

박막태양전지용 AP CVD Injector 모듈 개발

김기일, 김명일, 김호윤

한국과학기술정보연구원

序 言

'9988!' 이는 중소기업의 중요성을 함축적으로 나타내는 구호입니다. 국내 총 사업체수 중에 99%가 중소기업이고 총 근로자수의 88%가 중소기업에서 일하고 있다는 사실을 일깨워주고 있습니다. 이렇듯 중소기업은 국가 산업의 根幹을 이루고 있다 할 수 있습니다. 그렇지만 국가 산업경제에 없어서는 안 될 이 중요한 중소기업은 지금 참으로 어렵습니다. 국제적인 금융 위기 여파로 자금조달에 극심한 난관을 겪고 있습니다. 5인 이하의 근로자가 근무하는 중소제조업체 수가 22만개로 전체 중소제조업체수 30만개에 약 74%에 이르고 이들의 평균 이직률은 약 20% 정도로 높은 편입니다. 이렇듯 국내 중소기업은 고질적인 인력난에 시달리고 있습니다. 중소기업을 더욱 어렵게 하는 현실은 제품 개발 및 생산에 필요한 장비의 75%이상 보유한 기업체수가 전체에 약 19% 정도라는 사실입니다. 중소기업은 자금, 인력과 연구장비 등의 부족으로 인해 기업 경쟁력을 지속적으로 유지할 수 없게 되어 10년 내에 약 13%의 중소기업이 사라지는 안타까운 현실이 반복되고 있습니다.

이에 정부는 중소기업의 현실적 어려움을 해결 지원하기 위해 해마다 R&D 투자비를 증액하고 있습니다. 첨예한 시장경제 속에서 우수한 제품 경쟁력만이 유일한 생존의 길이 될 것입니다. 이를 위하여 중소기업청과 한국과학기술정보연구원(KISTI)은 슈퍼컴퓨터 활용을 통하여 중소기업의 제품을 글로벌 경쟁력을 갖추도록 제품에 대한 첨단 설계를 지원하는 한편, 제품에 대한 신기술 및 글로벌 제품 시장 동향을 면밀히 조사 분석하여 제공하고 있습니다.

본 보고서는 슈퍼컴퓨터 활용을 통해 개발된 제품에 대한 국내외 기술 동향과 세계 시장 판세를 종합적으로 조사된 것으로 알고 있습니다. 슈퍼컴퓨터 활용 지원과 제품 시장동향 분석에 각고의 노력을 경주한 KISTI 연구원의 노고를 치하하며 아무쪼록 본 보고서가 향후 기업의 생존의 열쇠가 될 수 있기를 기대합니다. 감사합니다.

2010년 10월

한국과학기술정보연구원 원장 박영서

<제 목 차 례>

제1장 기술개요 및 특징	4
1. 대상기술개요	4
2. 기술발전방향	6
3. 국내외 기술개발 동향	7
4. 경쟁·대체기술 동향	9
제2장 국내외 시장동향	13
1. 시장구조	13
2. 업체동향	17
3. 시장규모 및 전망	21
참고문헌	26

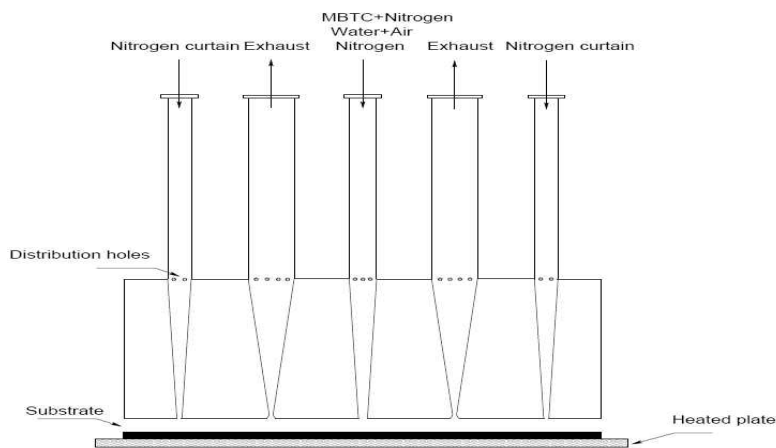
기술개요 및 특징

제1장 기술개요 및 특징

1. 대상기술개요

본 기술은 박막태양전지용 APCVD(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition) Injector 모듈 설계시 각 Diffuser의 분사 Hole의 Pitch 및 지름의 형상 변경에 따른 Nozzle부의 가스 유동 및 유량 등을 슈퍼 컴퓨터를 이용하여 빠르고 다양한 조건의 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통한 최적 Injector 모듈을 개발하려는 것이다.

<그림 1> Injector Nozzle 형상



자료 : (주)비아트론

최근 지속적인 유가의 상승과 기후협약대응에 따른 친환경 구조 조성에 대한 인식의 확대로 청정에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중에서도 태양전지는 각국의 신재생 에너지정책에 힘입어 높은 성장성을 보이고 있다.

태양전지 분야에서 전반적으로 시작단계인 우리나라는 전체적인 기술력과 인프라가 미미한 수준이다. 국내 태양광 산업은 모듈시스템 업체를 중심으로 발전해 왔는데 핵심부품인 태양전지용 웨이퍼 및 셀은 대부분 해

외업체에서 수입하고 있다. 하지만, 태양전지 기술은 이미 우리나라가 강력한 경쟁력을 확보하고 있는 반도체 LCD 등과 공정 기술이 유사하기 때문에 발전 가능성이 매우 높은 것으로 분석되고 있다.

태양전지는 태양에너지를 받아서 전기 에너지로 바꿔주는 에너지 변환 장치로 자원의 고갈이 없고 이산화탄소 등과 같은 환경오염 물질을 생산하지 않아 청정 에너지원으로 대체가 가능해 주목을 받고 있으며, 특히 무인 시스템으로 운영될 수 있어 오지 등과 같이 사람의 손이 닿지 않는 곳에 독립적으로 전기를 공급해 줄 수 있는 특징이 있다.

