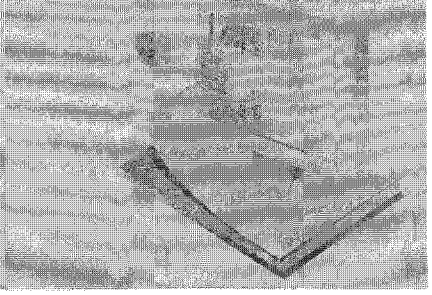
Special Thema

CIGS 박막태양전지 기술 동향



박래만 선임연구원 (한국전자통신연구원 융합부품소재연구부문)

1. 서 론

최근 들어 다시 고유가 행진이 이어지고 있고 화석연료 고갈에 대한 유려 때문에 대체에너지 자원발굴에 대한 필요성이 높아지고 있다. 아울러 지구 온난화를 방지하기 위한 기후조약 발효로 우리나라도 2년 뒤인 2013년부터 포스트 교토의정서 국제협약에 기준한 대기오염 해소 및 이산화탄소 가스 감축 등의 대응을 위한 정부차원의 방안마련이 시급히 요구되고 있다. 이러한 요구들로 인하여 신재생 에너지연구개발에 많은 투자가 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지 가운데서도 태양 에너지는 지구상에서 가장 풍부하고 공해가 전혀 발생하지 않는 청정한 에너지원으로서 지구상에 공급되는 총 태양광 에너지는 약 12만 테라와트 (120,000 TW)에 달한다. 이는 지구상의 인류가 사용하는 총 에너지의 10,000배에 해당되는 분량이며, 이 태양광 에너지를 활용하는 기술을 개발하는 것은 지구상의 모든 국가가 당면한 에너지 및 환경문제를 해결하는 유력한 방안이 될 것이다. 태양전지는 반도체 다이오드에 빛을 쪼이면 전자가 생성되는 광기전효과 (Photovoltaic effect)를 이용하여 태양광을 직접 전기로 변환하는 반도체 소자이다. 10%의 에너지 전환효율을 갖는 태양전지는 10 mW/cm^{2}의 전기에너지를 생성할 수 있다는 것을 의미한다. 태양전지는 주차장이나 건물 지붕에 설치된 소규모 분산 발전용으로부터 산업 발전용으로 넓은 개활지에 태양전지를 설치하여 수백 MW까지 태양광을 이용한 발전소에 활용되고 있으며 최근 휴대용 IT기기의 발달과 더불어 단순한 계산기용 전원을 벗어나 고출력 휴대형 태양광 충전기에도 사용되고 있다. 특히 건축물에 부착 설치되는 형태의 태양전지는 단순한 패널 형태 외에도 건축물과 일체화된 외장재 (창문, 외벽 또는 지붕 형태) 형태로 제작되는 경우도 있는데 이를 건물일체형 태양전지 (BIPV)라 한다. BIPV 태양전지 시장은 2015년에 전체 태양전지 시장의 약 30%까지 점유율이 증가할 것이라는 매우 긍정적인 예측도 있다. 태양전지 기술의 발전은 대면적화, 저가화, 고효율화를 지향하고 있으며, 현재 1세대인 결정형 Si (실리콘) 태양전지는 높은 효율과 안정된 성능을 바탕으로 태양광발전 시장의 80%에 가까운 점유율 보이고 있다. 그러나 복잡한 가치사슬과 수급 불균형에 의한 고비용 요소 때문에 점차 점유율이 낮아질 것으로 예상된다. 반면, 차세대 태양광발전 기술인 박막형 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계로서 후발 주자인 우리나라도 경쟁력이 높은 분야라 할 수 있다. 박막태양전지는 결정형 실리콘 태양전지에 비해 에너지 회수기간이 절반 정도로 짧고, 소재 비용을 약 1/100로 줄일 수 있으며, 손쉽게 대면적화 할 수 있기 때문에 제조비용의 혁신적인 절감이 가능하고 제작방식이 디스플레이 공정과 유사하기 때문에 우리나라가 이미 보유한 세계 최고 수준의 반도체/디스플레이 기술을 활용하면 차세대 박막형 태양전지의 기술 및 시장 경쟁력을 조기에 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 태양전지는 전기에

