

열선 CVD 증착 다결정 실리콘에서 전하를 띤 클러스터의 생성 및 증착

이 재익¹⁾, 김 진용²⁾, 김 도연³⁾, 황 농문⁴⁾

Generation of Charged Clusters and their Deposition in Polycrystalline Silicon Hot-Wire Chemical Vapor Deposition

Jaeik Lee, Jinyong Kim, Dohyeon Kim, Nongmoon Hwang

Key words : Hot-wire chemical vapor deposition(열선 CVD), Charged cluster(전하를 띤 클러스터), Polycrystalline silicon(다결정 실리콘), Solar cell(태양전지)

Abstract : Polycrystalline silicon films were deposited using hot wire CVD (HWCVD). The deposition of silicon thin films was approached by the theory of charged clusters (TCC). The TCC states that thin films grow by self-assembly of charged clusters or nanoparticles that have nucleated in the gas phase during the normal thin film process. Negatively charged clusters of a few nanometer in size were captured on a transmission electron microscopy (TEM) grid and observed by TEM. The negatively charged clusters are believed to have been generated by ion-induced nucleation on negative ions, which are produced by negative surface ionization on a tungsten hot wire. The electric current on the substrate carried by the negatively charged clusters during deposition was measured to be approximately $-2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Silicon thin films were deposited at different SiH_4 and H_2 gas mixtures and filament temperatures. The crystalline volume fraction, grain size and the growth rate of the films were measured by Raman spectroscopy, X-ray diffraction and scanning electron microscopy. The deposition behavior of the silicon thin films was related to properties of the charged clusters, which were in turn controlled by the process conditions. In order to verify the effect of the charged clusters on the growth behavior, three different electric biases of -200 V , 0 V and $+25 \text{ V}$ were applied to the substrate during the process. The deposition rate at an applied bias of $+25 \text{ V}$ was greater than that at 0 V and -200 V , which means that the silicon film deposition was the result of the deposition of charged clusters generated in the gas phase. The working pressures had a large effect on the growth rate dependency on the bias applied to the substrate, which indicates that pressure affects the charging ratio of neutral to negatively charged clusters. These results suggest that polycrystalline silicon thin films with high crystalline volume fraction and large grain size can be produced by controlling the behavior of the charged clusters generated in the gas phase of a normal HWCVD reactor.

1. 서론

종래의 박막 성장에 대한 일반적인 개념은 원자나 분자가 증착단위가 되어 기상으로부터 기판에 내려앉은 후 핵생성과 성장과정을 거쳐 박막 형성이 이루어진다는 것이었다. 하지만 최근 Hwang 등^(1, 2)은 막의 형성은 원자 혹은 분자가 아닌 기상에서 이미 생성된 전하를 띤 클러스터가 증착단위가 되어 이루어짐을 밝혔다. 열 필라멘트 화학 증착 공정에서의 전하를 띤 클러스터의

- 1) 서울대학교 재료공학부
E-mail : charge1@snu.ac.kr
Tel : (02)880-8862 Fax : (02)882-8164
- 2) 서울대학교 재료공학부
E-mail : lazyong@hanmail.net
Tel : (02)880-7164 Fax : (02)883-8164
- 3) 서울대학교 재료공학부
E-mail : dykim@plaza.snu.ac.kr
Tel : (02)880-7160 Fax : (02)884-1413
- 4) 서울대학교 재료공학부
E-mail : nmhwang@snu.ac.kr
Tel : (02)880-8922 Fax : (02)883-8197

생성은 열 필라멘트에 의한 표면 이온화 (surface ionization)⁽³⁾에 의한 것이 지배적이다. 기상에서 핵 생성된 전하를 띄고 있는 클러스터의 경우는 해교 (deflocculation)와 같은 자발형성 (self-assembly)에 의하여 막의 치밀화가 일어나 기공이 없을 뿐만 아니라 소위 에피택시 재결정 (epitaxial recrystallization)이 일어난다. 한편, 클러스터가 전하를 띄고 있으면 막의 성질은 기판의 전기적 특성의 영향을 받는다. 기판이 절연체인 경우 전하를 띤 클러스터는 쿨롱 반발력에 의해 증착이 어렵다. 하지만 절연체 기판 위에서 전하를 제거할 수 있는 경우에는 클러스터가 전도체 기판 위에 증착될 때와 비슷한 양상이 나타난다.

