

실리콘 태양전지용 잉곳/웨이퍼 기술 개발 동향 및 향후 전망: 전통에 도전하여 혁신으로 일어선다!



남우석
웅진에너지
연구기획팀장

요 약

실리콘 태양광 시장에서 중국은 독일을 필두로 하는 유럽연합, 미국 그리고 일본의 규모를 넘어서고 있는 근래의 최강자임을 부정할 수 있는 이는 없을 것이다. 그런 반면, 국내 태양광 가치사슬의 주요 기업들은 공룡과의 경쟁에서 큰 어려움을 겪었으나, 나름의 성과와 상승세를 나타내면서 이제 조금씩 깊은 굴곡을 벗어나려는 노력을 경주하고 있다. 본고에서는 현재 태양광 가치사슬의 현실에서 시장상황에 가장 큰 타격을 받고 있는 잉곳/웨이퍼 분야에 대하여, 관련기업들의 자립을 위한 노력과 현재, 미래 기술 동향에 대하여 소개하고자 한다.

서 론

국내에서 태양광 가치사슬을 살펴보면 원소재인 폴리실리콘 제조 부문에서는 세계 top tier인 OCI를 비롯하여 한화케미칼과 한국실리콘이 꾸준히 노력하고 있으며, SMP도 Granule type polysilicon 1만톤 체제를 갖추고 생산에 참여하고 있다. Cell/module 분야에서는 LG전자와 현대중공업, 신성솔라에너지, S-Energy 등이 꾸준히 자기개발을 하면서 중국과의 경쟁을 정면돌파하고 있다. 그런데 시선을 잉곳/웨이퍼

분야로 돌려보면 상황이 조금 어두워진다. 물론 다른 분야에서 나름의 어려움을 토로 하고 있으나, 잉곳/웨이퍼 분야만큼 중국과 세계시장의 상황에 크게 휘둘리는 분야도 없는 상황이다. 이는 중국 내 태양광 기업들이 원소에서 모듈, 시스템에 이르는 수직계열화하면서 잉곳은 Wafer의 중간공정으로 묶인 영향이 크다. 이와 관련하여 잉곳/웨이퍼 분야에서 국내 현황 및 세계시장과 경쟁하기 위한 기술개발 동향에 대하여 알아보려고 한다.

단결정 웨이퍼의 가격 경쟁력을 회복하자

태양광 웨이퍼 시장은 중국 GCL Poly가 전체 시장의 4분의1 이상을 점유하고 있다. GCL Poly 외에도 생산량 상위 10곳 중 8곳이 중국 업체다. 2014년도를 기준으로 GCL Poly의 웨이퍼 생산량은 1만3,099MW(시장 점유율 27.8%)이고, 그 뒤를 이어서 Yingli Green Energy Holdings 2,587MW(5.5%), Green Energy Technologies(대만) 1,980MW(4.2%), Renesolar 1,980MW(4.2%), Xian Longji Silicon Materials 1,877MW(4.0%), LDK Solar 1,673MW(3.6%), Trina Solar 1,594MW(3.4%), JinkoSolar Holdings 1,573MW(3.3%), Suntech Power Holdings 1,521MW(3.2%), 넥솔론(한국) 1,346MW(2.9%)이 GCL Poly의 뒤를 따랐다.^[1] 사실상 중국이 전체 태양광 웨이퍼 시장을 장악하고

있다고 해도 과언이 아니다. 태양광 웨이퍼의 가격 하락은 앞으로도 계속될 전망이다 그 폭은 크게 둔화될 전망이며, 현재의 치킨게임에서 살아남은 중국 업체들이 그 결실을 수확할 것은 자명한 사실이다. 현재의 상태를 자세히 들여다보면 단결정 업체로서 나아갈 방향이 보이게 된다.

