

교번자속인가에 의한 비정질 실리콘 박막의 결정화거동에 대한 연구

Solid Phase Crystallization of LPCVD Amorphous Silicon

Thin Films by Alternating Magnetic Flux

송아론, 박상진, 박성계, 남승의, 김형준

(Ah-Lon Song, Sang-Jin Park, Sung-Kae Park, Seung-Eui Nam, Hyung-Jun Kim)

Abstract

A new method for the fabrication of poly-Si films is reported using by alternating magnetic flux crystallization (AMFC) of LPCVD a-Si films. In this work we have studied the crystallization of LPCVD a-Si films by alternating magnetic flux. A-Si films were 1200Å-thick deposited at 480°C at a total pressure of 0.25Torr using Si2H6/H2. After this step, these a-Si films were thermally annealed by Alternating Magnetic Flux at 430°C for 1hours. The annealed films were characterized using X-ray diffraction (XRD), Raman Spectra, Atomic Force Microscopy(AFM). Both alternating magnetic flux crystallization and solid phase crystallization were investigated to compare enhanced crystallization a-Si. We have found that the low temperature crystallization method at 430°C by alternating magnetic flux.

Key Words(중요용어) : alternating magnetic flux, poly-Si, incubation time, a-Si

1. 서론

요즘 유리기판이 허용하는 저온에서 트랜지스터 구동에 적합한 다결정 실리콘의 형성을 위하여 고상 결정화(Solid Phase Crystallization)와 엑사이머 레이저 결정화(Eximer Laser Crystallization) 그리고 금속유도 결정화(Metal induced Crystallization)등의 방법이 있다. 고상결정화의 경우는 550°C~600°C에서 수 시간에서 수십시간 열처리를 하여야 함으로 Corning 7059나 1737등은 450°C 이상의 온도에서 장시간 열처리를 하게 되면 기판의 수축이나 변형이 일어나기 때문에 석영기판과 같은 비싼 기판을 사용하는 문제점이 있다. 엑사이머 레이저의 경우 공정

범위가 좁고 다결정 실리콘의 표면이 거칠어 소자의 특성에 나쁜 영향을 주는 단점이 있다. 또한 장비가 고가이며 유지비가 많이 드는 단점이 있다. 금속유도결정화의 경우는 170°C~500°C의 낮은 온도에서 결정화가 일어나는 장점이 있으나 채널영역의 금속 불순물에 의한 오염에 의해 실제 공정에 적용할 수 없는 단점이 있다. 이에 따라 본 연구는 유리연화온도인 450°C이하의 온도에서 결정화를 이룰 수 있는 새로운 고상결정화 방법을 개발하기 위한 목적으로 실험을 하였다.

2. 실험 방법

100mm의 직경을 갖는 p-type (100) 웨이퍼 위에 5000Å 두께의 열산화막(SiO2)을 형성시킨 후, LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)를 이용하여 Si2H6 기체를 H2 기체로 희석시켜 두께

* 홍익대학교 금속재료공학과
(서울 특별시 상수동 홍익대학교,
Fax: 02-334-0750
E-mail :

1200Å의 비정질 실리콘 박막을 증착하였다. 본 실험에 사용된 LPCVD 반응기의 개략적인 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

