

연속발진 레이저로 제작한 다결정 실리콘 박막의 특성연구

김기형, 김은현*, 박성진*, 구유미*, 김채욱, 장진*

한양대학교 물리학과, 경희대학교 물리학과*

The properties of CW laser crystallized poly-Si film

Ki-Hyung Kim, Eun-Hyun Kim*, Seong-Jin Park*, Yu-Mi Ku*, Chae-Ok Kim, and Jin Jang*

Han Yang Univ., Kyung Hee Univ.*

Abstract

Nd:YVO₄ 연속발진 레이저(CW laser)를 이용하여 다결정실리콘(CLC poly-Si)을 제작하였다. CLC 다결정 실리콘의 결정화 영역은 결정립 크기에 따라 SLC(Sequential Lateral Crystallization) 영역, SLG(Super Lateral Grain) 영역 및 Small Grain 영역으로 구분된다. 레이저를 중첩스캔 하여 제작한 CLC 다결정실리콘의 경우, 레이저 스캔 경계에서 단결정립이 형성됨을 SEM으로 확인하고, CLC 다결정실리콘의 결정성을 XRD와 라만 스펙트럼(Raman spectrum)을 이용하여 조사하였다.

Key Words : CW laser, poly-Si, LTPS, 레이저 결정화

1. 서론

최근에 고품질의 다결정실리콘을 제작하는 방법으로 ELA 방식을 대체 할 수 있는 DPSS(Diode Pumped Solid State) 연속발진 레이저(CW laser)를 이용한 비정질실리콘의 결정화 방법(CLC; CW laser crystallization)이 제안되었다.^{[1],[2]} 연속발진 레이저를 이용한 결정화 방법은 레이저장비의 운용이 간편하고 안정적인 레이저빔과 출력을 얻을 수 있기 때문에 균일한 다결정실리콘 박막을 형성시킬 수 있고 균일한 특성을 가지는 소자를 제작할 수 있다. 그리고 연속발진 레이저를 이용한 결정화 방법은 연속적으로 레이저를 조사함으로써 레이저 스캔 방향으로 측면(lateral) 성장한 수 μm 이상의 크기를 갖는 결정립을 유리기판 위에 형성할 수 있다. 본 연구에서는 연속발진 레이저로 제작한 다결정실리콘(CLC poly-Si)의 결정화 특성을 SEM, XRD, AFM, 라만 스펙트럼(Raman spectrum)을 통하여 논하였다.

2. 실험

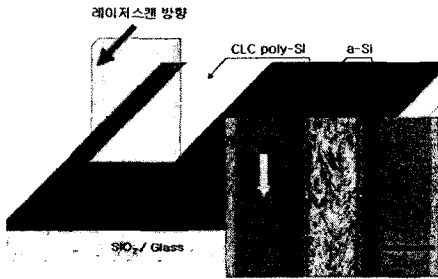
본 실험에서는 PECVD 장비로 corning 1737 유리 기판 위에 두께 400 nm의 실리콘 산화막(SiO₂)을 증착하고, 그 위에 두께 170 nm의 a-Si:H 박막을 증착한 후 480 °C에서 5 시간 동안 탈수소화 과정을 수행하였다. PECVD로 증착한 비정질실리콘 박막 내에 함유된 수소(10~20 wt.%)는 레이저 결정화 시 급격한 온도상승에 의해 박막 밖으로 배출되

어 박막 표면에 void 및 표면 거칠기를 증가시키는 원인이 된다. 따라서 레이저 결정화 전에 충분한 탈수소화를 선행 하는 것이 필요하다. 이렇게 얻어진 비정질실리콘 박막 위에 532 nm의 파장을 갖는 Nd:YVO₄ CW 레이저를 조사하여 박막을 결정화 하였다. CW 레이저 조사 시 레이저 파워와 스캔 속도는 각각 8.5 W와 400 mm/s이다.