현재 태양광 시장에서 실리콘 웨이퍼가 차지하는 비중은 2014년 현재 92%에 달하며, 올해 상반기를 볼 때, 단결정 웨이퍼의 공급량은 25% 정도로서 작년보다도 더 낮은 상태이며, 대부분은 다결정 웨이퍼가 차지하고 있다. 이렇듯 다결정의 비중이 높기 때문에 단결정 업체들은 각고의 노력으로 생산원가를 낮추기 위해 노력하였고, 그 결과 중국내에서는 몇몇 단결정 태양전지 가격이 2.35RMB/W_p로 낮아져서 다결정 태양전지와 가격이 거의 같은 수준에 달하였다. 그러나 역설적으로 이 부분에서 단결정 웨이퍼 업체의 생존 가능성이 찾아진다.^[2]

그 동안 단결정은 발전효율이 높지만 공정 과정이 복잡해서 생산원가가 비싸다는 인식이 높았지만, 현재는 이러한 고정관념을 거두어야 하는 시점이며, 반대로 여기해서 다결정 웨이퍼 업체들이 단결정의 효율과 경쟁해야 하는 상태가 된 것이다.

즉 단결정 업체들은 그 동안의 기술 개발 노력으로 현재의 가격 수준보다 더 낮은 가격에 웨이퍼를 생산할 수 있

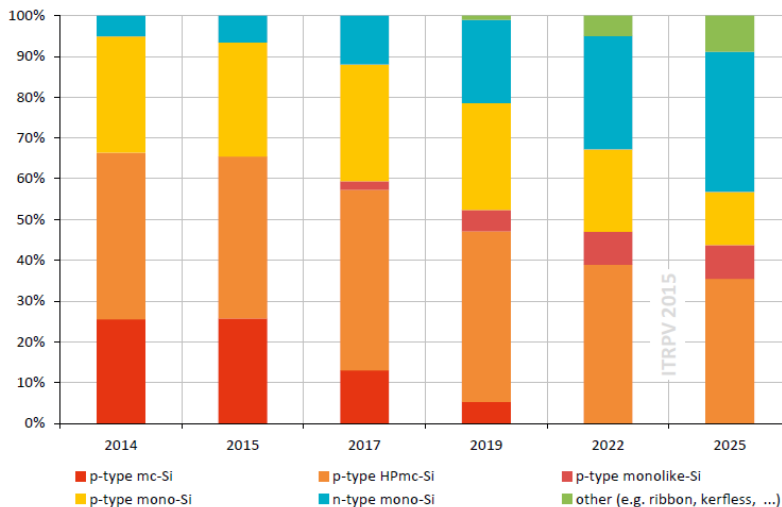


그림 1. 향후 웨이퍼 종류별 시장 점유율 예상(2015. ITRPV)^[3]

는 여력을 갖춰가고 있으나, 다결정 업체에서는 현재의 웨이퍼 생산 단가수준까지 근접한 단결정 웨이퍼 때문에 판매가격을 높이기 어려운 상태에 도달한 것이다. 따라서 현재와 같이 0.85\$/pcs. 수준으로 가격대가 고착될 가능성이 있으며, 종래에 단결정 수요 증가에 맞춰 가격 역전 현상이 나올 수도 있다고 판단된다.

앞으로 2020년경에 차세대 다결정 잉곳 성장로의 Gen8 규모가 상용화가 되기까지는 이와 같은 가격 역전 우려가 높아질 수밖에 없으며, 다결정 Top tier의 Gen8 장비에 대한 대규모 투자가 일어나는 2020년 이후에는 장

비 투자에 따른 감가상각이 커지고, 단결정 ingot/wafering 기술의 개발에 따른 가격격차의 감소 등으로 말미암아 실질적인 wafer 가격차이 경쟁은 이제는 무의미하다고 할 수 있다.^[3]

그래서 다결정 태양전지 진영에서는 PERC cell 구조로 고효율화를 꾀하고 있으나, 이미 현대중공업이 내년도 사업 방향을 P-type PERL cell 구조로 전면 개편하고 있으며 LG전지는 진작부터 N-type 고효율 모듈을 시장에 출시하여 고효율 제품군을 선도하는 등, 단결정 업체들도 또한 고효율 제품으로의 전환을 시작하고 있다. 결국 동일 면적에서 생산되는 전력에 대하여 다결정 모듈이 넘어서기 힘들다는 점은 자명해 졌다. 특히, 일본 Panasonic사에서 개발 중인 세계 최고효율 25.6%의 N-type cell이 향후 상용화가 된다면 이러한 격차는 더욱 커지게 된다.