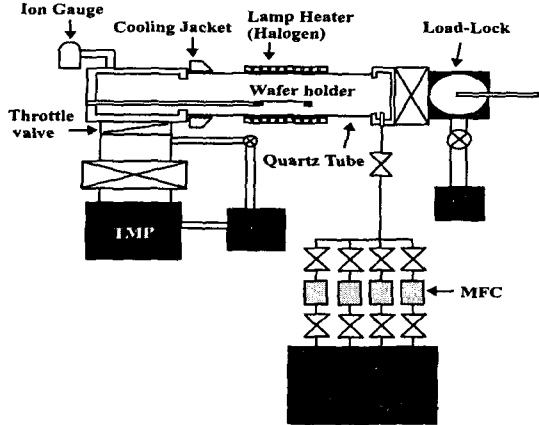


Fig. 1. Schematic diagram of LPCVD reactor

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 본 장비의 특징은 tungsten halogen lamp를 이용해 radiation heating 방법으로 기판을 가열하는 cold wall type으로 설계되어 있다. 터보 펌프를 장착하여 고진공을 유지할 수 있으며 main chamber와 loading chamber 사이에 load-lock을 설치하여 반응기 내로의 외부로부터의 오염을 최소로 할 수 있을 뿐만 아니라 연속 조업이 가능한 장비이다. 증착 압력은 throttle valve와 MFC(Mass Flow Controller)를 이용하여 조절하였고 capacitance manometer를 이용하여 절대압력을 측정하였다. 증착된 비정질 실리콘 박막의 두께는 일부를 식각 한 후, surface profilometer인 α -step을 사용하여 측정하였다. 이렇게 증착된 비정질 실리콘 박막을 Fig. 2와 같은 장비에 넣어 열처리를 하였다. 열처리 온도는 500°C, 450°C, 430°C, 400°C에 대하여 실험을 하였고 이 새로운 결정화 열처리를 비교하기 위해 600°C에서 고상 결정화를 10시간까지 열처리를 하였다. 이것의 열처리 시간에 따른 결정화도는 XRD(X-ray diffraction)와 Raman spectra를 이용하여 분석을 하였으며 결정화된 박막의 계면 거칠기를 비교하기 위하여 AFM을 사용하였다.

교번자장열처리를 하기 위한 장비 시스템은 Fig. 2에 나타내었다.

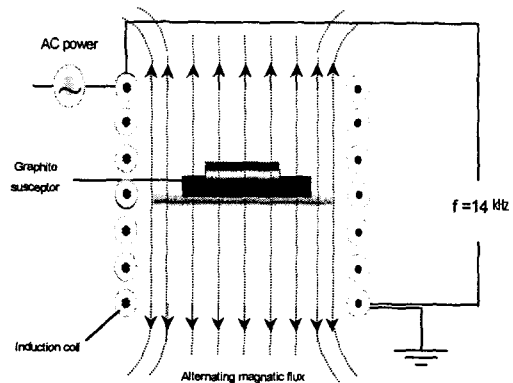


Fig. 2. Schematic diagram of alternating magnetic flux system

3. 실험 결과 및 고찰

교번자장인가에 의한 결정화 경향을 비교하기 위하여 같은 조건의 reference 박막을 Si_2H_6 를 사용하여 $T_D = 480^\circ\text{C}$, $P_D = 0.25\text{Torr}$ 조건에서 1200Å 두께의 LPCVD 비정질 실리콘 박막을 증착 하였다. 그 후 furnace에 넣어 600°C를 유지하면서 10시간까지 관찰을 하였다. 이때 XRD로 매 30분 간격으로 분석을 하면서 결정화 거동을 보았다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 비정질 실리콘 박막의 결정화가 일어나는 incubation time은 5시간으로 나타나고 있으며 (111)면의 XRD peak intensity가 saturation 되는 시간이 약 8시간에서부터 나타나기에 비정질 실리콘 박막의 완전 결정화 시간을 10시간으로 하여 연구를 진행하였다.

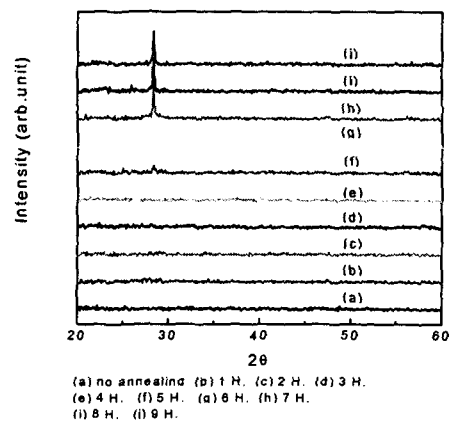


Fig. 3. X-ray diffraction peak for a-Si film at various annealing times

교번자장인가의 결정화 특성을 보기 위하여 조건을 14kHz와 50A로 하였으며 초기 진공을 10^{-3} torr와 Ar 분위기에서 실험을 하였다. 그 후 박막을 400, 430, 450, 500°C의 온도에서 결정화 온도를 XRD를 이용하여 분석을 하였다. 각 온도에서의 결정화는 430, 450, 500에서 1시간 안에 결정화가 완료되는 것을 확인을 하였으며 400°C의 경우에는 XRD peak intensity가 나타나지 않았다. Fig.4는 각 온도에서의 비정질 실리콘 박막의 결정화가 일어나는 incubation time을 나타내었다.

