파장 대역에서의 다결정 실리콘 박막의 결정화에 따른 광학적 특성의 차이는 박막의 에너지 밴드 구조에 따라 심각한 영향을 받게된다.

이러한 특성의 차이는 단결정 실리콘에서는 원자들의 배열 상태가 완전히 주기적이지만, 비정질 쪽으로 갈수록 원자들의 장범위 규칙성이 점진적으로 사라져 밴드 구조가 불명확해지는데 기인한다.<sup>[8]</sup> 결정화도 평가는 실리콘 결정의 광학적 천이가 발생하는 275 nm 파장 근처의 반사도 (Reflection) peak의 적분값과 단결정에서의 값과의 비를 백분율로 환산한 수치를 사용하였다.<sup>[9]</sup> 비정질 실리콘을 결정화시켰을 때 레이저 열처리 에너지가 커짐에 따라 이 값은 점차 증가하다가 100 % 보다는 작게 어느 일정 값으로 포화되는 경향을 보인다.

광학적으로 매우 평탄한 (RMS roughness,  $\sigma \approx 0$ ) 표면을 가지고 있는 단결정 실리콘 웨이퍼는 그림 5에서와 같이, 표면 반사가 주로 일어나는 짧은 파장 ( $\lambda = 200$  nm) 에서 반사도가 크게된다. 표면이 거친 경우에는 평탄한 표면을 갖는 시편보다는 난반사의 영향이 심각해져서 낮은 반사도를 나타낸다. 따라서 표면 거칠기가 증가함에 따라 단파장 쪽에서의 반사도가 현저히 감소하게 된다.<sup>[10]</sup>

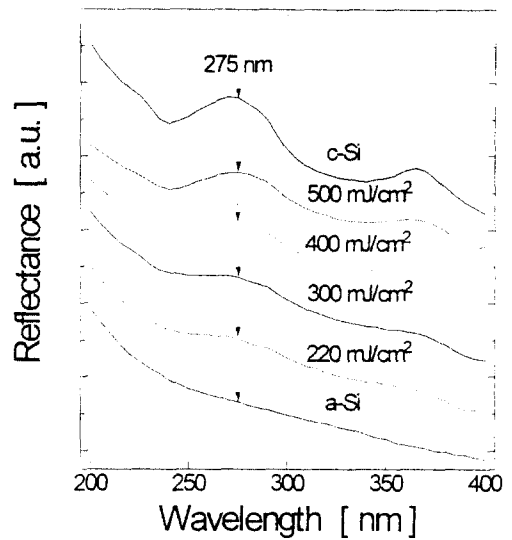


그림 5. 레이저 에너지 밀도에 따른 자외선 반사도의 변화  
Fig. 5. The variation of UV reflectance with excimer laser energy density.

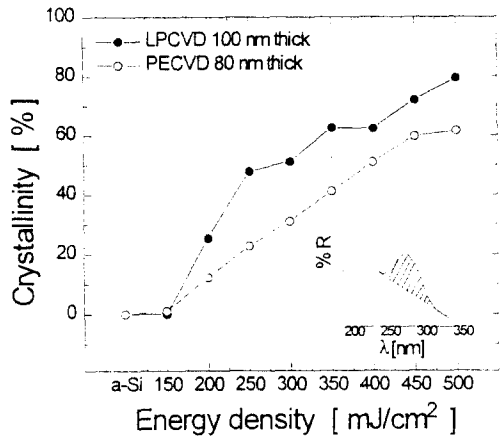


그림 6. 레이저 에너지 밀도에 따른 결정화도 비교  
Fig. 6. Crystallinity of LPCVD a Si and PECVD a Si:H thin films with excimer laser energy density.

그림 5는 PECVD로 증착한 박막을 레이저 열처리로 재결정화한 다결정 실리콘 박막의 자외선 반사도를 나타낸다. 레이저 에너지 밀도가 클수록 곡선의 peak 적분값이 증가함을 알 수 있으며, LPCVD로 증착된 박막의 경우도 같은 경향을 보였다. 이 증가의 크기를 정량화하여 에너지 밀도에 따른 결정화도를 그림 6에 나타냈다. 그림 7은 그림 6의 자외선 반사특성으로, 짧

은 파장에 대한 반사도가 레이저 에너지 밀도가 클수록 작아지므로 표면 거칠기가 커짐을 알 수 있다. 그림 8 은 열처리 방법에 따른 자외선 반사도로, 300 mJ/cm<sup>2</sup>로 5회 조사된 박막의 결정화도가 500 mJ/cm<sup>2</sup>로 조사된 박막과 비슷하며, 표면 거칠기는 우수함을 보이고 있다.

