

# 전착법을 이용한 $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ 흡수층 형성방법

권용현 박사과정, 조형균 교수 (성균관대학교 신소재공학부)



## 1. 서론

친환경적인 태양에너지를 이용하는 태양전지는 환경문제의 원인인 화석연료를 대체하고 증가하는 에너지 수요에 대응 가능한 신 에너지원으로써 다양한 분야에 적용되고 있다. 하지만, 아직 풍력, 수력, 원자력 등의 다른 에너지원에 비해 판매단가가 높아 본격적인 시장을 형성하기 위해서는 에너지 변환효율을 향상시키고 생산단가를 낮추기 위한 노력이 필요하며, 추가적으로 태양전지만의 새로운 시장을 창출할 필요가 있다 [1].

태양전지에 사용되는 다양한 광흡수층 중 Chalcopyrite 구조의  $\text{CuInSe}_2$  (CIS)는 1.02 eV의 직접천이형 에너지 밴드갭을 가지고 있으며,  $\sim 10^5/\text{cm}$ 의 높은 광흡수 계수를 가지고 있어, 수 마이크로미터 두께의 얇은 박막에서도 높은 효율을 기대할 수 있는 물질이다. 특히,  $\text{CuGaSe}_2$ 의 경우 1.68 eV의 밴드갭을 가지고 있어 결정 구조 내의 In 중 일부를 Ga으로 치환하여  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  (CIGS)를 형성시킴으로써 밴드갭의 조절이 가능하다는 장점이 있다. 이론적으로는  $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ 의 비율이 0.6일 때 가장 높은 효율을 나타낸다고 알려져 있지만, 실험적으로는 0.3일 때 가장 높은 효율은 나타낸다고 보고되고 있다. CIGS의 최대 에너지 변환효율은 계산상으로 약 28%로, 이는 태

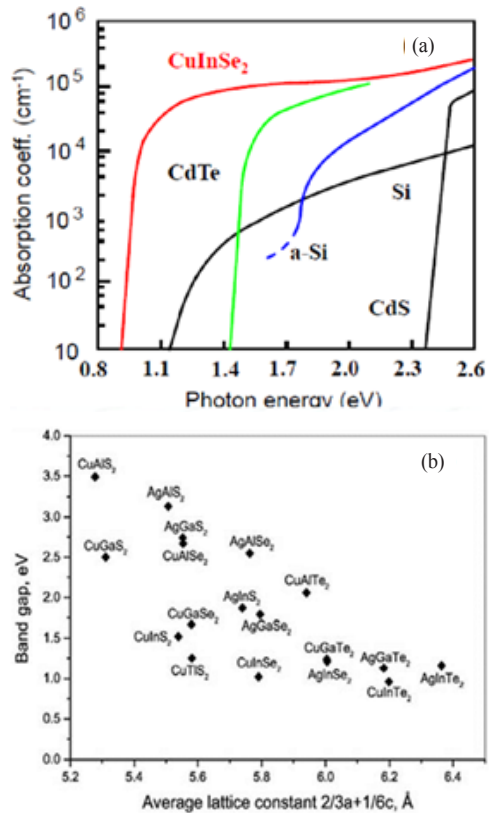


그림 1. (a) CIS 박막의 광흡수 특성 (출처 : 2011 한국박막태양전지 컨퍼런스), (b)  $\text{CuInSe}_2$ 와  $\text{CuGaSe}_2$ 의 밴드갭 및 격자상수 (출처 : SNE 리서치).

양전지 시장의 80% 이상을 차지하고 있는 벌크 실리콘 태양전지의 이론적 최대 효율에 근



그림 2. CIGS 태양전지의 다양한 활용 (a) Roof-top (출처 : SoloPower), (b) 휴대용 발전장치 (출처 : Global Solar).

접하는 수치이다 [2,3]. 즉, 더 적은 재료만을 가지고도 높은 효율을 기대할 수 있기 때문에, 기존 대비 적은 비용으로 비슷한 수준의 태양광 발전시설의 구축이 가능하다. 또한, 유연성 기판을 이용할 경우 플렉시블한 태양전지를 만들 수 있어 휴대용 발전장치 등과 같은 새로운 시장창출이 가능할 것으로 여겨지고 있다 [4].

