

# EWT 태양전지 제작을 위한 레이저 미세 관통홀 가공 기술

이홍구\*, 서세영\*, 현덕환\*, 이용화\*, 김강일\*, 정우원\*, 이아름\*, 조재역\*

\*한화케미칼 중앙연구소 솔라연구센터(jecho@hanwha.co.kr)

## Laser via drilling technology for the EWT solar cell

Lee, Hong-Gu\* Seo, Se-Young\* Hyun, Deoc-hwan\* Lee, Yong-wha\* Kim, Gang-il\*  
Jung, Woo-won\* Lee, Ah-Reum\* Cho, Jae-ock\*

\*Solar R&D Center, Hanwha Chemical Corporation(jecho@hanwah.co.kr)

### Abstract

Laser drilling of vias is the one of key technologies in developing Emitter-Wrap Through(EWT) solar cell which is particularly attractive due to the use of industrial processing and common solar grade p-type silicon materials. While alternative economically feasible drilling process is not available to date, the processing time and laser induced damage should be as small as possible in this process. This paper provides an overview on various factors that should be considered in using the laser via drilling technology for developing highly efficient and industrially applicable EWT solar cells.

Keywords : EWT 셀(Emitter Wrap-Through cell), 레이저 가공(Laser processing), via, 손상 제거 에칭(damage removal etching), 2차원 스캐너(2-dimensional scanner)

### 기 호 설 명

EWT	Emitter Wrap-Through
MWT	Metal Wrap-Through

수많은 미세 관통홀(via)을 통해 전/후면 에미터를 연결함으로써 전면 전극에 의한 수광면적 제한을 제거하여 고효율 달성을 가능케 하는 매우 유연한 기하학적 구조를 갖는 후면 전극형 태양전지(그림 1 참조)이다.

### 1. 서 론

1993년 James M. Gee1) 등 이 개발한 Emitter Wrap Through (EWT) 셀은 레이저로 가공된

EWT 셀은 전/후면 및 via의 벽면에 모두 인(phosphorous) 도핑된 에미터층을 가지기 때문에 전하 수명이 짧아 확산 거리가 짧은 캐리어를 전후면(n+pn+)에서 효과적으로 수집

투고일자 : 2011년 6월 28일, 심사일자 : 2011년 6월 28일, 게재확정일자 : 2011년 8월 18일  
교신저자 : 조재역 (jecho@hanwha.co.kr)

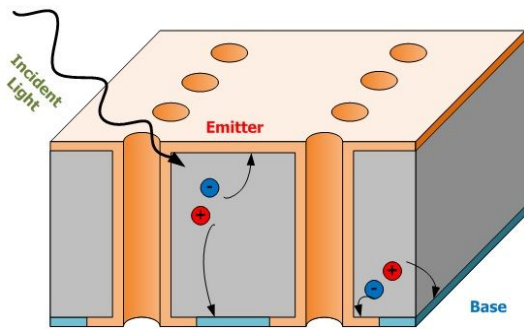


그림 1. EWT solar cell의 구조

가능하여 저 품위 태양전지용 p형 웨이퍼에 레이저 via 가공, 확산 및 PECVD, 스크린 인쇄기법에 의한 전극형성 기술 등의 기존 양산 공정을 적용하여 저가의 고효율 태양 전지를 생산할 수 있다는 장점을 가진다. 이 외에도 모듈 제작이 용이할 뿐만 아니라 전면 전극 제거에 따른 심미적인 외관 때문에 건물 외벽 등에 설치 시에도 유리하다. 현재 EWT 셀은 Advent soar를 인수한 Applied Materials, Q-Cells, Fraunhofer ISE, ISFH 등의 회사 및 기관에서 연구 및 파이롯(pilot) 수준의 생산을 진행하고 있다.<sup>2)</sup>

지금까지 개발된 EWT 셀의 충전율(Fill Factor, FF)이 상업적인 결정질 태양전지에 비해 낮은데, 가장 큰 이유는 웨이퍼 내부에서 확산 전류의 급격한 변화에 기인하는 것이며, 이러한 현상은 via를 따른 전도율에 의해 영향을 받는 것으로 확인되었다.<sup>3)</sup> 또한, 후면의 pn 접합부가 충분히 패시베이션 되지 않았을 경우, 인쇄 기법으로 전극을 형성한 EWT 셀에서 이것이 손실의 지배적인 원인이 되며, 에미터 가장자리에서의 유효 재결합 속도에 따라 최대 5%까지 충전율이 감소할 수도 있기 때문에 적절한 패시베이션과 기관의 선택적 도핑이 매우 중요하게 된다.<sup>4)</sup> 따라서, 근본적으로 낮은 EWT cell의 충전율을 개선하기 위해서는 웨이퍼의 비저항을 낮추는 것이 매우 유용한 방법으로 제안되고 있다.