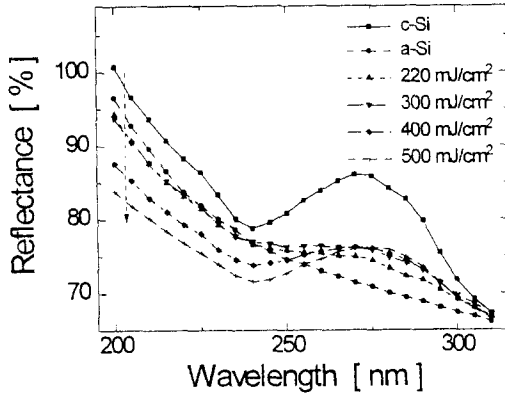


그림 7. 레이저 에너지 밀도에 따른 표면 UV 반사도 비교

Fig. 7. The variation of surface UV reflectance with excimer laser energy density

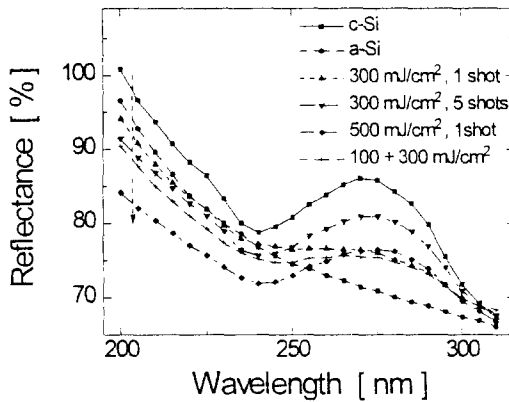


그림 8. 결정화 방법에 따른 표면 UV 반사도 비교

Fig. 8. The variation of UV reflectance with various conditions for recrystallization.

이 결과로 부터 높은 에너지 밀도로 결정화시키는 것보다는 비교적 낮은 에너지 밀도로 여러 차례 조사하여 결정화시키는 것이 우수한 박막 특성을 가짐을 알 수 있다.

레이저 에너지 밀도 크기에 따른 다결정 실리콘 박막의 표면 거칠기의 증가를 검증하기 위해 AFM으로

PECVD 와 LPCVD 로 증착한 박막의 표면 거칠기를 측정하였으며, 그 결과는 그림 9에 나타나 있다. 그림 9에서와 같이 레이저 에너지 밀도가 증가함에 따라 표면 거칠기가 커짐을 알 수 있으며, 이는 에너지 밀도 증가에 따른 용융박막의 유동(fluctuation) 및 그레인 성장 증가에 기인한 것으로 사료되며, PECVD 박막의 경우는 막 내에 존재하는 수소기의 유출로 LPCVD 박막보다 표면 거칠기가 심함을 알 수 있다.

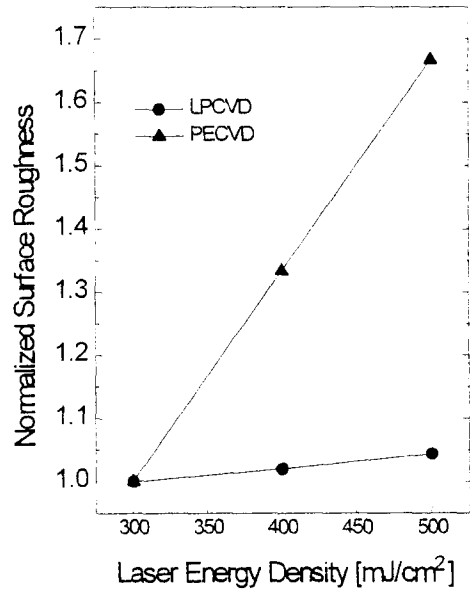


그림 9. 레이저 에너지 밀도 크기에 따른 정규화된 표면 거칠기

Fig. 9. Normalized surface roughness with variation of laser energy density.

