

실리사이드 매개 결정화된 다결정 실리콘 박막의

후속 엑시머 레이저 어닐링 효과에 대한 연구

추병권, 박성진, 김경호, 손용덕, 오재환, 최종현, 장진

경희대학교 차세대 디스플레이 연구 센터

Study of Post Excimer Laser Annealing effect on Silicide Mediated Polycrystalline Silicon.

Byoung Kwon Choo, Seoung Jin Park, Kyung Ho Kim, Yong Duck Son, Jae Hwan Oh,
Jong Hyun Choi and Jin Jang.

Advanced Display Research Center and Department of Physics, Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea

Abstract

In this study we investigated post ELA (Excimer Laser Annealing) effect on SMC (Silicide Mediated Crystallization) poly-Si (Polycrystalline Silicon) to improve the characteristics of poly-Si. Combining SMC and XeCl ELA were used to crystallize the a-Si (amorphous Silicon) at various ELA energy density for LTPS (Low Temperature Polycrystalline Silicon). We fabricated the conventional SMC poly-Si with no SPC (Solid Phase Crystallization) phase using UV heating method[1] and irradiated excimer laser on SMC poly-Si, so called SMC-ELA poly-Si. After using post ELA we can get better surface morphology than conventional ELA poly-Si and enhance characteristics of SMC poly-Si. We also observed the threshold energy density regime in SMC-ELA poly-Si like conventional ELA poly-Si.

Key Words : SMC poly Si, XeCl Excimer laser, post ELA, SLG regime, melting regime, LTPS.

1. 서론

높은 이동도와 낮은 누설전류를 갖는 다결정 실리콘 트랜지스터는 능동구동 액정 디스플레이 등에 이용될 수 있다. 많은 종류의 결정화 방법이 양질의 다결정 실리콘을 얻기 위해서 연구되어 왔다. 그 중에 엑시머 레이저 결정화 방법은 중요한 방법 중 하나이고 아직은 소자의 균일도, 높은 장비가격 등 상업적으로 쓰이기 위해서는 해결해야 할 많은 단점을 지니고 있다[2, 3].

최근 금속매개를 이용한 결정화 방법으로 다결정 실리콘의 균일도를 높이고 결정화 온도를 낮추기 위해 유리기판 위에서 비정질 실리콘을 550°C 이하에서 실리사이드 매개 결정화 방법을 사용하였다[4, 5].

하지만 니켈 유도 결정화는 니켈에 의한 높은 누설전류가 문제가 되었고, 이것을 줄이기 위해서 금속 유도 측면 결정화(Metal Induced Later

Crystallization ; MILC)를 이용하여 채널 내부의 금속량을 현저하게 줄일 수 있었다[6, 7]. 그러나 여전히 그레인 경계면에 형성된 defect에 의한 높은 누설전류는 문제가 되었으며, 그레인 경계를 소자의 외부에 놓는 (Metal-Induced-Unilateral-Crystallization ; MIUC) 방법이 고안되었다[8]. 한편 다결정 실리콘 박막의 결정성을 개선하기 위해서 고상결정화 (SPC)와 MILC 다결정 실리콘을 900 °C에서 후속 열처리하는 방법이 사용되었다[9, 10, 11]. 이 방법을 통해서 양질의 MILC 다결정 실리콘을 얻을 수는 있었으나[7, 12] 900 °C의 온도는 유리기판을 사용하기에는 적절치 않다. 그래서 본 연구에서는 후속 엑시머 레이저 열처리(post ELA) 하였다. SMC 실리콘에 엑시머 레이저를 조사하면 SMC 다결정 실리콘내의 남아있는 비정질을 녹일 수 있고 유리기판의 손상 없이 재결정화 시킬 수 있다는 장점을 갖는다[13, 14].

이 논문에서는 SMC에 대한 연구와 높은 온도의 열처리 없이 레이저를 이용하여 SMC 다결정 실리콘 박막을 post ELA를 통해 향상된 표면 및 전기적 특성을 얻었으며, Post ELA된 다결정 실리콘의 완전한 용융점에 대해서 임계에너지가 있음을 관찰 하였다. Post ELA를 통해서 일반적인 엑시머 레이저 다결정 실리콘 박막 보다 낮은 표면 거칠기와 SMC 다결정 실리콘 보다 좋은 전기적인 특성을 갖는 다결정 실리콘을 얻을 수 있었다.