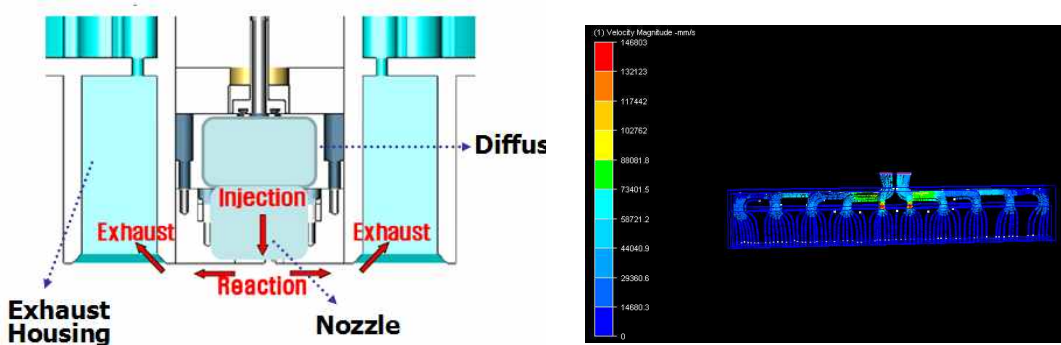
태양전지는 1세대 태양전지와 2세대 태양전지로 구분하는 것이 일반적인데, 1세대 태양전지를 결정질 태양전지, 2세대 태양전지를 박막형 태양전지라고 통칭하기도 한다.

대상 기술은 2세대 태양전지인 박막형 태양전지의 생산에 있어 가장 중요한 과정 중의 하나인 증착과정에서 이용되는 AP CVD(Atmospheric Pressure Chemical vapor Deposition) Injector 모듈 개발에 초점을 맞추고 있다.

현재 국내에서는 반도체와 LCD 기반기술을 활용한 박막 실리콘 태양전지 연구개발이 가장 활발하게 진행되고 있는 상황인데, 박막형 태양전지의 TCO (Transparent Conductive Oxide)로는 SnO₂, ZnO₂가 사용된다.

SnO₂:F는 AP CVD로 증착하고 있는데, 박막형 태양전지에 많이 사용되는 SnO₂:F의 경우 실리콘 증착과정 중에 H₂ 플라즈마에 의해 표면이 손상되는 이슈가 있지만, Texturing이(빛의 흡수를 향상시키는 요철) 타 재료에 비하여 매우 우수하기 때문에, 태양전지 제작 후 최종 효율은 우수하다. 또한 타 재료들에 비하여 증착속도가 매우 빠른 장점으로 인하여 양산성이 매우 뛰어난 장점도 있다.

<그림 2> 증착메커니즘과 배기의 유동흐름



AP CVD 장비 중의 핵심기술은 Heating부와 Injector의 설계기술이다. 현재 많은 국내 업체에서 관련 기술을 개발하고 있지만 기술적 성공은 미미한 상황이며, 특히 Injector의 경우, 국산화가 되지 않아 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. AP CVD 장비의 Injector 설계가 중요한 이유는 제품의 품질에 많은 영향을 미치고 있기 때문인데, Injector는 증착의 균일성에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 반응 후 가스의 효과적인 배출로 장비 내 오염을 방지하고 Cleaning 주기를 증가시켜 장비 가동율 증대를 통한 원가절감이 가능하기 때문이다.

2. 기술발전방향

본 절에서는 국내외 태양전지 개발 동향을 통해 대상기술 관련 분야의 전반적인 기술 발전 동향을 파악하였다. 태양전지는 현재 에너지 변환 효율과 가격이라는 두 가지 측면에서 기술 개발이 이루어지고 있다. 항공 우주와 같은 특수 목적에 사용되는 태양전지는 가격 측면보다 에너지 변환 효율을 높이기 위한 방향으로 기술 개발이 추진되고 있으며, 범용적으로도 화석연료를 대체하는 대체에너지 개념의 태양전지는 제조단가를 낮추는 방향으로 기술 개발이 진행되고 있다. 실리콘 물질을 이용한 경우 고가의 단결정 대신 저가의 다결정 및 비정질 실리콘 태양전지 개발에 관심을 가지고 연구 개발이 진행되고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여, 즉 높은 효율과 함께 가격을 낮추기 위하여 단결정을 박막화하여

이를 태양전지 제조에 이용하는 연구가 진행되고 있다. 가격 면에서 현재 시판되는 단결정 실리콘 태양전지는 제조단가가 1개당 5달러 이상으로 비싼 편이다. 비결정 실리콘의 제조단가 또한 공공전기 요금 수준인 1개당 1달러 수준으로 맞추어야 하는 상황을 만족시키지는 못하고 있다. 따라서 제조단가를 대폭 절감하기 위해서는 값싼 원재료를 사용하는 태양전지의 개발에 초점이 맞추어지고 있다.

1991년 스위스의 EPFL의 Gratzel의 박사 연구팀에 의해 감광성 염료분자와 나노크기를 갖는 반도체 티타늄 산화물을 이용한 저가의 광화학적 태양전지가 개발되었으며, 이후 선진국의 연구기관 및 산업체 등은 염료 감응 나노입자 산화물 태양전지에 대한 연구개발을 활발히 진행하고 있다. 이 태양전지는 환경적으로 무해한 재료들을 사용할 뿐 아니라, 기존 비정질 실리콘 태양전지에 버금가는 에너지 변환 효율을 가지면서, 특히 제조 단가는 실리콘 태양전지의 5분의 1 수준이어서 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 차세대 태양전지로 부각되고 있다.

태양전지 연구 개발은 미국, 유럽, 일본 및 호주에서 활발히 진행되고 있으며, 공통적으로 국가적 차원에서 주도되고 있다.

이상과 같이 전반적 상황을 보면 향후의 태양전지 개발에 있어 핵심 사항은 효율의 향상과 제조원가의 절감이라고 볼 수 있는데, 이는 대상기술이 태양전지 제조 공정에서 원가를 줄일 수 있는 방안이 될 수 있어 대상기술의 발전을 촉진시킬 수 있는 기회로 분석된다.

3. 국내외 기술개발 동향

본 절에서는 CVD 이용을 중심으로 국내외 관련 기술의 개발 동향을 살펴보았다. CVD를 활용한 적용 기술은 크게, 내마모성 향상을 위한 피막재료의 증착과 반도체제조공정에서 소자구축에 필요한 박막의 형성에 많이 이용되어지고 있다.

가. CVD를 통한 다이아몬드 막의 형성

적절한 크기로 절단되고 연마하여 CVD 다이아몬드 후막 공구로 적용된다. 그리고 내마모 부품에 우수한 물성을 구현할 수 있다.

한편, 다이아몬드는 현존하는 물질 중에 가장 우수한 열전달 능력 (thermal conductivity: 12-18W/cm/K, Cu : 4 W/cm/K)을 가지고 있어 고출력 전자부품 소자의 열 방출 소재(thermal spreader)로 응용될 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있다. 또한 다이아몬드는 산이나 염기에 강한 내 부식성을 가지므로 내부식성이 요구되는 유압제품과 화학공정에 사용되는 각종 기계요소, 선박, 군수시설 등에 사용될 수 있다.

