

Mesh-type PECVD를 이용한 DC-bias인가 및 수소가스 첨가에 따른 저수소화 비정질 실리콘 박막에 관한 연구

류세원 · 권도현 · 박성계[†] · 남승의 · 김형준

홍익대학교 금속재료공학과

The Properties of Low Hydrogen Content α -Si Thin Film Using DC-bias Enhanced or Addition of H₂ Gas in Mesh-type PECVD System

Se-Won Ryu, Do-Hyun Kwon, Sung-Gye Park[†], Seoung-Eui Nam and Hyoung-June Kim

Dept. of Metallurgy and Material Science, Hong-Ik University, 72-1, Sangsu-dong, Mapo-gu, Seoul 121-791

(2001년 9월 21일 받음, 2002년 3월 19일 최종수정본 받음)

Abstract In this study, mesh-type PECVD system was suggested to minimize the hydrogen concentration. The main structural difference between the triode system and a conventional system is that, a third electrode, a mesh, is inserted between the powered and the ground electrode. We investigated several conditions to compare with conventional PECVD. The main effect of mesh was to minimize the substrate damage by ion bombardment and to enhance the surface reaction to induce hydrogen desorption. It was also found that hydrogen concentration decreased but deposition rate increased as increasing applied bias. Applied DC-bias enhanced sputtering process. Intense ion bombardment causes the weakly bonded hydrogen or hydrogen-containing species to leave the growing film and increased adatom mobility. Furthermore, addition of hydrogen gas enhance the surface diffusion of adatom.

Key words : PECVD, DC-bias, Low-Hydrogen, Desorption.

1. 서 론

최근 LCD(Liquid Crystal Display)의 고집적화, 대면적화의 요구에 따라 기존의 비정질 Si TFT에 비해 높은 전자 이동도 및 구동회로와의 집적화가 가능한 poly-Si TFT에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. poly-Si TFT의 제조는 고가의 석영기판 대신 경제적으로 실용적인 유리(glass) 기판을 사용하고자 하고 있어, TFT 제조시 유리의 연화점 이하에서 저온 공정(<450°C)을 필요로 한다. 유리 기판의 손상 없이 고품위의 poly-Si를 제조 할 수 있는 방법으로는 저온에서 PECVD에 의해 증착된 비정질실리콘을 재결정화 하는 ELC(Excimer Laser Crystallization)법이 가장 널리 알려져 있다.^{1,2)} 그러나, PECVD에 의한 비정질 Si 박막은 저온공정 때문에 필연적으로 많은 양의 수소를 함유하여 레이저 조사에 의한 결정화 거동시 수소의 explosive eruption이 발생하여 표면의 거칠기를 증가시켜 다결정 실리콘 박막의 특성을 저해할 뿐 아니라 절연막에도 영향을 미치게되어 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 소자 특성을 감소시키게 된다. 이의 단점을 보완하기 위해 레이저 결정화 이전에 일반로(furnace)를 이용한 수 시간에 걸친 열처리나 낮은 레이저 에너지조사에 의해 탈수소화 하는 방법 등이 보고되어 왔으나³⁾, 이들 역시 산

소나 다른 물질의 오염 및 공정시간, 비용증가 등의 단점이 있다. 따라서 안정된 공정 및 우수한 소자특성의 확보를 위해서는 저온에서 PECVD로 증착시 비정질 Si박막의 수소 함유량을 최소화하는 것이 근원적으로 필요하다. 본 연구에서는 저수소화 비정질 Si 박막을 얻기 위하여 기존의 PECVD 장비에 간단히 mesh를 장착한 새로운 형태의 mesh-type PECVD 장치를 제안하였으며, 이에 따른 공정 변수로 DC-bias 인가와 수소 가스를 첨가하여 수소의 양을 최소화하고자 하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 mesh-type PECVD 장치의 모식도를 나타내었다. 일반적인 13.56MHz의 rf glow discharge 장치로써 평행한 두 전극판 사이에 시편이 위치하고 있으며 기판(substrate)과 약 2cm 간격으로 ground로 bias된 mesh를 장착하였다. 비정질 Si의 증착을 위해 4"p-type (100) wafer 위에 약 5,000Å 정도의 두께를 가지는 열산화막을 형성시켜 사용하였다. 증착시 사용된 가스는 pure SiH₄(Silane) 가스를 사용하였으며 증착시 증착 압력은 0.3 Torr를 유지하였다. 기판의 온도 영향을 알아보기 위해 증착 온도는 200-500°C의 다양한 범위에서 비정질 Si를 증착 하였다. 그리고, DC-bias의 인가의 효과를 알아

