한국신·재생에너지학회 2008년도 춘계학술대회논문집 pp.382~385

플렉서블 태양전지 기판재용 Ni 계 합금의 열변형 예측

*구승현1), 이흥렬2), **임태홍3)

The prediction of thermal deformation of Ni alloy substrate for application of flexible solar cell

*SeungHyun Koo, HeungYeol Lee, **TaiHong Yim

Key words : Flexible substrate (연성기판), Alloy foil(합금포일), thermal expansion behavior (열팽창 거동), Flexible solar cell(플렉서블태양전지), FEM(유한요소해석)

Abstract : 박막형 태양전지 분야는 저가이고 가볍다는 특징을 가지고 있으며, 휘어지는 기판재를 적용하여 플렉서블 태양전지를 제조할 수도 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서 플렉서블 태양전지에 적합한 금속기판재를 제조하는 연구를 수행하였다.

일반적으로 기판재와 cell을 구성하는 반도체 층의 열팽창 거동 차이에 의한 열변형이 태양전지의 공정안정성에 영향을 주는 것으로 알려져 있었으며, cell을 구성하는 반도체 층과 열팽창 거동이 유사한 금속기판재의 적용이 필요하다. 이러한 특성을 쉽게 제어할 수 있는 금속기판재를 얇게 제조하기에 적절한 방법은 전주법이다. 전주법을 적용하여 조성 및 두께가 다른 Ni 계 합금의 열팽창 거동을 TMA 장비를 사용하여 측정하였으며, 태양전지 제조에 사용되는 고온공정시 안정성 확보를 위하여 열처리후에 금속기판재의 열팽창 거동을 측정하였다. 그리고 전산해석 tool 을 활용하여 가상의 CIS 플렉서블 태양전지 제조공정을 설정하고 고온공정온도에서 상온으로 냉각시 발생되는 층간 열변형 연구를 수행하였다. 그리고 플렉서블 태양전지용 기판재로 Ni 계 합금표면에 절연체인 SiO_2 증착 연구를 수행하여 Fe-52Ni 합금에서 안정적인 절연층을 얻을 수 있었다.

subscrip

FEM : finite element methode
CIS :Copper indium selenide

1. 서 론

고도성장에 의한 화석연료 고갈 및 환경오염에 의하여 대체 에너지원으로 신재생에너지 연구가 활발하게 일어나고 있다. 그중에서 태양광을 이용한 태양전지 연구도 진행되고 있다. 일반적으로 태양광을 이용한 태양전지는 Si 를 기반으로 제조되고 있다. 그러나 급격한 태양광 산업 및 반도체 산업의 성장에 따른 재료 수급의 어려움으로 제조단가가 상승하고 있어, 태양광산업 발전에 악영향을 주고 있다. 따라서 이에 대응하여 Si 박막형 태양전지, 염료태양전지, 화합물 태양전지와 같은 대체 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이것들 중에서 박막형 태양전지는 고가의 Si 를 대량으로 사용하지 하지 않으며, 저가이면서, 가볍다. 또한 결정질 Si 태양전지와 비교하여도 효율이 크게 떨어지지 않는 것으로 알려지고 있다. 또한 잘 휘어지는 금속 및 플라스틱 기판재를 적용한다면 플렉서블 태양전지 제조도 가능하다.

플렉서블 태양전지 제조에 적용되는 기판은 크게 금속(Mo, Ti, SUS, Cr-steel) 과 플라스틱(PET, PI) 기판으로 구분된다. 금속은 플라스틱에

1) 한국생산기술연구원
E-mail : ksh75@kitech.re.kr
Tel : (032)850-0251 Fax : (032)850-0450
2) 한국생산기술연구원
E-mail : hylee@kitech.re.kr
Tel : (032)850-0239 Fax : (032)850-0230
3) 한국생산기술연구원
E-mail : thyim@kitech.re.kr
Tel : (032)850-0233 Fax : (032)850-0230

