

연성 CIGS 태양전지의 Fe-52wt% 기판과 박막층의 두께에 따른 잔류응력해석

Analysis of the Residual Stress of CIGS Layer with the Different Thickness of Solar Cell Element Layers and Fe-52wt% Substrate

한윤호^a, 이민수^b, 엄호경^c, 김동환^a, 임태홍^c
^a고려대학교 신소재공학, ^b한양대학교 신소재공학, ^c한국생산기술연구원

초 록: 박막태양전지의 경우 기판재와 태양전지를 구성하는 반도체 층간의 열팽창 거동 차이가 태양전지의 변형을 야기한다. 이러한 열변형은 태양전지의 효율에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 그러므로 태양전지를 구성하는 반도체 층과 열팽창 거동이 유사한 기판재의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 연성 CIGS 태양전지를 구성하는 기판과 박막층의 두께변화가 열공정 중 발생하는 잔류응력에 미치는 영향을 전산해석 하고자 하였다. 전산해석 결과 Fe-52wt%Ni 기판재의 두께가 증가함에 따라 CIGS 박막층 내부의 잔류응력은 감소하였다. SiO₂ 절연층의 두께가 증가하면 CIGS 박막층의 잔류응력이 증가하였다. Mo 후면전극층이 얇아지면 잔류응력이 감소하였으나 CIGS층의 두께변화는 CIGS층의 잔류응력에 큰 영향을 미치지 않았다.

1. 서론

연성 태양전지(Flexible CIGS Solar Cell)를 제작하기 위해서는 연성 기판재(Flexible Substrate)의 적용이 필요하다[1,2,3,4]. CIGS 박막태양전지의 경우 고가의 광흡수층 제조비용을 낮추기 위하여 CIGS 박막의 두께를 1.5 μ m 이하로 줄이고 있으며, 전기 절연과 금속 기판재로부터 불순물 확산을 막아주기 위한 장벽층과 후면전극의 두께 조절도 이슈가 되고 있다[5,6,7,8]. 선행 연구를 통하여 연성 CIGS 태양전지의 금속 기판재(metal substrate)로 열팽창 계수가 광흡수층과 유사한 스테인레스강 400번 계열과 Fe-52wt%Ni 합금재가 우수함을 확인 하였다[9,10]. 본 연구에서는 열특성이 CIGS에 보다 더 적합한 Fe-52wt%Ni 합금 박판재를 기판재로 선택하였다. 계산 Tool로 유한요소해석(Finite element analysis) 프로그램인 Algor를 이용하였다. 2D의 CIGS Solar Cell을 모델링하고 광흡수층이 증착되는 550 $^{\circ}$ C에서 상온으로 내려올 때 기판재의 두께와 CIGS 박막태양전지를 구성하는 박막층의 두께가 CIGS층의 잔류응력에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

2. 본론

Fe-52wt%Ni 기판재의 제작은 전주성형법을 이용하여 제작하였다[11]. XRF를 이용하여 기판재의 정확한 조성을 확인 하였다. 유한요소해석의 계산에 필요한 기판재의 열팽창 계수값을 확보하기 위하여 TMA를 이용하여 온도 구간별 열팽창 계수를 구하였다. 또한, 인장시험을 통하여 추가적인 물성값도 확보하였다. Mo, SiO₂, CIGS의 물성값은 문헌값을 참고하였다 [12]. 유한요소해석 프로그램인 Algor를 이용하여 Fig. 1과 같이 2D 구조(CIGS/Mo/SiO₂/Substrate)로 모델링 하였다. 기판재의 두께는 30 μ m~150 μ m이며, SiO₂의 두께는 1 μ m~2 μ m, Mo의 두께는 0.5 μ m~1 μ m로 하였다. 기판의 한점을 고정점으로 하는 경계조건을 주었으며, 박막사이의 조건은 치밀하게 접합되는 조건으로 설정하였다.

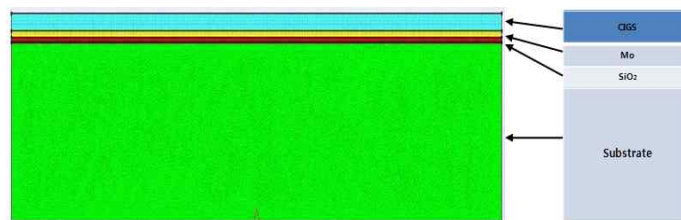


Fig. 1. Schematic 2D model of CIGS Solar Cell.