너지 생산에 특화된 대형 반도체로서 반도체 관련 기술은 태양광 산업에도 적용이 가능하여 반도체 기업들의 새로운 사업 영역으로 기존 기술의 활용이 가능한 박막형 태양전지 분야가 급부상하고 있다. 이미 미국의 실리콘 밸리는 솔라 밸리로 빠르게 변신하고 있고 우리나라는 세계 최고의 반도체 및 디스플레이 기술을 보유하고 있는 만큼 이 기술 인프라를 태양광발전에 전환하여 활용한다면 단시일 내에 세계적인 기술 수준에 도달할 수 있으리라 기대된다. 본 기고에서는 차세대 박막형 태양광발전 기술의 핵심이 될 것으로 알려진 $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$(CIGS) 박막태양전지 기술개발 이슈와 산업의 동향을 소개하고자 한다.

2. CIGS 박막태양전지 기술현황

CIGS 박막태양전지 기술 분야는 기존의 반도체/디스플레이 제조사인 대기업뿐만이 아니라 반도체 진공공정에 대해 경험이 거의 없는 회사나 새로운 대형 반도체 관련 제조장비를 개발하고 싶은 중소기업에서도 개발 및 사업화가 가능한 분야라고 할 수 있다. 그 이유는 CIGS 박막태양전지의 핵심기술인 CIGS 박막제조공정이 매우 다양하게 개발되고 있기 때문이다. 다만, 대기업은 자본력을 바탕으로 시장의 성장규모를 판단하여 사업화를 시작할 수 있지만 그렇지 못한 기업은 빠른 판단력이 요구되고 있다. 현재까지 대부분의 태양전지 시장은 정부가 주도하여 이끌어갔다고 해도 과언이 아니다. 그 이유는 아직까지 태양전지를 이용한 발전비용이 수력이나 원자력을 이용한 발전비용에 비해 비싸기 때문이다. 따라서 정부가 금전적 혜택을 주지 않으면 비싼 태양전지로 생산된 전기를 사용할 사람이 아무도 없을 것이다.

(예)	a-Si	CIGS	CdTe	c-Si
Example				
Module efficiency (%)	5~8	10~13	7~10	13~18
Capital cost ($/W)	2.2	1.43	1.84	0.35
Manufacturing cost ($/W)	1.0~1.5	1.0~1.5	<1.0 (margin ~ 20%)	1.5~2.0
Market share (%)	~8	~3	13	70~

그림 1. 박막태양전지별 특징 비교.

이렇게 비싼 발전단가를 낮추고자 연구/개발되고 있는 박막태양전지는 그 시장점유율이 높아질수록 정부주도형 시장에서 소비자 중심의 시장으로 변해갈 것으로 예상된다. 박막태양전지는 크게 3가지 기술로 분류할 수 있는데 사용되는 광흡수층의 재료에 따라 분류된다. 이 중에서 CIGS 태양전지는 Cu, In, Ga, Se의 4원소로 이루어진 화합물 반도체를 광흡수층으로 사용한다. 현재 시장점유율은 박막태양전지 중에서 가장 낮지만 높은 에너지 전환효율과 박막 실리콘 태양전지에 비해 낮은 제조비용에 대한 기대감으로 잠재 성장률이 매우 높다고 할 수 있다. 2009년 Gartner에서 보고한 자료에 의하면 CIGS 박막태양전지 기술은 많은 사람들의 관심이 집중되었던 시기를 벗어나고 있지만 당면한 문제들을 해결한다면 향후 2~5년 내에 시장의 주류로 진입할 가능성이 매우 높은 분야로 분류하였다.

CIGS 박막태양전지 기술은 주로 광흡수층인 CIGS 박막을 어떻게 제조하느냐에 따라 크게 진공방식과 비진공방식으로 나눌 수 있으며 여기에서는 주로 진공방식에 대해 기술하고자 한다. 진공방식에는 동시증발법 (Co-evaporation)과 스퍼터법이 있다. 동시증발법은 4개의 금속원소를 동시에 증발시켜 증착하는 방법으로 현재 20.3%라는 가장 높은 효율을 보고하고 있다. 그러나 대면적 양산을 위한 선형 증발원 (Linear source)의 개발이 어려워 저가화에 어려움을 겪고 있다. 한 외국 업체의 경우 폭이 1 m에 근접한 선형증발원을 개발한 것으로 알려져 있으나 검증이 필요한 단계이다. 대면적 선형 증발원을 개발하기가 어려운 이유는 Cu, In 등을 매우 높은 온도(1,300도 이상)에서 증발시켜야 하고 금속 원료를 증발원에 재충전할 경우에는 공정을 멈추고 작업을 해야 하기 때문에 제조비용이 증가하는 어려움이