비하여 낮은 열팽창 계수를 가지며, 고온 공정에 적용이 가능하다는 장점을 가져 플렉서블 태양전지 분야에서 연구되었다. 그러나 기존의 압연으로 제조된 금속기판재는 두께를 얇게 하기 위해 다단압연기를 사용해야한다. 이는 제조 단가를 높이고, 또한 광폭으로 제조하는 것을 어렵게 한다. 이 단점을 보완한 플렉서블 태양전지 기판재 제조를 위해 전주법[1)2)]을 적용하여 Ni 계 합금을 제조하였다. 전주법은 광폭 및 수㎛ 의 두께를 갖는 금속 기판재를 쉽게 제조할 수 있는 것으로 알려지고 있다. 그러나 새롭게 제시된 금속기판재를 사용하여 플렉서블 태양전지를 제조하기 위하여 cell을 구성하는 반도체와 기판재와의 열팽창 거동 차이를 조사할 필요가 있다. 태양전지 제조시 기판재위에 cell 역할을 하는 반도체층 제조시 고온공정이 적용된다. 이때 열팽창 거동이 cell 층과 다른 재료이면 상온으로 냉각시 열변형에 의하여 태양전지에 인장 또는 압축응력이 작용하게 하여 결함을 발생시킬 수 있다

본 연구에서는 전주법으로 제조된 Ni 계 합금 금속기판재의 두께에 따른 열팽창 거동을 분석하였고[3)], 전산예측분석법을 적용하여 가상의 CIS 태양전지를 설계하여 열충격에 의한 열변형을 예측하였다. 또한 실제 Ni계 합금 기판재에 절연층인 SiO_2 를 코팅하여 열팽창 거동의 불일치에 의한 변화를 관찰하고자 하였다.

2. 실험 및 해석조건

선행 연구를 통하여 플렉서블 태양전지용 금속기판재로 사용되는 상용 재료와 전주법으로 제조된 Ni 계 합금의 열팽창 거동을 측정하였다. 그리고 측정된 열팽창 계수를 적용하여 플렉서블 태양전지 고온공정에 적합한 재료를 확인하고자 유한요소해석법을 사용하여 상용기판재 및 Ni 계 합금 기판재의 결과를 비교분석하여, 플렉서블 태양전지의 고온공정에 적합한 재료는 전주법으로 제조된 Ni 계 합금이라는 결론을 얻게 되었다.[1-3)].

본 연구에서는 전주법으로 제조된 Ni 계 합금 재료를 플렉서블 태양전지 기판재로 최적화시키기 위한 연구를 수행하였다.

전주법으로 제조된 다양한 조성의 Ni 계 합금의 고온안정성을 얻기 위해 800 ℃에서 30 분 열처리를 수행하여 열팽창 거동을 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 CIS 태양전지에서 최적 열팽창 거동을 갖는 Fe-52%Ni 및 열팽창 거동이 CIS 층보다 큰 Fe-78%Ni 합금을 10, 50 ㎛로 제조하여 800 ℃에서 30min 열처리를 수행하였고 TMA 의 film/ fiber type 을 사용하여 열팽창 거동을 측정하였다.

Ni 계 합금의 두께별 열팽창 거동을 측정한 값을 적용하여 가상의 CIS 태양전지 제조공정을 유한요소해석을 사용하여 수행하였다. 유한요소해석을 위해서는 사용된 재료의 물리적 특성 값이 필요하다. CIS, Mo, SiO_2, 의 재료값들은 참고문헌[4)5)6)]에서 인용하였으며, 기판재료인 Ni 계 합금의 열팽창 거동 및 일부 특성은 직접 측정하였다. 그리고 그 외의 필요한 값은 참고문헌에서 인용하였다. 그리고 해석을 수행하기 위해서 그림 1과 같은 형상으로 가상 CIS 태양전지를 모델링하였다. 형상의 길이는 200 ㎛ 로 한정하였으며, 높이는 기판재의 적용 두께에 따라서 변화시켰으며, 절연층 SiO_2 는 1 ㎛, 후면전극인 Mo 는 1 ㎛, CIS 층은 3 ㎛로 하였다. 경계조건은 기판의 한 점을 고정시켰으며, 계면과 계면은 치밀하게 접합되어 있고, 탄성영역 내에서만 변형이 발생하는 것으로 가정하였다. 그리고 CIS 증착 온도인 520 ℃에서 상온으로 cell 을 냉각시켰을 때 변화를 해석하였다. 그리고 실제 Ni 계 합금 기판재에 CVD 법으로 SiO_2 를 코팅하는 실험을 수행하여 비교분석하였다.