클러스터의 전하 존재 유무 뿐만 아니라 클러스터의 크기도 막의 성질에 영향을 준다⁽⁴⁾. 클러스터를 이루고 있는 원자의 개수가 적을 때에는 클러스터와 기판이 에피택시 (epitaxy)한 관계를 가진다. 반면, 클러스터의 크기가 중간일 경우에는 쌍정과 같은 결함을 남기고, 클러스터가 클 경우에는 기판과 상관없이 클러스터 각각의 결정방향을 그대로 유지한 채 증착됨이 확인되었다. 이러한 결과를 통해서 클러스터가 전하를 띄고 크기가 작으면 기판과 쉽게 에피택시한 관계를 가지게 되므로 입자의 크기가 큰 막을 성장시킬 수 있음을 알 수 있다. 이러한 전하를 띤 클러스터 이론 (TCC : Theory of Charged Clusters)⁽¹⁾으로 접근한 열 필라멘트 화학 기상 증착법에 의한 다결정 실리콘의 증착기구를 여러 가지 실험을 통해 확인하였다.

2. 실험 방법

텅스텐 필라멘트를 열원으로 하는 화학 기상 증착 공정에 의하여 태양전지용 실리콘 박막을 증착하였다.

전하 발생 기구가 열 필라멘트에 의한 표면 이온화라는 것을 확인하기 위하여 수소 가스를 이용하였고, 실리콘의 열선 화학 기상 증착 공정에서 증착 입자들이 전하를 띄고 있음을 확인하기 위하여 실레인 (SiH₄) 혼합 가스를 이용하여 전류 측정을 하였다. 텅스텐 필라멘트의 온도를 1000~2000 °C로 변화시키면서 40 mm 아래에 있는 스테인레스 기판에 연결된 picoammeter에 의하여 기상에 존재하는 전하를 측정하였다.

실리콘 클러스터를 포획하기 위하여 1500 °C와 1800 °C의 필라멘트로부터 13 mm와 40 mm 아래에 놓인 비정질 탄소막이 입혀진 몰리브덴 그리드 위에서 30초간 증착되었다. HR-TEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy)을 이용해 TEM 그리드를 관찰하였다. 실리콘 클러스터가 전하를 띄고 있는지 확인하기 위하여 반응기를 모두 접지한 상태에서 TEM 그리드에 +150 V와 -150 V의 바이어스를 인가하여 각각에 대한 클러스터의 증착거동을 관찰하였다. 이때, 텅스텐 필라멘트의 온도는 1500 °C로 하였고, SiH₄ 1 sccm과 H₂ 1 sccm을 0.16 Torr의 압력으로 흘려주었다.

유리 기판 위에 양질의 다결정 실리콘 증착을 위하여 [1] 첫째, SiH₄와 H₂의 혼합가스와 [2] 둘째, 10%SiH₄+90%He의 혼합가스와 H₂를 혼합하여 희석한 가스가 사용되었다. SiH₄와 H₂의 혼합가스를 사용하는 경우 [1], 1800 °C의 필라멘트 온도에서 SiH₄ 1 sccm과 H₂ 24 sccm을 0.3 Torr의 압력으로 흘려주며 두 시간 동안 증착하였다. 표면의 미세구조와 결정성의 비교자료로서 필라멘트 온도 2000 °C에서도 같은 실험을 하였다. 기판의 온도를 450 °C로 유지하기 위해 필라멘트와 기판의 거리는 40 mm로 조절하였다. 10%SiH₄+90%He의 혼합

가스를 H₂로 희석하여 사용하는 경우 [2], 유리 기판과 텅스텐 필라멘트 간의 거리는 40 mm로 고정하였고 가스의 혼합 비율과 압력을 변화시키면서 한 시간 동안 증착하였다. 유리 기판의 온도가 450~470 °C로 유지되었다.