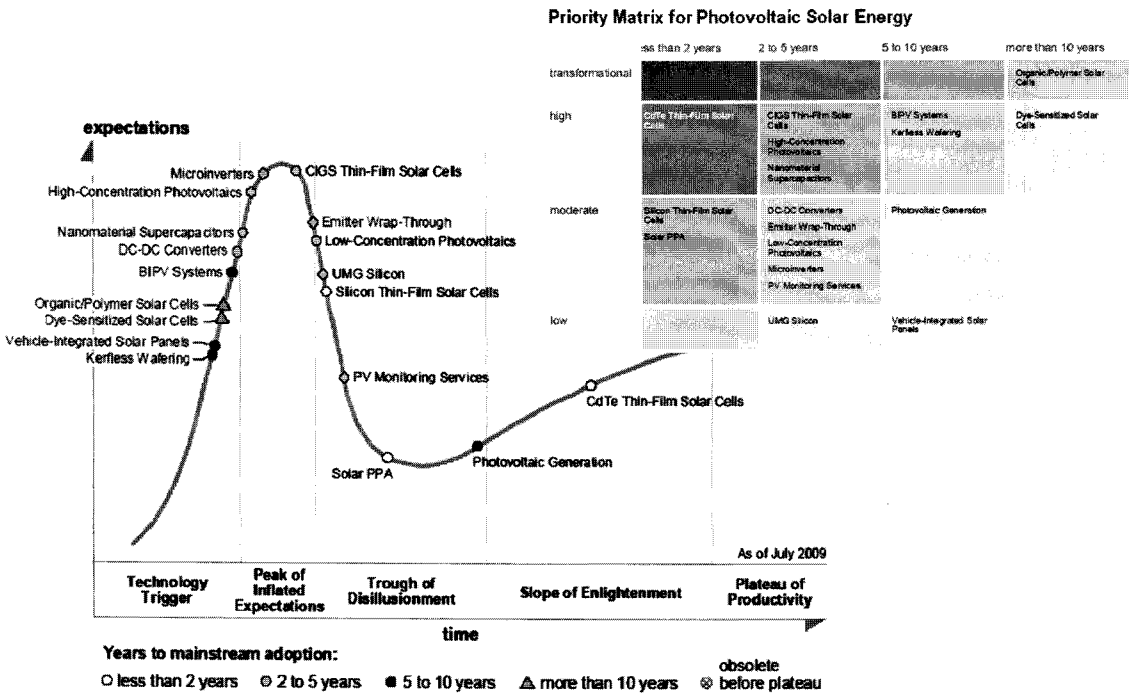


그림 2. 태양전지 기술별 시장진입 수준 [1].

있기 때문이다. 스퍼터법의 경우에는 이미 대면적 증착기술로서 검증된 방법이기는 하지만 소면적 셀 효율이 15% 정도로 동시증발법에 비해 낮은 상황이다. 스퍼터법은 금속 타깃을 스퍼터링한 후 열처리하는 2단계 과정을 거치기 때문에 원하는 CIGS 화합물을 제조하기가 쉽지 않다. 그림 3에서처럼 동시증발법의 경우 In_2Se_3와 Cu2Se 상 (Phase)을 제조하고 이 두 상을 결합하여 원하는 CIGS 결정상을 만드는 3단계 공정방법이 효과적이다. 그러나, 스퍼터법은 금속 타깃을 증착한 후 Se 분위기에서 열처리하여 CIGS 결정상을 제조하기 때문에 금속 전구체가 Cu_9In_{11}의 상을 가져야 한다. 그러나 이 상은 화합물상 (Compound phase)이 아니기 때문에 열적으로 안정하지가 못하다. 즉, 열이 가해지면 곧바로 주변의 안정한 결정상 (Crystal phase)으로 변하게 되는데 가장 가까운 결정상이 $Cu_{11}In_9$이다. 그런데, 이 $Cu_{11}In_9$ 결정상은 그림 3을 보면 Se 분위기의 열처리를 통해서는 직접 원하는 CIGS 상으로 갈 수 없다. 따라서 원하는 CIGS 상을 얻기 위해서는 중간에 2차

