

## 금속 연성기판재의 열팽창 특성이 Si 박막 층에 미치는 영향

\*이 민수<sup>1)</sup>, \*\*임 태홍<sup>2)</sup>

### The effects of thermal expansion properties of flexible metal substrates on the Si thin film

\*Minsu Lee, \*\*Tai Hong Yim

**Abstract** : 플렉서블 태양전지용 연성기판재에는 플라스틱재와 금속재가 있다. 기존의 연성기판인 플라스틱의 경우 열과, 내구성, 화학약품에 약하다는 단점이 있으며, 금속 기판은 높은 생산원가, 박판화의 어려움 등의 문제를 안고 있다. 일반적으로 기판재와 cell을 구성하는 반도체 층의 열팽창 거동 차이에 의한 열 변형이 태양전지의 공정안정성에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, cell을 구성하는 반도체 층과 열팽창 거동이 유사한 금속기판재의 적용이 필요하다. Si 박막 태양전지의 경우 Si 열팽창 거동과 비슷한 특성을 갖는 기판재의 개발이 필요하다. 전주법을 적용하여 조성이 다른 Ni계 합금의 열팽창 거동을 TMA 장비를 사용하여 측정하였다. 그리고 전산해석 Tool을 활용하여 가상의 Si 박막 태양전지 제조공정을 설정하고 고온 공정온도에서 상온으로 냉각시 발생하는 층간 열변형 연구를 수행하였고 열팽창 거동이 다른 합금 상에 Si층을 증착하여 열 충격에 의한 결함 발생여부를 관찰하였다.

**Key words** : Flexible substrate (연성기판), Alloy foil(합금포일), thermal expansion behavior (열팽창거동), Si thin film solar cell(Si 박막태양전지), FEM(유한요소해석)

#### subscript

FEM : Finite element methode  
SUS : Stainless steel  
CTE : Coefficient of thermal expansion

### 1. 서론

플렉서블 태양전지용 기판재는 기계적 강도가 우수해야 하며, 태양전지 제조 공정온도에서 적층되는 박막 cell 소재와 유사한 열팽창 거동을 가져야한다. 그러면 기판과 적층된 재료사이의 박리 현상으로 인한 효율저하를 저감할 수 있다.

현재 많이 응용되고 있는 플렉서블 태양전지용 기판으로 PI, PET와 같은 플라스틱 기판과 Ti, Mo, SS, kover 와 같은 금속 포일 기판이 적용되고 있다.

하지만 플라스틱 연성기판의 경우 열에 약하고, 높은 CTE를 가지며, 화학약품에 취약하며, 강도 및 산소와 습기에 취약한 단점을 가지고 있다. 그리고 금속기판의 경우 두께를 얇게 하기 위한 압연공정기술의 한계, CTE의 제어 불가능, 박판취급 곤란 등의 단점을 가지고 있다.

위에서 언급된 연성기판의 단점을 극복하기

위해서는 철-니켈계 합금이 적용되어야 한다. 특히 열팽창 계수가 낮은 Si 박막 태양전지의 경우 저열팽창 특성을 갖는 태양전지용 연성기판의 제조가 가능하기 때문이다.

본 연구에서는 전주법<sup>1)2)</sup>으로 제조된 Ni계 합금 금속기판재의 조성에 따른 열팽창 거동을 분석하였고, 전산예측 분석법을 적용하여 가상의 Si 박막 태양전지를 설계하여 열공정에 의한 열 변형을 예측하였다. 또한 실제 Ni계 합금 기판재에 Si 박막층을 증착하여 열팽창 거동의 불일치에 의한 결함을 관찰하고자 하였다.

### 2. 실험 및 해석조건

선행 연구를 통하여 플렉서블 태양전지용 금속기판재로 사용되는 상용 SUS와 전주법으로 제조된 Ni계 합금의 열팽창 거동을 측정하였다. 그리고 측정된 열팽창 계수를 적용하여 플렉서블 태양전지 제조를 위한 고온공정에 적합한 재료를 확인하고자하였다. 유한요소해석법을 사용하여

1) 한국생산기술연구원  
E-mail : lms0120@kitech.re.kr  
Tel : 032-850-0251 fax : 032-850-0450  
2) 한국생산기술연구원  
E-mail : thyim@kitech.re.kr  
Tel : 032-850-0233 fax : 032-850-0230

상용 SUS 및 Ni계 합금 기판재의 결과를 비교분석하여, 플렉서블 태양전지의 고온공정에 적합한 재료를 알아보려고 하였다.

즉, 본 연구에서는 전주법으로 제조된 Ni계 합금 중 Si 박막 태양전지 기판재로 최적인 합금 조성을 확인하기 위한 연구를 수행하고자 하였다.

