

Hot Wire CVD를 이용한 다결정 실리콘 박막의 저온 증착 (Low Temperature Deposition of Polycrystalline Silicon Films by Hot Wire Chemical Vapor Deposition)

이정철, 강기환, 김석기, 윤경훈, 송진수, 박이준
한국에너지기술연구소

I. 서 론

최근 들어 유리와 같은 저가의 기판을 이용하여 다결정 실리콘 박막 성장에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 태양전지나 TFT(Thin Film Transistor)와 같은 소자 응용을 위해서는 낮은 기판 온도(500°C 이하)에서 고품질의 실리콘 박막 증착이 요구되므로, SPC(Solid Phase Crystallization)나 ZMR(Zone Melting Recrystallization)과 같은 재결정화 방법은 높은 재결정화 온도로 인해 그 응용이 제한된다. 따라서 기판을 저온으로 유지한 채 고품질의 다결정 실리콘 박막을 직접 유리나 금속기판 위에 증착시키는 방법들이 관심을 받기 시작하였는데, 대표적인 방법으로는 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition), VHF(very high frequency) CVD, ECR(electron cyclotron resonance) CVD, 열선 CVD(hot wire CVD) 등을 들 수 있다.

열선 CVD는 1979년 H. Wiesemann에 의해 최초로 개발된 후 태양전지와 TFT 분야에서 고품질의 비정질 또는 다결정 박막 실리콘 증착용으로 연구가 이루어져 왔다. 열선 CVD는 고온(1600 ~ 2000°C)으로 가열된 열선(W, Ta 등)을 이용해 SiH₄을 분해한 후 기판에 증착시키는 방법으로서, 기존의 플라즈마를 이용한 방법에 비해 증착속도가 10배 이상 높으며, 플라즈마에 의한 막의 손상이 적은 것이 장점이다. 또한 열선 CVD로 증착된 비정질 실리콘 박막 태양전지는 기존의 PECVD가 가지는 광 열화현상(Steabler-Wronski Effect)이 없어 관심이 높아지고 있다.

II. 실험 및 분석방법

실험에 사용된 열선 CVD 장치는 크게 시료삽입을 위한 보조반응실과 막의 증착을 위한 주 반응실로 구성되어 있다. 가스의 분해를 위해 사용된 열선은 두께가 0.5mm인 고순도 텅스텐 선을 사용하였으며, 열선 지지대로는 고순도 동(Cu)을 사용하였다. 텅스텐 열선의 온도는 비접촉 온도센서(optical pyrometer, TR630, Minolta)를 사용해 주 반응실 상부를 통해 측정하였다.

기판으로는 유리(Corning 7059)와 <100> 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 막의 증착에 앞서 먼저 보조 반응실을 통해 시료를 주 반응실로 주입한 다음 10⁻⁶Torr까지 진공배기 하였다. 다음으로 텅스텐 열선의 표면에 존재하는 불순물을 제거하기 위하여 열선온도를 2000°C 이상으로 가열한 채 10분간 예열(pre-heating) 하였다. 이때 기판위로 불순물이 떨어지는 것을 방지하기 위하여 기판에 근접한 shutter를 이용하였다. 실험에 사용된 가스는 SiH₄(순도 99.999%)과 H₂가스이며 유량조절기(MFC)를 통해 반응실 내부로 주입시키고, 반응실 내부의 압력은 자동 압력조절장치를 사용해 원하는 값으로 조정하였다.

증착된 박막의 두께는 α -step profilometer(Tencor 2000)를 이용해 측정하였다. 막의 결정구조를 관찰하기 위해 Raman 분광특성과 X-선 회절분석(Cu K α , $\lambda = 1.5404\text{\AA}$)을 이용하였다. 막의 압전도도(α_p)와 광전도도(α_p)는 간격 0.3mm인 Au co-planar 전극을 형성시켜 측정하였으며, 광전도도의 경우 인공 태양(solar simulator)으로 AM 1.5, 100mW/cm²의 빛을 조사하여 측정하였다. 막 내부로 유입된 수소의 결합구조를 알아보기 위해 IR 측정을 하였다.

III. 결과 및 결론

열선 CVD에 의해 증착된 실리콘 박막은 반응압력, H₂/SiH₄, 열선온도, SiH₄유량 등의 변수에 따라 비정질, 미세결정(microcrystalline) 또는 다결정의 결정구조를 가짐을 알 수 있었다. 이들 변수중 증착된 막의 결정특성에 가장 큰 영향을 미치는 변수로는 열선온도와 SiH₄ 유량이었다. 열선온도가 높을수록 증착된 막은 우수한 결정특성을 나타내었는데, 이는 고온으로 가열된 텅스텐 열선으로부터 발생된 복사 에너지가 열선온도와 함께 증가하여 유리기판의 상대적인 온도상승에 의한 것으로 분석된다. 막의 증착률 또한 증착변수에 매우 크게 의존하였으며, 수Å/sec ~ 수십 Å/sec의 매우 높은 값을 가졌다. 본 연구에서는 반응압력 200mTorr, H₂/SiH₄ 25, 열선온도 2000°C, SiH₄ 유량 2scm, 기판온도 450°C에서 증착된 실리콘 막의 결정특성이 가장 우수한 것으로 조사되었다. SEM분석에 의한 막의 평균 결정립 크기는 0.8 ~ 1.0 μ m였으며, x-선 회절분석으로부터 막은 (110) 방향으로 우선배향 되었음을 알 수 있었다. 열선 CVD로 증착된 실리콘 막은 기존의 PECVD나 재결정화법에 비해 높은 증착률과 우수한 결정특성을 가지는 것으로 조사되었으며, 태양전지나 TFT 소자에 응용될 경우 소자의 특성 향상이 기대된다.