

## 엑시머 레이저 어닐링을 이용하여 플라스틱 기판에 형성한 다결정 실리콘 박막의 특성

조세현† · 이인규\* · 김영훈\*\* · 문대규\*\* · 한정인\*\*

한국항공대학교 항공재료공학과, \*\*전자부품연구원 디스플레이센터  
(2003년 12월 18일 접수)

## Polycrystalline silicon thin film fabricated on plastic substrates by excimer laser annealing

S. H. Cho†, I. K. Lee, Y. H. Kim\*\*, D. K. Moon\*\* and J. I. Han\*\*

*Department of Materials Engineering, HanKuk Aviation University  
200-1 Hwajeon, Deokyang, Koyang, Kyunggi, Korea,*

*\*\*Information Display Research Center Information Display Research Center, Korea Electronics Technology Institute,  
Masan, Jinwi, Pyungtaek, Kyunggi, Korea*

(Received December 18, 2003)

### 요 약

본 논문에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 비정질 실리콘을 증착하여 진공분위기에서 엑시머 레이저 어닐링을 이용하여 플라스틱 기판위에 극저온 다결정 실리콘 박막(<math>150^{\circ}\text{C}</math>)을 형성하였다. 비정질 실리콘 박막은  $120^{\circ}\text{C}$ 에서 Ar/He 혼합가스로 증착하였으며, Rutherford Backscattering Spectrometry로 측정된 박막내 아르곤 함량은 2% 이하였다. 에너지 밀도  $320\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 때 다결정 실리콘의 결정화도는 62%, Root-Mean-Square roughness는 267 Å를 나타내었다. 엑시머 레이저 결정화 후 결정립의 크기는 50nm에서 100nm 정도를 나타내었다.

**주제어** : 플라스틱, 다결정 실리콘, 엑시머 레이저, RF 마그네트론 스퍼터링.

### Abstract

In this paper, we investigated the ultra-low temperature(<math>150^{\circ}\text{C}</math>) polycrystalline silicon film on plastic substrate application using RF-magnetron sputtering and excimer laser annealing. Amorphous silicon films were deposited using Ar/He mixture gas at  $120^{\circ}\text{C}$  and in-film argon concentration was less than 2%, which was measured to Rutherford Backscattering Spectrometry. At energy density  $320\text{mJ}/\text{cm}^2$ , RMS roughness was 267 Å and UV crystallinity was 62%. The grain size varies from 50nm to 100nm after excimer laser irradiation.

**Key Words** : plastic, polycrystalline silicon, excimer laser, RF magnetron sputtering

## 1. 서 론

플라스틱 기판은 기존에 디스플레이 분야에서 많이 이용되던 유리나 웨이퍼에 비해 가볍고 유연하며 충격에 강한 특징을 갖는다. 또한 공정이 간단하고 Roll-to-roll 프로세스를 적용할 수 있어 양산에 있어서도 상당히 유리하다.[1] 그러나 플라스틱 기판을 이용할 경우 기존에 다결정 실리콘을 형성하는데 필요한 온도에 비해 상당히 낮은 150°C 이하에서 공정이 진행되어야 하는 단점이 있다. 비정질 실리콘을 증착하는데 많이 쓰이는 PECVD 방법은 박막내에 수소가 많이 포함되어 있어 박막이 조밀하지 못하고 탈수소화 과정을 수행하지 않을 경우 outgassing에 의해 박막의 터짐 현상이 나타날 수 있다. 비정질 실리콘 박막을 LPCVD로 증착할 경우 보통 550°C 이상에서 공정이 진행되어야 하며 이는 유리천이온도(Tg)에 가깝기 때문에 플라스틱 기판을 이용하기에는 적당하지 못하다. 그러나 스퍼터링을 이용할 경우 증착시 화학적 상호작용이 일어나지 않으며 플라스틱 기판을 이용할 수 있는 극저온(<150°C)에서 증착 할 수 있는 장점이 있다.

다결정 실리콘을 제조하는 방법에는 고상결정화(Solid Phase crystallization), 금속유도 결정화(Metal Induced Lateral Crystallization), 엑시머 레이저 어닐링(Excimer Laser Annealing) 등의 방법이 있는데, 그 중 엑시머 레이저를 이용한 방법이 낮은 온도에서 결정화를 시킬 수 있고 결함이 적은 박막을 얻을 수 있다.[2-4]

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 기판은 200 $\mu$ m 두께의 폴리카보네이트(polycarbonate) 필름을 사용하였다.