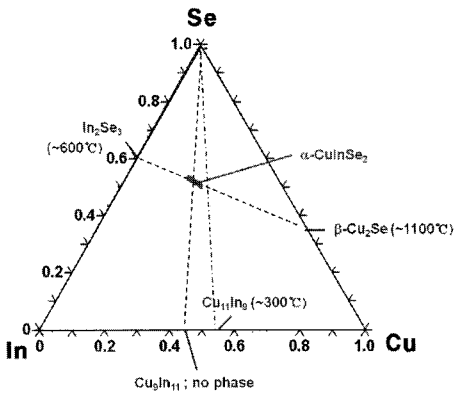


그림 3. Cu-In-Se 상태도.

상 (Second phase)을 거쳐야 하고 이 과정에서 원하지 않는 결정성 (Crystalinity)이나 결정상 (Crystal phase)을 가지게 되어 결국 효율을 감소시키는 원인이 된다. 이것은 Se을 금속 전구체 위에 증착한 후 질소 분위기에서 열처리하는 경우에도 유사하다.

CIGS 태양전지 요소기술들을 소자구조와 비교하여 정리하면 그림 4와 같다. 이 그림에서 보면 각

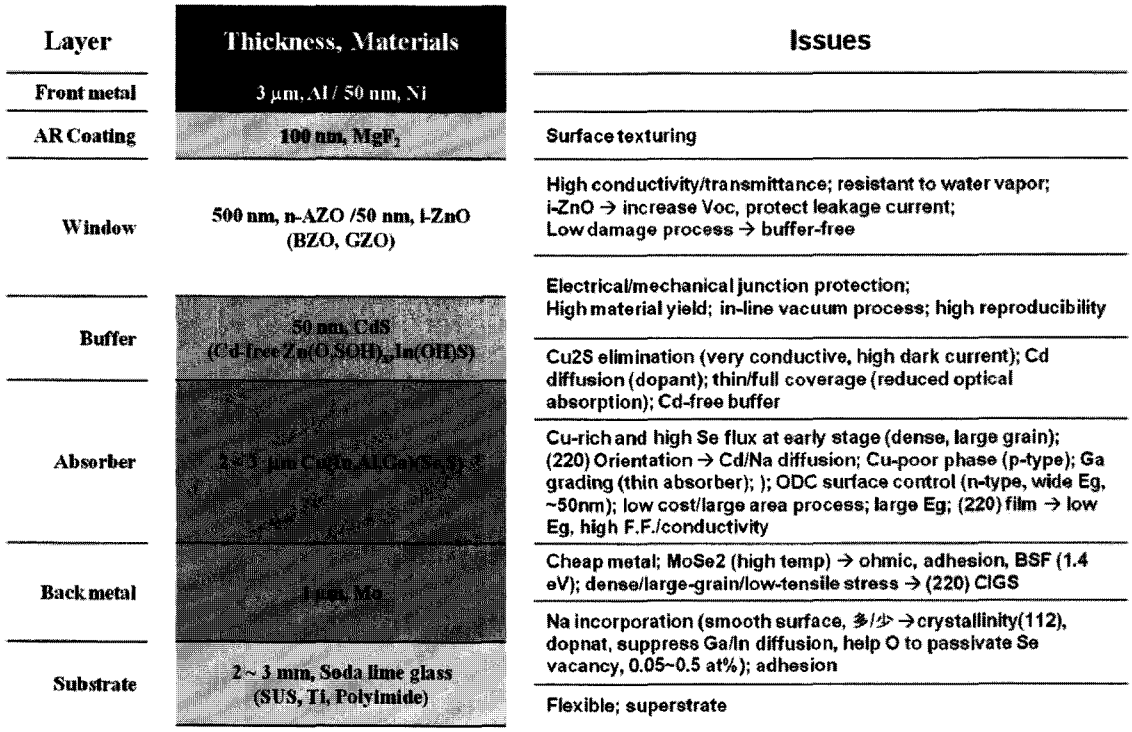


그림 4. CIGS 구조에 따른 각 단위층별 요소기술.

