

## Mo 기판에 성장된 a-Si:H의 결정화 연구

임동건, 김도영, 정세민, 이준신  
성균관대학교 전기, 전자 및 컴퓨터공학과

### 초 록

수소화된 비정질 규소(a-Si:H)는 전자소자에서 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 a-Si:H는 반송자 이동도가 느리고 불안정하기 때문에 그 특성 개선이 요구되어진다. 본 논문은 금속기판 Mo위에 a-Si:H를 성장하고 후속 결정화 연구를 수행하였다. a-Si:H 박막은 DC 글로우 방전으로 Mo 기판위에 증착되었다. 실험에 사용되어진 열처리로는 질소분위기, 진공상태, 급속가열 및 엑시머레이저 열처리를 행하였다. 열처리 온도는 100℃에서 1200℃까지 행하였다. 엑시머레이저의 에너지는 단위 펄스당 90에서 340mJ이었다. 결정화에 영향을 주는 요소로는 불순물 주입, 온도, 박막의 두께 및 열처리 시간등을 조사하였다. 불순물이 주입된 비정질규소는 진성규소보다 더 좋은 결정화를 보였다. 불순물 주입은 낮은 온도에서의 결정화에 도움을 주었다. 열처리 시간은 결정화에 큰 영향을 미치지 못하였다. 반면에 열처리 온도는 결정화에 큰 영향을 주었다.

### 서 론

수소화된 비정질규소(a-Si:H)는 태양전지<sup>[1]</sup>, 액정 표시장치(LCD)<sup>[2]</sup>, 복사기의 센서<sup>[3]</sup>나 의학 X선 영상 검출기장치<sup>[4]</sup> 등과 같은 전기, 전자소자의 응용에 광범위하게 사용되고 있다. 박막태양전지는 대면적화에 가능성을 가지고 있어서 태양전지 가격을 낮추어 태양에너지의 경제적인 사용으로 에너지 한계를 대체할 수 있다. 비정질 규소 태양전지의 기술적인 장점은 비교적 저가인 연속공정에 의해서 대면적의 태양전지 제작이 가능하다. 광학적 흡수계수가 높은 비정

질 규소는 1 $\mu$ m이하의 태양전지로 변환 효율이 12%이상을 달성하였다. 그러나, 비정질 규소는 태양전지의 안정도에 문제를 보였다. 비정질 규소의 전기적 특성과 안정도는 박막의 수소 이동에 의해서 주된영향을 받으며 수소 이동과 실리콘 박막의 구조는 열처리에 의해서 영향을 받는다. 본 논문은 기존의 수소화된 비정질에 존재하던 문제를 열처리로서 해결하고자 노력하였다. 사용된 열처리 기법은 질소분위기, 진공상태, 급속가열(RTA), 엑시머 레이저 열처리등이다. 본 논문의 목적은 저가 대면적 고효율 고이동도 다결정 규소 박막을 대

면적 금속기판에 증착된 비정질 규소박막을 사용하여 달성하는데 있다. 두 번째 목적은 열처리 전후의 실리콘 박막 특성을 규명하는데 있다. 마지막 목적은 다결정규소박막을 사용하여 소자 특성을 개선하는데 있다.

## 실 험

수소화된 비정질 규소 박막은 4" × 4" Mo 금속 기판에 SiH<sub>4</sub>를 분해하여 DC 글로우 방전으로 증착되었다. 증착 온도는 225°C에서 380°C까지 가변하였고, 증착속도는 약 0.5 μm/min이었다. 수소화된 비정질 규소 박막의 성장에 앞서 좋은 오믹접촉을 얻기 위해 불순물이 높게 주입된 층을 증착하였다. 조사되어진 샘플구조는 진성 a-Si:H/n<sup>+</sup> a-Si:H/substrate (I/n<sup>+</sup>/Sub.), n형 a-Si:H/n<sup>+</sup> a-Si:H/substrate (n/n<sup>+</sup>/Sub), 그리고 p형 a-Si:H/p<sup>+</sup> a-Si:H/substrate (p/p<sup>+</sup>/Sub)이다. Shear press를 이용하여 a-Si:H를 1.2cm × 0.6cm의 크기로 잘라서 만든 샘플에 다양한 열처리하였다. 열처리는 4시간 동안 온도를 100°C에서 1200°C까지 가변하면서 했으며, 열처리 노는 2.2°C/min 속도로 냉각되어졌고, 결정화된 샘플은 열처리 노의 온도가 200°C가 되었을 때 꺼내어졌다. RTA는 AG Associates Heat Pulse 210을 사용하여 열처리를 2분동안 온도를 200°C에서부터 1150°C까지 다양하게 바꾸어가며 실험하였다. Lindberg 열처리 노에서 질소분위기에서 온도를 100°C에서 1100°C까지 변화시키고 열처리시간을 1시간에서 10시간까지 변화시키면서 등온 가열하였다. 레이저 결정화는 ArF

엑시머레이저를 사용하였다. 이때의 엑시머레이저의 사양은 4mm × 4mm의 빔 초점 사이즈와 193nm의 파장을 가진다. 엑시머레이저 열처리는 아르곤 가스와 공기가 혼합된 환경에서 a-Si:H 시료에 수직으로 90에서 340mJ의 에너지를 가지는 레이저빔이 조사되도록 되어있다.