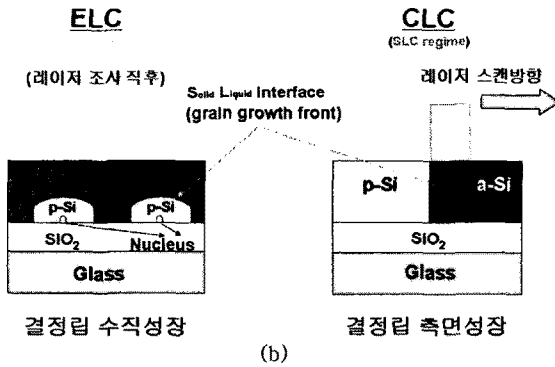
3. 결과 및 고찰

그림 1은 CW 레이저를 이용한 결정화의 일반적인 모식도 및 CW 레이저 스캔에 의해 결정화된 박막의 광학현미경 사진(그림 1(a))과 ELA와 CW 레이저 결정화의 결정 성장 모델을 나타낸 모식도(그림 1(b))이다. 그림 1(b)에 나타난 바와 같이, ELA의 경우에는 기판과 박막 계면의 결정핵 주위에서 결정화가 진행되며, CW 레이저의 경우에는 레이저의 스캔 방향을 따라 결정화가 진행된다. CW 레이저를 이용한 결정화인 경우, 레이저 스캔 방향을 축으로 좌우 대칭인 형태로 결정립이 형성됨을 그림 1(a)에서 확인할 수 있다. 결정화된 영역의 폭은 박막에 조사된 레이저빔의 파워 및 스캔 속도에 영향을 받으며 스캔 방향에 수직으로 전달되는 열전도에 의해 결정화 양상이 구분된다. 그림 2는 그림 1에 나타난 결정화된 영역에서 열전도에 따라 형성된 다양한 결정화 양상(그림 2(a))과 그에 따른 라만 스펙트럼(그림 2(b))을 나타낸다. 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 결정화된 영역은 결정립의 크기

에 따라 세 영역으로 구분된다. Small Grain 영역은 레이저 조사에 의해 부분용융(partial melting)된 영역으로 결정립 크기가 수백 Å 이하의 미세 결정립으로 형성되고 그 미세구조는 고상 결정화 다결정실리콘(SPC poly-Si)의 그것과 유사하다. SLG(Super Lateral Grain) 영역은 near complete melting으로 형성된 영역으로 결정립의 구조가 ELA 다결정실리콘의 그것과 유사하고 SLC(Sequential Lateral Crystallization) 영역의 결정립과 경계를 이루고 있다. SLC 영역은 레이저 스캔 방향으로 길게 형성된 수 μm 이상의 크기를 가지는 결정립으로 형성되며 완전용융(complete melting)으로 형성된 영역이다.



(a)

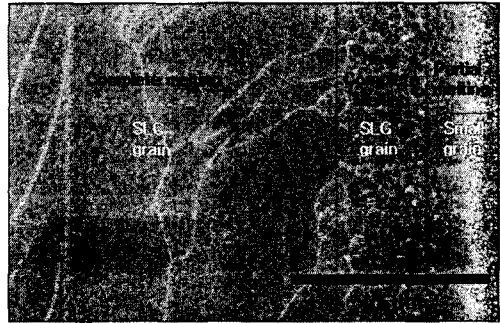


(b)

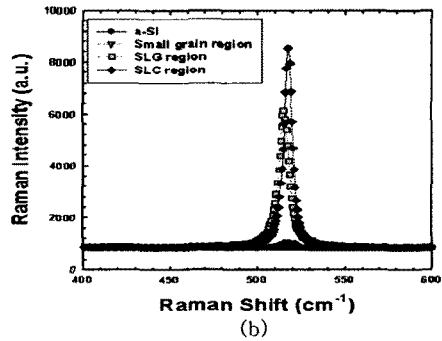
그림 1. CW 레이저를 이용한 결정화의 일반적인 모식도 및 CW 레이저 스캔에 의해 결정화된 박막의 광학현미경 사진(a)과, ELA와 CW 레이저 결정화의 결정 성장 모델을 나타낸 모식도(b)

레이저를 스캔하는 동안 레이저빔에 의한 열에너지는 레이저빔이 조사된 박막의 중앙으로부터 외부로 분포하고, 이렇게 분포된 열에너지의 기울기에 따라 중앙으로부터 각각 완전용융(complete melting), 근사완전용융(near complete melting) 및 부분용융(partial melting) 상태로 있게 된다. 따

라서 CLC 다결정실리콘에 형성되는 여러 결정립의 분포는 비정질실리콘을 스캔하는 CW 레이저빔에 의해 열에너지가 '방향'을 가지고 분포되는 'Thermal Flux Process' 방식의 결정화가 진행되기 때문이다.^{[3],[4]} 위에 언급한 결정화 영역의 각 영역에 대한 라만 스펙트럼에 의하면 SLC 영역에서 520 cm^{-1} 근처의 결정질실리콘의 TO(transverse optical) phonon mode에 의한 피크가 나타나며 그 세기가 가장 큼을 알 수 있다. 이것은 CLC 영역의 결정성이 가장 좋음을 의미한다.