현재 CIGS를 구현하기 위해 적용되고 있는 대표적인 공정방식으로는 진공방식인 동시증발법과 스퍼터링 방법이 있다. 동시증발법의 경우 Cu, In, Ga, Se의 증발을 독립적으로 제어하면서 기판에 증착시키는 방식이기 때문에, 조성의 제어가 용이해 고효율의 태양전지를 구현하는데 적합한 방식으로 알려져 있다. 독일의 ZSW와 미국의 NREL에서 발표

한 20% 이상의 효율을 갖는 CIGS 태양전지의 경우 모두 동시 증발법으로 제작되었다. 최근 스위스의 Empa에서는 Polyimide 기판 위에 20.4%의 에너지 변환효율을 갖는 태양전지를 만듦으로써 고효율 플렉시블 태양전지로서의 가능성을 보여주었다 [5,6]. 하지만, 동시증발법의 경우 대면적에서 고른 증착이 어려워 면적이 증가할수록 효율이 감소하는 특징이 있어 양산단계로의 적용은 아직 어려움이 있다. 또 다른 진공 증착방식인 스퍼터링 방식은 기판에 Cu, In, Ga, (Se)으로 구성된 전구체를 스퍼터링 방법으로 증착시킨 후, 이를 고온에서 열처리하여, CIGS 박막을 형성시키는 방식으로, 대면적 태양전지를 구현하는데 용이하기 때문에, NuvoSun, Honda Soltec, Midsummer, Miasole 등 산업체에서 많이 적용하고 있다. 특히, 일본의 솔라프론티어와 한국의 삼성SDI가 각각 1.23 m<sup>2</sup>, 1.44 m<sup>2</sup> 면적의 기판에 14.7%, 15.7%의 효율을 달성함으로써 거의 시장 진입이 가능한 수준까지 기술이 성장된 것으로 판단된다 [6,7]. 하지만, 이러한 진공방식의 경우, 실제로 사용되는 원자재의 활용률이 약 50% 수준에 그치고 있으며, 진공장비에 대한 초기 투자비용이 높아 태양전지의 추가적인 가격경쟁력을 확보하는데 제한적이다. 그래서 많은 연구기관에서는 초기투자비용을 감소시키고 원자재의 활용률을 높이기 위한 방법으로 비진공방식을 사용한 박막 증착 기술 확보하기 위해 노력하고 있다. 본고에서는 이러한 비진공방식 중 전착법을 이용한 CIGS 태양전지에 대해 소개하고자 한다 [7].

## 2. 전착법을 이용한 CIGS 박막 증착법

전착법 (Electrodeposition)은 금속이온을 포함하는 전해질 용액에 전도성 기판과 상대전극을 넣은 후, 양쪽에 전압을 인가해 박막

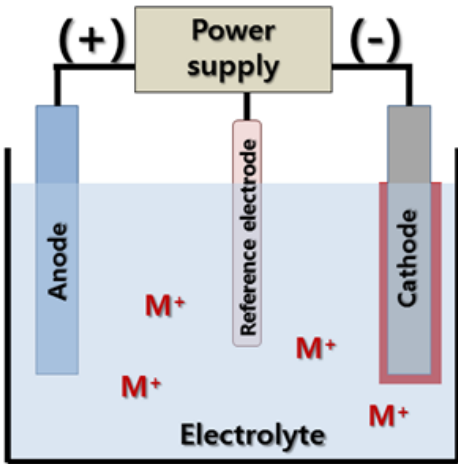


그림 3. 전착을 위한 3전극 시스템 개요도.

을 증착하는 방식으로, 전해질 용액내의 이온은 환원전위 이상의 전압이 인가될 경우 기판위에서 환원되게 된다. 전착법은 대부분 상온, 상압에서 진행되기 때문에 고진공을 요구하는 다른 반도체 장비들에 적은 투자비용으로 생산설비를 구축할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 전해질 용액을 충분히 채울 수 있는 액조가 있으면, 대면적 증착이 가능하기 때문에, 태양전지 산업과 같은 분야에서 효과적으로 적용될 수 있다. 또한, 원자재의 활용률을 90% 이상으로 향상시킬 수 있으며, Roll-2-Roll 공정이 가능하기 때문에 효율적인 생산이 가능해 저가의 태양전지를 구현하는데 적합하다 [4,7].