최근 들어 일본의 경우 플라즈마 CVD법을 통한 결정성이 좋은 균일한 다이아몬드 막을 형성하는 새로운 성법을 개발했다고 발표하고 있다. 플라즈마 화학 기상 성장(CVD)법에 펄스 방전을 사용한 것이 특징으로 반복 주파수와 듀티 비를 각각 독립적으로 제어함으로써 결정성을 자유로이 변화하는 것이 가능하다. 실험에서 결정성이 좋은 균일한 다이아몬드 막을 얻고 있어 코팅 칩(절삭공구)이나 전자 현미경의 전자원(전개방사소자), 센서, 방열 기관 등 여러 가지 분야로의 적용이 기대된다.

플라즈마 CVD법은 원료 가스에 전압을 걸어 플라즈마 상태로 해, 그 중에서 기관 위에 막을 형성한다. 다이아몬드 막 형성에는 직류방전 혹은 마이크로파의 연속방전이 사용되고 있다. 그러나 같은 조건에서 연속 방전하면 그라파이트 등의 비다이아몬드 성분이 혼재하기 때문에 결정성이 나빠 미결정화한다는 문제를 갖고 있었다. 이번에는 이러한 문제점을 개선한 것이 특징이다.

그 외에, PACVD를 이용하여 증착한 BN은 PBN(Pyrolytic BN)이라 부르며 치밀한 hexagonal BN으로서 액체금속에 대한 내식성이 뛰어나고, 순도가 높으며 강도가 온도의 상승과 함께 증가하는 특이한 성질을 나타낸다. 또한, BN은 넓은 band gap을 가지고 있는 고저항성 반도체 재료이다. 따라서 1980년대부터 BN박막을 합성하여 반도체로 응용하려는 시도가 있으며 Si적층회로의 응용가능성, 물리적 화학적 성질에 대한 연구와 함께 diffusion source, protective coating, sodium barrier 그리고 유전체 등에서의 응용가능성도 함께 검토되었다.

감압CVD법으로 제조한 hBN박막은 반도체응용 이외에 고온의 용융염이나 부식성 가스분위기의 내식, 절연피막으로 그리고 열충격에 비교적 강한 특성을 가지고 있으므로 급속가열 냉각용 반응용기, 고온로 부품, 절연재, 특수용도의 wafer 등에 사용 가능하다. 이외에도 Rand 등이 고온유전체 및 boron의 확산 source, sodium barrier로의 응용 가능성을 검토한

바 있다. 열CVD법에 의한 BN박막의 합성에 대한 1968년 Rand와 Roberts의 선구적인 연구발표이후, PVD 및 CVD, 그리고 PACVD법등에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 왔다. 다이아몬드의 경도 및 열전도도에 필적하는 cBN박막은 Sokolowski에 의하여 처음 시도되었는데(1979년), 그는 반응성 펄스 플라즈마(RPP)를 적용하여 cBN 및 w-BN박막을 합성하였다. 그 후 약 15년 동안 활발한 연구가 진행되어 괄목할 만한 연구결과가 발표되기도 하였다.

BN 박막기술은 고온 고압상인 cBN, iBN을 합성하는 기술로 다이아몬드나 i-C 박막합성처럼 일반적인 장치 및 공정기술은 알려져 있으나 실제 응용을 위한 실용화 기술은 용이하지 않으며 주로 reactive ion plating, ion beam deposition, PACVD, BARE, RF sputtering, PLD 등에 의한 cBN합성 연구결과가 보고된 바 있다. 따라서 현재 확립된 공정과 합성모델이 정착되지 않은 단계이나 다이아몬드의 연구개발 배경에 비추어 볼 때 곧 실용화가 가시화 될 것에 대비하여 KIMM에서는 향후 선진국 수준 이상의 기술력을 확보하기 위한 연구를 수행하고 있다.

나. 반도체

반도체, 특히 실리콘 집적회로 시장은 1년 정도의 정체기가 있었으나 과거 10년간 기록적인 성장을 하였다. 집적회로 시장이 성장세를 유지하는 것은 3년간 4배에 달하는 집적도를 가능케 한 DRAM으로 대표되는 첨단 프로세스 기술의 진보에 있다. 이 반도체 프로세스 기술 중에서 CVD(화학기상증착)에 의한 박막형성기술은 기간 기술의 하나로 매우 중요한 기술이다. 이것은 초LSI에 요구되는 미세화, 고집적도화에 대해 필요한 제어성을 CVD가 만족시키기 때문이다. CVD막은 비활성막, 층간 절연막, 게이트전극막등인 고품질, 고집적이 요구되는 곳에 많이 사용되고 있으며, 한편 소자분리기술의 하나로도 중요시 되어 있다.

4. 경쟁 · 대체기술 동향

CVD기술은 세부적으로 다양한 형태가 존재한다. 그 중 저압 CVD와 플라즈마를 이용한 CVD 및 초음파를 이용한 CVD를 살펴보면 다음과 같

다.

저압 CVD (LPCVD)는 압력을 0.01~100 torr 유지한 반응로에서 고온 혹은 저온으로 가열한 모재위에 박막을 증착시키는 과정이다. 이 방법은 박막두께와 균질성을 증가시키고, 오직 표면반응에 의해 증착속도를 조절할 수 있어, 조직결함을 줄일 수 있는 장점이 있다. 한편 증착속도가 느리고, 비용 및 유지비가 더 드는 단점이 있다. 이 기법은 종래의 APCVD에 대치되어 그 활용이 증가하고 있다. LPMOCVD는 LPCVD 와 MOCVD를 조합한 방법으로 양질의 GaAs반도체와 극초단파, 광전자공학 장치 등의 제작에 이용되며, 최근에는 금속 또는 절연체의 막형성에도 이용되고 있다.

플라즈마를 이용한 CVD(Plasma-Enhanced CVD : PECVD)의 경우 글로우 방전 하에서의 전기에너지에 의한 플라즈마는 반응에 필요한 활성화 에너지를 얻음과 동시에 플라즈마를 형성하는 시간을 조절함으로써 증착율을 조절할 수 있다. 이런 플라즈마를 이용한 CVD의 최대의 장점은 기판에 직접적인 열을 가하지 않으므로 기판의 저온도 처리가 가능하여 기판의 열화를 피할 수도 있다.