전주법으로 제조된 다양한 조성의 Ni계 합금의 고온안정성을 얻기 위해 550 °C에서 30 분 열처리하여 열팽창 거동을 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 Fe-42%Ni 및 Fe-78%Ni 합금을 50 μm로 제조하여 550 °C에서 30 min 열처리를 수행하였고 TMA의 film/fiber type을 사용하여 열팽창 거동을 측정하였다.<sup>3)</sup>

합금의 열팽창 거동을 측정한 값과 가상의 Si 박막 태양전지 제조공정을 적용해 열변형량과 잔류응력을 유한요소법으로 계산하였다. 유한요소 해석을 위해서는 사용된 재료의 물리적 특성 값이 필요하다. 재료값들은 참고문헌<sup>4)5)6)</sup>에서 인용하였으며, 기판재료인 Ni계 합금의 열팽창 거동 및 일부 특성은 직접 측정하였다. 그리고 그 외의 필요한 값은 참고문헌에서 인용하였다. 그리고 해석을 수행하기 위해서 그림 1과 같은 형상으로 가상 Si 박막 태양전지를 모델링하였다.

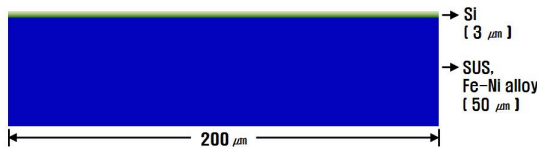


Fig. 1 The finite element model of Si thin film solar cell

형상의 길이는 200 μm로 한정하였으며, Si 박막층은 3 μm로 하였다. 경계조건은 기판의 한 점을 고정시켰으며, 계면과 계면은 치밀하게 접합되어 있고, 탄성영역 내에서만 변형이 발생하는 것으로 가정하였다. 그리고 Si 증착 온도인 350 °C에서 상온으로 cell을 냉각시켰을 때 변화를 해석하였다. 그리고 실제 합금 기판재에 Si을 증착하는 실험을 수행하여 비교분석하였다.

### 3. 실험 결과

두께 100 μm인 SUS foil은 현재 Si 박막 태양전지 기판재로 적용되고 있다. 이와 같이 Si 박막 태양전지 기판재로 사용될 수 있는 합금 기판의 열팽창 거동을 조사하였다.

그림 2는 두께 50 μm인 SUS의 열팽창 거동을 보여주고 있다. TMA로 측정된 SUS의 열팽창계수는 bulk 재의 열팽창 계수와 유사하나 상대적으로 낮은 값을 나타내고 있다.

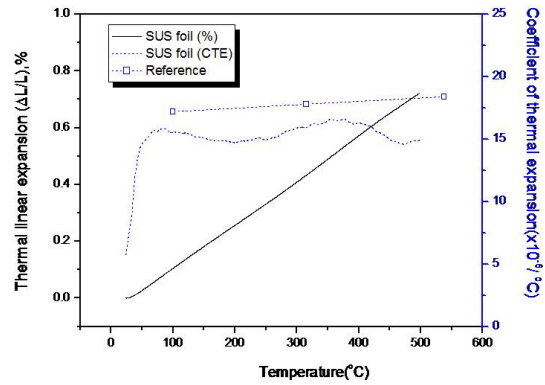


Fig. 2 Thermal expansion of SS foil CTE (RT~400°C): 15.63 x10-6/°C

그림 3은 전주성형법으로 제조한 열안정화 공정을 거친 두께 50 μm인 Fe-42%Ni 및 Fe-78%Ni 합금의 열팽창계수이다. Fe-42%Ni의 CTE에 비해 Fe-78%Ni 합금의 CTE가 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 400°C 이하의 온도에서는 Fe-78%Ni의 CTE가 SUS의 것과 비슷하다. 이 같은 열팽창거동을 갖는 SUS기판, Fe-42%Ni 합금기판, Fe-78%Ni 합금기판을 적용하여 해석을 수행하였다.

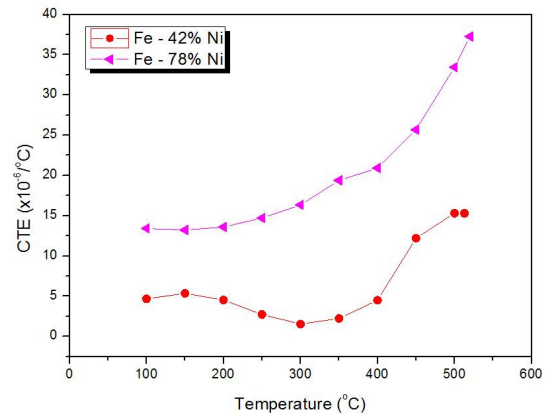


Fig. 3 Coefficient of Thermal Expansion of annealed Fe-Ni foils

SUS 기판 및 Fe-78%Ni 합금 기판의 CTE는 Si보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 기판과 Cell 층간의 CTE 차이로 인하여 Si 박막 층에 압축이 걸릴 것으로 예상되며 계산 값과 일치함을 표 1을 통해 알 수 있다.