### 2.1 One-step 전착법을 이용한 CIGS 태양 전지

1983년 Bhattacharya가 처음으로 전착법을 이용하여 CIS 박막을 증착한 이래, 저가의 박막 태양전지 구현을 위해 다양한 연구가 진행되었다 [8]. 그 중 하나는 One-step 전착법으로 Cu, In, (Ga), Se을 포함하는 하나의 전해질 용액만을 사용하여 CIGS 전구체를 몰리브덴 기판 상에 한 번에 형성시키는 방식이다. 공정이 매우 단순하기 때문에

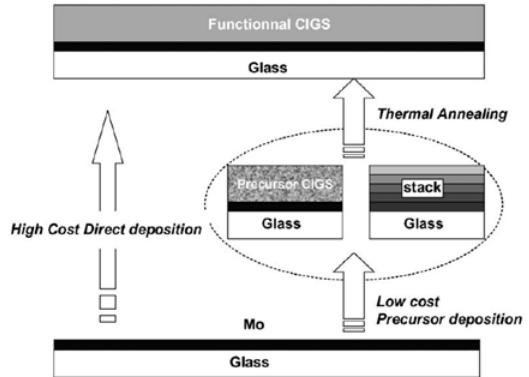


그림 4. CIGS 박막 태양전지를 위한 공정 개요도 (좌) 동시증발법, (우) 저가 공정법을 이용한 증착법 [9].

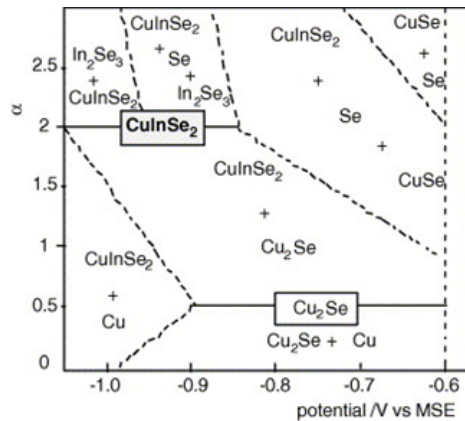


그림 5. 인가전압과 이온 flux 에 따른 박막의 조성 변화 [10].

표 1. Cu, In, Ga, Se의 기준 환원전위 [9].

Reaction		Potential
Before	After	E0 vs SHE (V)
Cu(III) + 2e	Cu	0.342
In(III) + 3e	In	-0.338
Ga(III) + 3e	Ga	-0.549
H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e	Se + 3H <sub>2</sub> O	0.74

NREL, IRDEP 등 많은 연구기관에서 이와 같은 방법을 이용한 연구를 많이 진행하고 있다 [9].

최초의 CIS 박막도 One-step 전착법을 사용하였으며, 이 실험에서는 pH 1에서 약



-700 mV (vs. SCE)를 인가한 후 이를 열처리하는 방식을 통해 밴드갭이 1.08 eV인 CIS 박막을 얻었다 [8]. 초기 연구단계에서는 Ga를 제외한 CIS 박막 증착에 관한 연구가 주로 이루어졌는데, 이는 Ga의 환원전위가 다른 이온의 환원전위에 비해 상대적으로 매우 낮아 동시에 증착하기 어렵기 때문이다. 이와 같이 One-step 전착법을 이용하여 CIS 박막을 증착할 경우, 각 이온의 환원전위는 매우 중요한 변수로 작용하며, 박막의 구성에 직접적인 영향을 미친다. Thouin과 Vedel의 연구에 의하면, One-step으로 증착할 경우, CIS 박막은 일반적으로 나노입자와 비정질이 혼합된 형태로 증착되며, 인가전압과 이온의 flux에 따라 그림 5와 같이 Cu, CuSe, Cu<sub>2</sub>Se, CIS, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Se이 혼재되어 있는 형태로 박막이 증착된다고 보고하였다 [10]. 그리고 안정적으로 CIS 박막을 증착하기 위해 Triethanolamine, Citric acid, tartaric acid, Potassium thiocyanate 등과 같은 첨가제 (Complex agent)를 이용하여 Cu의 환원전위를 낮추어 In과 유사하도록 유도함으로써 증착 시 균일한 조성을 갖는 박막이 증착되도록 하는 연구도 활발히 이루어지고 있다 [9].