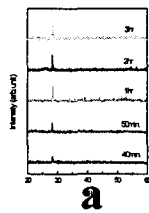


Fig. 4. X-ray diffraction peak for a-Si film at various annealing temperature (a) 430°C/50A, (b) 450°C/50A, (c) 500°C/50A

본 실험에서는 각 온도에서 10분씩 열처리 후 (111)면의 XRD peak intensity로 확인을 하였으며 500°C의 경우는 30분에서 결정화가 시작되면 1시간 안에 결정화가 완료되는 것을 볼 수가 있었다. 450°C의 경우 40분에서 결정화가 시작하여 1시간 안에 결정화가 완료되었고 430°C의 경우는 50분에 결정화가 시작하여 1시간 안에 결정화가 완료된 것을 확인할 수가 있었다. 이것은 각 온도에서 3시간까지 열처리를 한 결과 결정화가 완전히 완료되었음을 알 수 있었다. 400°C의 실험의 경우에는 XRD peak intensity가 나타나지 않았으며 이것은 Raman spectra를 이용하여 결정성을 분석하였다. Fig.5에 나타난 것 보면 실리콘 결정의 optical phonon peak은 520cm^{-1} 에서 결정화를 확인을 할 수가 있었으며 480cm^{-1} 부근에서의 broad peak은 비정질 실리콘이 존재함을 나타내며 이것은 400°C의 온도에서 비정질과 결정질의 혼합된 상이 존재함을 볼 수가 있었다. 400°C의 이하의 온도에서는 어떤 결정화의 경향도 볼 수가 없었다.

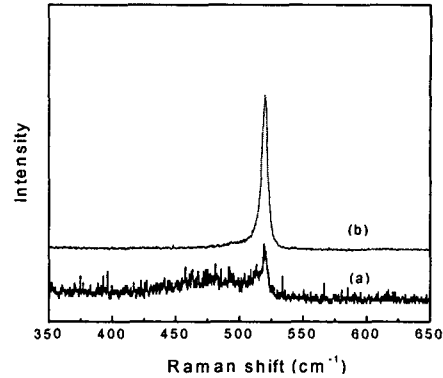


Fig. 5. Raman intensity for a-Si film at various annealing temperature (a) 400°C/50A for 1 hour (The optical phonon peak of crystalline poly-Si is appeared 520cm^{-1} , the broad peak at 480cm^{-1} is amorphous silicon) (b) 430°C/50A for 1 hour

Fig. 6의 경우는 교번자장열처리 박막과 일반 수평관상로에서의 SPC열처리 박막의 완전결정화가 끝난 후의 (111)면에서의 최대 peak intensity의 차이를 볼 수가 있다. 교번자장열처리의 경우는 SPC열처리 시편에 비하여 최대 peak intensity가 작은 것을 볼 수가 있었으며 이것은 SPC시편에 비하여 결정립 크기가 작을 것으로 예상된다.

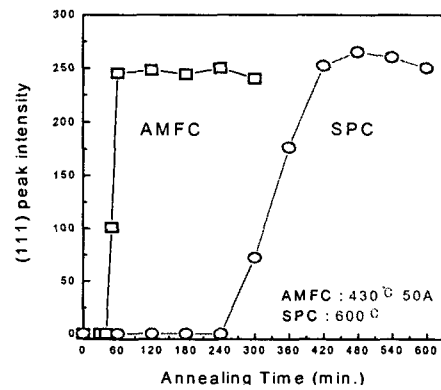


Fig. 6. (111) X-ray peak intensity as function of annealing type

본 실험에서 비정질 실리콘 박막의 저온결정화의 경향을 알아보기 위하여 430, 450, 500°C의 온도에서

결정화 온도를 XRD를 이용하여 분석을 하였다. 각 온도에서 주파수는 14kHz에서 전류를 50A와 26A에서 연구를 진행하였다. 430, 450℃의 경우는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 낮은 전류에서는 결정화가 이루어지지 않은 것을 확인할 수가 있었으며 500℃의 경우는 26A와 50A에서 XRD peak intensity를 확인을 할 수가 있었다. 이 연구에서 전류가 높을수록 결정화 온도가 낮아지는 것을 확인할 수가 있었다. Fig.7은 위 결과에 대한 XRD peak intensity를 볼 수 있다.