폴리카보네이트 필름의 열팽창계수(CTE)는 약 37ppmK<sup>-1</sup> 이고 실리콘의 열팽창계수는 2.5ppmK<sup>-1</sup>이다. 이러한 큰 열팽창계수의 차이로 인해 공정상 기판의 가열과 냉각시 열응력이 발생하여 기판의 크랙발생의 원인이 된다. 이를 최소화하기 위해 모든 공정이 시작하기 전에 120°C 진공분위기에서 40시간 이상 보관한 후 공정을 실시하였다.

먼저 폴리카보네이트 기판의 위와 아래에 고 에

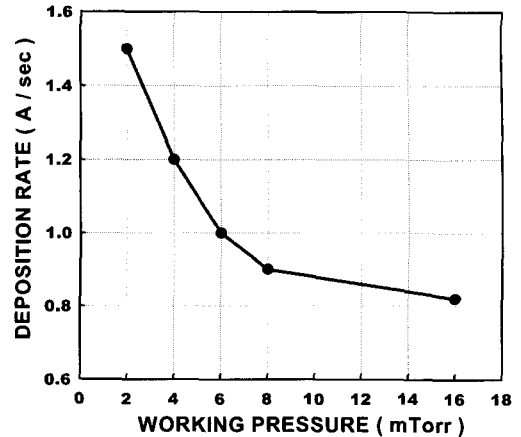


그림 1. 스퍼터링 가스로 Ar 만을 이용하였을 때의 증착율의 변화

너지의 영향을 줄일 수 있는 e-beam evaporation을 이용하여 110°C에서 증착을 90 Å/min으로 SiO<sub>2</sub>를 증착하였다. 위쪽의 산화막은 폴리카보네이트 필름과 비정질 실리콘 박막 사이에서 오염 물질의 장벽 역할을 하고, 결정화시에는 박막의 손상을 줄일 수 있는 열장벽의 역할을 한다. 아래쪽의 산화막은 열응력의 균형을 맞추어 주고, 공정 중 기판으로의 화학물질 오염을 방지해주는 역할을 한다.

500 Å 두께의 비정질 실리콘 박막을 120°C의 온도에서 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 후 XeCl 엑시머 레이저를 이용하여 다결정 실리콘 박

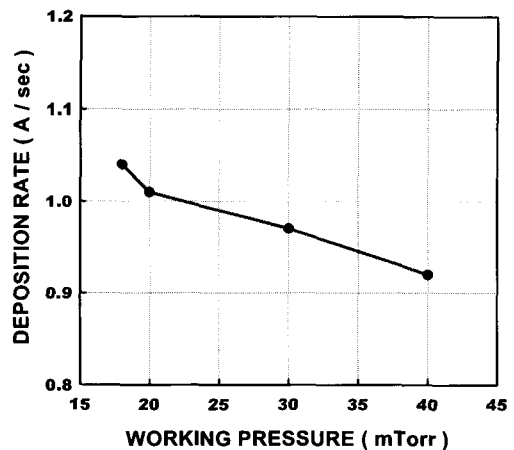


그림 2. 스퍼터링 가스로 He 만을 이용하였을 때의 증착율의 변화

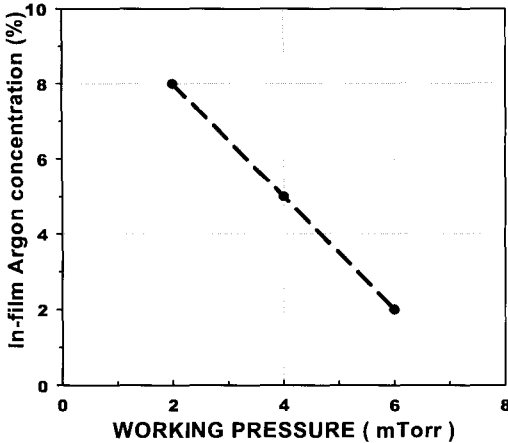


그림 3. 비정질 실리콘 박막에서의 증착압력에 따른 Ar 함량

막을 형성하였다. 비정질 실리콘 박막내 Ar의 함량은 RBS를 이용하여 측정하였다. 다결정 실리콘의 결정화도는 UV-reflectance를 이용하였고, 결정립의 크기는 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 120°C의 온도에서 rf power 100W로 비정질 실리콘 박막 증착하였다. 그림 1과 2는 박막 증착 시 압력을 변화시키면서 Ar만을 반응가스로 이용할 때와 He만을 반응가스로 이용할 때의 증착율을 각각 나타내었다.