Thermal CVD의 경우, 반응을 일으키는데 필요한 열에너지를 기판의 가열을 통하여 반응을 조절한다. 그러므로 반응온도에 따라 기계적 성질이 변하는 철강 소재와 같이, 높은 반응온도에도 기계적 성질이 변하지 않는 소재에만 사용이 가능하였으므로, 소재의 제한이 따르게 되었다. 그러나 플라즈마는 낮은 온도에서 반응가스를 분해할 수 있다는 것이다. 즉 열역학적으로 안정한 상태에 있는 반응가스분자가 플라즈마내의 전자와 충돌하여 생긴 운동량의 전달로 분해되는 것이다. 플라즈마내에서의 반응가스의 분해율은 일반적으로 10~100%에 이른다. 플라즈마를 이용한 기술은 thermal CVD공정에서 1000℃이상에서만 가능했던 증착을 500℃이하에서도 가능하도록 하였다.

플라즈마는 고주파 발생기와 연결된 음극판과 모재판이 다이오드 형태로 설치되어, 반응가스를 0.1~1 torr 압력까지 붙여넣고 전류를 통하면 글로우방전이 일어난다. 이 플라즈마를 이용하여 반응가스를 이온화시키면서 분해시켜 화학반응이 일어난다. 플라즈마 CVD는 CVD법의 장점이인 균일한 증착막, 고생산성을 유지하면서 저온처리가 가능하여, 앞서 언급한 열CVD법의 문제점을 해결하는 기술로서, PACVD(plasma assisted

CVD) 혹은 PECVD라 부른다. 이 기법은 온도에 민감한 모재에도 비정질 막을 형성할 수 있다. 그러나 증착율 및 증착효율이 낮고, 박막조성을 조절하기 힘들고, 균일한 조직과 두께를 얻기가 어려우며, 장비가 복잡하고 고가인 단점이 있다. 플라즈마 형성조건에 따른 분류를 하여보면, DC-PACVD는 음극 및 기관홀더인 양극을 진공실에 설치한 단순한 구조로 되어 있으며, 증착시 플라즈마는 음극-양극사이에만 발생한다.

RF-PACVD의 장치는 전원의 종류만 다를 뿐 DC-PACVD와 동일하다. 단지 RF (13.56MHz) 전원을 사용하는 이유는 절연성 기관에 코팅하는 경우는 DC-plasma 경우는 전압이 걸리면 절연물과 방전하는 부분은 두 개의 capacitor로 작용하게 되어 짧은 시간 안에 플라즈마가 소멸된다. 그러나 교류전원을 사용하면 연속적으로 플라즈마를 얻을 수 있기 때문이다.

초음파를 이용한 CVD는 소량의 precursor 용액을 초음파 노즐에 공급하면, 초음파 노즐은 가 압력을 받지않은 상태의 부드럽고 작은 입자들의 스프레이를 (평균입자 크기는 15미크론) 짧은 펄스형태로 만들어 진공 수정 챔버의 최상부에서 공급한다. 노즐에 의하여 무화되어 공급된 입자들은 챔버 바닥에 있는 가열된 기질 표면에서 박막의 증착층을 만들며, 이 펄스형 CVD의 효율은 높은 편이다. 이 공정은 챔버 내의 압력을 약 1 torr 정도의 진공으로 다시 내려서 반복하게 되는 데, 주기는 약 10초 정도이다.

증착층의 두께는 펄스의 수와 한 펄스당 주입되는 precursor의 양에 의하여 결정된다. 독특한 액체 공급 방식에 의하여 각 펄스 분무가 정밀하게 일어나고 정확한 precursor의 양을 반복하여 공급하게 한다.

이 과정은 액체가 먼저 피스톤 펌프로부터 공급되어 zero-dead volume valve를 통해, calibrated dispense volume이라는 짧은 길이의 배관 속으로 간다. 일단 배관 속으로 가면, volume valve가 압축아르곤가스 공급 장치와 샘플사이에 위치한 또 다른 밸브와 함께 열려서 모든 샘플이 강제로 초음파 노즐을 통하게 되고 거기서 무화가 일어나게 된다. 이 시스템은 다양한 유기금속의 CVD 적용에서 성공적인 것으로 입증되었으며, 마찬가지로 폴리머의 CVD 적용에서도 성공적이었다.

국내외 시장동향

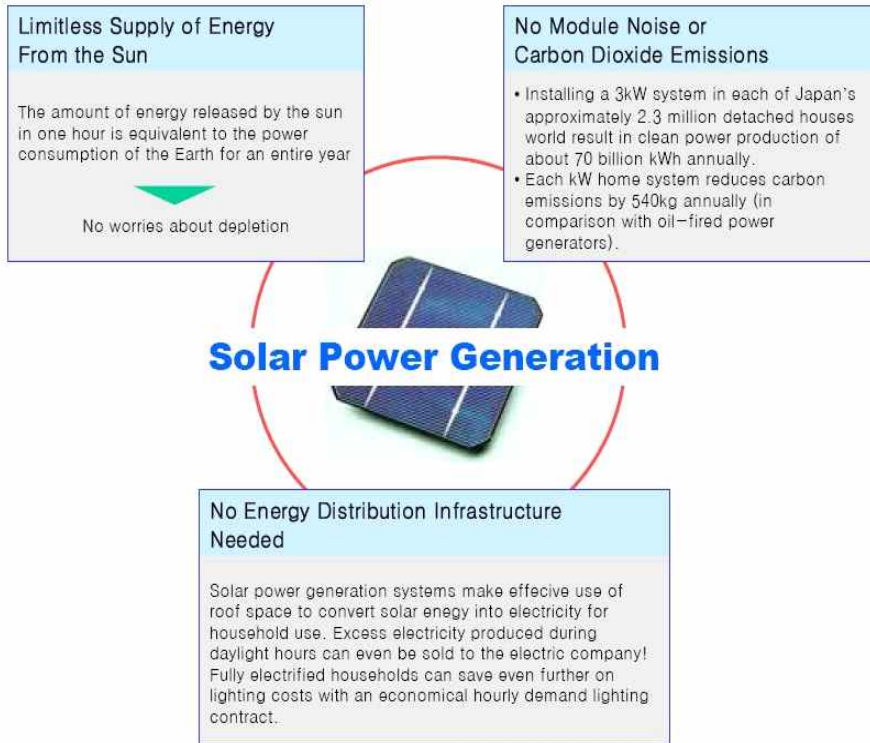
제2장 국내외 시장동향

1. 시장구조

(주) 비아트론의 보유 기술이 대상으로 하고 있는 시장은 태양전지 시장이다. 따라서 본 절에서는 태양전지 시장의 전반적 시장 구조를 살펴보았다.