2. 실험

먼저 SiO₂ 막이 완충층으로 증착된 coming glass 7059 유리기판 위에 수소화된 비정질 실리콘 (a-Si:H)을 PECVD 장비로 SiH₄ 및 H₂ 가스를 이용해 기판온도 270 °C에서 50 nm두께로 증착한다. 매우 얇은 Ni (0.05 Å ~ 2.0 Å)을 RF스퍼터링 방법을 이용하여 비정질 실리콘 위에 증착하고, 유리기판에 손상이 가지 않도록 UV-lamp를 이용하여 순간적으로 고온(750 °C)까지 열을 가하여 N₂ 분위기에서 결정화를 수행한다. 비정질 실리콘은 14(6.7 mm/sec)회 스캔에 완전히 결정화가 이루어진다.

Ni를 이용한 결정화 방법은 결정화 온도가 유리기판의 팽창온도 이하의 매우 낮은 온도에서 결정화가 가능하여 유리 기판을 사용할 수 있다는 장점이 있고 유리 기판에 손상을 주지 않기 위하여 펄스화된 열을 이용하였다. 이렇게 얻어진 SMC 다결정 실리콘 박막 위에 post ELA하여 박막의 물성 변화를 보았다. ELA 장비는 RAMBDA COMPEX 201(308 nm XeCl laser)를 이용하였으며 ELA 에너지 밀도는 180 mJ/cm² ~ 400 mJ/cm², 초당 1회의 펄스를 2회 조사하였으며 레이저 빔의 크기는 5.5×5.5 mm² 이다.

3. 결과 및 고찰

그림 1. 은 ELA 다결정 실리콘과 SMC 다결정 실리콘에 레이저 에너지 밀도를 변화시키며 후속 엑시머 레이저 열처리 시킨 다결정 실리콘 박막의 Atomic Force Microscope(AFM) 이미지 이다. 일반적인 엑시머 레이저에 의한 다결정 실리콘 박막 보다는 post ELA 열처리된 SMC 다결정 실리콘 박막이 좋은 표면 거칠기를 갖는다.

그림 2. 는 엑시머 레이저 에너지 밀도가 증가함

에 따라 낮은 에너지에서 표면 거칠기가 같이 증가하는 모습을 보인다. 하지만, 일반적인 ELA 다결정 실리콘 박막 보다는 전 에너지 영역에서 평균 표면 거칠기가 약 20 Å정도 작은 특성을 보이고 350 mJ/cm²에서는 일반적인 ELA 다결정 실리콘의 표면 거칠기가 감소함에 비해 후속 엑시머 레이저 열처리된 SMC 다결정 실리콘 박막은 거칠기가 약간 증가함을 보인다.

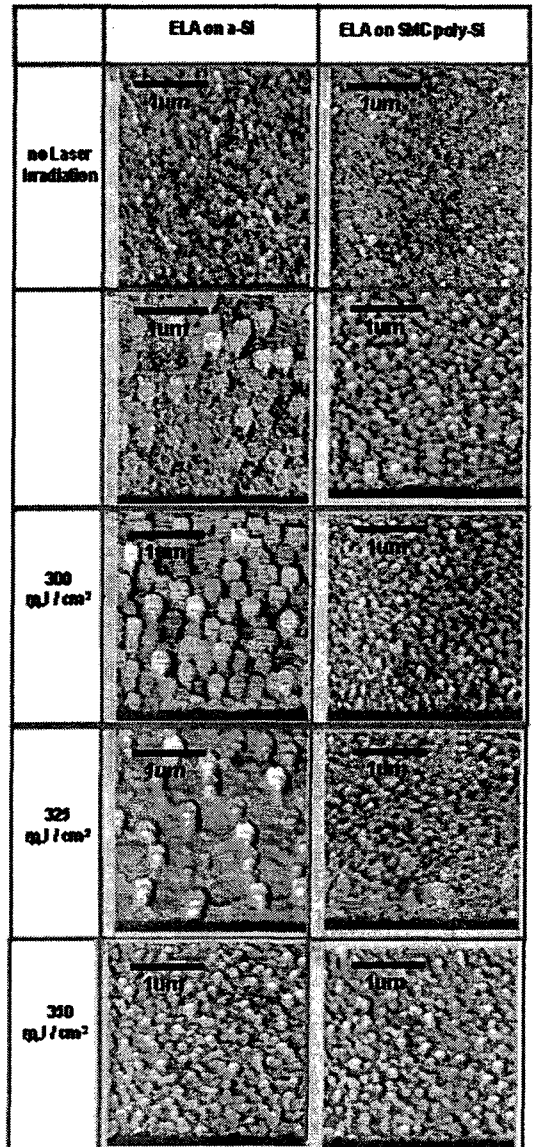


Fig. 1. AFM top image of ELA on a-Si and SMC poly-Si as a function of excimer laser energy density (2 shots, 1 Hz)

Thin Film Transistor(TFT) 소자에서 다결정실리콘의 표면 거칠기는 중요하고 최적화된 에너지 밀도는 그림 1. 과 그림 2. 에서 250 mJ/cm²에서 300 mJ/cm² 에 있음을 알 수 있다. 이것은 SMC 다결정 실리콘이 엑시머 레이저 조사에 의해서 완전히 용융되는 에너지 영역이 일반적인 비정질 실리콘 박막에 엑시머 레이저가 조사 되었을 때 와 같이 존재함을 의미한다[15].