증착된 다결정 실리콘 막의 미세구조 분석을 위해 주사 전자 현미경 (SEM : Scanning Electron Microscopy)과 AFM (Atomic Force Microscopy)으로 표면을 관찰하였고 결정성 분석을 위해 X-ray diffraction 측정과 라만 분광법을 사용하였다.

3. 실험 결과

3.1 열선 화학 기상 증착 공정에서의 전하 형성 기구: 표면 이온화

수소 가스 주입량에 따른 각각의 압력에 대해 온도에 대한 전류의 변화를 Fig. 1에 나타내었다.

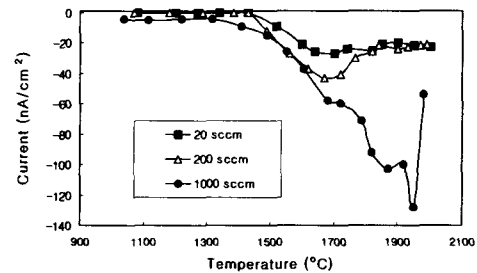


Fig. 1 Surface ionization in the HWCVD system.

모든 실험에서 약 1450 °C에서부터 음의 전하가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 열 필라멘트에 의한 수소의 음의 표면 이온화를 보여준다. 20, 200, 1000 sccm의 수소 주입량에 따른 전류를 비교해 보면, 주입량이 많을수록 음의 전류가 증가하는 것을 관찰할 수 있는데 이것은 수소의 음의 표면 이온화에 의한 전류가 지배적임을 보여주고 있다.

Fig. 2는 확산펌프를 이용하여 10⁻⁷ Torr의 고진공을 만든 경우와 10%SiH₄+90%He와 H₂의 혼합가스와 H₂를 각각 10 sccm와 20 sccm 흘려주면서 압력을 0.5 Torr와 1.0 Torr로 각각 유지한 경우에 대한 온도에 따른 전류의 변화를 보여준다.

모든 경우 음의 전류가 흐른다는 것을 알 수 있다. 확산펌프를 이용하여 고진공을 만든 경우 1900 °C까지 수 nA/cm²의 전류가 측정되었다. 주입해 주는 가스가 없기 때문에 여기서 관찰할 수 있는 미량의 음의 전류는 열전자 방출과 반응기 내부에 잔존하고 있는 가스의 음의 표면 이온화에 의한 것임을 알 수 있다. 10%SiH₄+90%He와 H₂의 혼합가스를 흘려준 경우 1900 °C에서 음의 전류가 급격히 증가함을 보여준다.

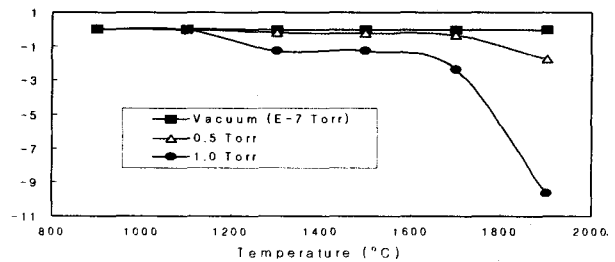


Fig. 2 Temperature dependence of current measured under different pressures, flowing H_2 and a gas mixture of 10% SiH_4 -90% He.

온도 증가에 따른 혼합 가스의 이온화가 증가되었음을 보여준다. 실리콘의 열 필라멘트 화학 기상 증착공정에서도 음의 전류가 발생하는데 이러한 전류 증가가 열 전자 방출로 인한 것이었다면 고진공의 고온의 필라멘트의 경우에도 전류가 증가해야 하지만 그러한 모습은 나타나지 않았다. 따라서 반응기 내부에 열전자가 아닌 표면 이온화에 의한 음이온이나 음전하를 가진 클러스터가 증가하여 전류로 검출되었음을 알 수 있다.

3.2 기상 핵생성에 의한 실리콘 클러스터

Fig. 3(a)와 3(b)는 각각 텅스텐 필라멘트 온도 1500 °C와 1800 °C에서 비정질 탄소막이 입혀진 몰리브덴 TEM 그리드 위에 포획한 실리콘 클러스터를 보여준다.