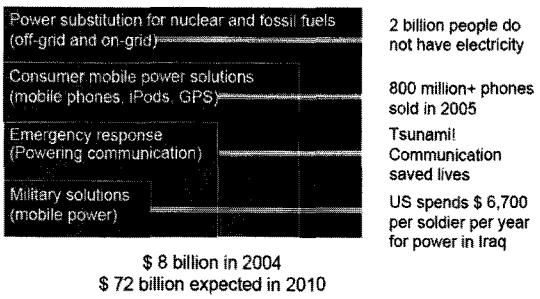


그림 5. 유연태양전지 시장전망 [2].

단위 층들의 특성도 중요하지만 계면에서도 다양한 특성들이 요구되고 있다. 하부전극인 Mo층은 기판과의 접착성뿐만 아니라 CIGS층과의 접착성도 우수해야 하며 $MoSe_2$의 중간층이 후면 표면장 (Back Surface Field, BSF)을 형성하여 효율을 향상시키기 때문에 $MoSe_2$ 중간층을 CIGS 박막 하부에 형성키고 상부에는 Cu 결함에 의한 Ordered defect compound (ODC)를 형성시켜 광전하들을 효과적으로 외부로 유출시키는 방법들이 필요하다. 그러나 고온 공정의 경우 대부분 쉽게 제작이 가능하지만 공정온도를 낮출수록 제작방법이 중요해진다. 버퍼층인 CdS 박막의 경우 Cd의 독성 때문에 대체 물질을 찾는 연구가 진행 중이지만 더 효과적인 물질을 아직 개발하지 못했으며 습식공정에 의해 제작되는 버퍼층 공정을 건식공정으로 개발하여 전(全) 공정을 진공 공정화하려는 노력도 진행 중이지만 습식공정과 비슷한 수준의 결과를 얻기가 어려운 실정이다.

상부 투명전극인 윈도우층도 현재는 산소/질소 혼합가스 분위기를 이용하는 스퍼터법에 의해 제조되는데 분위기 가스에서 산소를 제거하고도 좋은 전기적 특성을 얻을 수 있다면 버퍼층이나 i-ZnO층을 제거한 구조를 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 기판의 경우는 CIGS 박막성장 시 Na의 적절한 도움을 얻고자 소다회 유리 (Sodalime glass)를 주로 사용하지만 최근에는 유연기판에 대한 연구가 매우 활발하

출원자	년도	내용	비고
Matsushita	JP(2003)	Cu-Ga-O, Cu-In-O 타겟	원재료
KIER	KR(2007)	5% Na doped Mo 사용	원재료
한국광기술원	KR(공개)	Se 이원화합물 (S 첨가된 화합물)	원재료
Miasole	US(공개)	Evap으로 원료 증발해 특정표면에 증착하고 이를 스퍼터링	장비
Miasole	US(2005)	Transition metal nitride를 barrier로 기판과 흡수층 사이에 삽입	구조
Guardian Industries Corp	US(공개)	후면전극: Mo/MoOx 반사율 증대, texturing 포함	구조
Canon	JP(1999)	CdS/CIS/ZnO/Al/Cu sub. 구조 (모두 스퍼터 공정)	구조
Canon	JP(1999)	CdS/CIS/ZnO/Mn-doped Al/SS sub. 구조	구조
Univ. Johannesburg	US(공개)	동시 스퍼터링 후 3단계 열처리 (450, 500, 550°C)	공정
Honda	US(공개)	전구체 박막을 Na 화합물 수용액에 담근 후 열처리	공정
Honda	JP(2007)	CIGS/Na2S/Mo/SLG (Na2S 습식 공정)	공정
Shell Renewable Energy	US(1989)	R2R에서 Cu-In 순차적 적층 후 Se 분위기열처리	공정
Brown Univ.	US(1989)	CIS 타겟 사용, 증착시 분압 변화시키는 공정	공정
Shell Renewable Energy	US(1991)	Cu-In 스퍼터 → Se evap → Ar 열처리	공정
Alliance for Sustainable Energy	US(1995)	전구체 스퍼터+열처리 → In-Ga-Se evap	공정
Univ. Delaware	US(1997)	전구체 증착 → 2 step 열처리 (H2Se, Ar)	공정
Matsushita	JP(2006)	전구체 스퍼터 → Se evap 하며 열처리	공정
Midwest Research Institute	US(2003)	Se 분위기에서 In-Cu 스퍼터 → 열처리	공정
Matsushita	JP(2007)	InGaSe 타겟 + Cu 타겟 사용 → Se evap 하며 열처리	공정
SNU Precision	KR(2009)	금속 타겟과 Se effusion cell을 동시에 사용하여 증착	공정
삼성전자	KR(공개)	얇은 CIGS seed층을 evap → Cu(Ga)-In 스퍼터링→ H2Se 열처리	공정
LG 마이크론	KR(2010)	Se 분위기에서 3단계(300~400, 50~300, 400~600) 열처리	공정
KAIST	KR(2010)	2개의 금속 타겟+1개의 selinide 타겟 사용→ Se 분위기 열처리	공정
Showa Shell	KR(공개)	조성범위(0.86<Cu<0.98, 0.05<Ga<0.25, 0<S<0.3), 열처리(500~550)	공정