[†] E-mail: sgparklee@hanmail.net

Table. 1 Surface roughness of α -Si with applied DC bias.

Temp (°C)	200	300
DC bias		
0V	16.30 Å	11.00 Å
100V	13.90 Å	8.30 Å
200V	4.67 Å	7.09 Å

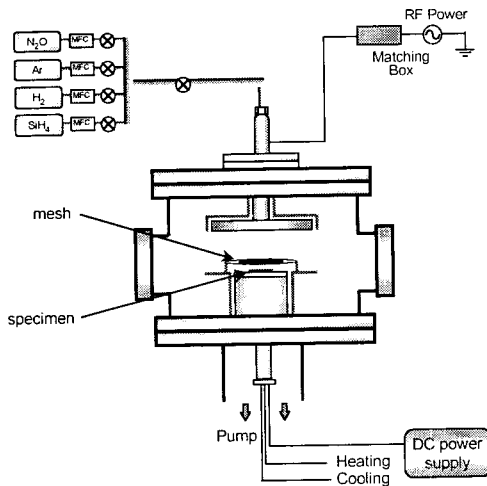


Fig. 1. Schematic diagram of mesh-type PECVD system

보기 위해 0-200V의 bias를 인가하였으며, 수소 gas 영향을 알아보기 위해 0-50sccm의 수소 gas를 첨가하였다. 증착된 비정질 실리콘 박막의 두께는 KOH 식각 용액을 사용하여 증착된 비정질 실리콘 박막의 일부를 식각한 후, Tenkor사의 surface profilometer인 α -step을 이용하여 측정하였다. DC-bias의 인가시 bias에 ion bombardment에 의한 표면 거칠기를 측정하기 위해 AFM (Atomic Force Microscopy)으로 시편의 거칠기를 측정하였다. 그리고 박막의 수소함유량을 측정하기 위해 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer)을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 온도 및 DC-bias 인가에 따른 영향

mesh는 a-Si 표면에 플라즈마의 ion damage를 최소화하고 H radical에 의한 표면 Si-H, Si-H₂ 분자를 에칭하는 효과를 증대하는 목적으로 사용되었다. Fig. 2는 본 연구에서 제안한 mesh-type PECVD 방법과 기존 conventional PECVD 방법에서의 비정질 Si의 물성을 비교하기 위해 온도에 따른 증착 속도의 특성을 살펴본 결과이다. 일반적으로는 온도의 증가에 의해 열적 활성화가 촉진되고 표면의 수소가 탈착하기 용이한 상태가 될 수 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 기존 PECVD 방법의 경우 온도가 낮을수록 sticking coefficient가 크기 때문에 200°C에서는 증착 속도가 높게 나타났으며, 기판 온도가 300°C로 증가하면서 sticking coefficient가 저하됨에 따라 증착 속도는 감소되었다. 그러나 온도가 400°C 이상으로 높아지게 되면 표면에 결합된 수소의 열적 활성화가 더욱 촉진되어 탈착이

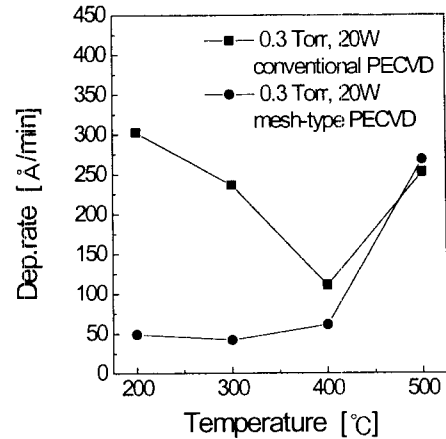


Fig. 2. Deposition rate as a function of substrate temperature using mesh-type and conventional PECVD.