상업적으로 이용 가능한 20% 이상의 EWT

셀을 개발하기 위해서는 셀의 기하학적 구조, 구성 원료, 베이스 전극, 후면 패시베이션, 에미터 패시베이션, 선택적 도핑에 의한 에미터 형성 등의 기여가 종합적으로 요구된다.<sup>5)</sup>

James M. Gee 등에 의한 모델링 결과 4인치의 다결정 및 단결정 웨이퍼에서 각각 18%와 21%의 효율을 얻을 수 있을 것으로 계산되었다.<sup>1)</sup> 한편, 베이스와 에미터 전극간 단차를 이용하여 pn 접합부 분리를 한 후 증착에 의한 전극 형성 및 후면 패시베이션 성능을 극대화하기 위해 Laser Fired Contact (LFC) 기술을 적용한 독일 ISFH의 Rear Interdigitated Single Evaporation (RISE) 셀을 개선한 4인치 RISE-EWT 셀에서는 21.4%의 효율을 얻은 것으로 보고된 바 있다.<sup>6)</sup> 또한, 최근에 James M. Gee 등은 p형 Cz 실리콘 기판에 상용화된 생산 공정만을 적용하여 6인치 웨이퍼에서 19.0%를 달성하였다.<sup>5)</sup> 국내의 경우, 삼성 SDI에서 17%의 5인치 다결정 Metal Wrap Through (MWT) 셀의 개발에 대한 보고가 있으나<sup>7)</sup> EWT 셀에 대해서는 아직 보고된 바가 없다.

본 논문에서는 고효율 EWT 셀 제조 공정에서 매우 중요한 레이저 via 가공 기술과 관련된 via 형성 방법, 레이저 via 가공의 개념적 이해, via 형성을 위한 레이저 기술의 장점, 레이저의 선정 방법, 레이저 via 가공 시 손상 최소화 방안, EWT 셀에 대한 레이저 via의 영향 및 via 형성을 위한 레이저 장비 등에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. via 가공을 위한 기술 비교

EWT 셀 공정에서 필수적인 via는 광 리소 그래피에 의한 패터닝 및 웨이퍼를 관통하지 않거나 거의 관통하는 피라미드 모양의 압입(壓入) 형상을 에칭하거나, 웨이퍼 전/후면에서 교차되도록 기계적인 조각을 하여 교차점에 via를 형성하는 방법 및 웨이퍼 표면 배향에 무관할 정도의 저 품위 웨이퍼에 대해

더욱 보편적인 접근 방법인 레이저 가공에 의한 형성 방법 등이 있다.

통상적으로 via 간 간격이 1 mm라고 볼 때, 6 인치 웨이퍼의 경우 약 25,000 개의 via가 요구되는데, 1 KHz보다 큰 주파수에서 단 한 펄스만으로 via를 가공하는 능력을 보유한 레이저 시스템이 있어야 현재 양산 라인의 처리 속도에 도달 가능한 상황이지만, 실제로는 펄스에너지가 너무 커서 가공 후 손상의 정도가 매우 심해지는 문제가 있다.<sup>8)</sup>

Alexander Polyakov 등이 250  $\mu\text{m}$  두께의 웨이퍼에 직경이 50 ~ 100  $\mu\text{m}$ 인 via를 가공하기 위해서 파우더 블라스팅, 레이저 물질 제거, 레이저 용융 가공 및 Deep Reactive Ion Etching (DRIE) 기술을 적용한 결과 DRIE와 레이저 공정 시 직경 100  $\mu\text{m}$  이하의 via가 가공이 가능했으며, 기계 강도는 DRIE, 레이저 물질 제거, 레이저 용융 가공, 그리고 파우더 블라스팅에 의한 via 가공 웨이퍼 순으로 높았다. 에칭을 통한 기계적 강도의 개선 효과는 특히 레이저 용융 가공과 파우더 블라스팅에 의한 가공에서 매우 컸다. 가공 속도 측면에서는 레이저 기술이 DRIE에 비해 훨씬 경쟁력이 있는데, 왜냐 하면 가공시간 측면에서 1회에 100장 정도의 웨이퍼를 가공할 수 있는 DRIE 장비가 필요할 뿐만 아니라 마스크를 위한 정렬 작업 등 웨이퍼 취급시간에서 매우 불리하며, 이 외에도 가공 패턴이 바뀔 경우 마스크의 신규제작 및 주기적인 교체 비용 등 유지비용 측면에서도 경쟁력이 떨어지기 때문이다.