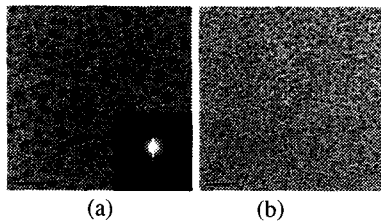


Fig. 3 TEM microstructures of clusters captured at the wire temperatures of (a) 1500 °C and (b) 1800 °C. The diffraction pattern in the inset indicates that the clusters are amorphous.

Fig. 3(a)의 우측 하단에는 실리콘 클러스터의 회절 패턴을 나타내었다. 회절 패턴이 링 패턴인 것으로 보아 클러스터가 비정질임을 알 수 있다. 필라멘트의 온도가 낮을 때는 중성 클러스터가 존재하고 전하 밀도가 낮아 브라운 운동에 의해 클러스터의 크기가 커지게 된다. 반면, 높은 온도에서는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 대부분의 클러스터가 음의 전하를 띠게 되므로 서로 간에 쿨롱 반발력이 작용하게 된다. 따라서 클러스터간의 충돌을 억제하여 음의 전하를 띤 작은 클러스터가 기상에 존재하는 것이다.

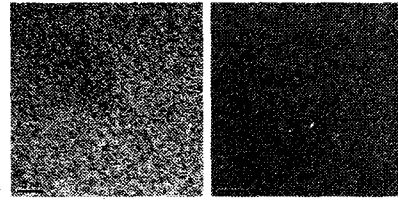
3.3 바이어스에 따른 증착 거동 변화

실리콘 클러스터가 전하를 띠고 있음을 확인하기 위해 외부와 절연되어 있는 기관 홀더에 전압을 가할 수 있도록 회로를 연결하고 나머지 반응기를 접지시킨 상태에서 바이어스에 따른 증착 거동 변화를 살펴보았다. Fig. 4(a)와 4(b)는 필라멘트 온도 1500 °C에서 TEM 그리드에 각각 +150 V와 -150 V의 바이어스를 인가했을 때 실리콘 클러스터의 증착 거동 변화를 보여준다.

(a) (b)

Fig. 4 TEM microstructures of the TEM grid with (a) +150 V and (b) -150 V at the wire temperature of 1500 °C. Other conditions were the same as those of Fig. 3.

양의 바이어스가 인가된 TEM 그리드(Fig. 4(a)) 위에는 바이어스가 인가되지 않은 TEM 그리드(Fig. 3(a))위에 포획된 실리콘 클러스터보다는 작지만 나노크기의 실리콘 클러스터가 증착된 것을 볼 수 있다. 음의 전하를 띤 실리콘 클러스터는 양의 바이어스가 인가된 TEM



그리드 위에 증착될 때 기상에 존재하는 시간이 짧아진다. 따라서 기상에 존재하는 또 다른 원자, 분자 혹은 클러스터와 충돌할 기회가 줄어들게 되므로 바이어스가 인가되지 않은 TEM 그리드 위에 증착된 실리콘 클러스터보다 작은 것이다. 반면, 음의 바이어스가 인가된 TEM 그리드 위에는 실리콘 클러스터가 전혀 증착되지 않았다. 이 결과는 기상에 존재하는 실리콘 클러스터는 음의 전하를 띠고 있음을 단적으로 보여준다.

3.4 유리 위 다결정 실리콘 증착

Fig. 5는 4% SiH_4 -96% H_2 의 혼합가스[1]를 필라멘트 온도 1800 °C, 공정 압력 0.3 Torr에서 두 시간 동안 증착시킨 실리콘 다결정 박막을 보여준다.

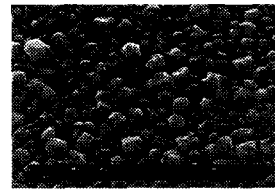


Fig. 5 SEM microstructure on the surface of the film deposited at 0.3 Torr at the wire temperature of 1800 °C with a gas mixture of 4% SiH_4 -96% H_2 . The magnification bar is 2 μm .

사진에서 보는 바와 같이 높은 전하 밀도와 작은 클러스터에 의해 약 0.6~0.9 μm 의 비교적 큰 결정을 가진 실리콘 박막이 형성되었음을 알 수 있다. 이 실험에서 약 30분 동안 유리 위에 증착이 전혀 이루어지지 않았는데 이것을 통해 높은 공정 압력에 의해 중성 클러스터가 상당히 줄어들었음을 알 수 있다. 하지만 이것은 초기 증착의 어려움을 없애기 위해서는 어느 정도의 중성 클러스터가 필요함을 말해준다.