태양전지의 역사는 1839년 프랑스 물리학자 Edmon Becquerel이 처음으로 어떤 물질이 빛에 노출될 경우 전류가 발생된다는 사실을 발견하면서부터 시작되었다. 그 이후 1870년 Heinrich Hertz에 의해 셀레늄과 같은 고체물질에 대한 포토볼타익(photovoltaic) 특성 연구가 시작되었고, 본격적인 태양전지의 상품화는 1940년대 말과 1950년대 초에 단결정 실리콘을 성장시키는 초콜라스키법이 개발되면서 활기를 띠기 시작하였다. 1970년대 오일 파동은 태양전지의 중요성을 한층 부각시키는 계기가 되었다. 또한 1990년 초 대두되었던 이산화탄소 발생량의 규제를 위한 국제협정은 그린 에너지의 필요성과 함께 태양전지의 실용화를 서두르는 계기가 되었고, 이동통신과 인터넷의 발달로 21세기에는 무선통신의 주 동력원으로서 공간적 지배를 받지 않는 태양전지의 중요성이 더욱 확산되는 중요한 계기가 되었다. 오일 파동 이후 태양전지산업의 중요성이 부각되어 왔으며, 현재까지 Q-cells, Sharp, Suntech, BP Solar 등 여러 선진 기업들이 태양전지산업의 헤게모니를 쥐고 주도해오고 있는 실정이다. 태양전지산업이 왜 발전할 수 밖에 없는지에 대한 해답은 여러 이유에서 정당화될 수 있다. 태양광 에너지는 고갈되지 않은 무한정의 영구적인 에너지원이며, 환경오염도 유발하지 않으며, 규모나 지역에 관계없이 설치가 용이하고, 유지비용도 저렴할뿐 아니라 이미 개발된 CVD 증착기술, PN 접합기술 등과 같은 여러 반도체 기술을 쉽게 접목할 수 있어 원가절감이 용이하며, 다른 그린에너지인 풍력, 조력, 지열 등과 달리 수출산업화가 용이하다는 등 수많은 장점이 있다. 태양전지산업의 선두기업 중 하나인 일본 샤프社에서 정리한 태양광 에너지 이용의 장점을 아래 그림에 나타내었다.

<그림 3> 태양광에너지 이용의 장점



출처: www.sharp.co.jp

한편, 태양광 산업의 특징을 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 국제적 환경문제와 깊은 연관성이 있다. 1990년 초 대두되었던 이산화탄소 발생량의 규제를 위한 교토의정서 발현이 눈앞에 다가옴에 따라 이산화탄소를 거의 배출하지 않는 그린에너지에 대한 전세계적인 관심이 급증하였으며, 향후 이산화탄소 배출규제가 예상보다 더 엄격해진다면 태양전지산업은 그 엄격해진 규제만큼 빠른 성장세를 보일 수도 있는 바와 같이, 태양전지산업은 전세계적인 환경적 요인으로 인한 문제에 매우 민감한 특징이 있다.

둘째, 반도체기술, LCD기술의 접목이 용이하다. 반도체형 태양전지에서 PN접합기술, 전극형성기술, 은페이스트 제조기술, CVD증착기술, 염료 감응형 태양전지에서 스크린프린팅기술, LCD 공정에서 다결정막을 성

장시키는 원료로 사용되는 모노실란 기술의 실리콘 태양전지에로의 응용 등 무수히 많은 반도체기술, LCD기술이 태양전지산업에 접목될 수 있어, 그만큼 연구개발비용이 낮아지고, 기술개발속도가 빨라지며, 그만큼 기업들에게 높은 마진을 안겨줄 수 있다는 것이 태양전지산업의 큰 장점이다.

셋째, 역삼각형의 소재중심 서플라이 체인구조이다. 통계적으로 보면, 모듈제작까지의 시장규모가 전체의 50%를 차지하고 있고, 모듈 제작 이후 설치공정이 50% 수준을 차지하고 있다. 전세계적으로 태양전지산업에 관여된 850여개의 회사들 분석결과, 원재료, 소재 개발기업 수가 상대적으로 적어 과점 체제이며, 전지 및 모듈제작, 시스템 설치 쪽으로 갈수록 많은 업체가 참여하고 있다.

넷째, 원재료 가격에 매우 민감하다. 박막형 태양전지는 변환효율이 낮고, 재료비가 적은 대신 CVD 장비 등 설비투자비가 벌크형의 2배 수준이며, 장기 신뢰성이 검증되지 않은 단점이 있다. 이로 인해 1999년 이후 박막형 태양전지의 출하량은 지속적으로 증가해 왔지만, 전체 태양전지 중 비중은 2007년 기준 3.4%에 불과하였다. 그러나 최근 실리콘 공급부족으로 가격이 급등하면서 박막형에 대한 시장 관심이 다시 커지고 있다.

다섯째, 무역수지 개선에 큰 도움을 주는 산업이다. 그린에너지로 불리는 풍력, 조력, 지열 등 여러 분야의 산업과 비교해볼 때, 태양전지산업은 그 소재, 모듈과 같이 운송이 가능한 분야의 시장이 전체 태양전지 시장의 절반 정도임에 반하여, 조력이나 지열, 풍력은 관련 부품, 설비의 운송이 용이하지 않은 게 사실이다. 따라서 태양전지산업은 일개 국가의 무역수지 개선에 있어 타 그린에너지에 비하여 상대적으로 효자노릇을 할 수 있는 분야 기술임에 틀림없다.

여섯째, 정부정책과 밀접한 관련이 있다. 태양광 발전이 경쟁력 있는 대체에너지로 대중화되기 위한 핵심 변수는 정부 및 지방자치단체 차원에서의 지원 정책이다. 태양광 발전의 발전원가는 가격경쟁력이 떨어진다. 신재생에너지 지원 정책으로 정부에서 적극적인 보조금을 지급하거나 발전된 전기를 고가에 매입해줄 경우 경쟁력 있는 가격대가 형성될 수 있다. 실제로 현재 세계시장의 70% 이상을 차지하고 있는 독일, 일본 등 선진시장은 정부 차원에서 초기에 높은 수준의 보조금을 지급하여 태양광이 일반 소매전력보다 경제적인 구조를 만들었다.

상기와 같은 상황을 바탕으로 태양광 산업의 시장 진입 장벽을 정리해

보면 다음과 같다.

1) 정책 리스크

태양광 산업의 현재 상황은 한마디로 자생력이 떨어져 있는 상황이다. 이를 중앙정부, 지방정부 등의 지원으로 보충하고 있는 것이다. 미국의 입장변화 등이 태양전지 산업에 강한 모멘텀으로 작용하고는 있으나, 개발도상국 중 대체에너지에 비교적 호의적이었던 중국이 최근 온실가스 배출규제에 대해 불쾌감을 드러내고 있다. 각국의 정책이 대체에너지에 호의적이긴 하나 향후 정책 리스크를 갖고 있다는 점은 인식해야 한다.