그림 6. 유연 CIGS 박막태양전지 개발 수준.

출원자	년도	내용	비고
Matsushita	JP(2003)	Cu-Ga-O, Cu-In-O 타겟	원재료
KIER	KR(2007)	5% Na doped Mo 사용	원재료
한국광기술원	KR(공개)	Se 이원화합물 (S 첨가된 화합물)	원재료
Miasole	US(공개)	Evap으로 원료 증발해 특정표면에 증착하고 이를 스퍼터링	장비
Miasole	US(2005)	Transition metal nitride를 barrier로 기판과 흡수층 사이에 삽입	구조
Guardian Industries Corp	US(공개)	후면전극: Mo/MoOx 반사율 증대, texturing 포함	구조
Canon	JP(1999)	CdS/CIS/ZnO/Al/Cu sub. 구조 (모두 스퍼터 공정)	구조
Canon	JP(1999)	CdS/CIS/ZnO/Mn-doped Al/SS sub. 구조	구조
Univ. Johannesburg	US(공개)	동시 스퍼터링 후 3단계 열처리 (450, 500, 550°C)	공정
Honda	US(공개)	전구체 박막을 Na 화합물 수용액에 담근 후 열처리	공정
Honda	JP(2007)	CIGS/Na2S/Mo/SLG (Na2S 습식 공정)	공정
Shell Renewable Energy	US(1989)	R2R에서 Cu-In 순차적 적층 후 Se 분위기열처리	공정
Brown Univ.	US(1989)	CIS 타겟 사용, 증착시 분압 변화시키는 공정	공정
Shell Renewable Energy	US(1991)	Cu-In 스퍼터 → Se evap → Ar 열처리	공정
Alliance for Sustainable Energy	US(1995)	전구체 스퍼터+열처리 → In-Ga-Se evap	공정
Univ. Delaware	US(1997)	전구체 증착 → 2 step 열처리 (H2Se, Ar)	공정
Matsushita	JP(2006)	전구체 스퍼터 → Se evap 하며 열처리	공정
Midwest Research Institute	US(2003)	Se 분위기에서 In-Cu 스퍼터 → 열처리	공정
Matsushita	JP(2007)	InGaSe 타겟 + Cu 타겟 사용 → Se evap 하며 열처리	공정
SNU Precision	KR(2009)	금속 타겟과 Se effusion cell을 동시에 사용하여 증착	공정
삼성전자	KR(공개)	얇은 CIGS seed층을 evap → Cu(Ga)-In 스퍼터링→ H2Se 열처리	공정
LG 마이크론	KR(2010)	Se 분위기에서 3단계(300~400, 50~300, 400~600) 열처리	공정
KAIST	KR(2010)	2개의 금속 타겟+1개의 selinide 타겟 사용→ Se 분위기 열처리	공정
Showa Shell	KR(공개)	조성범위(0.86<Cu<0.98, 0.05<Ga<0.25, 0<S<0.3), 열처리(500~550)	공정

그림 7. 스퍼터법을 이용한 CIGS 박막 제조기술에 관한 특허.