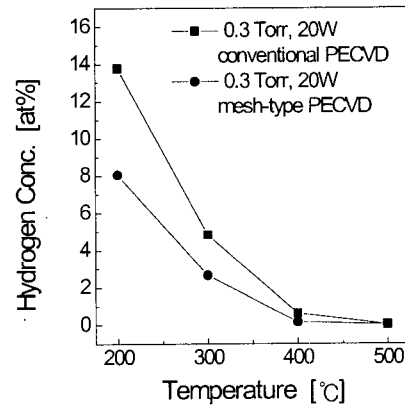


Fig. 3. Hydrogen concentration as a function of substrate temperature using mesh-type and conventional PECVD.

이루어지고 증착에 관여하는 precursor의 흡착과 확산이 증가하게 되어 증착 속도가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. mesh를 사용한 경우는 conventional PECVD에 비해 전체적으로 낮은 증착 속도를 보이는 것은 mesh를 장착하면 이온들에 의한 손상을 최소화시킬 뿐 아니라, 박막 성장이 단지 mesh를 통과한 일부의 SiH_x⁺, SiH_x^{*}, SiH_x 등의 precursor들에 의해 표면에 흡착되는 양에 의존하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 3에서는 온도에 따른 수소 함유량의 변화를 나타내었다. 온도가 증가하면 표면에 결합된 수소의 탈착을 증가시키므로 박막의 성장시에 수소 함유량을 감소시키는 것으로 여겨진다. 또한, mesh-type PECVD에 의한 박막의 수소 함유량이 conventional PECVD에 의한 것보다 매우 낮은 3at% 미만의 수소 함유량을 가진 것으로 조사되었다. 이는 plasma 내부에서 분해된 다양한 이온종들 중 상대적으로 life time이 긴 metastable한 SiH₃ 라디칼들만이 mesh를 통과하고, SiH_x^{*}, SiH_x⁺ ion flux은 최소화되어 표면의 손상을 줄이면서 반응을 촉진시킨 것으로 사료된다. 따라서, CVD와 유사하게 우선적인 수소의 탈착을 유도하고 Si이 흡착하여 성장하는 과정에 의해 박막이 성장함으로

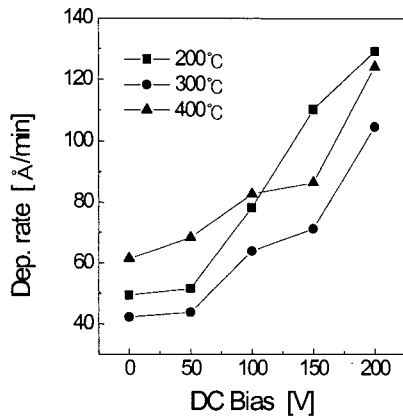


Fig. 4. Deposition rate as a function of applied DC bias for various substrate temperature using mesh-type PECVD.

써 결과적으로 기존의 a-Si:H 박막에 비해 매우 낮은 수소 함유량을 가진 박막 증착이 가능하게 된 것으로 판단된다.⁴⁾ 위의 결과로서 mesh-type PECVD가 수소함유량을 억제하는 데 효과적인 바, Fig. 4는 이를 바탕으로 DC-bias 인가에 따른 증착 속도의 영향을 검토하였다. DC-bias 증가에 따라 증착 속도가 증가되는 것은 bias를 증가시킬 수록 보다 많은 precursor 들이 형성되기 때문이다.