(a)

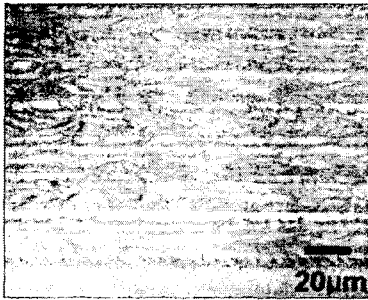


(b)

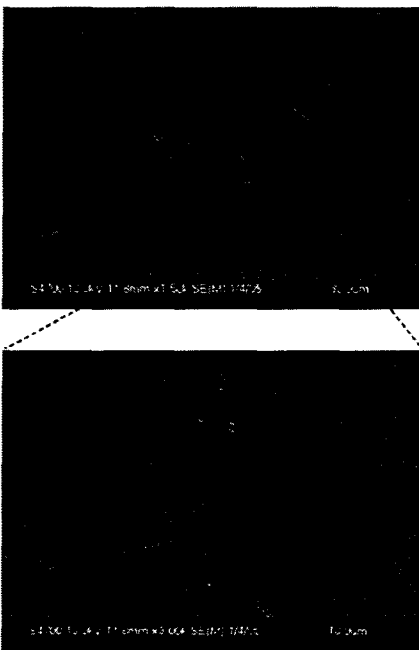
그림 2. CLC 다결정실리콘의 결정화 영역에 대한 SEM 사진(a)과 각 영역에 대한 라만 스펙트럼(b)

그림 3 (a),(b)는 각각 CW 레이저를 25 % 중첩스캔 하여 제작한 다결정실리콘의 광학현미경 사진(a)과 중첩스캔 된 영역에서의 SEM 사진(b)이다. SEM 사진에 레이저 스캔 경계를 화살표로 나타내었다. 그림 3(b)에 나타난 바와 같이, 각 레이저 스캔의 경계에서 전후 스캔에 의해 스캔 방향에 사선으로 연장된 결정립이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 선행 스캔으로 형성된 SLC 영역의 결정립은 다음 레이저 스캔으로 용융된 액상의 실리콘과 접하면서 고상화의 결정핵으로 작용하게 된다. 선행

스캔으로 형성된 결정립을 결정핵으로 하여 고상화된 영역은 기존의 결정립과 연결되면서 하나의 결정립으로 형성된다. 그러므로 각 스캔 간 경계에서는 단일 스캔으로 제작한 CLC 다결정실리콘에서 보이는 Small Grain 영역이 형성되지 않는다.



(a)



(b)

그림3. CW 레이저 증착스캔으로 제작한 CLC 다결정실리콘의 광학현미경 사진(a)과 증착스캔된 영역에서의 SEM 사진(b) 위에 언급한 바와 같이 증착스캔으로 폭 5 µm. 길이 20~30 µm 이상의 결정립으로 형성되는 SLC 영역을 제작할 수 있다.

그림 4는 CLC 다결정실리콘과 ELA 다결정실리콘의 XRD 그래프를 나타낸다. CLC 다결정실리콘의 두께(170 nm)와 ELA 다결정실리콘의 두께(50 nm) 차이에 의한 XRD 피크의 세기 차이가 관찰되나 두 종류의 박막 모두 우선적인 방향성은 가지고 있지 않은 것으로 보인다.

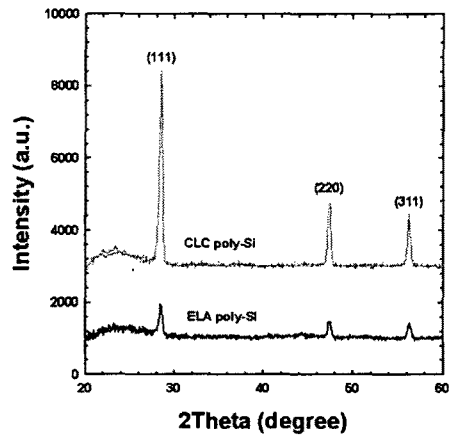
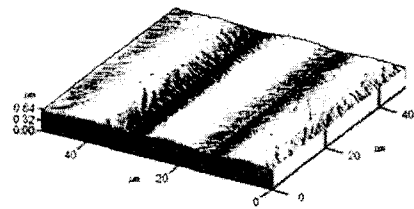
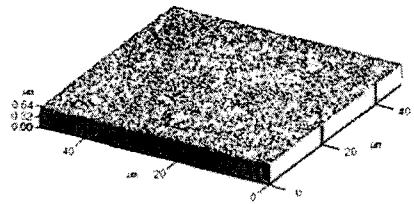