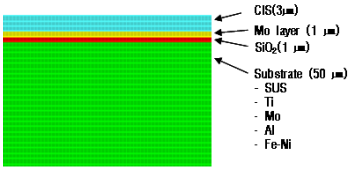


Fig.1 The finite element model of CIS solar cell

3. 실험결과

3.1 Ni 계 금속기판재의 열팽창거동

플렉서블 태양전지용 금속기판재 개발을 위하여 전주법으로 Ni 계 합금을 제조하였다. 그림 2 는 800 ℃ 에서 30 분간 열처리한 금속기판재의 Ni 계 합금 조성 변화에 따른 열팽창 계수를 보여주고 있다. 선행연구[2)]에서 전주법으로 제조된 전착상태의 금속기판재는 고온에서 급격한 수축현상을 나타내어 기판재로서 적합하지 않았다. 따라서 고온에서 금속기판재의 안정화를 위하여 열처리를 하였다.

플렉서블 태양전지를 제조하는데 사용되는 cell 역할을 하는 반도체층은 CIS, Si 으로 분류가 가능하다. 그림1에서 A 은 Si 의 열팽창 계수를 의미하며, Si의 증착공정온도는 350 ℃로 알려져 있다. 따라서 Fe-40%Ni, Fe-45%Ni 는 Si 을 적용한 플렉서블 태양전지 제조에 적합한 재료로 판단된다. 또한 B 는 CIS 열팽창 계수를 보여주며, Fe-48%Ni, Fe-52%Ni 이 CIS 플렉서블 태양전지 금속기판으로 가장 적합한 것으로 나타났다.

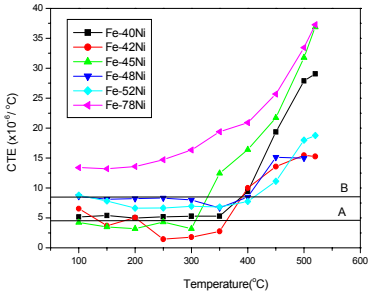


Fig. 2 The CTE with variation of Ni content of annealed Fe-Ni alloy

그림3은 CIS 플렉서블 태양전지 제조에 적합한 것으로 판단된 Fe-52Ni 의 두께 변화에 따른 열팽창 거동을 보여주고 있다. 두께가 얇은 재료의 열팽창 계수가 CIS 열팽창 계수(8.0,×10^{-6}/℃)와 거의 유사한 것으로 나타나 열공정 안정성이 우수한 것으로 판단되나, CIS 제조 공정온인 520 ℃ 이상에서의 열팽창 계수는 두께가 두꺼운 경우 더 근접한 것으로 나타났다. 따라서 고온 공정까지 안정적인 열팽창 계수를 갖는 재료가 CIS 태양전지 제조에 가장 적합한 것으로 사료된다.

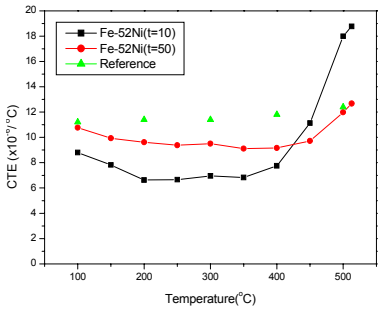


Fig. 3 The CTE with variation of thickness of annealed Fe-52%Ni alloy

그림4은 Fe-78%Ni 합금의 두께 변화에 따른 열팽창계수를 보여주고 있다. 두께가 얇은 재료는 고온에서의 열팽창 급격히 일어나는 것으로 나타났다. 따라서 CIS 플렉서블 태양전지 기판재로 적용하기에 무리가 따른다. 그러나 두께가 두꺼운 경우는 안정적인 열팽창 거동을 보이고 있으다. 하지만 고온에서 CIS 의 열팽창 계수보다 높아 열변형에 의한 문제가 발생할 것으로 판단된다.

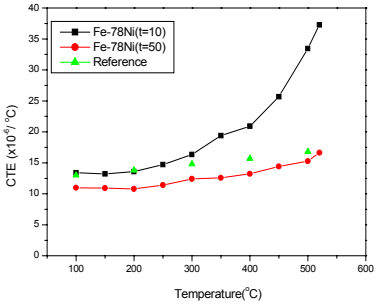


Fig. 4 The CTE with variation of thickness of annealed Fe-78%Ni alloy

3.2 CIS 태양전지 기판적용 해석

Ni 계 합금의 고온안정화 처리후 열팽창 거동을 확인하였다. 그리고 CIS 적용에 가장 적합한 Fe-52%Ni 합금과 적합하지 않는 Fe-78%Ni 합금을 기판재로 적용하여 유한요소해석을 수행하였다.

