

논문 21-9-12

플라즈마 화학증착법으로 제작한 미세결정질 실리콘 박막 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Microcrystalline-silicon Films Fabricated by PECVD Method

이호년¹, 이종하¹, 이병욱¹, 김창교^{1,a}

(Ho-Nyeon Lee¹, Jong-Ha Lee¹, Byoung-Wook Lee¹, and Chang Kyo Kim^{1,a})

Abstract

Characteristics of microcrystalline-silicon thin-films deposited by plasma-enhanced chemical-vapor deposition (PECVD) method were studied. There were optimum values of RF power density and H₂ dilution ratio (H₂/(SiH₄+H₂)); maximum grain size of about 35 nm was obtained at substrate temperature of 250 °C with RF power density of 1.1 W/cm² and H₂ dilution ratio of 0.91. Larger grain was obtained with higher substrate temperature up to 350 °C. Grain size dependence on RF power density and H₂ dilution ratio could be explained by etching effects of hydrogen ions and changes of species of reactive precursors on growing surface. Surface-mobility activation of reactive precursors by temperature could be a reason of grain-size dependence on the substrate temperature. Microcrystalline-silicon thin-films that could be used for flat-panel electronics such as active-matrix organic-light-emitting-diodes are expected to be fabricated successfully using these results.

Key Words : Microcrystalline-silicon, PECVD, RF power, Hydrogen dilution

1. 서론

규소박막을 이용한 전자소자는 평판디스플레이, 태양광전지, 평판센서 등 넓은 면적을 요구되는 다양한 분야에 적용되고 있다. 규소박막은 막의 형상에 따라 통상적으로 비정질, 다결정, 단결정 박막으로 분류 된다. 비정질규소는 전계효과 이동도가 1 cm²/V·sec 내외로 낮으나[1], 균일성이 우수하고 공정단가가 낮은 장점이 있다. 액정디스플레이는 0.5 cm²/V·sec 정도의 전계효과 이동도로도 구동이 가능하며, 비정질규소가 능동형 액정디스플레이에 많이 사용되고 있다. 다결정규소는 전계효과 이동도가 수십~수백 cm²/V·sec 정도의 우수

한 특성을 보이거나[2], 비정질규소에 비하여 균일성 확보가 어렵고 공정단가가 높은 단점이 있다. 단결정 웨이퍼에 회로를 형성한 후에 얇게 박리하여 유리 기판에 부착함으로써 단결정 규소를 이용한 평판 전자회로를 구성할 수 있다. 이러한 단결정 소자는 특성이 매우 우수하나, 제작할 수 있는 면적이 작고 공정 단가가 높은 단점이 있어 실용화는 어려운 상황이다.

현재 평판디스플레이 산업에서는 능동형 유기발광디스플레이에 대한 기대가 커지고 있다. 유기발광디스플레이의 구동을 위해서는 약 5 cm²/V·sec 이상의 이동도가 필요하므로 다결정규소 박막트랜지스터가 능동형 유기발광디스플레이에 주로 적용되고 있으나, 균일성의 확보나 제작단가의 저감 등에서 많은 개선이 필요한 상황이다. 다결정규소 박막의 균일성을 확보하면서 생산 효율성을 높이기 위한 연구가 이루어져왔으나 만족할 만한 성과를 얻지는 못하고 있다. 이에 대안으로 제시되는 것이

1. 순천향대학교 전자정보공학과
(충남 아산시 신창면 읍내리 646)

a. Corresponding Author : cckim1@sch.ac.kr
접수일자 : 2008. 7. 1
심사완료 : 2008. 8. 20

미세결정규소 박막이다. 미세결정규소 박막은 수~수십 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 정도의 이동도를 가지는데[3], 이는 유기발광디스플레이의 화소회로에 적용하기에 무리가 없는 정도이다. 미세결정 규소 박막은 진공증착 방법을 이용하여 성막과 도핑이 가능하여 레이저 결정화, 이온 주입 등의 추가적인 공정이 요구되는 다결정규소에 비해서 제작공정이 아주 단순하다고 할 수 있다. 미세결정규소 박막을 얻기 위해서 ECRCVD (electron cyclotron resonance chemical vapor deposition)[4], ICPCVD (inductively coupled chemical vapor deposition)[5], PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition)[3] 등의 다양한 증착 방법이 연구되고 있다. 이중에 PECVD는 능동형 액정디스플레이의 생산 장비로 많이 보급되어 있는 장비이므로, 이를 이용할 경우 추가적인 투자가 필요하지 않다는 장점이 있다.

본 연구에서는 PECVD를 적용하여 최적의 미세결정 규소박막을 얻는 방법을 알아내고자 하였다. 이를 위해서 다양한 공정 변수에 대한 미세결정성막 특성을 연구하였으며, 최적화된 성막조건을 얻을 수 있었다.