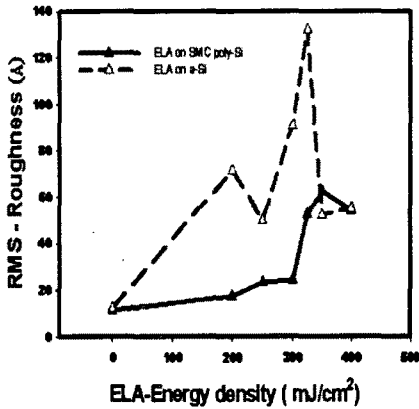


Fig. 2. AFM surface morphology as increasing excimer laser energy density (ELA poly-Si vs SMC-ELA poly-Si).

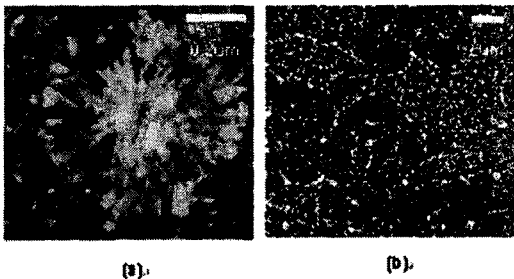
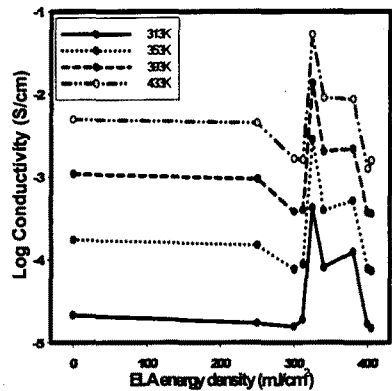


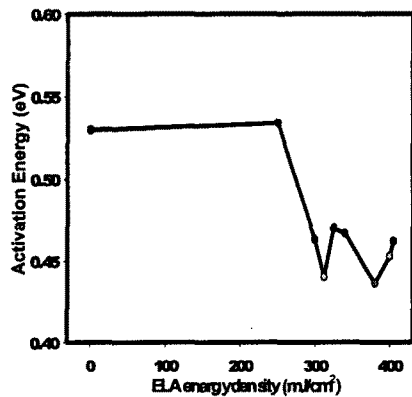
Fig. 3. TEM and SEM images. (2 shots, 1 Hz)
 (a) TEM image of the ELA on a-Si at SLG regime. (laser energy density 300 mJ/cm²)
 (b) SEM image of the SMC-ELA poly-Si at SLG regime. (laser energy density at 325 mJ/cm²)

그림 3. 은 SMC 다결정 실리콘에 엑시머 레이저가 조사 되면 SLG regime (Super Lateral Growth regime)의 모습으로[15] 비정질 실리콘에 레이저가 조사되었을 때와 같은 용융과 재 결정화의 과정이 일어난다. 하지만 다결정 실리콘의 경우 레이저에 대한 흡수가 비정질 실리콘의 경우 보다 낮기 때문에 더욱 높은 에너지에서 이러한 완전 용융이 일어난다. 그리고 SLG regime에서 나타나는 거대 그

레인의 크기 역시 일반적인 레이저 결정화에서 보이는 것 보다 크다. 그림 2. 와 그림 3. 에서 다음과 같이 3가지 에너지 영역에 따른 결정화 과정을 관찰 하였다. ; Partial melting regime (below the 300 mJ/cm²), near complete melting regime (between 300 mJ/cm² and 325 mJ/cm²), complete melting regime (above 325 mJ/cm²). 본 실험에서는 pulse type 의 레이저 조사를 하였고, 그레인 사이즈를 키우기 위해서 patterning이나 레이저의 phase 조절 등의 방법은 사용하지 않았다.