Fig. 6은 각각 1800 °C와 2000 °C의 필라멘트 온도에서 증착된 막의 라만 분광법을 이용해 결정성을 나타낸 것이다. FWHM (Full Width Half Maximum)은 필라멘트 온도가 1800 °C일 때보다 2000 °C일 때 더 좁게 나타났다. 필라멘트의 온도가 2000 °C일 때 결정의 크기가 더 커졌음을 보여준다. 즉 필라멘트의 온도가 높을수록 클러스터의 크기가 감소하여 결정성이 더 크게 나타나는 것이다.

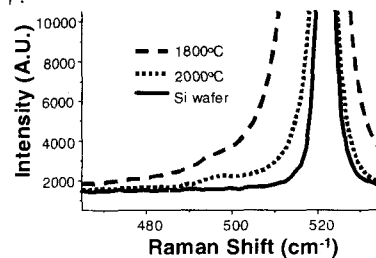


Fig. 6 Raman spectra for the films deposited at 0.3 torr at

the wire temperatures of 1800 °C (dashed line) and 2000 °C (dotted line) using a gas mixture of 24 sccm H₂ and 1 sccm SiH₄. The solid line is for the single crystal silicon wafer for comparison.

Fig. 7은 4%SiH₄-96%H₂의 혼합가스[2]를 공정 압력 1.1 Torr, 필라멘트 온도를 각각 1500, 1650과 1800 °C에서 1 시간 동안 증착시킨 실리콘 다결정 박막을 보여준다.

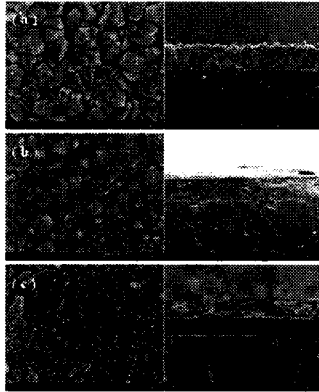


Fig. 7 SEM microstructure of the poly-Si films deposited at three filament temperatures: (a) 1500, (b) 1650, and (c) 1800 °C at 1.1 Torr at the substrate temperature of 450 °C and a gas mixture of 72 sccm H₂ and 8 sccm 10%SiH₄+90%He.

유리 기판의 온도를 450 °C로 일정하게 유지하기 위하여 필라멘트와 유리 기판의 거리가 각각 13 mm, 23 mm 와 40 mm로 조절되었다. 필라멘트 온도에 따른 막의 성장 속도 변화가 Fig. 8에서 보여진다. 1800 °C의 필라멘트 온도에서, 1 Torr의 반응 압력이 음의 전하를 띤 클러스터를 생성하기에 충분히 높아서 중성 클러스터의 양이 적으므로 증착의 시작을 진행하기가 어렵게 되어 막의 성장 속도가 상대적으로 작았음을 말해준다. 이와 비교하여, 1500과 1650 °C의 필라멘트 온도에서는 증착을 시작하기 위하여 필요로 되는 중성 클러스터의 양이 상대적으로 많아서 박막의 성장 속도가 상대적으로 크다. 그러므로 실시된 반응 조건에서의 실리콘 다결정의 성장속도는 반응압력보다는 필라멘트의 온도에 더욱 의존됨을 알 수 있다.

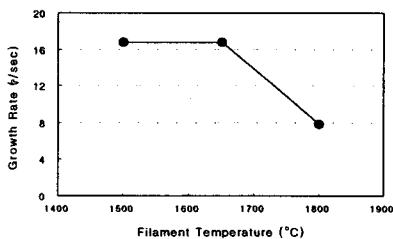


Fig. 8 Growth rate dependence of filament temperature during poly-Si deposition at 1.1 Torr at the substrate temperature of 450 °C and a gas mixture of 72 sccm H₂ and 8 sccm 10%SiH₄+90%He.