One-step 전착법을 이용한 태양전지는 1988년 Mc Gill 대학의 Qiu와 NREL의 Pern 등에 의해 처음 소개되었으며, 효율은 각각 5.2%와 1.9%로 나타났다 [11]. 이후 프랑스의 Lincot 등이 셀렌화 공정 시 높은 Se overpressure를 이용하여 6.5%의 효율을 달성하였으며, 비슷한 시기에 Mc Gill 대학에서는 약 400°C, Ar 분위기에서 열처리한 박막을 이용해 7%의 효율을 달성하였다 [9,12]. 더 높은 효율을 갖는 박막 태양전지를 제작하기 위해서는 Ga이 포함된 CIGS 박막을 증착하기 위한 기술이 확보해야 하며, Ga/(Ga+In)의 조성비가 0.3이 될 수 있도록 증착조건을 최적화해야 한다. 하지만, 다양한 시도에도 불구하고 다른 이온과 환원전

위의 차이가 큰 Ga을 다른 이온과 동시에 증착시키는 것은 매우 어려운 기술로 여겨지고 있다. 또한, Ga의 환원전위가 수소의 환원전위에 가까워 Ga 증착 시 수소도 함께 환원될 가능성이 있다. 그렇기 때문에 One-step 전착법을 이용한 CIGS 박막 태양전지를 처음으로 구현한 것은 2000년에 이르러서이다. Kampmann 등의 연구진은 In과 Ga의 이온이 동일한 농도로 존재하는 용액을 이용하여 CIGS 전구체를 증착시켰으며, 이를 500°C의 Se 분위기에서 열처리함으로써 Ga/(Ga+In)의 조성비가 0.1에서 0.15 정도 되는 CIGS 박막을 얻었다. 그리고 이를 이용하여 4.8%의 효율을 갖는 태양전지를 제작하였다 [13]. 하지만, 이와 같은 방법은 Ga의 함량이 0.3 대비 낮아 적절한 조성을 확보하기 위한 추가적인 연구가 필요하다. NREL에서는 CIGS 박막의 증착을 위해 CuCl<sub>2</sub>, InCl<sub>3</sub>, GaCl<sub>3</sub>와 같은 염화물을 사용하였으며, 여기에 Sulphamic acid와 Potassium biphtalate를 포함하고 있는 Buffer를 첨가함으로써 Ga이 효과적으로 증착되도록 하였다. 하지만, Buffer를 이용하여 CIGS 박막을 증착할 경우, 일반적으로 Cu-rich한 박막이 증착되기 때문에, PVD방식을 이용해 추가로 약 200 nm의 In을 증착해 조성을 최적화할 필요가 있다. NREL에서는 이 방법으로 9.4%의 효율을 갖는 태양전지를 제작하였다. 이후 PVD 방식이 아닌 전착법을 가지고 Cu와 In을 추가로 증착해 조성을 최적화함으로써 10.9%의 효율을 갖는 박막 태양전지를 제작하였다. 프랑스의 Lincot 등은 CISEL (Copper Indium Selenide by ELectrodeposition) 프로젝트를 통해 밴드갭 1.47 eV를 가지며, 11.3%의 효율특성을 보이는 CIGS 셀 제작에 성공하였다 [9].

하지만, 많은 연구에도 불구하고 Ga의 환원전위는 여전히 문제로 남아있으며, 증착되는 박막 또한 수지상 (Dendritic) 형태를 나타내기 때문에, One-step 전착법을 이용



해 고품질의 CIGS 박막을 증착하기 위해서는 이와 같은 문제의 해결방법이 제시되어야 한다. 최근 IRDEP에서는 이를 극복하고 안정적으로 Ga를 첨가시키기 위해 기존에 사용되던 산성의 용액 대신 NaOH를 이용한 염기성의 용액을 사용해 Cu-In-Ga 산화물을 증착시킨 후 이를 수소분위기에서 열처리함으로써 Cu-In-Ga으로 환원시키는 방법을 사용하였다. 이와 같은 방법을 이용할 경우 염기성의 전해질 용액을 사용하면, 산소와의 반응성이 좋은 In과 Ga은 쉽게 산화물 형태로 증착되게 된다. 뿐만 아니라, 더 작은 인가전압만으로도 In과 Ga의 증착이 가능하기 때문에, 동시증착법을 이용한 박막의 조성제어가 용이하다. 산화물을 증착한 후 환원시켜 CIGS 박막을 얻는 방식은 용액 공정에서 많이 사용하는 방식으로, IRDEP에서는 본 연구를 통해 얻은 CIGS 박막을 이용해 12.4%의 태양전지를 제작할 수 있었다 [14].