앞에서 언급한 기술 외에도 화학적 에칭, 밀링 및 기계적 드릴링 기술이 있으나 이들은 150 ~ 300  $\mu\text{m}$  이상의 via 가공에만 이용할 수 있는 기술이므로 EWT 셀용 via 가공에는 적용이 어렵다.<sup>9)</sup>

### 3. 왜 레이저 기술인가?

레이저 기술을 태양전지에 적용하는 이유

는 기본적으로 태양전지에 사용되는 모든 물질이 빛을 흡수하고, 파장이 1  $\mu\text{m}$  이하인 빛에 대한 광학적 및 열적 침투 깊이가 크지 않고(그림 2 참조), 레이저 빔을 10 ~ 100  $\mu\text{m}$  크기로 집속시킬 수 있으며, 웨이퍼의 파손 방지에 특별한 주의가 필요한 기계적 요구 등으로 요약될 수 있다. 레이저 장비를 이용한 셀의 제조는 박형 웨이퍼, 빛 가림에 의한 손실 최소화, 전/후면 전극의 전기 및 광학적 특성 개선, 표면 및 웨이퍼 내부의 재결합 최소화 및 가장 중요한 생산 단가 절감에 기반을 두는 고효율 태양전지 생산 공정에 적용 시 원가 절감 및 효율 증대의 가능성을 제공할 수 있음이 연구 및 생산 라인에서 최근에 검증되고 있는 상황이다.<sup>10)</sup>

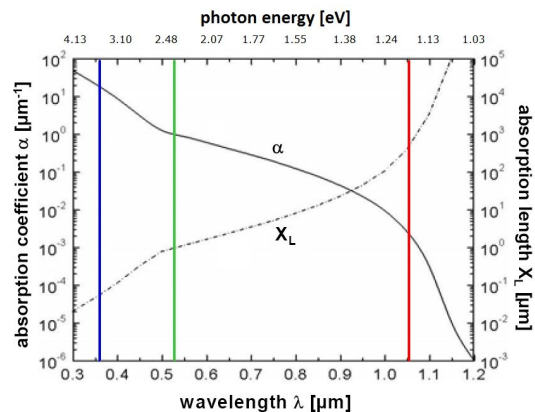


그림 2. 실리콘에 대한 파장에 따른 흡수계수  $\alpha$ 와 광학적 침투 깊이

더욱이 주요 레이저 파라미터들을 최적화함으로써 에칭, 기계 가공이나 DRIE와 같은 경쟁 기술이 더 이상 상대가 되지 못할 수준까지 via 가공 품질을 최적화 할 수 있다는 장점도 있다. 또한 최근 생산되는 고체 레이저들은 높은 가동률, 뛰어난 공정 재현성을 확보하고 있을 뿐 아니라 어떠한 독성 화학물질이나 부산물 처리에 대한 부담도 없다는 장점을 가진다.

최근에 주목받고 있는 선진형 또는 고효율

셀 중 wrap-through 셀의 생산기자재에 대한 최적화와 관련된 논의에서 레이저의 적용에 우선순위가 매겨지는 것은 전혀 놀라운 일이 아니며<sup>11)</sup>, “레이저 via 가공이 EWT 셀을 제조하는데 핵심 기술 중 하나인데, ”레이저 만큼 경제적이고 실현 가능한 대체 기술이 없기 때문이다”라는 Schoonderbeek 의 설명으로 그 이유가 충분히 설명될 수 있다.<sup>12)</sup>

표 1. Wrap-through 셀에서 레이저 via 가공을 위한 주요 파라미터

구분	MWT 셀	EWT 셀
웨이퍼 당 via 수	~ 100-200	~ 15,000 (5" 웨이퍼) ~ 25,000 (6" 웨이퍼)
via 직경 (μm)	~ 80-200	~ 30-100

표 1은 wrap-through 셀 생산에 필요한 via 의 가공에 위한 주요 파라미터들이다. EWT 셀을 위한 via 직경이 MWT 셀에 비해 더 작지만, 웨이퍼 당 가공해야하는 via의 수는 EWT 셀이 훨씬 더 많다. 셀 제작을 위해서는 수 초 내에 레이저 via 가공이 이루어져야만 하므로 MWT 셀에 비해 EWT 셀의 제조가 훨씬 더 어려움을 알 수 있다.