Fig. 9는 Fig. 7의 시편들에 대한 X-ray diffraction pattern 측정 결과를 보여준다. 필라멘트 온도가 1500, 1650과 1800 °C로 증가함에 따라서 (111), (220)과 (311)의 결정면에 해당하는 각각 2θ=28, 47과 56에서의 silicon의 특성 피크의 상대적인 크기가 변화되었

다. 이러한 결과는 필라멘트 온도 증가에 따라 다결정 실리콘 막의 결정성장의 방향성이 변화함을 보여준다.

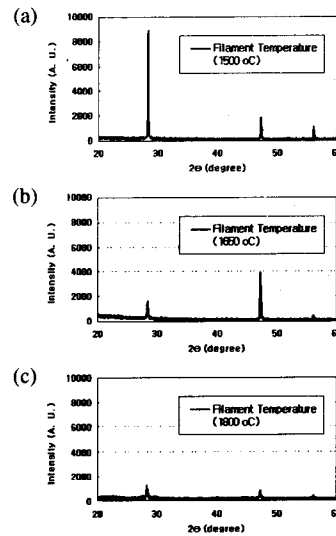


Fig. 9 Comparison of X-Ray diffraction patterns of the poly-Si films deposited at three filament temperatures: (a) 1500, (b) 1650, and (c) 1800 °C at 1.1 Torr at the substrate temperature of 450 °C and a gas mixture of 72 sccm H₂ and 8 sccm 10%SiH₄+90%He.

라만 분광법을 이용한 Fig. 7의 시편들에 대한 측정을 실시한 후, 520, 510, 480 cm⁻¹ 부근의 라만 모드의 피크 세기로부터 계산된 실리콘 박막의 결정성의 부피% 계산 결과가 Fig. 10에서 보여준다. 필라멘트 온도가 1500, 1650과 1800 °C로 증가함에 따라 박막에서 결정성이 차지하는 부피가 99%에서 96%로 감소하였음을 보여준다. 고려된 온도 범위에서 필라멘트 온도 변화에 따른 결정 부피의 변화 폭이 3%로 비교적 작았다.

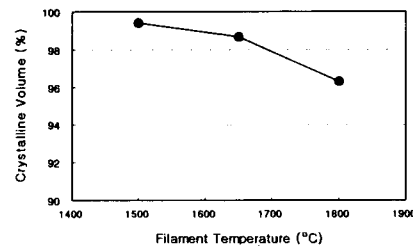


Fig. 10 Crystalline volume fraction dependence of filament temperature for the poly-Si deposited at 1.1 Torr at the substrate temperature of 450 °C and a gas mixture of 72 sccm H₂ and 8 sccm 10%SiH₄+90%He.

Fig. 11은 10%SiH₄+90%He와 H₂를 각각 5~20 sccm와 20 sccm 혼합하여[2] 흘러주면서 공정압력을 0.4~0.6 Torr, 필라멘트 온도를 1900 °C에서 1 시간 동안 증착시킨 실리콘 다결정 박막을 보여준다. 라만 분광법에 의한 측정 결과로부터 반응가스의 SiH₄ 희석률이 2.4%에서부터 8.3%로 증가함에 따라 실리콘 다결정 박막의 성장 속도가 25 nm/min부터 56 nm/min 까지 직선적으로 증가하였음을 확인하였다.

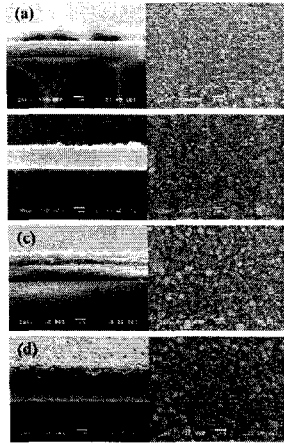


Fig. 11 SEM microstructure on the poly-Si films deposited at different SiH₄% (fixed at 20 sccm H₂): (a) 2.4, (b) 4.5, (c) 6.5, and (d) 8.3% at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C.

주어진 실험조건에서 막의 성장 속도가 SiH₄ 농도에 비례하는 결과는 diffusion controlled reaction의 특성을 보여주며, 사용된 비교적 저 진공의 공정압력 (0.4~0.6 Torr) 특성 때문이다. 반응가스의 SiH₄ 희석률 증가에 따른 실리콘 다결정 박막의 grain 크기 증가의 결과가 Fig. 12에서 보여진다.