성장된 a-Si:H의 물성은 열처리된 박막의 물성과 비교하였다. 결정화도는 XRD와 Raman 분광법을 통해서 알 수 있었으며 구조적인 특성은 주사전자현미경(SEM)과 투과전자현미경(TEM)을 통해서 알 수 있었다. 열처리후의 수소결합의 변화는 FT-IR 분광법을 사용하여 알 수 있었다.

## 결 과

결정화에 영향을 미치는 요소로써 도핑과 온도, 박막두께 그리고 열처리시간을 조사하였다. 도핑된 비정질 규소는 진성반도체의 경우보다 더 좋은 결정화를 보였다. 결정화는 도핑된 비정질 규소에서 대해서 낮은 온도에서 이루어졌다. 진성규소는 700°C이상의 온도에서 증착되어 졌으며 도핑된 규소의 경우 600°C에서 결정화가 가능하였다. 결합상태를 야기하는 도핑은 낮은 온도에서 결정화를 가능하게 하는 것으로 생각된다. 결정화에 있어서 지속된 열처리 시간은 2분간의 RTA로부터 40시간의 진공열처리까지의 열처리는 결정화에 거의 영향을 끼치지 못하며 그러나 열처리 온도는 그림 1에서 처럼 온도에 따라서 결정화도에 크게 차이를 보인다. 열처리온도가 증가함에 따라 규소의

(111) 피크가 증가하게 된다. 그리고 FWHM은 두께  $5\mu\text{m}$ 의 n형 규소에 대하여  $600^\circ\text{C}$ 에서  $0.583^\circ$  으로부터  $1000^\circ\text{C}$ 에서  $0.343^\circ$  로 감소하였다. 이러한 온도에 대한 효과는 일반적으로 RTA, 질소분위기, 진공상태 열처리와 같은 다양한 열처리기술을 통해서 이루어질 수 있다. 이것은 열처리 온도가 증가함에 따라서 결정립계가 증가한다는 것을 의미한다.

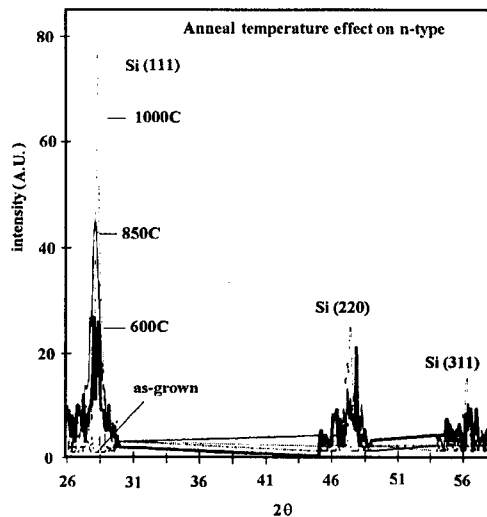


그림 1. 온도효과에 따른 결정화

표 1은 열처리온도에 따른 선택적인 결정방향에 대한 표이다.  $1000^\circ\text{C}$  이하의 열처리후에 결정의 배향방향은 대개 (111)면들이 나타난다.  $1000^\circ\text{C}$  이상의 온도에서의 열처리는 Mo 기판과 Si이 반응을 하게 되므로 강한 Mo 실리사이드 피크를 나타나게 된다.

레이저 열처리를 통한 표면 단면은 단지 상부의 박막층만이 레이저 에너지  $310\text{mJ}$ 에서 결정화 되어진다. 이러한 결과는 엑시머 레이저 열처리는 단지 얇은 박막의 규소결정화에 대해서는 우수

한 특성을 가지고 있다. 엑시머 레이저 열처리된 시료는 레이저 빔의 초점밀도에 따라 결정화도가 변하게 된다. 비정질과 미세결정화된 상이  $130\text{mJ}$ 의 레이저 에너지에서 나타난다. 이것은 레이저의 에너지가 증가함에 따라 박막의 결정화도는 향상되어진다고 말할 수 있다.

표 1. 온도에 따른 선택적인 결정방향.