(a)



(b)

Fig. 4. Log conductivity (a) and activation energy (b) of the SMC-ELA poly-Si films as a function of excimer laser energy density at various temperatures. (2 shots, 1 Hz)

그림 4. (a) 는 온도에 따른 전도도의 크기가 300 mJ/cm²이하에서는 레이저 에너지 밀도가 증가함에 따라 약간 감소하였다. 300 mJ/cm²에서 325 mJ/cm²에서

는 급격히 전도도가 증가하며 325 mJ/cm² 이상에서는 다시 감소하는데 이는 전기적인 특성이 후속레이저 에너지 밀도에 따라 전기적 특성이 변함을 알 수 있고 SLG regime의 에너지 영역에서 가장 좋은 전기전도도를 가졌다. 그림 4. (b)는 전기전도도에 따른 활성화 에너지로 역시 레이저 에너지 밀도에 따라 변하며, 325 mJ/cm² 이상에서 낮은 전기전도도를 가졌다.

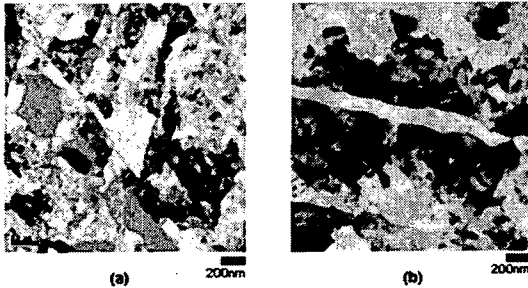


Fig. 5. TEM image of the SMC and SMC-ELA poly Si films. (a) no laser irradiation (x 75k)
(b) 250 mJ/cm², 2 shots, 1 Hz irradiation (x 100k)

그림 5. 는 SMC 다결정 실리콘 박막의 비정질 실리콘 부분이 레이저 후속 열처리에 의해서 결정화 모습이다. Transmission Electron Microscopic(TEM) 이미지에서 남아있는 비정질 실리콘 부분이 완전히 결정화 됨을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 SMC 다결정 실리콘 박막의 엑시머 레이저 후속 열처리에 대한 효과를 관찰 하였다. AFM, TEM 이미지 등을 통해서 엑시머 레이저 에너지 밀도에 따라서 일반적인 레이저 다결정 실리콘에서 보이는 3가지 영역 모습이 관찰 되었다. 후속 레이저 열처리를 통해서 SMC 다결정 실리콘의 전기적 특성 향상과 남아있는 비정질 실리콘 영역이 재 결정화됨을 TEM 이미지로 확인 하였다.

감사의 글

본 연구는 국가지정 연구소 지원사업에 의해 수행되었음.

참고 문헌

[1] K. H. Kim, S. J. Park, and J. Jang, J.

SID, to be published.

[2] R. B. Iverson and R. Reif, *J. Appl. Phys.* vol. 62, pp.1675-1681, 1987.
 [3] J. S. Im and R. S. Sposili, *MRS Bulletin*, vol.21, no.3, pp.39-48, 1996.
 [4] S. Y. Yoon, S. K. Kim, J. Y. Oh, Y. J. Choi, W. S. Shon, C. O. Kim and J. Jang, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 37, pp. 7193-7197, 1998.
 [5] J. Jang, S. J. Park, K. H. Kim, B. R.Cho, W.K.Kwak and S. Y. Yoon, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 88, pp. 3099-3011, 2000.
 [6] S. W. Lee and S. K. Joo, *IEEE ELECTRON DEVICES LETT.* Vol. 17, no. 4, pp 160-162, 1996.
 [7] D. T. Murley, N. D. Young, M. J. *Trans. Electron Devices*, vol. 48, no. 6, pp. 1145-1151, 2001.
 [8] Z. Meng, M. Wang and M. Wong, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 47, no. 2, pp. 404-409, 2000.
 [9] L. Mariucci, A. Pecora, S.Giovannini, R. Carluccio, F. Massussi, and G. Fortunato, *Microelectronics Reliability*, vol. 39, pp. 45-52, 1999.
 [10] C. T. Angelis and C. A. Dimitriadis, M. Miyasaka, F. V. Farnakis, G. Kamarinos, J. Brini, and J. Stoe-menos, *J. Appl. Phys.*, vol. 86, no. 8, pp. 4600-4006, 1999.
 [11] K. C. Park , J. H. Lee , I. H. Song , S. H. Jung, and M. K. Han, *Journal of Non-crystalline Solids*, vol. 299-302, pp. 1330-1334, 2002.
 [12] S. Jagar et al., *Proc. Int. SOI. Conf.*, pp. 112-123, 1999.
 [13] S. Y. Yoon, N. Young, P. J. VAN, and D. Zaag, *AM-LCD'02*, pp. 239-242, 2002.
 [14] D. Murley, N. Young, M. Trainor, and D. McCulloch, *IEEE. Trans. Electron devices*, Vol. 48, No. 6, pp. 1145-1151, 2001.
 [15] J. S. Im and H. J. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, vol.63, no.14, pp.1969-1971,1993.