그림 4는 350 °C에서 상온으로 냉각되었을 때의 변형을 보여주고 있다. 실제 값보다 약 10%로 Scale up 하여 나타내었다. CTE 차이에 의하여 굽힘 현상이 일어난다. 계산에 의하면 최대 변형량은 SUS의 경우 0.167 μm, Fe-42%Ni의 경우 0.027 μm로 나타났다. 전주법으로 제조된 합금이 350 °C의 Si 증착 공정에 의한 변형량이 적어 상대적으로 기판재로 유리함을 알 수 있다.

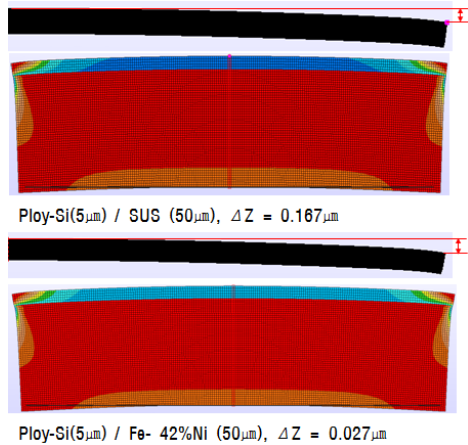


Fig. 4 Displacement magnitudes and residual stress of poly-Si layer on various metal substrates

표 1에 계산된 Si 박막층과 기판재 상의 절대값이 최대크기인 잔류응력을 나타내었다. SUS 기판 상의 Si 박막층의 최대 잔류응력 값이 크을 알 수 있다.

Table 1 Prediction of changes in substrates

Substrate	Stress of Si (MPa)	Stress of Substrate (MPa)	$\Delta Z(\mu\text{m})$
SUS foil	-382	168	0.167
Fe-42%Ni foil	-73.4	32	0.027

그림 5는 기판재상에 300 °C에서 Si 박막층을 올렸을 때 박막층의 박리현상을 보여준다. Fe-42%Ni 합금 기판상의 Si 박막층은 박리가 없으나 Fe-78%Ni 및 SUS 기판 상에 박리가 일어났다.

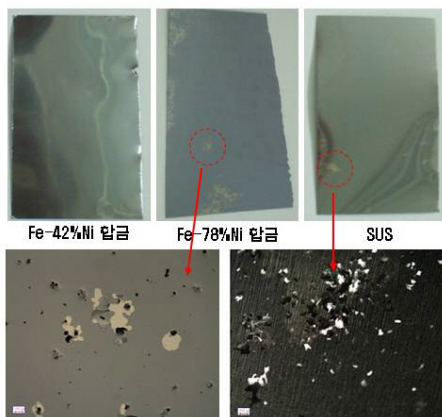


Fig. 5 Morphology of Si:H on Fe-78%Ni (L) and SUS (R) substrate after cooling

이것은 앞서 언급한 CTE 차이에 기인한 것으로 판단된다.

## 4. 결론

1. Fe-42%Ni 합금의 CTE가 Fe-78%Ni 합금 및 상용 SUS의 CTE보다 낮다.
2. Fe-42%Ni 기판재 상의 Si 박막층의 변형량이나 잔류응력 절대값이 SUS 기판 상의 Si 박막층의 것보다 작아 Si 박막 태양전지 기판재로 더 적합함을 알 수 있다.
3. 300 °C에서 Si 박막층을 증착하였을 때 CTE가 높은 SUS 및 Fe-78%Ni 합금을 기판으로 적용했을 경우 Si 박막층의 박리 현상이 관찰되었다. 이는 Si 증착온도에서 상온으로 냉각될 때 Si과 기판재의 CTE 차이에 의한 열충격 현상으로 판단된다.

## 후기

본 연구는 신재생에너지 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 임태홍, 이흥렬, 2000, "전착공정에 의한 나노 결정질 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", 한국신재생에너지학회 추계학술대회 논문집 p556~559
- [3] 임태홍, 이흥렬, 구승현, 2007, "플렉서블 태양전지 기판재용 금속포일의 열팽창 특성 연구", 한국신재생에너지학회 춘계학술대회 논문집 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