2. 실험

이 연구에서는 능동형 액정디스플레이에 적용되는 박막트랜지스터의 제작에 통상적으로 사용되는 PECVD 방법을 이용하여 미세결정규소 박막을 성막 하였다. 플라즈마 발생에는 13.56 MHz의 RF가 사용되었고, 드라이펌프를 사용하여 10^{-3} Torr 배이스프레셔를 형성하였고 공정압력은 수 Torr 정도의 영역을 사용하였다. 증착 가스는 SiH_4 와 H_2 를 사용하였으며, SiH_4 는 80 %의 He 희석된 가스를 사용하였다. 기판은 0.5 mm 두께의 무알카리 유리를 사용하였다. 기판 온도, RF 전력, SiH_4 와 H_2 의 혼합비등을 조절하여 미세결정 규소박막을 제작하였으며, UV-VIS Spectrophotometer, XRD (X-ray diffraction) 방법 등을 이용하여 박막의 특성을 분석하였다.

각 공정변수의 변화 범위는 기판온도가 200 $^{\circ}\text{C}$ ~ 350 $^{\circ}\text{C}$, RF 전력이 50 W~350 W, H_2 유량이 12 sccm~200 sccm 이었다. SiH_4 의 유량은 10 sccm, He의 유량은 40 sccm으로 고정하였다.

3. 결과 및 고찰

PECVD를 이용한 미세결정규소 박막 형성에서

RF 전력에 대한 박막 특성의 의존성을 살펴보기 위하여, RF 전력을 50 W에서 300 W까지 50 W 간격으로 변경하여서 시료를 성막 하였다. 이러한 RF 전력은 약 $0.27 \text{ W}/\text{cm}^2$ 에서 $1.65 \text{ W}/\text{cm}^2$ 의 전력밀도에 해당하였다. 증착압력은 1 Torr, 증착 온도는 250 $^{\circ}\text{C}$, H_2 유량은 100 sccm, SiH_4 유량은 10 sccm, He 유량은 40 sccm 이었다. He은 SiH_4 의 완충 가스로 사용 되었다.

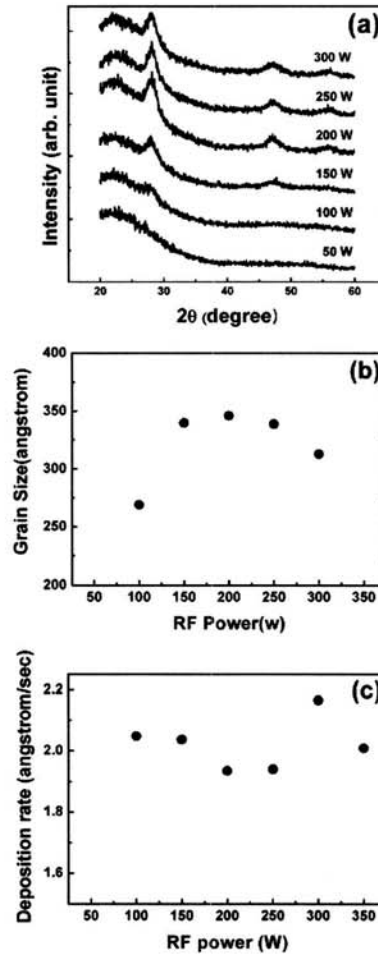


그림 1. RF 전력 변화에 따른 미세결정규소 박막의 특성: (a) XRD peak, (b) 결정크기, (c) 증착률.

Fig. 1. Characteristics of micro-crystalline-silicon thin-films according to RF power variation: (a) XRD peaks, (b) grain size and (c) deposition rate.

그림 1은 RF 전력에 대응하는 미세결정규소 박막의 XRD 측정 결과이다. 그림 1(a)는 RF 전력에 대응하는 XRD peak을 보여 준다. RF 전력이 증가함에 따라서 점차로 결정 peak이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 1(b)는 그림 1(a)의 peak에서 추출한 RF전력에 따른 결정크기를 나타내고 있다. RF 전력이 200 W (RF 전력밀도 1.1 W/cm^2) 부근 일 때 35 nm 정도의 최고 크기를 가지는 것을 알 수 있다. 낮은 RF 전력 영역에서는 RF전력이 증가함에 따라 수소 이온의 증가로 인한 비정질 영역의 식각효과로 인해서 미세결정의 성장에 도움이 되는 것으로 보인다. 이것은 그림 1(c)에서 보이듯이, 200 W 이하에서는 RF 전력의 증가에 따라 증착률이 감소하는 것으로 추정 가능하다[6]. RF 전력이 최적점보다 높은 영역에서는 양질의 규소박막의 증착에 관여하는 SiH_3 에 비하여 높은 생성에너지를 가지는 SiH 등의 프리커서 밀도가 증가하여 박질을 악화시키는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 원인으로 인해서, 그림 1(b)와 (c)에서 보이듯이 최적점 이상에서는 박막의 증착률은 증가하나 결정 크기는 작아진다고 추정된다.