2) 원자력 발전에 대한 인식 호전 가능성

발전량 규모에서 본다면 전 세계 태양광 발전 규모는 원자력 발전소 2~3기 규모에 불과하다. 발전규모면에서 본다면 상대가 되지 않는 것이 원자력 발전이다. 향후 원자력 발전에 대한 인식이 호전된다면 대체에너지의 발전에 저해요인이 될 수 있다.

3) 대체 기술의 등장

전력 발전의 대체 기술은 끊임없이 발전해 왔다. 이차전지, 연료전지, 풍력, 조력, 지열, 바이오가스 등 수없이 많은 대체에너지가 개발되어 상용화되었고, 상용화가 눈앞으로 다가온 기술들이 많아 에너지 시장의 주도권을 놓고서 대체에너지간 주도권 다툼은 앞으로 계속될 전망이다.

4) 유가 하락

고유가는 대체 에너지 기술 개발에 촉매 작용을 한 것이 사실이지만 유가가 하락된다면 그만큼 태양전지와 같은 대체 에너지의 가격 메리트가 떨어질 수밖에 없다. 그러나 당분간 유가가 하락하더라도 원유의 매장량이 한정되어 있다는 점은 기회 요인이 아니라 할 수 없다.

2. 업체동향

가. 국내업체

국내 대부분의 기업들은 현재까지 글로벌 시장의 90% 정도를 차지하고 있는 결정형 태양전지 시장에 진출하였다. 그 중 폴리실리콘을 생산하는 동양제철화학은 이미 성공적으로 시장 진입에 성공하였다. 2010년 연산 26,500톤 규모의 생산능력을 보유하게 되며, 이미 2016년까지 생산 물량의 80%에 대해 장기공급계약을 체결한 상황이다.

현재 수율이 정상 궤도에 오르지 못했음에도 불구하고 50% 이상의 영업이익률을 기록하고 있는 것으로 추정되어 향후에도 시장 선점 효과로 인한 높은 영업이익을 유지해 나아갈 수 있을 것으로 기대된다. 잉곳/웨이퍼 생산 업체인 스마트에이스 등의 자회사를 통해 수직계열화를 진행하였으며, 지속적으로 안정적인 수요처 확보를 위해 셀/모듈 업체까지도 수직계열화를 진행할 것으로 전망된다.

또한 지난 해 10월부터 단결정/다결정 태양전지 양산을 시작한 신성홀딩스도 현대중공업에 4MW 규모의 태양전지 셀 납품을 완료하였으며, 경동솔라, 솔라월드코리아, Ennepiu srl와도 태양전지 공급계약을 체결하였다. 최근 유상증자를 통해 기업지배구조 개선과 생산라인 증설(50MWp .. 100MWp/year)을 진행하고 있다.

폴리실리콘의 안정적인 수급을 위해 잉곳을 생산하고 있는 오성엘에스티와 폴리실리콘 제조회사인 한국실리콘(신성홀딩스 지분율 30%)을 설립하였으며, 자회사를 통해 웅진폴리실리콘에도 지분투자를 하였다. 이 외에 GET, 넥솔론, 스마트에이스 등의 웨이퍼 제조 업체와 장기구매 계약을 체결하여 안정적인 원재료 수급을 마친 상황이다.

웅진홀딩스도 자회사 웅진에너지(지분율 55.4%)를 통해 잉곳 사업을 진행 중이며, 최근 현대중공업과 5년간 6,900억원 규모의 폴리실리콘 장기공급 계약을 체결한 웅진폴리실리콘(지분율 78.6%)의 공장을 건설 중에 있다. 이 외에도 현대중공업은 셀, 모듈, 그리고 시스템을 사업을 진행하고 있으며, KCC와의 협력을 통해 폴리실리콘, 잉곳/웨이퍼 사업까지 수직계열화를 완성하였다.

LG전자는 2010년 가동 시작을 목표로 2,200억원을 투자하여 결정형 태

양전지 제조라인을 건설중에 있다. 1Q10 120MWp 규모의 1라인 양산을 시작할 예정이며, 1Q11 120MWp 규모의 2라인 양산 시작이 계획되어 있고, 최근 REC그룹과 웨이퍼 장기구매 계약을 체결한 바 있다. 삼성그룹도 LG와 마찬가지로 계열사들을 이용하여 Value chain을 완성할 예정이나, 아직 구체적인 양산 계획에 대해서는 알려진 바가 없다.

국내 소재 업체들 중에서 박막형 태양전지 시장에 진출한 대표적인 기업은 특수가스 생산업체인 소디프신소재이다. 비정질 박막형 태양전지의 주 원료인 모노실란을 공급하고 있는데, 현재 Capa. 증설을 진행 중에 있으며 4Q09 세계 최고 수준인 2,400톤/year의 생산능력을 확보할 예정이다.

또한 티모와 동진썬미켄은 박막형 태양전지 시장 중 Niche market으로 예상되는 염료감응형 태양전지(DSSC: Dye-sensitized solar cell) 생산을 진행 중이다. 티모는 호주의 태양전지 업체인 다이솔사와 '다이솔-티모' 합작 법인을 설립하였으며, 2H09 시제품 판매를 계획하고 있다. 다이솔은 DSSC 분야의 세계적 권위자로 알려진 스위스의 그라첼 교수가 지분 참여를 하고 있는 업체로서 다이솔-티모 합작사에 소재 및 기술적인 지원을 할 것으로 예상되며, 합작사는 태양전지를 생산하고 티모는 판매를 담당할 예정이다.

나. 해외업체

① 미국

Shell Solar는 최근 Siemens Solar를 매입하여 세계적인 태양광 업체로 부상하였고, 현재 태양광 발전용 웨이퍼 생산부터 최종 소비자를 상대한 사업까지 전 영역을 취급하고 있다. Shell Solar에서는 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지부터 CIS(Copper Indium diselenide thin film)까지 다양한 형태의 전지가 생산되고 있다.

Evergreen Solar는 1994년 설립된 회사로 'String Ribbon' 웨이퍼를 전문적으로 생산하고 있으며, 이를 바탕으로 결정질 실리콘 태양전지를 생산하는 업체이다. 2001년 6월 폭 3.2인치 태양전지(효율 12%) 모듈 라인인 Cedar Line(TM)에 대해 인증을 받았으며, 2003년 Double ribbon용

furnace를 도입하여, 2007년말 기준 효율 14.5%를 얻고 있으며, 2012년 효율 18%를 목표로 하고 있다.