그림 4. CLC 다결정실리콘과 ELA 다결정실리콘의 XRD 그래프



CLC poly-Si

RMS roughness : 120 Å
AVE roughness : 95.4 Å



ELA poly-Si

RMS roughness : 191 Å
AVE roughness : 147 Å

그림 5. CW 레이저 증착스캔에 의해 결정화된 다결정실리콘과 ELA 다결정실리콘의 AFM 이미지 비교

그림 5는 CW 레이저 증착스캔에 의해 결정화된 다결정실리콘과 ELA 다결정실리콘의 AFM 이미지를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이, CLC 다결정실리콘의 경우 ELA 다결정실리콘에 비해 표면 거칠기가 더 작음을 알 수 있다. 일반적으로, ELA 다결정실리콘은 수 nsec 동안 결정화가 진행된다. 이 시간 동안에 균일하고 무작위적인 결정핵 생성과 결정화 동안의 액상 및 고상의 실리콘 경계 이동에 의한 용기(ridge) 형성에 의해 거친 표면이 형성되고, 이로 인하여 내부응력(internal stress, tensile stress)을 받는다. 따라서 용기형성을 억제하고 평탄한 박막을 제작함으로써 내부응력이 적은 박막을 제작할 수 있다. 이것을 확인하기 위해 라만 스펙트럼을 측정하여 라만이동(Raman shift)을 확인하였다.

그림 6은 CW 레이저 스캔에 의해 결정화된 박막의 SLC 영역과 ELA 다결정실리콘에서 임의의 위치에 따른 라만이동의 차이($\Delta\omega$)를 나타낸다. 라만이동은 박막이 받고 있는 변형력(stress) 즉, 열변형력(thermal stress)에 의한 응력변형(tensile stress)에 관계된다. 그림 5에 나타난 바와 같이 ELA 다결정실리콘이 SLC영역에 비해 라만이동의 차이가 크므로 SLC 영역이 ELA 다결정실리콘에 비해 응력변형이 적음을 알 수 있다.

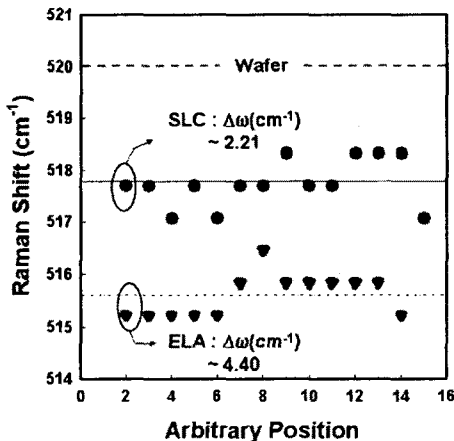


그림 6. CW 레이저 스캔에 의해 결정화된 박막의

SLC 영역과 ELA 다결정실리콘에서 임의의 위치에 따른 라만이동(Raman shift)의 차이($\Delta\omega$)

4. 결론

Nd:YVO₄ 연속발진 레이저(CW laser)를 이용하여 다결정실리콘(CLC poly-Si)을 제작하였다. CLC 다결정실리콘의 결정화 영역은 결정립 크기에 따라 Sequential Lateral Crystallization 영역, Super Lateral Grain 영역 및 Small Grain 영역으로 구분된다. SEM 사진으로 확인한 결과, 레이저를 증착스캔 하여 제작한 CLC 다결정실리콘의 경우, 레이저 스캔 경계에서 단결정립이 형성됨을 확인하였고, 이때 각 스캔간 경계에 Small Grain 영역이 형성되지 않는다. CW 레이저의 증착스캔으로 폭 5 μ m, 길이 20~30 μ m 이상의 결정립을 형성하였다. CW 레이저를 이용하여 결정화를 수행할 경우, ELA 다결정실리콘 보다 평탄하고 변형력이 적은 SLC 영역으로 형성된 양질의 CLC 다결정실리콘 박막을 제작할 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] A. Hara, F. Takeuchi, M. Takei, K. Suga, K. Yoshimo, M. Chida, Y. Sano, and N. Sasaki, "High-performance polycrystalline silicon thin film transistors on non-alkali glass produced using continuous wave laser lateral crystallization" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, p. L311, 2002.
- [2] Y. M. Ku, K. H. Kim, S. H. Kang, S. J. Park, and Jin Jang, "Characterization of Micro-Structures of CW Laser Crystallized Polycrystalline Silicon Films", International Display Workshop'04, Niigata, Japan, Dec. 3-5 p. 509, 2004.
- [3] S. J. Park, S. H. Kang, Y. M. Ku, and J. Jang, "A simple explanation on the crystallization kinetics of a CW laser crystallization of amorphous silicon", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 808, p. A3.3.1, 2004.
- [4] R. Singh, "Rapid isothermal processing", J. Appl. Phys., Vol. 63, p. R59, 1988.