Wrap-through 셀 제조 공정을 위한 레이저의 이용에서 상기 표에서와 같은 주요 공정 파라미터의 차이를 이해하고 구현하는 것도 중요하지만 가장 결정적인 요소는 via의 가공 품질이다. 실제로 가공 완료 후 품질이 다른 모든 고려 사항들에 우선하게 되는데, via 가공 품질은 via 측벽의 품질, via 측벽에서부터 웨이퍼 내로 퍼져나가는 미세 균열, 생성되는 가공 잔존물 및 레이저 가공 전/후 웨이퍼의 기계적인 강도 등을 모두 포함한다. 따라서 넓은 공정 대역 내에서 고 품질을 얻는 것이 후속 에칭 과정을 통해 레이저에 의한 손상을 완화시키는 것 보다 오히려 더욱 이상적인 해법이 된다.<sup>11)</sup>

#### 4. 레이저 via 가공 기술의 이해

레이저에 의한 물질의 제거는 레이저 빔이 재료 표면 또는 근처에서 고체, 액체, 기체 및 플라즈마 상과 상호작용함에 따라 가열, 용융, 증발 및 이온화를 포함하는 수많은 동시적인 프로세스들과 관계된다. 피코초 (picosecond) 이하 레이저 빔의 경우, 재료의 고유 열중성자화 시간보다도 펄스폭이 더 짧아서 열적 효과가 거의 없이 가공이 이루어지게 되어 미세 가공에 매우 유리하다. 하지만, 나노초 (nanosecond) 레이저의 경우에는 복잡한 동시적인 물리 공정들이 혼재되어 나타난다.

나노초 레이저 가공에서는 방사조도에 따라 제거 공정에서 상당한 차이를 나타나게 되는데, 펄스 에너지가 일정할 경우 최대 용융 깊이는 펄스폭이 길수록 증가하게 되며 동시에 방사조도에 의존하여 반발 압력이 감소함으로써 레이저 빔과 재료의 상호작용 영역에서의 불완전한 용융물 배출이 초래된다. Yun Zhoua 등은 용융물 배출 현상을 이해하기 위해 나노초 레이저를 주사하면서 Image Intensified CCD 이미지를 시간에 따라 분석한 결과, 물질 제거는 증기가 이온화될 때 관측되는 플라즈마 기둥을 만들어 내는 표면 증발 뒤에 이어지는 약 200 ~ 300 ns 정도의 지체 시간에 일어나는 액체 배출을 통해서 이루어짐을 관찰하였다. 관측되는 액체 배출 메커니즘에 대해서는 아직 확실히 밝혀지지 않았으며, 한 가지 가능성은 상 폭발에 의한 것인데 현재까지의 분석 결과로는 단지 추론일 뿐이다.<sup>13)</sup>

짧은 나노초 또는 피코초 펄스 사용 시에는 방사조도가 충분히 높아서 플라즈마 형성을 개시하여 플라즈마 흡수를 일으키게 된다. 플라즈마 영향은 펄스 폭, 출력 밀도 및 파장에 따라서 증가하게 된다. 레이저로 인한 플라즈마가 좁게 뚫린 via 내부에 형성되게 되면, 뜨거운 플라즈마가 via 통로 내부에서 급속하게 확장하면서 상당 부분의 자체 에너지를 대류

및 열복사를 통해 모세관 벽에 전달하게 됨으로써 좁은 via의 방사형 확장에 기여하게 된다. 이러한 효과는 광범위한 깊이에 걸쳐 물질 제거를 안정화시킬 수 있다.

레이저 가공 결과는 파장과 펄스폭에 의해서 매우 다르게 변화하는데, 물질 제거 속도는 나노초 레이저의 경우에 펄스 에너지 및 반복 주파수에 크게 의존하고, 피코초 레이저에서는 물질 제거 속도가 100 ~ 500 KHz 주파수 영역에서 상당 정도 일정하게 유지되는 반면에 가공되는 홈의 넓이와 깊이가 변화하게 된다. Transmission Electron Microscopy (TEM) 및 전자빔 회절 분석을 통해 나노초 레이저는 via의 벽에 열적 손상뿐 아니라 기계적인 손상을 초래함을 확인할 수 있다. 열적 손상 층은 via 벽에서 1  $\mu\text{m}$ 에 이르며, 다결정 실리콘 및 원자 배열의 결합인 전위를 가지는 단결정 영역뿐만 아니라 비정질 특성 영역을 모두 포함한다. 반면에 피코초 레이저 가공은 기계적인 손상이 없으며, 약 50 ~ 100 nm 정도의 얇은 열영향부 층만을 초래할 뿐이며, via의 벽이 국소적으로 재 결정화된 비정질 실리콘 나노입자로 덮여 있음을 알 수 있다.<sup>14)</sup>