이렇게 단결정 wafer가 점차 가격 경쟁력을 회복하는 주요 원동력은 무엇에 있을지 살펴보면, 전통적인 잉곳 성장 기술의 혁신과 wafer 가공 기술의 발전을 빼놓을 수 없다.

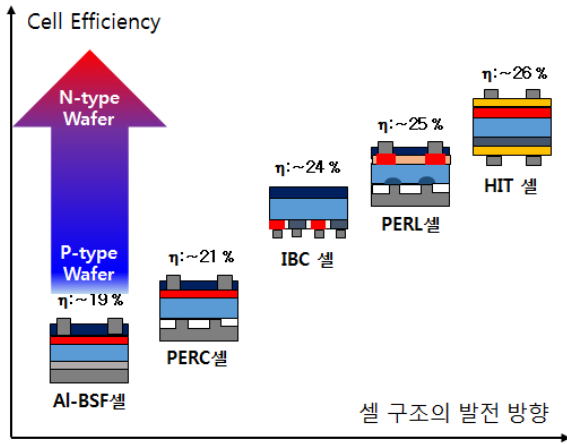


그림 2. 태양전지의 개발 방향(KIST&WJE, 2015)

원가 경쟁력으로 무장

기존의 단결정 잉곳들은 하나의 석영도가니에서 하나의 잉곳을 생산하였으며, slurry type wire sawing에 의해서

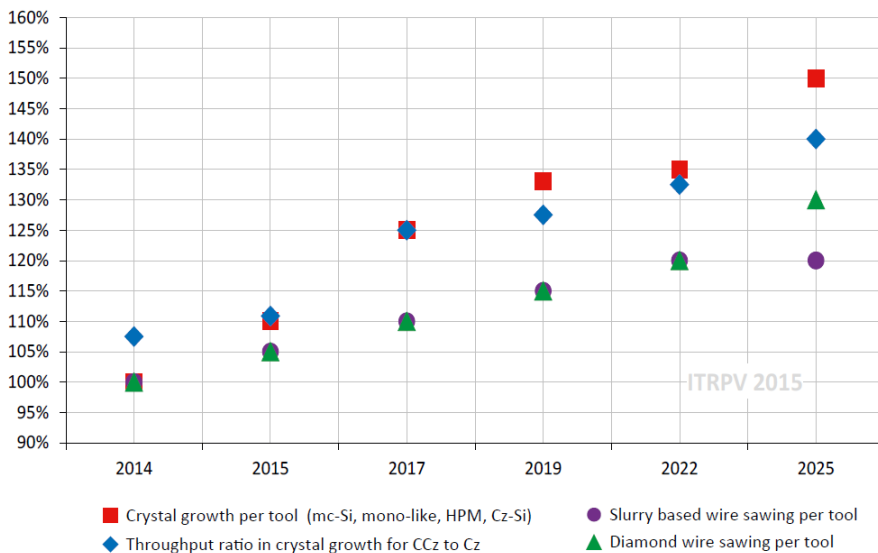


그림 3. Ingot 생산장비의 수율 및 wafering 기술의 발전전망(2015 ITRPV)^[3]



생산되어졌다. 그러나 원가 경쟁기 가속화 되면서 선진 업체들을 중심으로 하나의 석영도가니에서 2개~최대 5개까지 생산이 가능한 multi-pulling 기술들이 개발되면서 원부자재의 단가를 낮추는 노력이 이어져 왔다.

이러한 기술은 ingot grower 내부의 열원인 side heater 구조를 개선하고, bottom heater를 채용하거나 외부에서 실리콘을 지속적으로 투입할 수 있는 external feeding 기술이 개발되면서 가능해 졌다.

특히 external feeding 기술은 SunEdison(舊, MEMC)에서 개발한 MS-FBR 기술로 만든 granule type polysilicon 기술과 결합하여 더욱 발전하였다. 현재는 자회사인 SMP(한국)에 1만톤 규모의 공장을 확충하여 향후 단결정 업체들의 지속적인 원가 절감 노력을 지원할 것으로 보인다.