Sun Power는 1988년 고효율 실리콘 태양전지의 상업화를 목표로 설립되었으며, 주택용, 상업용 및 대규모 고효율 태양광 발전 시스템을 설계, 제조, 시공하는 세계적인 전문업체로서, 주로 단결정성 실리콘 태양전지를 생산하고 있으며, 2005년 이후 평판형 태양전지에 집광기술을 적용하여 변환효율이 20%를 넘어서고 있다.

<표 1> 미국 주요 태양광전지 업체 현황

업체	매출액 성장률 (2007년기준)	영업 이익률	총자산	총부채	주요사업내용
First Solar LLC	273.4%	27.3%	1,319	108	- (CdTe)를 이용하여 차세대 박막형 태양 전지 생산 - First Solar의 CdTe 박막형 태양전지는 10% 범위의 효율을 달성
Sun power	227.6%	3.4%	1,653	425	- 결정질 실리콘 태양전지 생산 - 동양제철화학으로부터(2008년~11년) 2억 5,000만 달러 규모의 폴리실리콘을 공급받는 장기 공급 계약을 체결
Evergreen Solar	-32.2%	-36.6%	553	90	- 결정질 실리콘 태양전지 생산 - 웨이퍼를 시트처럼 뽑아냄으로써 실리콘 사용량은 50%까지 줄일 수 있는 'String Ribbon' 공정 도입
Energy Conv. Devices	10.9%	-32.4%	601	24	- 비결정질(a-Si) 박막형 태양전지 생산
BP-Solar					- 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지 생산
EPV					- 비결정질 (a-Si) 박막형 태양전지 생산
Shell Solar					- 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지부터 CIS 박막형 태양전지 등 다양한 형태의 전지가 생산됨 - CIS형 태양전지는 박막형 태양전지 중 광전변환효율(11%)이 가장 높음

출처: 데이코산업연구원, 2007년

② 유럽

BP-Solar는 세계적인 석유회사인 영국 BP의 자회사로 스위스의 SOLAAREX를 합병한 이후 대규모 글로벌 태양광 회사의 하나로 자리매김하게 되었다. BP는 현재 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지와 태양전지

모듈을 생산하고 있으며, 2008년 기준 세계 태양전지 생산량의 6.4% 그리고 태양전지 모듈 생산량의 4%를 생산함으로써 세계 시장에서 각 부분에서 10위권 내 위치하고 있다.

Q-cell은 2002년 처음 태양전지 사업을 시작하였으며, 최근 급격히 성장하여 판매량 기준으로 전세계에서 5위권 안팎의 상위그룹에 랭크되어 있다. 2008년 태양전지 생산량은 370MW에 달해 세계 선두 업체인 일본의 샤프를 제치고 태양전지 부문 1위에 올라서기도 하였다.

<표 2> 유럽 주요 태양전지 업체 현황

업체	매출액 성장률 (YoY)	영업 이익률	총자산	총부채	주요사업내용
Q-cell	59.2%	21.9%	2,588	431	- 주요 생산품은 실리콘계 결정질 태양전지 (셀 변환효율: 15~16%) - 박막형 태양전지 파일럿 생산라인을 운영 중
Solar World	33.8%	22.1%	1,686	631	- 실리콘계 결정질 태양전지 생산 - 초기 주로 시스템 분야에 치중하였으나 현재 다양한 자회사를 통해 분야에 걸쳐 수직 계열화를 구축
Sunways	40.2%	1.3%	553	90	- 실리콘계 다결정질 태양전지 생산 - 최근 박막형 태양전지 분야 진출 위해 생산라인 건설 중
Ersol Solar	10.9%	-32.4%	91	9.7	- 실리콘계 결정질 태양전지 - 2006년 8월에는 Ersol Thin Film GmbH를 설립하여 박막 분야에 진출

출처: 데이코산업연구원, 2007년

③ 일본

일본의 태양전지 생산 및 태양광 발전 누적 도입량은 꾸준히 성장해왔고 앞으로도 꾸준히 성장할 것으로 예상하고 있다. 비쿠카메라 등과 같은 가전양관점들도 태양광발전 관련 사업을 준비하고 있는 것으로 조사되었다.

또한 도시바가 2008년 1월 태양광발전 시스템사업에 대한 본격적인 참여의지를 표명하였으며, 도요타자동차는 태양전지를 탑재한 신차 '프리우

스가 대히트를 칠 것을 예감하고 있다. 일본의 태양전지 선도기업들이 다수 있기는 하나 미국과 유럽을 중심으로 한 선진 기업들의 태양전지 산업화에 대한 열망을 이기지 못해 일본은 태양전지 산업에서 최근 세계시장에서 밀리고 있는 실정이다.

2008년의 태양전지 생산량 기준으로 샤프가 2007년의 2위에서 4위로, 京세라가 4위에서 6위로, 산요(三洋)電機 및 미츠비시(三菱)電機는 아예 10위권에서 자취를 감추었다. 이에 분발하여 쇼와(昭和)셀석유가 1천억엔을 투자하여, 1GW급 공장을 건설하고, 京세라는 판매대리점을 현재 63개사에서 2010년 3월말까지 100개사로 확대할 계획을 발표하였으며, 칫소·신닛코(新日鐵)홀딩스 등은 공동으로 부자재업체를 설립하였고, 전용 소재를 시판키로 했으며, 食器업체인 노리타케(주)가 태양전지 표면전극 사업에 참여를 표명한 바 있다.

3. 시장규모 및 전망

본 절에서는 국내외 박막형 태양전지 시장 규모 및 전망을 분석하고 이를 바탕으로 대상 기술의 직접적 시장이 될 수 있는 태양전지용 CVD 장비 시장의 규모 및 전망을 추정 분석 하였다.

우선 박막형 태양전지 시장규모를 보면 2008년 약 1,819 백만불에서 2013년에는 약 8,477 백만불로 증가할 것으로 예상되며 이때의 연평균 성장률(CAGR, Compound Annual Growth Rate)은 약 36% 이다.