공정압력이 증가함에 따라 박막의 증착율은 낮아지는 것을 볼 수 있다. 비정질 실리콘 박막의 증착시 반응가스로 Ar만 이용할 경우 Ar 원자의 에너지가 Si-Si의 결합강도인 3.5eV~4.7eV 보다 커서 Si-Si 결합을 깨뜨리게 되어 증착된 실리콘의 미세구조가 바뀌어지게 된다.[5]

또한 He만으로 증착할 경우에는 He의 원자에너지가 작아 굴절률이 작아지고, 증착 가능한 압력이 18mTorr 이상으로 Ar만으로 증착할 때보다 높아 스퍼터링시 평균자유행로(Mean free path)가 낮아져서 박막의 밀도가 Ar만으로 증착할 때 보다 조밀하지 못한 박막을 얻게 된다.[6] 이러한 단점을 극복하

기 위하여 스퍼터링 공정시 Ar과 He을 같이 넣어서 비정질 박막을 증착하면 박막내 Ar의 함량을 줄일 수 있고 조밀한 박막을 얻을 수 있다. 그림 3은 Ar과 He을 1:9 비율의 혼합가스를 이용하여 다양한 공정압력에서 증착한 비정질 실리콘 박막의 Ar 함량을 나타내었다. 그결과 그림 4에 나타나 있듯이 증착압력이 6mTorr 일 경우 비정질 실리콘 내의 Ar 함량은 2% 미만의 박막을 얻을 수 있었다.

RF 스퍼터링으로 증착한 비정질 실리콘 박막을 XeCl 엑시머 레이저를 이용하여 96%의 증착율과, 30nsec의 펄스폭으로 213mJ/cm<sup>2</sup>~400mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지 밀도 영역에서 결정화를 실시하였다. 그 결과 그림 5에서와 같이 320mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지 밀도에서 62%의 결정화도를 얻을 수 있었다.

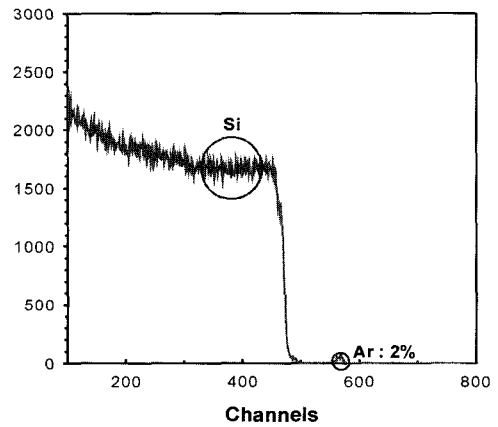


그림 4. 증착압력 6mTorr일 때 RBS profile

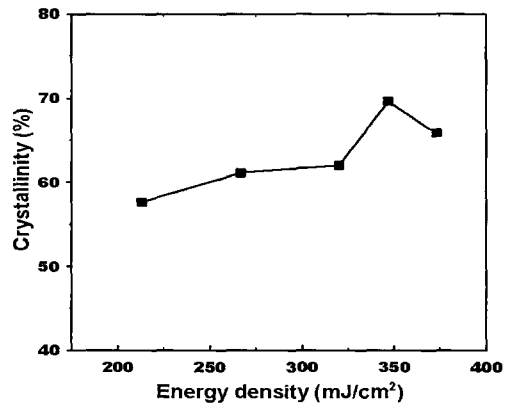


그림 5. 에너지밀도에 따른 결정화도의 변화

레이저 에너지 밀도에 따른 다결정 실리콘 박막의 표면거칠기의 변화를 알아보기 위해 AFM을 이용하여 측정하였다. 엑시머 레이저를 이용하여 형성한 다결정 실리콘의 표면거칠기의 차이는 용융된 Si(2.53gr/cm<sup>3</sup>)과 고상 Si(2.30gr/cm<sup>3</sup>)의 밀도의 차이에 기인한다.

그림 6에서 표면거칠기가 (a), (b), (c)와 같이 증가하다가 (d)에서 다시 줄어드는 것은 조사된 에너지 밀도가 모든 실리콘 층을 용융시키는데 필요한 에너지 밀도보다 더 높은 에너지 밀도가 조사되었기 때문인 것으로 사료된다.

엑시머 레이저를 이용한 다결정 실리콘의 성장과정은 레이저 조사시 순간적인 용융(melting)과 고상화 과정을 거치면서 일어나는데, 이를 에너지밀도의 크기에 따라 부분용융(Partial melting) 영역, SLG(Super Lateral Growth) 영역, 완전용융(complete-melting) 영역의 세 범위로 나눌 수 있다.[7], [8] (d)에서는 실리콘 박막 내에서 미세한 결정립들이 형성되는 급속한 핵생성(explosive nucleation)이 일어나는데 이때 박막내 모든 영역에서 핵생성이 일어날 확률이 같으며 이는 균일핵생성 (homogeneous nucleation)이라 한다. 이로 인해 (d)에서의 표면 거칠기가 (c) 보다 작게 되며 이는 완전 용융영역에 속하게 된다. 그림 6의 (a), (b), (c), (d)에서 각각의 RMS(Root Mean Square) roughness는 190 Å, 250 Å, 267 Å, 171 Å 값을 얻을 수 있었다.