### 2.2 적층형 구조를 이용한 CIGS 태양전지

전착법을 이용해 CIGS 박막 태양전지를 제작하는 또 다른 방법은 단일 금속층 혹은 이원계나 삼원계의 박막을 순차적으로 적층한 후 이를 열처리하여 CIGS 박막을 형성시키는 것으로, 이 방법을 사용할 경우, 박막의 조성은 각 원소가 포함된 박막의 두께를 다르게 함으로써 조절이 가능하다. 이러한 특징은 증착 조건에 따라 조성이 민감하게 영향을 받는 One-step 전착법과는 달리 상대적으로 쉽게 조성을 조절할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 용액 내에 존재하는 이온의 종류가 적어 증착 시 발생하는 전기화학적 반응을 분석하기 용이하기 때문에, 일관된 공정을 유지하기 쉽다.

적층구조의 경우에도 Ga은 낮은 환원전위로 인해 제한적인 연구만이 진행되었으며, 대부분 Cu와 In를 이용한 연구가 우선적으로 이루어졌다. 그 중, 가장 간단하면서 오랫동안

표 2. 적층 구조에 따른 태양전지의 특성 비교 [15,16].

Factor	Kapur et. al	Bhattacharya
Structure	Cu/In	Cu/In/Ga
Voc	408 mV	480 mV
Jsc	26.76 mA/cm <sup>2</sup>	37.5 mA/cm <sup>2</sup>
FF	0.665	0.66
Efficiency	7.3 %	11.7 %
Cu/In	0.95	0.63 ~ 0.72

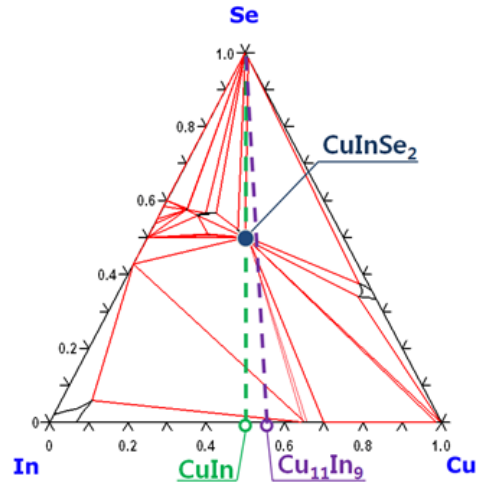


그림 6. Cu-In-Se 상태도.

안 사용된 방식은 Cu와 In을 순차적으로 증착한 후 셀렌화 공정을 거치는 방법이다. 이러한 방식의 경우, 우선적으로 증착된 박막이 용액 내로 재용해되는 현상을 최소화하기 위해 일반적으로 환원준위의 순서에 따라 Cu, In, (Ga) 순으로 증착한다. 한 번에 하나의 금속 박막을 적층하기 때문에, 비교적 단순하게 증착이 가능하다. 1987년 Kapur 등이 200 nm의 Cu와 440 nm의 In을 몰리브덴 기판위에 순차적으로 적층한 후 이를 H<sub>2</sub>Se 가스 분위기에서 열처리해 7.3%의 효율을 갖는 태양전지를 제작한 것이 가장 대표적인 연구결과이며, 최근 NREL의 Bhattacharya가 0.5 M의 GaCl<sub>3</sub> 용액을 이용해 Cu/In/Ga

구조를 증착한 후, 이를 셀렌화 공정을 거쳐, 11.7%의 효율을 갖는 CIGS박막 태양전지를 제작하였다 [15,16].