Fig. 5는 DC-bias 인가에 따른 수소 함유량의 변화를 온도에 따라 나타낸 것이다. DC-bias가 증가할수록 수소 함유량이 지속적으로 감소하였으며, 이와 같은 경향은 저온에서 보다 더 효과적으로 기판 온도 300°C, DC-bias 200V의 조건에서는 약 2at%로 크게 개선되었다. 이러한 결과는 인가된 DC bias가 sputtering process를 촉진시킨 것으로 여겨지며, 인가된 DC bias에 의해서 강화된 ion bombardment가 표면의 실리콘과 약하게 결합하고 있는 수소 또는 수소를 포함하고 있는 이온종들을 sputtering process에 의해서 탈착시킨 것으로 판단된다. 또한, 증착 속도의 증가는 ion bombardment가 surface에 흡착하고 있던 adatom의 mobility를 증가시켰기 때문에 생긴 결과로 사료된다. 이와 같은 결과로서 400°C의 경우는 온도에 따라 열적 활성화가 촉진될 것으로 생각되는 반면, 400°C

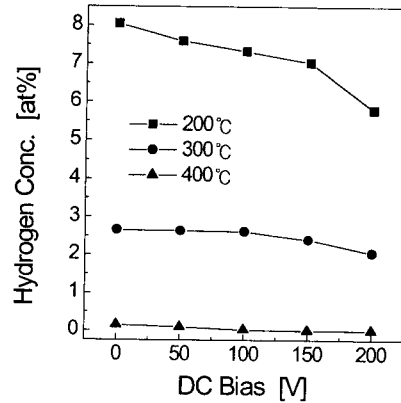


Fig. 5. Hydrogen concentration as a function of applied DC bias for various substrate temperature using mesh-type PECVD.

이하의 온도에서는 DC bias가 증가됨에 따라 형성된 강한 이온충격 (ion bombardment) 효과가 표면과 약하게 결합하고 있는 수소의 탈착을 유도할 것으로 여겨진다.⁵⁾ 이와 같은 해석은 이 온도에서 bias의 증가에 따라 수소함유량이 감소된 것으로 증명되어 진다. Fig. 6과 7은 bias의 변화에 따라 수소함유량의 변화에 민감한 200, 300°C의 각 온도 조건에서 이온충격에 미치는 표면 거칠기를 나타낸 AFM (Atomic Force Microscopy) 결과이다. DC-bias를 인가하지 않았을 경우 RMS값이 16.3Å 이었으나 DC bias가 100V, 200V로 증가함에 따라서 RMS 값이 13.9Å, 4.67Å으로 감소하였다. 기판 온도가 300°C의 경우도 RMS 값이 11.0Å에서 8.30Å, 7.09Å으로 감소하였다. 이러한 표면 거칠기 (surface roughness)의 감소는 PECVD에 의해 a-Si:H 박막을 증착할 경우에 낮은 증착 밀도를 개선하고, 소자의 채널 영역에서의 전기적 특성 또한 증가시킬 것으로 판단된다. 이러한 결과는 DC bias가 증가함에 따라 ion etching에 의해서 나타난 것으로 해석할 수 있다. 또한, ion bombardment에 의해서 비정질 실리콘 박막 내에 미세 결정립이 형성되었는지를 판단하기 위해 X-ray 회절 분석을 하였으나 측정된 시편 모두 미세 결정립은 생성되지 않는 것으로 조사되었다.

