

Cu(InGa)Se₂ 광흡수층의 성장온도에 따른 특성 분석
Photovoltaic Properties Depending on Growth Temperature of Cu(InGa)Se₂
Absorber Layer

김석기, 이정철, 강기환, 윤경훈, 송진수, 박이준
 한국에너지기술연구원

1. 서론

Cu(In,Ga)Se₂(CIGS) 화합물은 박막 태양전지로서 커다란 응용 잠재력을 갖고 있는 광흡수층 재료이다. 이 물질은 직접천이형 반도체로서, 에너지밴드갭이 1.04eV, 광흡수계수가 높으며($1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$), 열에 대한 안정성으로 열경화가 거의 없는 특징을 가지고 있다. CIGS 박막의 제조법으로는 다양한 기법이 시도되었으며, 그 중 10% 이상의 변환효율은 3단계 증발법을 이용한 co-evaporation 법과 co-sputter한 후 셀렌화 공정을 거치는 방법이다. 태양전지 구조는 유리를 기판으로 5개의 단위 박막(이면전극, 광흡수층, 완충층, 전면 투명전극, 반사방지막) 및 상부 전극을 순차적으로 형성함으로 다양한 장비가 동원된다. CIGS 광흡수층은 두께가 수 μm 이므로 성장 온도에 따라 결정립과 결정상 및 박막의 화학양론 조성비가 변화한다. 성장 온도를 낮추면 결정립의 크기 감소로 박막의 특성이 저하하므로 최적 성장온도의 도출은 실 공정 적용시 매우 중요한 변수이다. 따라서 단계별 성장온도의 변화에 따른 특성분석을 통해 결정립이 크며 최적의 화학양론비를 갖는 광흡수층의 성장 조건을 도출하였다.

2. 실험방법

기판으로는 $5 \times 5 \text{cm}^2$ 의 sodalime glass를 사용하였으며, DC 스퍼터법으로 몰리브덴(Mo) 이면전극을 약 $1 \mu\text{m}$ 증착하였다. 그 다음 광 흡수층인 CIGS 박막을 3단계공정(three-stage process)으로 1단계에서는 In, Ga과 Se을 증착하고, 2단계는 Cu와 Se을 증착하였다. 3단계에서는 2단계의 기판온도에서 In, Ga과 Se을 재증착하여 In-rich의 CIGS 박막을 형성시켰다. CdS 완충층은 CBD법을 이용하였고, 그 위에 전면전극인 ZnO 막을 RF 스퍼터법으로 제조하였다. 박막의 미세구조와 결정성은 SEM과 XRD로 측정하고, 박막의 전기적 특성은 van der Pauw 법을 이용하였으며, 광투과도는 UV-3101PC를 이용하여 300~2000nm의 영역에서 측정하였다. 태양전지는 Al/MgF₂/ZnO/CdS/CIGS/Mo/유리기판 구조로 제조하고, AM 1.5, 100 mW/cm² 기준전지로 광도를 보정한 후 변환효율을 측정하였다.

3. 실험결과

Cu(In,Ga)Se₂ 박막의 단계별 성장온도는 1단계 보다는 2,3단계의 성장온도에 지배적인 영향을 받았으며, 특히 결정립의 크기와 결정상 및 화학양론 조성비 변화에 직접적인 영향을 미쳤다. 모든 CIGS 박막에서 황동광 구조의 (112) 우선 배향성을 보였다. 가장 높은 성장온도에서 제조된 박막은 구성원소인 In-Se 화합물의 소실로 표면에 Cu-Se의 이차상이 생성되었으며, 이는 변환효율의 감소를 초래하였다. 이와 같이 고효율 박막 태양전지의 제조를 위해서 성장온도의 최적화는 매우 중요하며, 본 실험에서 얻은 1단계와 2,3단계의 성장온도는 각각 350 $^{\circ}\text{C}$, 550 $^{\circ}\text{C}$ 이었다. 이때 면적 0.21 cm²이며, 개방전압 600mV, 단락전류 36mA/cm² 및 충실도는 71%이었으며, 최고 변환효율 15.4%를 달성하였다.