적층형 구조를 사용할 경우, 이전에 증착되어 있던 물질이 이후에 증착되는 물질의 환원에 영향을 미칠 수 있다. Nexcis와 IBM의 공동 연구에 따르면, Cu 위에 In이 증착될 때, 초기에는 박막형태로 성장되다가 이후 Island 형태를 갖는 전형적인 Stranski-Krastanov 성장형태를 따른다. 즉, In의 증착 시 초기에는 Cu와 In의 상호확산에 의해 Cu-In의 합금 형태의 박막이 성장되고, 이후 증착이 진행됨에 따라 길어지는 Cu의 확산거리로 인해 표면이 점차 Cu-poor 해지면, 그 이후부터 In이 Island 형태로 뭉쳐서 증착되는 것이다. 그렇기 때문에 In을 증착할 때는 Cu와의 확산을 고려해 성장속도 등과 같은 변수를 제어할 필요가 있다 [17]. Cu/In 구조 증착 시 발생하는 Cu-In 박막의 조성은  $CuIn$  혹은  $CuIn_2$ 로 알려져 있는데 이상들은  $Cu_{11}In_9$  상으로 쉽게 바뀔 수 있기 때문에, 원하는 조성을 갖는 박막을 얻기 위해서는 그림 7에서 보듯이 2차상들이 부득이하게 발생될 수 있다. 이렇게 발생된 원치 않는 상들은 박막 내에 존재하게 됨으로써 효율을 감소시키는 원인으로 작용한다 [1,9].

적층형 구조는 단일 금속뿐만 아니라 이원계 물질의 증착도 가능하기 때문에, 이를 활용하여 다양한 형태의 적층 구조를 만들 수 있다. Herrero와 Prosini 등은 Cu-In의 이원계를 증착하는 방법에 관한 연구를 진행하였는데, 그 결과, 증착된 박막 내에 존재하는 Cu와 In의 조성비가 용액 내의 Cu와 In의 몰농도의 비와 선형적으로 비례한다는 것을 확인하였다. 즉, 이와 같이 몰농도의 조절을 통해 박막내의 Cu/In 조성비를 쉽게 조절할 수 있다 [9]. 또 다른 이원계 물질로는  $In_2Se_3$ 와  $Cu_xSe$ 가 있다. Kroger 메커니즘에 의하면, 용액 내에 존재하는 이온들이 화합물을 형성하기 쉬운 경우, 단일 물질보다 더

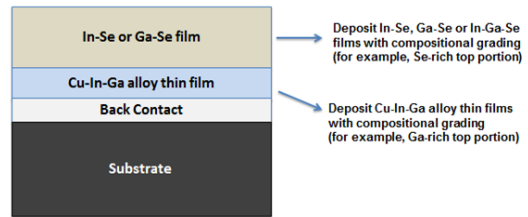


그림 7. 3원계 박막을 이용한 적층구조 [20].

작은 인가전압에서 화합물 형태로 증착이 가능하다. 예를 들어, In은 환원전위가  $-0.338$  V (vs SHE)이지만,  $In_2Se_3$  형태로 증착될 경우, 약  $0.35$  V (vs. SHE)의 낮은 인가전압으로 증착이 진행된다는 의미이다 [9]. 특히, 일정한 조성을 갖는 화합물 형태로 증착되기 때문에 증착량의 조절을 통해 원하는 조성의 박막을 구현할 수 있다. 하지만, Aksu의 연구결과에 의하면, Ga-Se의 증착은  $In_2Se_3$ 에 비해 더 큰 인가전압을 가해주어야 하며, pH가 증가할수록 Ga의 조성비가 증가하는 특징이 있다. 특히, pH가 7~8.5일 때, 적정 조성을 갖는 Ga-Se 화합물을 증착할 수 있다 [18]. Malaquias 등은 이전의 방식들과는 달리 Deep eutectic solvent (Chloride:Urea = 1:2)를 용매로 사용하는 방법을 통해 In-Ga를 증착하였다. 즉, 수소의 환원이 발생되지 않는 Ionic solution을 이용하였으며, 이를 통해 최대 7.9%의 효율을 갖는 태양전지를 제작하였다 [19]. 하지만 이와 같은 방법은 대기 중의 수분과 산소를 1 ppm 이내로 유지한 상태에서만 가능하다는 단점이 있다. 위와 같이 다양한 이원계 물질과 금속 박막은 다양한 순서로 적층이 가능하기 때문에, 최적화된 CIGS 박막을 구현하기 위한 다양한 시도가 가능하다.