두 번째 중요 기술은 Diamond wire sawing 기술의 개발이다. 웅진에너지에서 세계 최초로 상용화된 이 기술은 기존의 slurry type wire sawing 기술보다 훨씬 적은 kerfloss를 발생시키기 때문에 kg당 wafer 생산 장수를 늘릴 수 있었다.

기술 적용 당시에 wire의 중심선인 core의 직경이 약 150 μ m 수준으로서, 다이아몬드 입자까지 포함하여 절삭두께가 약 200 μ m 수준이기 때문에 당시로서는 약 20 μ m의 실리콘을 적게 소모하는 신기술이었다. 이러한 수준이 현재는 core 약 80 μ m까지 작아져서 sawing 두께가 약 100 μ m로 시작 시점에 1/2수준으로 줄어들었다. 따라서 선진업체에서는 단결정 wafer를 60pcs/kg 수준으로 가공하고 있

다. 특히 core 직경을 더 줄이기 위해서 기존의 철재 강선에서 탄소섬유를 이용하거나 resin을 사용하는 등의 신기술 개발이 병행되면서 보다 생산성 높은 wire saw와 wafering 장비기술이 개발되고 있다. 이러한 기술개발로 인해서 현재의 sawing 원가 수준인 0.25~0.3\$/pcs에서 향후 3, 4년 후에는 0.15\$/pcs 수준으로 가공비를 0.1\$ 이상을 줄일 수 있을 것으로 전망하고 있다.^[4]

전통에 도전한다

1916년 Jan Czochralski(얀 초크랄스키)의 우연한 발견에서 발전한 단결정 성장법은 그 동안 동그란 원기둥을 생산하는 기술로 알려져 있었다. 따라서 과거의 태양전지들은 동그란 태양전지를 만들어서 모듈화 하기도 하였었다. 그러나 solar cell간 dead space를 줄이고 조금 더 많은 전력을 생산하기 위해서 태양전지의 형상은 4각형으로 변화하였고, 잉곳이 직경 6인치에서 8.5인치로 커지면서 현재의 6인치 태양전지가 만들어지고 있다. 그런데 이렇게 사각으로 가공을 하기 위해서는 둥근 잉곳을 사각기둥으로 잘라내야 하며 가공으로 손실되는 부분을 제외하면 실질적으로 태양전지로 사용되는 면적은 다해서 65% 정도 밖에는 활용을 못한다.

그 동안 중국을 중심으로 단결정 웨이퍼 업체들과 태양전지 제조업체들은 유효 면적 65%를 조금 더 늘려서 사용해 보고자 새로운 wafer 규격을 만들어서 약간의 면적이 증가된 중국의 M1, M2 specification 또는 미국의 N1 규격을 만들어서 사용하고 있다. 현재는 조금 더 면적을 늘린 M3 규격이 중국에서 제정될 것으로 보인다. 우선 중국이 세계 시장을 좌지우지하고 있기 때문에 중국의 wafer 표준이 곧 세계 표준으로 이어지고 있다.^[5]

하지만 이러한 생각들은 모두 원기둥 잉곳을 만들어서 최대한 활용하자는 고정관념에서 출발하고 있다. 웅진에너지에서는 이러한 생각을 탈피하여 잉곳을 최대한 활용하고 부산물의 발생을 최소화 시키는 기술개발에 주력하고 있다. 이른바 pseudo-squared grown ingot으로서 원기둥을 정사각형화 하는 신기술이다.^[6]

표 1. 중국의 M1, M2 wafer specification

DESCRIPTION	M1, M2 Product		
	M1 205mm / M2 210mm	Unit	REMARK
1. CHEMICAL CHARACTERISTICS			
OXYGEN CONCENTRATION	≤ 18,0	ppma	FTIR
CARBON CONCENTRATION	≤ 1,0	ppma	FTIR
2. MECHANICAL CHARACTERISTICS			
DIAGONAL LENGTH	205,0 ± 0,25 / 210,0 ± 0,25	mm	
FLAT TO FLAT LENGTH	156,75 ± 0,25	mm	