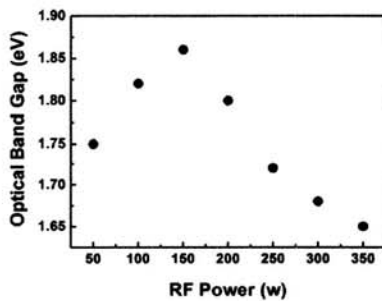


그림 2. RF power 변화에 대응하는 미세결정 박막의 광학적 금지대역 크기.

Fig. 2. Optical band gap of micro-crystalline-silicon thin-film as a function of RF power.

그림 2는 RF전력에 따른 광학적금지대역의 크기를 보여준다. 150 W 까지는 금지대역의 크기가 증가하나 그 이후에는 RF 전력의 증가에 따라 금지대역의 크기가 감소하는 것을 알 수 있다. RF 전력이 낮은 부분에서는 증착된 박막에 수소 함량이 증가함에 따라 밴드 아래 부분의 전자준위밀도

가 감소하여 광학적 금지대역이 증가하는 것으로 볼 수 있다. RF전력이 추가적으로 증가하면 박질의 악화로 인하여 밴드 아래 부분의 준위밀도가 증가하여 금지대역 크기가 감소하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 경향은 그림 1의 결과와도 부합하는 것이다.

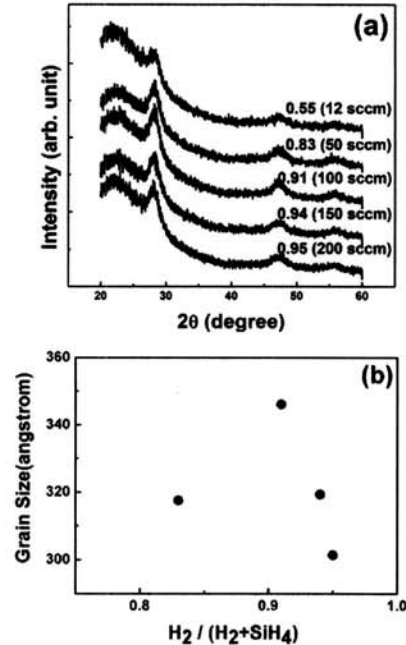


그림 3. H_2 희석에 따른 미세결정규소 박막 특성: (a) XRD peak, 표시된 숫자는 $\text{H}_2/(\text{H}_2 + \text{SiH}_4)$ 의 부피비이다, (b) 결정크기.

Fig. 3. Characteristics of micro-crystalline-silicon thin-film as functions of H_2 dilution: (a) XRD peak, notation in the graph is volume ratio of $\text{H}_2/(\text{H}_2 + \text{SiH}_4)$, (b) grain size.

그림 3은 H_2 희석 비율에 따른 미세결정규소 박막의 특성을 보여주고 있다. SiH_4 의 유량은 10 sccm, He의 유량은 40 sccm으로 고정하고, H_2 의 유량을 12 sccm에서 200 sccm까지 변경하면서 미세결정 규소박막을 증착하였다. 이때, 적용한 RF 전력은 200 W (RF 전력밀도 1.1 W/cm^2), 증착압력은 1 Torr, 증착 온도는 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 이었다. 그림 3(a)에 보이듯이 H_2 희석 비율이 변함에 따라, 미세결정의 성장에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

그림 3(b)에서 보이듯이 H₂ 희석 비율은 0.91이 최적값으로, 최적값보다 커지거나 작아지면 결정크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 최적점 이하에서는 수소의 분율이 증가함에 따라 수소이온의 농도가 증가하여 비정질 부분을 식각함으로써 결정성장을 돕는 것으로 볼 수 있고, 최적점 이상에서는 식각 효과가 지나치게 커서 결정의 성장을 방해하는 것으로 볼 수 있다.