3원계를 이용한 적층형 구조에 관한 연구는 SoloPower에서 주로 진행되고 있으며, 그림 8과 같이 3원계 박막 위에 2원계 물질을 추가로 증착하는 방식을 사용한다. SoloPower에서는 이와 같은 방식을 이용해서 14.2%의 셀효율과, 13%의 모듈효율을 달



성하였다. 여기에서 Ga과 In의 경우 환원전위가 용액의 pH에 따라 변하는 반면, Se의 경우 영향이 없기 때문에, pH 조절을 통해 2원계인 In-Se, Ga-Se 박막의 조성이 가능하다고 한다 [20].

### 3. 국내 · 외 동향

태양광 산업은 다양한 정부지원정책으로 시장이 급격히 성장되어 왔으나 2009년 이후 3~4년간 세계적인 경기 침체 속에 이러한 정부지원 정책이 중단되면서 시장이 급격히 위축되는 큰 변화를 겪었다. 더군다나 호황 속에서 무리한 투자를 감행해 온 중국 태양광 업체들로 인해 공급이 과잉되는 현상이 발생하면서 태양전지 가격이 급격히 하락하였다. 결국, 지속적인 적자를 감당하지 못한 태양전지 업체들이 도산하거나 인수, 합병되었으며, 현재까지도 태양전지 시장의 구조조정이 계속 진행되고 있다. 하지만, 최근 과잉공급으로 야기됐던 약성재고가 일부 해소됨에 따라 태양광 관련 제품의 가격이 2013년부터 일부 반등하는 양상을 나타내기 시작했다. 이와 함께 태양광 사업에 대한 기대가 다시 한 번 증가하고 있으며, 조만간 태양광 사업이 다시 도약할 것이라는 밝은 전망이 조금씩 나타나고 있다. 이러한 시장상황 속에서 향후 증가될 시장 수요를 대비하고 시장 경쟁력을 확보하기 위해서는 저가격 고효율 태양전지 기술을 확보하는 것이 당연한 과제이다. 전착법을 이용한 CIGS 태양전지 기술은 진공방식을 이용한 기술과 더불어 이러한 시장을 확보하는데 큰 기여를 할 수 있는 기술로, 1983년, Bhattacharya가 전착법을 이용하여 CIS 박막을 증착시킨 이후, 현재까지 미국의 NREL, 프랑스의 IRDEP 등의 기관이 주도가 되어 활발한 연구를 진행하고 있다. 특히, 프랑스의 Nexcis는 12.2%의 효율을 갖는 모듈을 제작하는데 성공하였으

며, SoloPower의 경우 플렉시블한 Stainless Steel 기판을 이용해 13.4%의 효율을 갖는 모듈을 발표하는 등 많은 기술적 성과를 이룩하였다. 아직까지는 CIGS 박막 태양전지가 실리콘 태양전지 대비 시장 경쟁력이 낮아 결정질 실리콘 태양전지의 시장 점유율은 크게 변동이 없을 것으로 여겨지고 있지만, CIGS박막 태양전지는 큰 규모의 발전용 외에 Roof-top이나 광고판, 휴대형 전원공급장치 등 박막 태양전지 특성에 맞는 새로운 시장을 창출할 수 있기 때문에, 시장성을 가지고 있다고 할 수 있다. 그리고 이러한 시장상황 속에서 지속적인 효율 개선을 할 수 있다면, 향후 발전용으로의 경쟁력도 확보할 수 있을 것이다.

현재 국내에서는 동시증발법이나 스퍼터링 방식을 이용한 연구는 활발히 진행되고 있는데 비해 전착법을 이용한 CIGS 태양전지에 관한 연구 및 상용화에 관한 노력은 매우 제한적이다. 하지만, 최근 미국의 SoloPower가 국내의 CTI와 손잡고 광주에 연산 155 메가와트 규모의 CIGS 모듈 생산 공장을 우선적으로 건립하여 내년 4월부터 생산에 돌입하며, 지속적인 투자와 함께 향후 5년간 1기가 와트를 국내에서 생산한다고 발표하였다.

### 4. 결론

본고에서는 전착법을 이용해 저가의 CIGS 박막 태양전지를 구현하기 위한 연구들에 대해 살펴보았다. CIGS 박막 태양전지의 경우 준상용화 단계에 이르렀으며, 다른 태양전지에 비해 충분한 경쟁력을 확보하기 위해서는 보다 생산단가를 낮출 필요가 있다. 비진공방식인 전착법은 진공방식을 이용한 기술과 더불어 향후 CIGS 박막 태양전지의 시장을 선도하기 위한 방안이 될 수 있을 것이다.