다. 태양전지가 유연성을 갖게 되면 활용성이 증대하여 기존의 발전소용 태양전지보다 더 고부가가치의 산업으로 사업성을 확대시킬 수 있다. 2009년 Solarion 회사의 발표자료에 의하면 2010년 유연태양전지 잠재시장이 대략 720억불에 이르는 것으로 추산된다. 이 외에 가정용 발전시설로서 지붕에 설치하기 위해서는 가능한 한 가벼워야 하는데 이 면적이 미국의 경우 2008년도 기준으로 약 330 GW, 독일의 경우 50 GW에 이르는 것으로 추산된다.

유연 CIGS 박막태양전지를 연구하는 기관과 각 기관의 기술수준을 살펴보면 그림 6과 같다. 최고 효율은 일본의 Aoyama Gakuin 대학이 기록한 17.9%로 유리기판 최고효율과 2.4% 정도 밖에는 차이가 나지 않고 있다. 그림 6에서 회색바탕은 기업체로서 상용화를 염두에 둔 기관들이다.

유연기판을 이용하여 CIGS 박막태양전지를 연구하는 기관들은 거의 대부분 동시증발법을 사용하는 것으로 나타나는데 이는 고효율에 대한 기록 확보 차원인 것으로 생각된다. 또한, 학교나 연구소는 주로 금속기판을 사용하는 반면 기업은 Poly-

imide (PI) 기판도 많이 사용하는 것으로 드러나고 있다. 2010년 상반기까지 공개된 스퍼터법을 이용한 CIGS 박막 제조방법과 관련한 특허들을 정리하여 분석한 결과 주로 공정과 관련한 특허들이 대부분을 차지하고 있으며 최근까지도 새로운 스퍼터 공정을 개발하여 보다 특성이 우수한 CIGS 박막을 제조하는 것에 연구역량이 모아지고 있다고 할 수 있다.

이밖에 CIGS 박막태양전지에서 연구되고 있는 요소기술들로는 효율증대를 위해 Tandem 구조를 연구하고 있으나 아직 해결해야 할 문제들이 너무 많아 오히려 감소된 효율이 보고되고 있으며, CIGS 박막을 전기증착, 프린팅법, Paste법, 습식증착법 등과 같은 비진공 공정으로 제작하여 제조비용을 낮추고자 하는 연구가 활발하게 진행 중이다. 이 중에서 가장 효율이 우수한 방법은 작은 CIGS 입자들로 잉크를 만들어 프린팅한 후 열처리 공정을 거쳐 CIGS 박막을 제조하는 기술로서 작은 크기의 셀에서 약 15%의 효율을 보여주고 있다. 그러나 대면적으로 프린팅할 경우에 CIGS 박막의 특성이 균일하지 않아 상업화에 어려움을 겪고 있다. Substrate 구조와 반대되는 Superstrate 구조를 개발하여 역시 제조비용을 낮추고자 하는 연구도 진행 중인데 약 13%에 가까운 효율을 일본의 Aoyama Gakuin 대학이 보고하고 있다. 또한, 각 단위 박막을 증착하는 공정수준을 현재보다 높여서 소재사용률을 높이고자 하는 방법이 개발 중에 있는데 주로 장비 업체들이나 셀 제조 업체들이 관심을 가지고 있다.

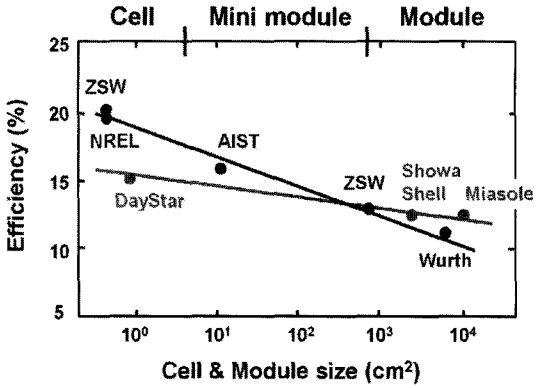


그림 8. CIGS 박막태양전지 크기에 따른 효율 변화 (적색-스퍼터법, 흑색-동시증발법).

3. CIGS 박막태양전지 업체현황

앞 장에서는 CIGS 박막태양전지 제조공정 중에서 특히 진공공정인 동시증발법과 스퍼터법에 대해 살펴보았다. 동시증발법은 작은 소자의 효율이 여타 방법에 비해 가장 높지만 대면적화가 어려운 단점이 있고, 스퍼터법은 소면적 셀에서는 동시증발법에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있지만 대면적화에 유리하다고 언급한 바 있다. 스퍼터법의 이러한 장점은 실제로 CIGS 박막태양전지의 크기에 따른 효율변화를 살펴보면 그대로 드러난다.