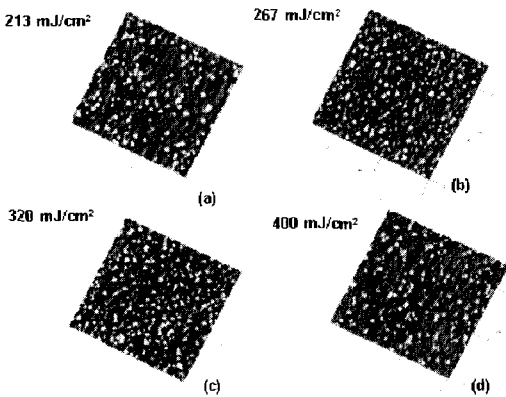


그림 6. 레이저 에너지 밀도에 따른 AFM 이미지  
 (a) 213mJ/cm<sup>2</sup>      (b) 267mJ/cm<sup>2</sup>  
 (c) 320mJ/cm<sup>2</sup>      (d) 400mJ/cm<sup>2</sup>

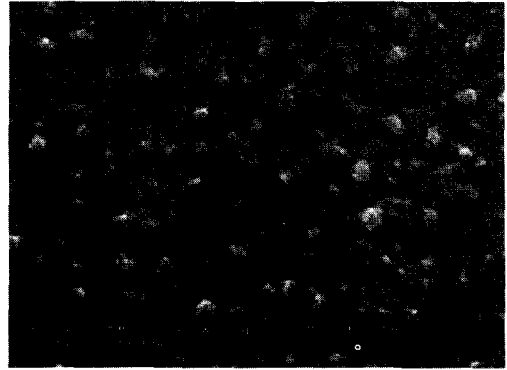


그림 7. 320mJ/cm<sup>2</sup> 레이저 에너지 밀도에서의 SEM 이미지.

그림 7은 320mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지 밀도로 결정화 후 SEM을 이용하여 결정립의 크기를 관찰하였다. 그 결과 50nm에서 100nm 크기의 결정립을 관찰 할 수 있었다.

#### 4. 결 론

스퍼터링으로 증착한 비정질 실리콘 박막에 대하여 에너지 밀도에 따른 특성을 알아보았다. 비정질 박막 제조 시 Si-Si 결합이 끊어져 박막의 미세 구조가 변하는 것을 막고, 조밀한 박막을 얻기 위해 Ar/He 가스를 사용하였으며 Ar 함량이 2% 이하인 박막을 얻을 수 있었다. 저온에서 결합이 적은 다결정 실리콘 박막을 얻을 수 있는 엑시머 레이저를 이용하여 결정화시킨 박막의 결정화도와 RMS roughness는 에너지 밀도 320mJ/cm<sup>2</sup>에서 각각 62%와 267 Å이었다. 에너지밀도 320mJ/cm<sup>2</sup>에서의 RMS roughness가 400mJ/cm<sup>2</sup>에서의 roughness보다 작은 것은 400mJ/cm<sup>2</sup>에서는 미세한 결정립이 형성되는 급속한 핵생성이 일어나기 때문이며, 이 영역은 완전용융영역에 속한다. 다결정 실리콘의 SEM 이미지를 관찰한 결과 320mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지 밀도에서 50nm에서 100nm 크기의 결정립을 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

[1] P. G. Carey, P. M. Smith, S. D. Theiss, and P.

- Wickboldt, J. Vac. Sci. Technol. A **17**, 4 (1999).
- [2] M. Cao, S. Talwar, K. L. Kramer, T. W. Sigmon, and K. C. Saraswat, IEEE Trans. Electron Devices **43**, 56 (1990).
- [3] T. Sameshima and S. Ushi, Appl. Phys. Lett. **59**, 2724 (1991).
- [4] D. K. Fork, G. B. Anderson, J. B. Boyce, R. I. Hohnson, and P. Mei, Appl. Phys. Lett. **68**, 2138 (1996).
- [5] D. P. Gosain and S. Usui, The Electrochem Soc. Symp. Proc. **98-22**, 174. (1998).
- [6] A. Okamoto and T. Serikawa, J. Electrochem. Soc. **134**, 1479 (1987).
- [7] J. S. Im and H. J. Kim, Appl. Phys. Lett. **64**, 2302 (1994).
- [8] H. Watanabe, H. Miki, S. Sugai, K. Kawasaki, and T. Kioka, Jpn. J. Appl. Phys. **33**, 4491 (1994).