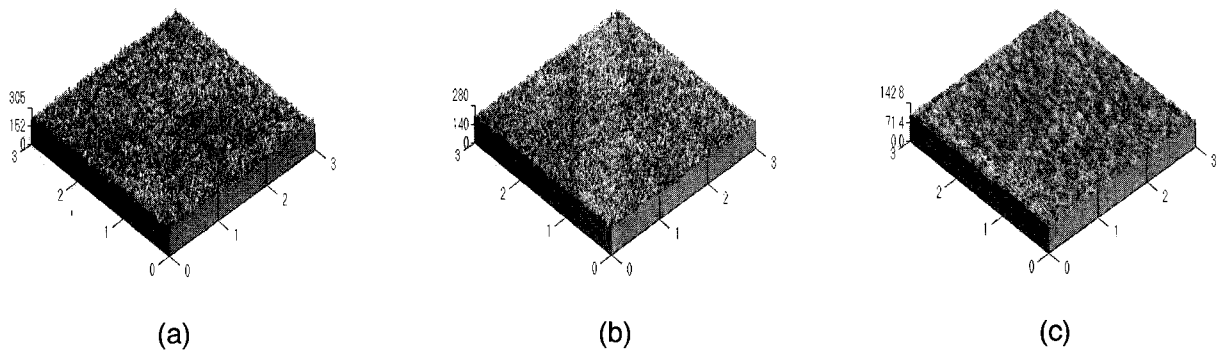


Fig. 6. AFM image of amorphous-Si with applied DC bias at 200°C using mesh-type PECVD. (a) 0V (b) 100V (c) 200V. fig 7.

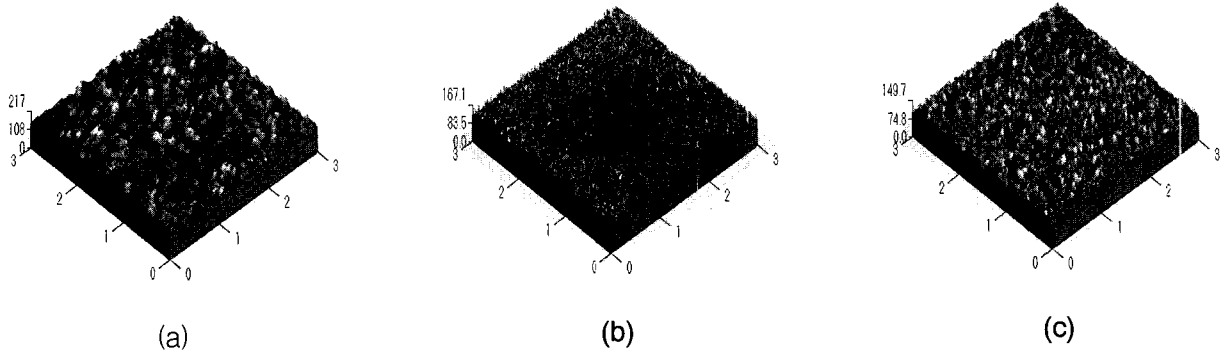


Fig. 7. AFM image of amorphous-Si with applied DC bias at 300°C using mesh-type PECVD. (a) 0V (b) 100V (c) 200V. fig 9.

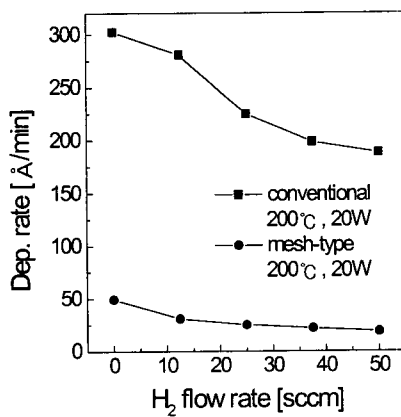


Fig. 8. Deposition rate as a function of H₂ gas flow rate at 200°C using mesh-type and conventional PECVD.