#### IV. 결론

PECVD 및 LPCVD 로 증착된 비정질 실리콘 박막에 대하여 레이저 에너지 밀도 및 조사 회수에 따라 레이저 열처리 효과를 고찰하였다. 일정 에너지 밀도 (PECVD : 200 mJ/cm<sup>2</sup>, LPCVD : 250 mJ/cm<sup>2</sup>)에서 전도도가 급상승 하였으며, 조사 에너지 밀도 및 조사 회수에 의해서 전도도가 상승됨을 알 수 있었다. LPCVD 박막의 경우, PECVD 박막에 비해 10 배정도 전도도가 우수하였는데, 이는 LPCVD 박막이 상대적으로 높은 온도에서 열분해에 의하여 박막증착이 이루어지므로 PECVD 박막에 비해 밀도가 크고, 잔존하는 수소의 양이 적으며, 이로 인하여 레이저 열처리시

안정된 상태를 유지하여 양질의 그레이이 형성된 데에 기인한 것으로 사료된다.

레이저 열처리된 PECVD 및 LPCVD 박막의 표면 거칠기를 고찰한 결과, 레이저 에너지 밀도가 클수록 표면 거칠기가 증가함을 알 수 있었다. 또한, 열처리 방법에 따른 자외선 반사도에 대한 결과로 부터 높은 에너지 밀도로 결정화시키는 것보다는 비교적 낮은 일 정 에너지 밀도로 여러 차례 조사하여 결정화시키는 것이 결정화도 및 표면거칠기 개선에 효과가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] W.G. Hawkins, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-33, No. 4, p.477, 1986.  
 [2] T.Aoyama, N. Konishi, T. Suzuki, and K. Miyata, MRS Sym. Pro., Vol. 106, p.347, 1987.  
 [3] T. Serikawa, S. Shirai, A. Okamoto, and S. Suyama, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-36, No. 9, p.1929, 1989.  
 [4] T. Sameshima, and S. Usui, MRS Sym. Pro., Vol. 71, 1986.  
 [5] R.Z. Bachrach, K. Winer, J.B. Boyce, S.E. Ready, R.I. Johnson, and G.B. Anderson, J. Elec. Mat., Vol. 19, No. 3, p.241, 1990.  
 [6] M.K. Hatalis and D.W. Greve, Trans. Electron Device Letters, Vol. EDL-8, No. 8, p.361, 1987.  
 [7] J.Y. W. Seto, J. Appl. Phys., 46, p.5247, 1975.  
 [8] T. Noguchi, H. Hayashi, and T. Ohshima, J. Electrochem. Soc., Vol. 134, No. 7, p.1771, 1987.  
 [9] T. Noguchi, SEMICON/KOREA 92 Technical Proceedings II, p.19, 1992.  
 [10] H.E. Bennett and J.O. Porteus, J. Opt. Soc. Am., Vol. 51, No. 2, p.123, 1961.

저 자 소 개



**崔弘鏞(正會員)**  
 1965年 9月 16日생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 서울대 대학원 전기공학과 석학학위 취득. 1991년 ~ 1993년 금성사 안양연구소 주임 연구원. 현재 서울대 대학원 전기공학부 박사과정.

**李成圭(正會員)**  
 1963年 9月 7日생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 현대전자 LCD 사업본부 선임연구원. 주관심분야는 저온 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 제조기술 및 주변회로부 실장기술 등임

**張根浩(正會員)**  
 1970年 10月 9日생. 1994년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 서울대 대학원 전기공학과 석사학위 취득. 현재 현대전자 멀티미디어 연구소 재직중.

**全明鐵(正會員)**  
 1961年 4月 26日생. 1988년 서울대 자연대 물리학과 졸업. 1988년 ~ 1993년 금성사 중앙연구소 주임 연구원. 1993년 ~ 1995년 서울대 대학원 전기공학과 석사학위 취득. 현재 LG 전자 선임 연구원. 주관심분야는 비정질 및 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 특성연구 및 설계 등임

**韓民九(正會員)**  
 1948年 7月 21日생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 미국 John's Hopkins Univ. 졸업(공학박사). 1979년 ~ 1984년 미국 뉴욕 주립대 조교수. 현재 서울대 공대 전기공학부 교수. 주관심분야는 비정질/다결정 박막 트랜지스터, 전력반도체 소자 및 전력용 케이블 특성연구 등임