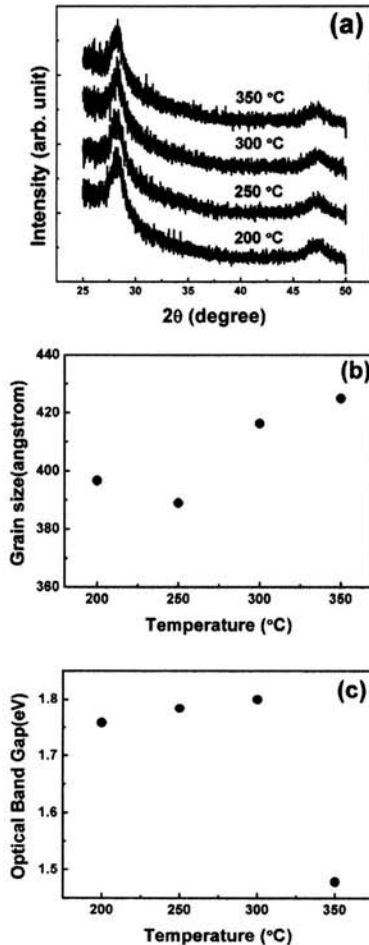


그림 4. 기판 온도에 따른 미세결정규소 박막 특성: (a) XRD peak, (b) 결정크기, (c) 광학적 금지대역.

Fig. 4. Characteristics of micro-crystalline-silicon thin-film according to substrate temperature: (a) XRD peak, (b) grain size, (c) optical band gap.

그림 4는 기판 온도에 따른 미세결정 규소박막의 특성을 보여주고 있다. SiH₄의 유량은 10 sccm, He의 유량은 40 sccm, H₂ 유량은 50 sccm으로 고정하였다. 적용한 RF 전력은 200 W (RF 전력밀도 1.1 W/cm²)이었고 증착압력은 1 Torr이었다. 기판 온도는 200 °C ~ 350 °C의 구간에서 변경하였다. 그림 4(a)는 증착온도에 따른 XRD peak을 보여준다. 그림 4(b)는 기판온도에 따른 결정크기를 보여준다. 기판온도가 높아짐에 따라서 결정크기가 증가하는 것을 알 수 있다. 기판온도가 높아지면 표면에 부착되는 프리커서의 이동도가 높아져서 보다 안정된 상태를 찾아갈 수 있기 때문이다. 그림 4(c)는 기판온도에 대응하는 광학적 금지대역의 크기이다. 기판온도가 높아짐에 따라서 광학적 금지대역의 크기가 커지다가 350 °C에서 작아지는 것을 알 수 있다. 300 °C까지는 온도가 높아짐에 따라서 금지대역 내의 결합밀도가 감소하여 금지대역 크기가 커지다가 350 °C에서는 높은 온도에 의해 수소의 함량이 줄어들어 금지대역 크기가 작아지는 것으로 해석된다.

4. 결론

PECVD방법으로 미세결정규소 박막을 제작하였다. 다양한 공정조건을 변경하면서 실험을 하여서, 공정조건이 박막의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. RF는 1.1 W/cm² 정도의 전력밀도에서 최대 크기의 결정을 만들었으며, 최적점을 벗어나면 결정 크기가 감소하는 것을 알 수 있었다. 기판온도는 높을수록 결정크기가 증가하였으며, 수소 분율은 약 90 %에서 최적의 결과를 나타내었다. RF 전력과 수소분율에 의한 결정성장의 변화는 수소이온의 농도 변화에 따른 식각효과의 영향과 프리커서의 종류가 변함에 따른 영향으로 볼 수 있다. 기판온도는 높을수록 표면의 프리커서에 열에너지를 공급해서 결정의 성장에 도움이 된다.

이상의 연구로 PECVD방법을 이용하여 미세결정 규소박막을 성막 하는 경우에, 인가되는 RF 전력 밀도와 반응가스의 수소분율의 최적값을 찾을 수 있었다. 이러한 결과를 이용하면 양질의 미세결정규소 박막트랜지스터의 제작이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] H. Miyashita and Y. Watabe, "Dependence of thin film transistor characteristics on the deposition conditions of silicon nitride and amorphous silicon", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 41, No. 4, p. 499, 1994.
- [2] T. Sameshima, "Status of Si thin film transistors", Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 227-230, p. 1196, 1998.
- [3] K. Kandoussi, A. Gaillard, C. Simon, N. Coulon, T. Pier, and T. Mohammed-Brahim, "Improved microcrystalline silicon TFTs", Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 353, p. 1728, 2006.
- [4] S. Ferrero, P. Mandracci, G. Cicero, F. Giorgis, C. F. Pirri, and G. Barucca, "Large area microcrystalline silicon films grown by ECR-CVD", Thin Solid Films, Vol. 383, p. 181, 2001.
- [5] T. Karakawa, S. Higashi, H. Murakami, and S. Miyazaki, "Nucleation study of hydrogenated microcrystalline silicon ($\mu\text{c-Si:H}$) films deposited by VHF-ICP", Thin Solid Films, Vol. 56, p. 3497, 2008.
- [6] A. Matsuda, "Formation kinetics and control of microcrystallite in $\mu\text{c-Si:H}$ from glow discharge plasma", Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 59 & 60, p. 767, 1983.