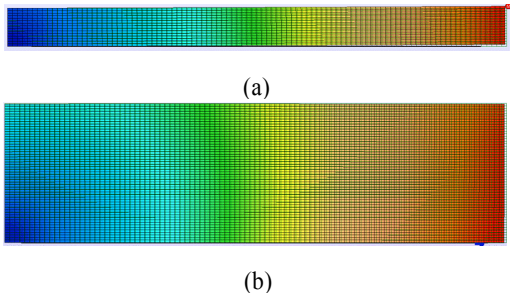


Fig. 5 The displacement result of Finite element analysis of flexible solar cell applied Fe-52Ni alloy((a) t=10㎛, (b)t=50㎛)

그림 5는 Fe-52%Ni 합금을 기판재로 적용하여 가상 CIS 태양전지 제조시 520 ℃에서 상온으로 냉각했을 때의 결과를 보여주고 있다. (a)는 두께 10 ㎛ 의 기판을 적용했을 때 최대 수축 약 0.98 ㎛ 이며, cell이 압축응력을 받는 것으로 나타났다. 그리고 최대 변형률은 약 0.21% 이다. (b) 는 두께 50 ㎛ 기판재를 적용하였을 때 최대 약 1.03 ㎛ 까지 수축하였으며, cell에 인장응력이 발생하였다. 그리고 최대 변형률은 0.37 % 로 나타났다. Jones et al[7] 에 의하며 cell 의 압축 변형률이 1.7%, 인장변형률이 0.7% 내에서 안정적인 태양전지 제조가 가능하다고 보고하였다. 그러므로 압축응력이 cell에 유리함을 알 수 있다.

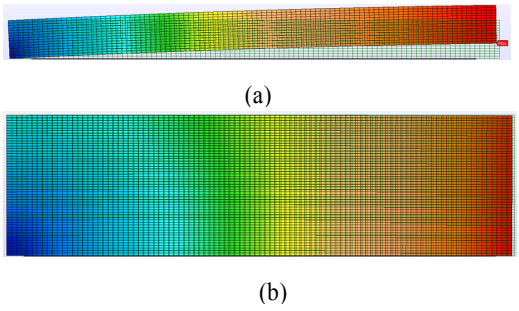


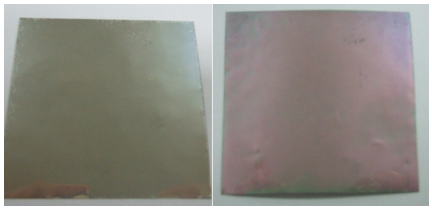
Fig. 6 The displacement result of Finite element analysis of flexible solar cell applied Fe-78%Ni alloy((a) t=10㎛, (b)t=50㎛)

그림6은 Fe-78%Ni 합금을 기판재로 적용하여 가상 CIS 층을 520 ℃에서 증착한 후 상온으로 냉각한 후 변화를 보여주고 있다. (a) 는 두께 10 ㎛ 를 적용하여 예측한 결과 값인데, 최대 수축량이 약 1.43 ㎛ 로 나타났으며, 최대 변형률은 약 0.42% 로 나타났다. (b) 는 두께 50 ㎛ 를 적용하여 예측한 결과 값을 보여주고 있다. 그리고 변형은 0.98㎛ 로 나타났으며 최대 변형률은 0.4% 로 나타났다. 두가지 모두 CIS 층에 인장이 걸리는 것으로 나타났다.

열팽창 거동을 바탕으로 유한요소해석을 수행한 결과 Fe-52%Ni, Fe-78%Ni 합금중 변형률이 적은 Fe-52%Ni 합금이 CIS 플렉서블 태양전지에 더 적합한 기판재로 판단된다.