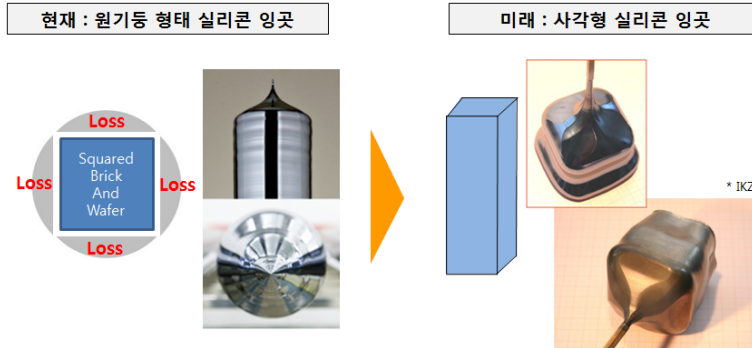


그림 4. 사각형 잉곳 성장 기술개발

이렇게 생산된 준 사각형의 잉곳은 형태가 태양전지 형상처럼 거의 정사각형이기 때문에 그 동안 부산물로 잘려 나갔던 ingot wing 면적을 35%에서 10%대로 줄일 수 있게 된다.

앞서 전술 하였던 단결정의 생산원가 절감이 더 일어날 여지가 있다는 것이다. 현재 기술개발에 주력하고 있으며 이의 실현을 통하여 세계 8대 중국 기업들과 가격 경쟁을 할 수 있는 원천을 확보 할 수 있게 된다. Czochralski의 발견이후 100년, 한 세기에 걸쳐 원기둥 성장으로만 생각 하였던 잉곳을 사각으로 키워내는 혁신적 성장법의 개발을 통하여 잉곳/웨이퍼 산업에 있어서 현재의 불황을 극복 하는 중요한 열쇠를 쥐게 될 것이다.

결론

현재의 잉곳, 웨이퍼 시장은 중국이 실질적으로 지배하고 있으며, 근소하게 싼 가격에 유사한 효율을 내는 다결정 태양전지, 모듈이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 이런 상태는 P-type 태양전지에 한한다고 볼 수 있다. 유사한 가격이 유지가 된다면 소비자들은 동일 면적에서 고효율 고풍력을 생산하는 제품으로 수요가 바뀔 것이며, 이런 상태는 단결정 업체에게는 현재의 상황을 타개할 중요한 변수가 된다. 아울러 중국에서 이미 단결정 태양전지와 다결정 태양전지의 가격이 유사해지면서 동일 면적에서 고풍력 모듈이 같은 가격대에 생산이 되기 시작한 만큼 이러

한 현상은 보다 가속화 될 것이 자명하다.

현재 시장의 대부분을 차지하고 있는 P-type 태양전지 시장이 고효율의 벽에 막혀서 서서히 단결정 다결정 모두 N-type으로 전환이 일어나게 될 것이며 이러한 수요에 적극적으로 단결정 잉곳, 웨이퍼 업체가 준비를 하고 발 빠르게 생산단가를 줄이기 위한 기술개발에 주력한다면 당면한 어려움을 극복하고 미래 태양광 시장에서 중국과 경쟁할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] P. Mints, "The top ten PV manufacturers: What the list doesn't mean", Feb. 2015. www.altenergystocks.com/archives/2015/02.
- [2] EnergyTrend, "2015 PV Market Insight_Custom Data Report", Oct. 2015. www.energytrend.com.
- [3] ITRPV, "ITRPV Roadmap 2015. Rev.1", July. 2015.
- [4] Z. Lee, "Longi forecasts rapid mono wafer cost reduction", PV Magazine-CEO interview, Mar. 2015.
- [5] X. Tian, "High Efficiency and Low Cost N-type Silicon Mono Wafer", 25th Workshop on Crystalline Solar Cells, and Modules; Materials & Processes, P68, July 2015.
- [6] O. Klein et al., "Modeling and Numerical Simulation of the Application of Trabeling Magnet Field to Stabilized Crystal Growth from the Melt", 12th Int. Cof. on Free Boundary Problems, June 2012.