그림 8에서 보면 소면적 셀에서는 스퍼터법과 동시증발법 사이의 최고효율이 약 5% 정도 차이가 나지만 대면적 모듈에서는 오히려 스퍼터법이 약 2% 정도 높은 효율을 보여주고 있다. 따라서 산업화와 관련하여 스퍼터법을 연구하는 핵심목표는 소면적 셀의 효율을 높이는 것이 될 수 있고 동시증발법에서는 대면적화 기술개발이 핵심목표가 될 수 있다. 이러한 이유

Company	Capacity (MW)	Size (m^2)	Efficiency(max/ave)	Plan (MW)
Showa Shell Sekiyu	30 (2008)	0.34	14.2/11.8	1000 (2011)
Honda Soltec	27.5 (2007)	0.7x0.45	13.9/11	
Miasole	40 (2008)	SS (1)	14.3/13	750 (2012)
Avancis	30 (2008)	0.8x1.4	13.1/9.4	100 (2010)
Johanna Solar	30 (2008)	0.5x1.2	11.1/10	60 (2010)
Sulfur cell	0.5 (2007)	0.65x1.25	13.7/7.5 ($CuInS_2$)	75 (2010)
Daystar	25 (2008)	0.6x1.2	12/11	
Sunshine PV	30 (install)			Centrotherm turnkey
Solibro (Q-cell)	30	0.65x1.2	13/12	80 (2010)
AQT	15 (install)		12/9	

그림 9. 스퍼터법을 이용한 CIGS 박막태양전지 제조업체.

로 CIGS 박막태양전지를 사업화하려는 기업은 스퍼터법을 선호하는 편이다. 스퍼터법을 이용한 CIGS 박막태양전지 업체들의 양산계획을 살펴보면 Showa Shell Sekiyu (현 Solar Frontier)社가 2011년에 1 GW 수준의 양산계획을 밝힌 바 있으며 Miasole社가 2012년 750 MW 양산을 위해 최근에 투자를 받았다. 이와 반해 동시증발법을 이용한 업체들은 별다른 계획을 발표하지 않고 있어 스퍼터법을 이용한 CIGS 박막태양전지 업체들과 대조를 이룬다. 국내 업체들의 경우를 살펴보면, 2010년 말을 기준으로 현대중공업이 합작 자회사인 현대-아반시스를 100 MW 규모로 양산할 수 있도록 외국회사와 공동투자를 하였고, LG이노텍이 경기도 오산에 파일롯 라인을 구축 중에 있으며, 대양금속이 미국회사로부터 양산장비를 구입하였다. 그 밖에 삼성전자, 금호전기, GS 칼텍스, SK 등에서 내부적으로 연구가 진행 중인 것으로 알려져 있다.

4. 결 론

본 기고에서는 태양광 발전 산업의 차세대 주자로 기대를 모으고 있는 박막형 태양전지 기술 중에서도 CIGS 박막태양전지의 기술 및 산업 동향을 살펴보았다. CIGS 박막 태양전지는 성능 면에서 성장 잠재력이 충분하나 본격적인 양산 및 효율 개선을 위해서는 아직 연구되어야 할 부분이 많이 남아있는 상태로 태양광 산업의 후발 주자인 우리나라로서는 상대적으로 유리한 연구/개발 분야라고 할 수 있다. 반도체/디스플레이 연구 인력과 기반 연구 환경을 적극 활용하고 산、학、연 협력 체계를 구축할 경우 빠른 시일 내에 시장 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] Hype Cycle for Photovoltaic Solar Energy, 2009 (Gartner)
[2] Solarion 2009년 발표자료

저|자|약|력|

성 명 : 박래만

◈ 학 력
· 1995년
한양대학교 물리학과 이학사
· 1997년
한양대학교 물리학과 이학석사
· 2002년
광주과학기술원 신소재공학과
공학박사

◈ 경 력
· 2002년 – 현재 한국전자통신연구원 융합부품소재 연구부문 선임연구원