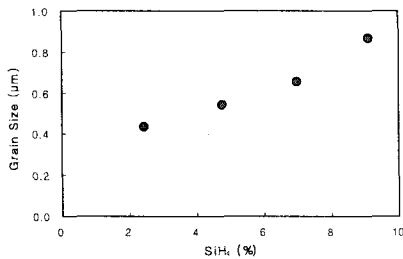


Fig. 12 Grain size dependence of SiH₄% in the reaction gas mixture of H₂ (fixed at 20 sccm) and 10% SiH₄+90%He at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C.

Fig. 13은 10% SiH₄+90%He와 H₂를 각각 10 sccm와 10~30 sccm 혼합하여 [2] 흘려주면서 공정 압력을 0.4~0.6 Torr, 필라멘트 온도를 1900 °C에서 1 시간 동안 증착시킨 실리콘 다결정 박막을 보여준다.

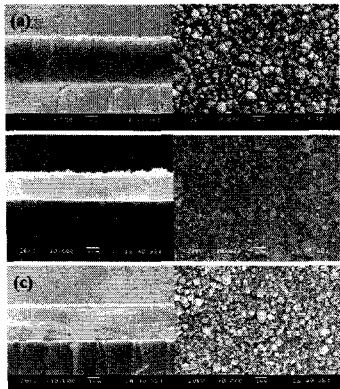


Fig. 13 SEM microstructure on the poly-Si films deposited

at different SiH₄ concentrations (fixed at 10 sccm 10%SiH₄+90%He): (a) 8.3, (b) 4.5, and (c) 3.1% at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C.

반응가스의 SiH₄ 희석률이 3.1%에서 8.3%로 증가함에 따라 실리콘 다결정 박막의 성장 속도가 선형적으로 증가하지 않고 감소하는 부분을 포함하고 있음을 Fig. 14에서와 같이 보여준다.

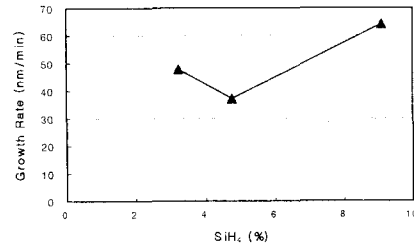


Fig. 14 Growth rate dependence of SiH₄ % in the reaction gas mixture of H₂ and 10% SiH₄+90%He (fixed at 10 sccm): 8.3, 4.5, and 3.1% at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C.

막의 성장속도가 SiH₄ 희석용 H₂ 변화량에 비례하지 않는, Fig. 11의 결과와 일치하지 않는 이러한 결과는 막의 증착공정 mechanism이 크게 달라졌음을 말해준다. 그러한 주 요인이 바로 charged cluster의 생성 거동의 변화일 것으로 확신된다. 다결정 실리콘의 박막의 결정 크기에 따른 전기적 이동도 향상을 위하여 반응 온도와 압력의 증가가 필수적인 반면에 증착반응을 개시하는 중성 클러스터가 감소되는 문제를 해결해야 하는 관점에서 보면, H₂와 SiH₄가 각각 하전된 클러스터와 중성 클러스터의 생성량에 미치는 거동과 실험 인자와의 관계를 규명하여 막의 성장 속도와 결정의 크기를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이러한 음의 전하 혹은 중성의 클러스터에 의한 실리콘 다결정 박막의 증착 거동을 이해하기 위하여 유리 기관 주위에 음(-200 V), 중성(0 V), 혹은 양(+25 V)의 전기적인 바이어스를 가하면서 증착을 수행하였다. Fig. 15는 10%SiH₄+90%He와 H₂를 각각 10 sccm와 20 sccm로 혼합하여 [2] 흘려주면서 manual valve를 이용하여 공정 압력을 0.5 torr로 조절하고 필라멘트 온도 1900°C에서 1 시간 동안 증착시킨 실리콘 다결정 박막을 보여준다. 박막의 성장 속도가 (a) 양의 bias(+25 V), (b), 중성 bias(0 V), 그리고 (c) 음의 bias(-200V)를 가한 순서로 증가하는 것으로 보아 증착되는 클러스터가 대부분 음으로 하전되어 있음을 알 수 있으며, 동시에 클러스터 제어에 의한 막의 성장 거동을 제어할 수 있음을 말해준다.