3. 결론

Fig. 2에서와 같이 550 $^{\circ}$ C에서 상온으로 내려오면서 CIGS 박막층의 잔류응력은 점진적으로 증가한다. 이러한 잔류응력의

차이는 전체적인 Cell의 변형을 가져오게 된다. 변형량은 Fig. 3과 같다. 기판재의 변형량은 두께가 두꺼울수록 작았다. Fig. 4는 SiO₂ 장벽층을 1 μ m에서 2 μ m로 증가시킨 것으로 CIGS 박막층의 잔류응력이 약 2.5배 증가하였다. Mo층과 CIGS층의 두께 변화조건에 따른 CIGS층의 잔류응력은 Fig. 5에서 보여주고 있다. Mo 후면전극의 두께를 줄이면 CIGS층의 잔류응력을 감소시킬 수 있다. CIGS층의 두께조절에 따른 잔류응력의 변화는 큰 차이가 없었다. 따라서 경제적인 측면에서 봤을 때 CIGS층은 얇을수록 유리하다. 태양전지의 효율 향상과 경제성 획득을 위해서는 태양전지 구성원의 적절한 두께비를 선택하여야 한다.

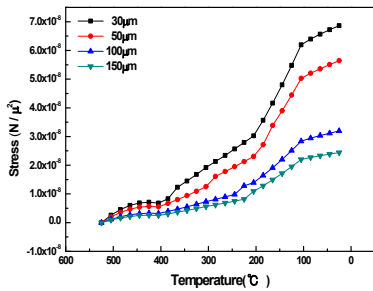


Fig. 2. Residual stress of CIGS layer depending on the substrates thickness

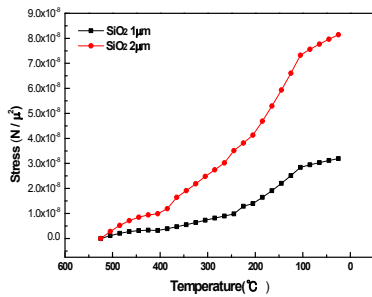


Fig. 4. Residual stress of CIGS layer depending on the SiO₂ layer thickness

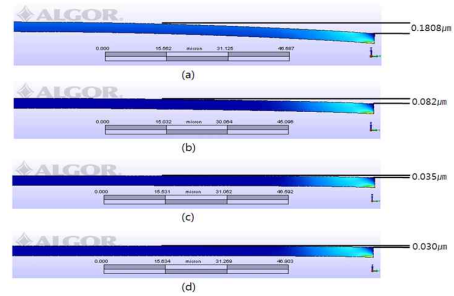


Fig. 3. Displacement magnitudes of CIGS layers depending on the substrates thickness (a)30 μ m, (b)50 μ m, (c)100 μ m, (d)150 μ m

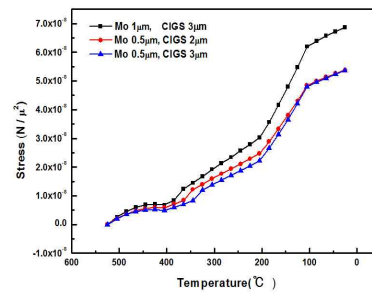


Fig. 5. Residual stress of CIGS layer depending on the Mo and CIGS layer thickness

참고문헌

1. 윤재호, 유연스테인리스스틸 기판을 이용한 CIGS 박막 태양전지 선행기술 개발, 에너지·자원기술개발사업 최종보고서, (2007), 13 - 15
2. Friedrich Kessler, Dominik Rudmann, Solar Energy, 77 (2004) 685 - 695
3. F. Kessler, D. Herrmann, M. Powalla, Thin Solid Films, 480 - 481 (2005) 491 - 498
4. Samira Khelifi, Abderrahmane Belghachi, Johan Lauwaert, Koen Decock, Jeannette Wienke, Raquel Caballero, Christian.A Kaufmann and Marc Burgelman, Energy Procedia, 2 (2010) 109 - 117
5. K. Herz, A. Eicke, F. Kessler, R. Waächter, M. Powalla, Thin Solid Films, 431 - 432 (2003) 392 - 397
6. K.Herz, F.Kessler, R.Waächter, M.Powalla, J.Schneider, A.Schulz, U.Schumacher, Thin Solid Films, 403 - 404 (2002) 384 - 389
7. 윤재호, CIGS 박막 태양전지 신공정과 신기술 및 시장전망, (2010), 4월호
8. W.K. Batchelor. M.E. Beck, R. Huntington, I.L. Repins, A Rockett, W.N. Shafarman. F.S. Hasoon and J.S. Britt, Photovoltaic Specialists Conference, (2002) 716 - 719
9. Yoonho Han, Tai hong Yim, 추계한국표면공학회, (2009), P-57
10. SeungHyun Koo, HeungYeol Lee, TaiHong Yim, 춘계 한국신·재생에너지학회, (2008), pp.382~385
11. T. Hart and A.Watson, "Electroforming". pp388
12. Landolt-Bornstein, Group III Condensed Matter, "Copper Indium Selenide (CuInSe₂) Thermal Expansion, Debye Temperature, Melting Point and Other Lattice Parameters", vol. 41E, Springer-Verlag, (2000), pp. 125 - 150.