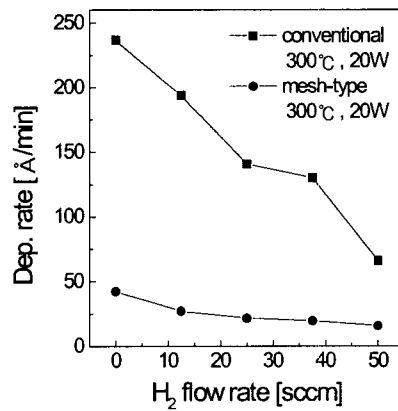


Fig. 10. Deposition rate as a function of H₂ gas flow

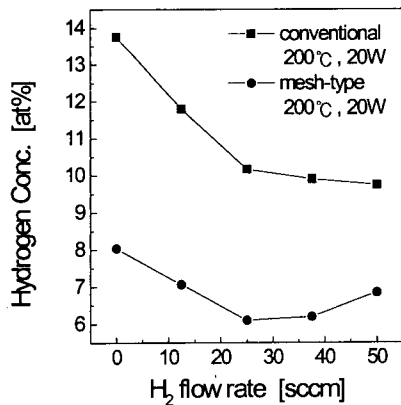


Fig. 9. Hydrogen concentration as a function of H₂ gas flow rate at 200°C using mesh-type and conventional PECVD.

3-2. 수소 첨가에 따른 영향

다음은 3-1 절의 결과를 바탕으로 DC-bias의 영향이 보다 효과적인 400°C 미만의 기판온도에서 수소 가스 첨가에 따른 증착 속도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 8은 기판온도가 200°C인 경우로 Mesh-type PECVD와 conventional PECVD의 경우 모두 수소 가스 첨가의 양이 증가할수록 증착 속도가 감소하였다. 이와 같은 결과는 증착시 수

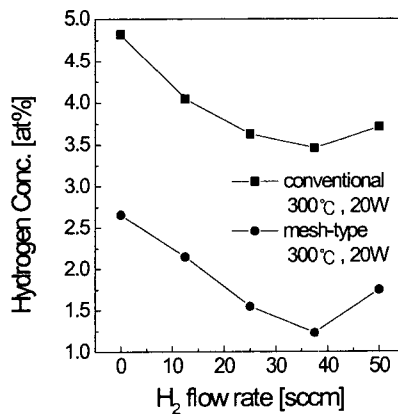


Fig. 11. Hydrogen concentration as a function of H₂ gas flow rate at 300°C using mesh-type and conventional PECVD.

소 가스의 분율이 커짐으로서 증착 속도가 감소된 것으로 판단된다. Fig. 9는 수소 가스의 첨가에 따른 박막내 수소의 함유량을 나타낸 것으로서 수소 첨가량이 증가할수록 수소 함유량은 감소하였다. 이는 박막 성장시 첨가된 수소가 표면의 hydrogen coverage를 증가시켜 흡착된 adatom의 확산이 용이해져서 수소의 탈착을 유도하는 표면 반응이 촉진되었기 때문이다.⁶⁾ 그러나, 수소 가스의 양을 너무 많이 첨가되게 되면 표면의 수소는 오히려 표면 확산(surface



Fig. 12. SEM microstructures of (a) conventional PECVD (b) mesh-type PECVD (c) 300°C, 20W, DC bias : 200V, H₂ : 37.5sccm specimen (91% overlapping : scanning mode, 340mJ/cm²)

diffusion)을 방해할 뿐만 아니라 증착시 탈착되지 못하고, 그대로 박막 내에 잔류하게 됨을 알 수 있었다. 300°C의 경우도 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 특히 35.5sccm의 수소 첨가시에 약 1 at% 미만으로 수소함유량이 억제됨을 관찰할 수 있었다. (Fig. 10, 11.). 그러나, 200°C에서는 25sccm 이상의 수소 가스가 첨가되었을 때 박막 내의 수소 함유량이 증가하였지만, 300°C의 경우, 수소 가스가 37.5sccm 이상 첨가되었을 때 박막 내의 수소 함유량이 증가하였다. 이는 300°C의 경우에는 열적 활성화가 진행되어 수소의 탈착이 용이해져 더 많은 수소의 양이 첨가될 수 있었던 것으로 사료된다. 특히 300°C의 낮은 온도에서도 1at% 이내의 수소함유량을 얻을 수 있었던 것은 plasma 영역 내부에서 분해된 SiH₄의 ion이나 radical 중 SiH₂이온과 SiH₂* radical만이 ground로 bias된 grid를 통과한 것으로, 이 때문에 시편표면으로의 flux가 최소화되는 것으로 보여진다.