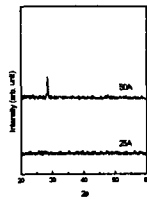


Fig. 7. X-ray diffraction peak for a-Si film at various amperes (a) 430°C, (b) 450°C, (c) 500°C

Fig.8의 경우는 maxwell 2D simulation을 이용하여 a-Si substrate에 걸리는 magnetic field(H)를 나타낸 것이다. 이 magnetic field의 분포에 적용된 코일은 solenoid형이며 코일의 감은 수는 14 turns이고 인가전류 50A와 frequency 14kHz에서의 조건에서 계산되었다. 이것으로 보아 시편에 10.40e~1040e의 magnetic field가 인가되는 것을 알 수가 있었다.

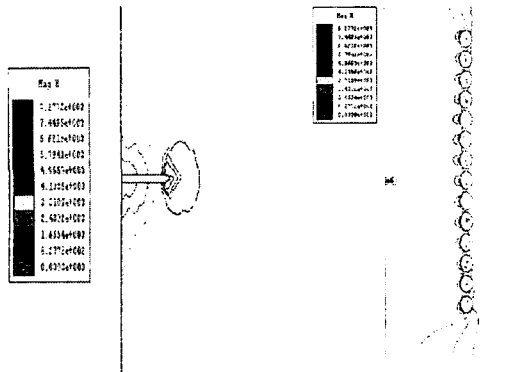


Fig. 8. Maxwell 2D simulation as a function of applied magnetic field

다결정 실리콘 박막의 경우는 보통 최종 결정립의 크기에 따라서 소자의 특성이 차이가 난다고 하고 있지만 다결정 실리콘과 위에 올라가는 실리콘 산화막과의 계면 거칠기와의 상관성이 있다고 알려져 있기

에 AFM으로 측정을 하여 보았다. 결과는 Fig.10에 나타나 있으며 빠른 결정화 속도에 의해 계면 거칠기가 안 좋아 질 것으로 생각이 되었지만 열처리를 하기 전과 후의 표면 거칠기를 보게 되면 3Å내 외의 좋은 표면 거칠기를 가진 것으로 확인이 되었다.

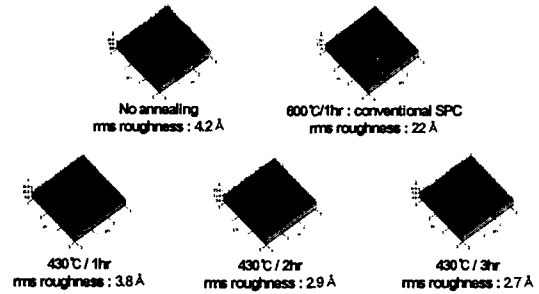


Fig. 9. AFM image of a-Si as a function of alternating magnetic flux aided

4. 결론

교번자장을 인가하지 않은 일반적인 비정질 실리콘 박막의 열처리의 경우 열처리 시간과 온도가 상대적으로 빠르고 저온에서 형성되는 것을 확인할 수가 있었다. 즉 교번자장을 인가한 시편의 경우 잠복기(incubation time)가 줄어들고 430℃에서 결정화가 일어나는 것을 확인할 수가 있었다. 빠른 결정화에 비해 표면 거칠기도 일반 600℃에서의 고상 결정화에 비해 나쁘지 않은 것을 확인할 수가 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국 디스플레이 연구 조합 (과제번호 99-059)에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1]. Kenji Nakazawa, J. Appl. Phys. 69(3). 1. February 1991
- [2]. A. Nakamura, F. Emoto, E. Fujii, A. Yamamoto, J. Appl. Phys. 66(9). 1. November. 1989
- [3]. Maxwell User's Manual