### 참고 문헌

[1] 박래만, “CIGS 박막태양전지 기술 동향”, 전기전자재료 제24권 제3호, pp.21-27, 2011.

[2] W.N. Shafarman, L. Stolt, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition", John Wiley and Sons, Ltd., Chapter 13, 2003.

[3] V.S. Saji, I.H. Choi, C.W. Lee, Solar Energy 85, pp.2666-2678, 2011.

[4] “CIGS 박막 태양전지 기술동향 및 시장전망 (2006 ~ 2015)”, SNE 리서치, 2011.

[5] P. Jackson, D. Hariskos, E. Lotter, S. Paetel, R. Wuerz, R. Menner, et al., Progress in Photovoltaics : Research and Applications 19, pp.894-897, 2011.

[6] P. Reinhard, S. Buecheler, A.N. Tiwari, Solar Energy Mater. Solar Cells 119, pp. 287-290, 2013.

[7] I. M. Dharmadasa, J. Haigh, J. Electrochem. Soc., 153(1), pp. G47-G52, 2006.

[8] R.N. Bhattacharya, J. Electrochem. Soc., 130, pp. 2040-2042, 1983.

[9] D. Lincot, J.F. Guillemoles, S. Taunier, D. Guimard, J. Scix-Kurdi, A. Chaumont, O. Roussel, O. Ramdani, C. Hubert, J.P. Fauvarque, N. Bodereau, L. Parissi, P. Panheleux, P. Fanouillere, N. Naghavi, P.P. Grand, M. Benfarah, P. Mogensen, O. Kerrec, Solar Energy, 77, pp. 725-737, 2004.

[10] J. Vedel, L. Thouin, D. Lincot, J. Electrochem. Soc. 143, 2173-2180, 1996.

[11] C.X. Qiu, I. Shih, I. Proceedings of the Eighth European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 1051-1055. 1988.

[12] S.N. Qiu, L. Li, C.X. Qiu, I. Shih, C.H. Champness, Solar Energy Mater. Solar Cells 37, pp. 389-393, 1995.

[13] A. Kampmann, V. Sittinger, J. Rechid, R. Reineke-Koch, Thin Solid Films 361, pp. 309-313, 2000.

[14] A. Duchatelet, T. Sidali, N. Loones, G. Savidand, E. Chassaing, D. Lincot, Solar Energy Mater. Solar Cells, 119, pp. 241-245, 2013.

[15] V.J. Kapur, B.M. Basol, E.S. Tseng, Proceedings Seventh International Conf.

Ternary and Multinary Compounds, pp. 219-224, 1987.

[16] R.N. Bhattacharya, Solar Energy Mater. Solar Cells 113, (2013) pp. 96-99, 2013.

[17] Q. Huang, K. Reuter, S. Ahmed, L. Deligianni, L. T. Romankiw, S. Jaime, P.-P. Grand, V. Charrier, J. Electrochem. Soc., 158 (2), pp. D57-D61, 2011

[18] S. A k s u, J. Wa n g, B. M. B a s o l, Electrochem. Solid. St., 12(5), D33-D35, 2009.

[19] J. C. Malaquias, D. Regesch, P. J. Dale, m. Steichen, Phys. Chem. Chem. Phys., DOI : 10.1039/c3cp54509a, Accepted.

[20] S. A k s u, S. P e t h e e, A. K l e i m a n - Shwarsstein, S. Kundu and M. Pinarbasi, 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), pp. 003092-003097, 2012.

### 저자약력



성명 : 권용현  
 ◆ 학력  
 • 2009년  
 성균관대학교 공과대학  
 신소재공학부 공학사  
 • 2012년  
 성균관대학교 대학원  
 신소재공학과 공학석사  
 • 현재  
 성균관대학교 대학원  
 신소재공학과 박사과정



성명 : 조형균  
 ◆ 학력  
 • 1996년  
 성균관대학교 공과대학  
 재료공학과 공학사  
 • 1998년  
 KAIST 재료공학과 공학석사  
 • 2002년  
 KAIST 재료공학과 공학박사

◆ 경력  
 • 2002년 - 2005년 동아대학교  
 재료금속화학공학부 교수  
 • 2005년 - 현재 성균관대학교 신소재공학부 교수