3-3. 미세구조 변화

저수소화시킨 비정질 Si 박막의 응용을 위해서는 미세 구조의 특성 관찰이 필수적이므로 ELA를 이용하여 비정질 Si을 결정화하였다. Fig. 12는 본 연구에서 저수소화 박막을 위해 제안한 새로운 형태의 mesh-type PECVD와 이에 따른 DC-bias 인가와 수소 가스 첨가를 공정변수로 하여 단일 또는 복합적으로 고려한 경우의 미세구조 변화를 나타낸 사진이다.

Fig. 12(a)와 (b)는 Conventional PECVD를 장비를 이용한 300°C, 20W의 조건과 Mesh-type PECVD 장비를 이용한 300°C, 20W의 각 조건에서 비정질 Si 박막을 증착한 후 500°C, 1시간에서 탈수소 공정을 행한 후 Excimer laser를 이용하여 열처리한 것이다. Fig. 12(c)는 Mesh-type PECVD를 이용하여 증착시 기판 온도 300°C, 20W, 200V의 DC bias와 수소 가스 37.5sccm을 첨가한 조건에서 비정질 Si 박막을 증착한 후 탈수소 공정을 행하지 않고 ELA 방법에 의해 결정화를 행한 SEM 미세 구조를 나타내었다. 이때 XeCl Excimer Laser의 조건은 30ns의 pulse를 주어 91% over lapping scanning을 시행하였으며, 에너지 밀도는 340mJ/cm²이었다. Fig. 12의 (a), (b) 모두 조대하고 균일하며 양호한 결정립 분포를 얻을 수 있었다. DC bias 인가와 수소 첨가를 복합적으로 행하고 탈수소 공

정을 없앤 Fig. 12(c)는 평균 결정립 크기가 다소 감소하였으며, 표면에 미세한 기공(void) 등의 결함이 관찰되었다. 그러나, 수소의 폭발(eruption)에 의한 박막의 치명적인 손상(damage)은 현저히 개선된 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 실험에서 이온의 충돌을 감소시키고, 표면 반응을 촉진시켜 수소의 탈착을 용이하게 하여 CVD와 유사한 저수소화 박막을 얻기 위해 mesh를 사용하였다. 기존의 PECVD 장비에 간단히 장착할 수 있는 mesh를 이용하여 기판 온도 300°C에서 as-dep. 상태의 비정질 실리콘 박막 내에 함유되는 수소의 양을 약 3% 정도로 최소화 할 수 있었다. 또한 DC bias의 인가에 의해서 낮은 증착 속도를 개선할 수 있었고 수소의 양도 약 2% 정도로 줄일 수 있었고 수소의 첨가로 박막 내에 함유되는 수소의 양을 약 1%까지 최소화 할 수 있었다. 따라서 유리 기판에 적용이 가능한 저온 공정에 적합할 것으로 생각되며, 아울러 ELA 공정에 의해 발생하는 수소 폭발(eruption) 문제를 제어할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 G7(98-052)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Sameshima, M. Hara and S. Usui, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, 1789 (1989).
2. T. Hashizume, S. Inoue, T. Immai, T. Nakazawa, I. Yudusaka and H. Oshima, *Extended Abstracts of 1991 Int. Conf. on SSDM*, 638 (1991).
3. P. Mei J.B. Boyche, M. Hack, R.A. Lujan, R.I. Jonhson, *Mat. Res. Soc. Symp.*, **297**, 151 (1993).
4. A. Matsuda, K. Nomoto, Y. Takeuchi, A. Suzuki, A. Yuuki, and J. Perrin, *Surf. Sci.*, **227**, 50 (1990).
5. V. Hajek, K. Rusnak, J. Vlcek, L. Martinu, and S. C. Gujrahi, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A 17(3)**, 899 (1999).
6. K. Tanaka, E. Maruyama, T. Shimada, and H. Okamoto, *Amorphous Silicon*, English Edition, John Wiley & Sons Ltd, Tokyo, Japan, (1999).