Anneal Condition	$I_{111}/I_{111}$	$I_{220}/I_{111}$	$I_{311}/I_{111}$
$600^\circ\text{C}$ , 4h	100	53	35
$850^\circ\text{C}$ , 4h	100	42	31
$1000^\circ\text{C}$ , 4h	100	36	25

강한 표면손상이 레이저 에너지  $270\text{mJ}$  이상에서 관측되었다. 박막 규소가 높은 레이저 에너지광이 다초점으로 조사되어질 경우 표면의 규소층이 기화되어짐이 관측되었다. 이러한 표면 변화는 표면 재결합에 기인되는 현상이다. 따라서 양질의 결정화 박막을 얻기 위해서 두께가  $5\mu\text{m}$ 이하이고 레이저 에너지가  $270\text{mJ}$ 이하인 박막규소의 레이저 열처리를 추천한다.

Raman 분광 스펙트럼은  $480\text{cm}^{-1}$ 에서 비정질의 피크를  $520\text{cm}^{-1}$ 에서 다결정 규소의 피크를 얻을 수 있으며 두가지 상이 혼합될 경우 양쪽의 모든 주파수가 나타나게 된다. 진성 a-Si:H의 결정화는 낮은 온도인  $600^\circ\text{C}$ , 4시간동안의 결정화 열처리를 통해서 이루어졌다. 그림 2는 성장된 a-Si:H 피크는  $480\text{cm}^{-1}$ 에서 얻어지며 열처리된 시료의 피크는  $520\text{cm}^{-1}$ 에서 얻어진다. 열처리온도가 증가됨에 따

라서 피크 강도는 증가되어지며 FWHM는 감소되어 졌다. 이러한 특성은 결정립 크기는 가변되는 열처리 온도가 증가함에 따라서 증가함을 알 수 있다.

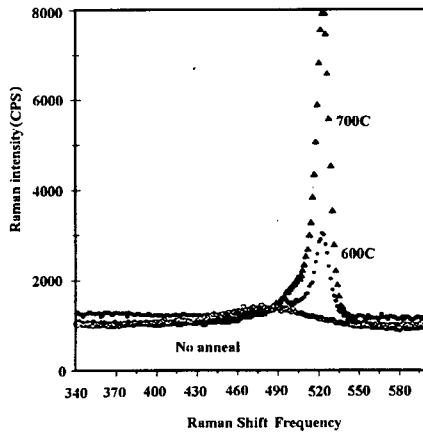


그림 2. Raman 분광 스펙트럼 결과.

열처리후의 수소결합의 변화는 FT-IR 분광법을 사용하였다. 열처리 전에 Si 박막은 SiH, SiH<sub>2</sub>, [SiH<sub>2</sub>]<sub>n</sub> 피크로 구성된다. SiH<sub>2</sub> 피크는 400°C 열처리후에 약한 수소결합방출을 통해서 이중수소 피크는 사라지게 된다. 모든 수소결합은 600°C 열처리후에 모두 깨지고 결정화를 시작한다. 이러한 Raman 분광은 600°C 4시간 열처리후의 결정화를 결과를 설명할 수 있다. 600°C 열처리는 모든 수소결합을 끊는 과정과 동시에 결정화의 초기 온도라고 할 수 있다.

결 론

연구는 a-Si:H을 후속 결정화하여 Si 박막의 특성에 영향을 주는 요소를 조사하였다. 열처리온도, 도핑종류 그리고

레이저 에너지 밀도는 박막규소의 가장 중요한 결정화 변수였다. n형 도핑된 비정질 규소는 진성 규소보다 더욱 더 우수한 결정화를 보였다. 결정화 온도가 증가함에 따라서 규소 (111)면의 피크는 증가하였으며 n형 규소의 경우 FWHM는 600°C에서 0.583°로부터 1000°C에서 0.343° 까지 감소하는 결정성향상을 보였다. Raman 분광은 역시 열처리온도가 증가함에 따라서 결정립 크기가 증가함을 알 수 있다. 박막규소의 결정화 연구를 통해서 우리는 열처리 온도를 1000°C이하로 하고 규소박막의 두께를 5μm이하의 경우를 추천한다. 엑시머 레이저 열처리는 단지 박막이 극히 얇을 경우의 결정화에 사용될 수 있을 것이다. 다양한 열처리방법과 함께 RTA 공정은 재생산성과 열처리동안 낮은 불순물과의 결합을 향상 시키게 될 것이다. 금속 Mo 기판은 박막 규소응용소자에 사용할 것을 추천한다.

참 고 문 헌

[1] D. E. Carlson, Solar Cells, Vol. 30, 227, (1991).  
 [2] R. L. Weisfield, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 258, 1150, (1992).  
 [3] J. Yorkston and E. Morton, Mat. Res. Soc. Sym. Proc., Vol. 258, 1163, (1992).  
 [4] L. E. Anthonuk, J. Yorkston, W. Huang, J. Bourdy, and R. A. Street, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 258, 1069, (1992).