3.3 금속기판재의 SiO_2 코팅

Fe-Ni 합금 기판재에 CVD 를 사용하여 350 ℃에서 약 1 ㎛ 의 SiO_2 를 증착하였다. 그림 7은 2가지 합금조성에 SiO_2 를 증착한 결과를 보여주고 있다. (a) 는 Fe-78%Ni 합금에 SiO_2 코팅을 시도하였지만 모두 박리되어 떨어져 나갔다. 그리고 (b) 에서 SiO_2 가 잘 코팅되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 Fe-52%Ni 의 SiO_2 코팅으로 인하여 기판이 휘어지는 현상을 보이고 있다. 이것은 SiO_2 의 열팽창 계수가 기판재의 열팽창 계수보다 낮아 인장이 발생하는 것으로 판단된다. 이는 열팽창 계수가 적은 CIS cell 을 적용하여 전산예측한 경우와 경향이 일치한다. 따라서 금속기판에 열팽창 거동이 다른재료를 증착하고자 한다면 열공정시 발생되는 열충격을 생각하여 재료를 선택해야 할 것이다. 본 연구결과 cell 층을 올리기 전에 SiO_2 코팅에서 인장이나 압축변형이 생기지 않게 하는 공정이 필요함을 알 수 있다.



(a) (b)

Fig. 7 The result of SiO_2 deposition on metal substrate in CVD
(a) 78%Ni alloy (b)52%Ni alloy

4. 결 론

전주법으로 제조된 Ni 계 합금의 열팽창 거동 연구를 바탕으로 유한요소해석법을 이용한 플렉서블 태양전지 기판재로서의 적합성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ni 계 합금의 기판재 적용을 위해서 열처리 공정을 통한 안정적인 고온열팽창 거동을 확보하였다.
2. CIS 및 Si 형 플렉서블 태양전지 기판재에 적합한 Ni 계 합금 조성군을 확인하였으며, CIS 태양전지에 적합한 Ni 계 합금은 Fe-48%Ni, Fe-52%Ni 이며, Si 플렉서블 태양전지에 적합한 기판재는 Fe-40%Ni, Fe-45%Ni 로 나타났다.
3. 유한요소해석을 사용하여 Ni 계 합금 기판재를 적용한 가상 CIS 태양전지를 설계하여 고온공정에서 상온으로 냉각시 가장 안정적인 열변형 특성을 보인 것은 두께 10 ㎛의 Fe-52%Ni 합금이었다.
4. Fe-78%Ni 기판재에는 CVD 법으로 SiO_2 코팅이 되지 않았다. 이는 상대적으로 열팽창 계수 차이가 커서 CVD 공정후 냉각시 열충격으로 인해 SiO_2 층이 박리되어 떨어져 나간 것으로 생각된다. 또한 CVD 법으로 SiO_2 를 코팅한 Fe-52%Ni에서 박리 현상이 나타나지 않았으나, 시편에 인장변형이 발생하였다. 이는 열팽창 계수가 낮은 cell 층을 증착한 경우와 같은 경향이다.
5. 최적의 플렉서블 태양전지를 제조하기 위해서는 금속기판재에 인장이나 압축변형이 일어나지 않는 $SSiO_2$ 코팅 공정이 필요하다.

후 기

본 연구는 신재생에너지 센터에서 지원한 신재생에너지기술개발사업 일환으로 수행되었습니다.

References

1) 임태홍, 이흥렬, 2000, "전착공정에 의한 나노결정질 Ni-Fe 합금의 특성 및 응용" 제3회 국방소재 학술대회 논문집 pp a277-a286
2) 임태홍, 이흥렬, 구승현, 허영두. 2006 “플렉서블 태양전지 적용을 위한 2원합금 포일의 열팽창 특성 연구”, 한국신·재생에너지학회 추계학술대회논문집 p556~559
3) 임태홍, 이흥렬, 구승현, 2007, “플렉서블 태양전지 기판재용 금속포일의 열팽창 특성 연구”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회논문집 p265
4) 김동원, 김홍재, 이낙규, 최태훈, 나경환, 권동일, 2003, “EPSI를 이용한 MEMS용 소재의 열팽창 계수 온도 의존성 평가”, 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 p1315
5) Karsten otte, Liudmila, Alexander Braun, Igor konovalov, 2006, "Flexible Cu(In, Ga)Se2 thin film solar cell for space application" thin solid films 511-512 p613~p622
6) John E. Hatch, 1984 "aluminum properties and physical metallurgy "ASM, Metals park, Ohio, p19
7) Jones, R., Johnson, T., Jordan, W., Wagner, S., Yang, J., Guha, S., 2002. Effects of mechanical strain on the performance of amorphous silicon triple-junction solar cell. In : Proc. 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, New Orleans, pp.1214-1217