<표 3> 전세계 태양전지 시장규모 추이¹⁾

(단위 : 백만불)

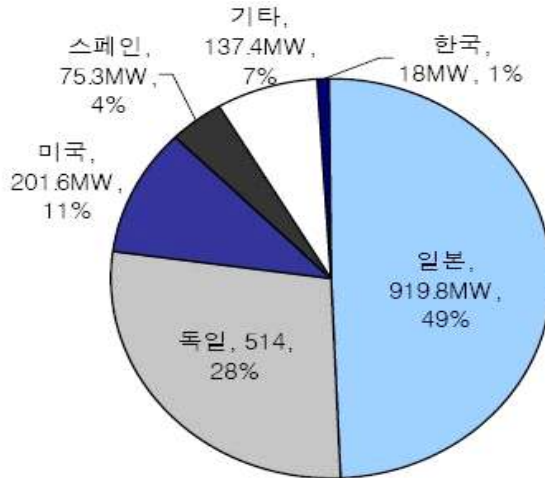
구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
a-Si	728	1,076	1,696	2,710	3,451	4,467
CdTe	923	1,207	1,425	1,503	1,455	1,384
GIGS	147	247	694	1,192	1,937	2,384
DSSC & Polymer	21	33	65	111	159	242
합계	1,819	2,563	3,880	5,516	7,002	8,477

자료 : Displaybank. 2009. 3.

1) 2009년 이후는 추정치

한편, 한국의 태양전지 시장 규모는 세계 시장 규모의 약 1%에 해당하는 것으로 알려지고 있다.

<그림 5> 각국별 태양전지 생산량 및 생산 비중



출처: Report IEA-PVPS, 2008년

이를 바탕으로 우리나라의 태양전지 시장을 추정해 보면 2009년 약 18.1백만불에서 2013년 약 84.77백만불로 증가할 것으로 추정된다.

<표 4> 우리나라 태양전지 시장규모 추이

(단위 : 백만불)

년도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
시장규모	18.19	25.63	38.8	55.16	70.02	84.77

자료 : Displaybank. 2009. 3.와 Report IEA-PVPS, 2008년를 이용해서 추정

최근 발행된 전자부품 2009년 3월호에서는 박막태양전지 장비 시장은 박막태양전지 시장의 약 58%에 해당하며 이중 CVD 장비가 약 50%를 차지하는 것으로 밝히고 있다. 즉 CVD 장비는 박막태양전지 시장 규모의 약 24%에 해당한다고 볼 수 있다. 이를 바탕으로 국내외 박막태양전지용

CVD 장비시장을 추산해 보면 세계 시장은 2008년 약 615백만불에서 2013년 약 2,034백만불로 증가할 것으로 추정된다.

국내시장은 동 기간에 약 4.36백만불 규모에서 2013년에는 약 20백만불 규모로 증가할 것으로 추정된다.

<표 5> 전세계 박막태양전지용 CVD 장비 시장규모 추정

(단위 : 백만불)

년도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
시장규모	436.56	615.12	931.2	1,323.84	1,680.48	2,034.48

자료 : Displaybank. 2009. 3.와 Report IEA-PVPS, 2008년 및 전자부품 2009년 3월호를 이용해서 추정

<표 6> 국내 박막태양전지용 CVD 장비 시장규모 추정

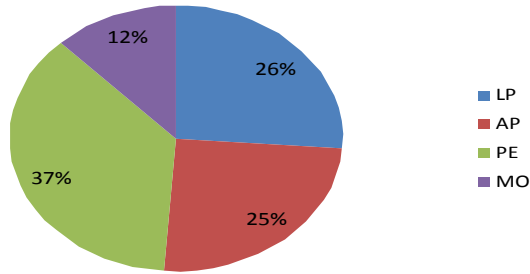
(단위 : 백만불)

년도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
시장규모	4.36	6.15	9.3	13.23	16.80	20.34

자료 : Displaybank. 2009. 3.와 Report IEA-PVPS, 2008년 및 전자부품 2009년 3월호를 이용해서 추정

한편 Dataquest에 따르면 AP CVD 시장은 전체 CVD 시장의 약 25% 정도 수준인 것으로 나타나고 있다.

<그림 6> CVD 장비 시장의 분할 구도



자료 : Dataquest

이 비율을 적용하여 국내외 박막태양전지용 CVD 장비 시장규모를 추정해 보면 세계 시장은 2010년 약 232 백만불, 2013년 약 508백만불 수준에 이를 것으로 추정된다. 또한 국내 시장은 2010년 2.32 백만불, 2013년 5.08 백만불 수준이 될 것으로 추정된다.

<표 7> 전세계 박막태양전지용 AP CVD 장비 시장규모 추정

(단위 : 백만불)

년도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
시장규모	109.1	153.7	232.8	330.9	420.1	508.6

자료 : Displaybank. 2009. 3.와 Report IEA-PVPS, 2008년, 전자부품 2009년 3월호 및 Dataquest 자료를 이용해서 추정

<표 8> 국내 박막태양전지용 AP CVD 장비 시장규모 추정

(단위 : 백만불)

년도	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
시장규모	1.09	1.53	2.32	3.30	4.2	5.08

자료 : Displaybank. 2009. 3.와 Report IEA-PVPS, 2008년, 전자부품 2009년 3월호 및 Dataquest 자료를 이용해서 추정

전세계 태양광 산업은 높은 성장률을 나타내면서 급격한 속도로 성장하

였다. 아래 표에서와 같이, 태양전지 시장규모에 대한 전망은 관련 업체나 조사기관마다 큰 편차를 보이지만 용량 기준으로 보면 여전히 향후 5년간 연평균 30% 수준의 성장이 예상된다.

<표 9> 조사기관별 태양전지 수요 용량 전망 (단위: GW)

조사기관	2005	2010 전망
CLSA(2006.4)	1.5	6.0
EPIA/Greenpeace(2006.9)	1.4	5.6
LBBW(2006.3)	1.3	4.1
Citigroup(2005.6)	1.25	3.8
Solarbuzz(2006.3)	1.46	3.2~3.9
Bank Sarasin(2006.3)	1.2	3.3

출처: 지식경제부

이러한 상황으로 미루어 보아도 대상 기술의 직접적인 시장이 되는 박막태양전지용 CVD 장비 시장은 향후 36% 수준에 이르는 성장이 가능할 것으로 분석된다.

참고문헌

1. WINTERGREEN RESEARCH, 2008년
2. Martin A. Green, Keith Emery, David L. King, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, "Solar Cell Efficiency Tables(version 29)," Prog. Photovolt. Res. Appl., Vol.15, 2007, pp.35-40.
3. R.R. King, D.C. Law, K.M. Edmondson, C.M. Fetzer, G.S. Kinsey, H. Yoon, R.A. Sherif, and N.H. Karam, "40% Efficient Metamorphic GaInP/GaInAs/Ge Multijunction Solar Cells," Appl. Phys. Lett., Vol.90, 2007, p.183416.
4. 국내외 태양전지 시장 및 업체 현황, vol.35
5. 세계 태양전지 시장조사 결과, 야노경제연구소, 2008년
6. Displaybank. 2009. 3.
7. Report IEA-PVPS, 2008
- 8 전자부품 2009년 3월호