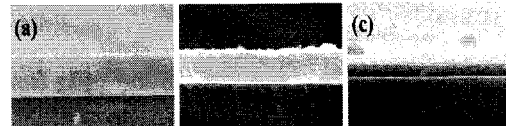


Fig. 15 SEM microstructure on the poly-Si films deposited at different biases: (a) +25, (b) 0, and (c) -200 V applied to the substrate at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C with a gas mixture of 20 sccm H₂ and 10 sccm 10% SiH₄+90%He at 0.5 Torr.

Fig. 16은 Fig. 15의 증착 조건에서 manual valve만을 조절하여 압력을 1.0 Torr 변경한 후 증착시킨 실

리콘 다결정 박막을 보여준다. 중성 bias (0 V)를 가한 (b)의 증착 속도가 양의 bias(+25 V)를 가한 (a)와 음의 bias(-200 V)를 가한 (c)의 경우보다 크고, (a)와 (c)의 박막의 성장 속도 차이가 Fig. 15의 경우에 비하여 매우 작음 보여준다. 이러한 음(-200 V)과 양(+25 V)의 bias에 대한 작은 증착속도의 차이는 반응압력의 증가에 따라 유리 기판 위에서의 막의 증착 개시에 필요로 중성 클러스터의 생성 거동이 Fig. 15의 경우와 달리 크게 변경되었기 때문으로 사료된다.



Fig. 16 SEM microstructure on the poly-Si films deposited at different biases: (a) +25, (b) 0, and (c) -200 V applied to the substrate at the wire temperature of 1900 °C at the substrate temperature of 470 °C with a gas mixture of 20 sccm H₂ and 10 sccm 10% SiH₄+90%He at 1.0 Torr.

4. 결론

열 필라멘트 화학 기상 증착공정에서의 박막 형성 기구를 전하를 띤 클러스터 이론으로 접근하였다. 이 공정에서의 전하 생성 기구는 표면 이온화이다. 클러스터의 존재와 동시에 필라멘트의 온도에 따라 클러스터의 크기가 달라졌다. 이러한 전하를 띤 클러스터는 기판에 인가해준 바이어스에 따라 증착 거동이 달라지는데, 이러한 증착 거동을 이용해 박막의 두께를 조절할 수 있

다. 필라멘트의 온도가 증가할수록 클러스터의 크기는 감소하고 공정 압력이 증가할수록 기상에서의 전하 밀도는 증가하여 유리 위에 증착된 실리콘 결정의 크기가 증가한다. 하지만 공정 압력이 너무 높은 경우 거의 모든 클러스터가 전하를 띠게 되어 절연체인 유리 위에 초기 증착이 어렵게 되므로 유리 위 실리콘 박막의 성장에 있어서 어느 정도의 중성 클러스터는 필수적이다. 열선 필라멘트 화학 기상 증착공정을 통한 유리 위 다결정 실리콘 박막의 형성은 전하를 띤 클러스터에 의한 것임을 확인 할 수 있었다. 따라서 결정질 실리콘을 얻기 위한 기존의 방법과 차별화된 전하를 띤 클러스터의 조절을 통하여보다 경제적으로 양질의 박막을 증착시킬 수 있다.

References

- [1] Hwang NM, Kim DY, 2004. "Charged clusters in thin film growth", *International Materials Review*, 49,3-4, 171-190.
- [2] Hwang NM, Hahn JH, Yoon DY, 1996. "Charged cluster model in the low pressure synthesis of diamond", *J. Crystal Growth*, 162, 55.
- [3] Langmuir I, Kingdon KH, 1925. Series A, 107, 61. *Proc. Roy. Soc (London)*.
- [4] Lee SC, Hwang NM, Yu DB, Kim DY, 2001. "Molecular dynamics simulation on the deposition behavior of nanometer-sized Au clusters on a Au(001) surface", *J. Crystal Growth*, 223, 311.