최소 via 직경에 대한 요구 조건으로 인해서 더 짧은 파장의 더 나은 집속성을 가지는 레이저가 요구되지만 반드시 이득이 되는 것은 아니며, via 가공 속도는 시간에 대한 에너지 분포뿐만 아니라 에너지 밀도와도 매우 강한 상관관계를 가진다. 현재 레이저를 이용한 via 가공 공정이 1  $\mu\text{m}$ 의 파장, 1  $\mu\text{s}$ 의 펄스폭, 높은 펄스 에너지를 갖는 고품질의 다이오드 펌프 고체 레이저에 의해서 수행되고 있는 이유가 바로 이 때문이다. 최근 via 가공은 항상 레이저 기술을 이용해 수행되고 있지만, 가공 속도가 양산 라인에 적용하기에는 너무 낮은 수준이다.<sup>15)</sup>

## 5. via 가공용 레이저 선정 기준

레이저 기술은 태양전지의 장기적인 경쟁

력 확보에 필수적인 생산 단가 절감 및 효율 증대를 위해 사용되고 있는데, 레이저 via 가공에서 두 가지 중요한 파라미터는 파장과 펄스폭이며, 이들에 따라 결정되는 레이저 빔과 물질간의 상호작용에 관련된 두 가지 중요한 파라미터는 광학적 침투 깊이와 열적 확산 거리이다. 물질 내 자유 전자의 양은 온도에 매우 큰 의존성을 가지므로 레이저 빔에 대한 광학적 침투 깊이는 레이저 펄스가 가해지는 동안 감소할 것이며, 실리콘이 용융되면 모든 전자들이 자유로운 상태가 되어 실리콘의 흡수 계수가 금속의 흡수계수와 유사하게 된다.<sup>16)</sup>

현재 산업적으로 이용 가능한 레이저 가공시 열적 손상이 불가피하며, 이로 인해 광자에 의해 생성된 하전 입자의 재결합 속도를 증가시켜 태양전지의 효율을 저하시키는 실리콘 격자 결함들이 야기되지만 구조화 가공 후에 에칭으로 손상을 제거하면 되며, 가공시 손상을 최소화 할 수 있는 레이저를 선정하는 것이 매우 중요하다.<sup>8)</sup> 적절한 레이저 선정을 위해서는 열적 확산 거리 및 광학적 침투 깊이에 따라 via 측벽에 대한 방사방향으로 열적 손상 층의 두께가 에칭으로 제거될 수 있는 층 두께보다 더 얇아야만 한다.

Kling은 1  $\mu\text{m}$  파장의 펄스 또는 Q-스위치 Nd: YAG 레이저가 비교적 큰 광학적 침투 깊이를 가짐에도 불구하고, 초점에서 얻어지는 높은 출력 밀도로 인해 실리콘 표면이 가열되어 급격하게 용융될 수 있으며, 이로 인한 비선형적 흡수 효과로 인해서 결국 광학적 침투 깊이가 대폭 감소됨을 확인하였다.<sup>16)</sup> 이와 같은 이유로 그림 2에서 보듯이 흡수계수가 상대적으로 더 큰 제2 혹은 제3 하모닉을 이용하면 가공성 측면에서 유리한 면도 있지만 가공 속도가 느려 실제 응용에서는 잘 적용되지 않고 있다. 또한, James M. Gee 등은 EWT 셀 개발을 위해 Q-스위치 Nd: YAG (1064 nm) 레이저 기반의 장비를 이용하여 via를 가공하였고,<sup>1)</sup> Mingirulli 등은 기본 파장의 레이

저 종류 및 가공 방식에 따른 via 가공 특성을 살펴보기 위해서 다양한 조건으로 via 가공 후 손상 제거 에칭 후 특성을 분석한 결과 파장 1  $\mu\text{m}$ , 충분히 긴 펄스폭, 수 mJ의 펄스 에너지를 가지는 고풍력 고품질의 레이저와 고속 고정밀 2차원 스캐너를 이용한 'on the fly' 방식이 EWT 셀용 via 가공에 적합하며, 적절한 손상 제거 에칭이 중요함을 확인하였다.<sup>17)</sup>

## 6. 레이저에 의한 실리콘 손상 제거 및 패시베이션의 역할

Knorz 등은 펄스폭이 주파수 대역에 따라 150 ns ~ 1  $\mu\text{s}$ 까지 가변되는 레이저를 이용하여 via 가공 후 분석한 결과 펄스폭이 길수록 via 가공에 필요한 레이저 펄스의 수가 감소하였으며, 레이저 집속 밀도에 대한 의존성이 약화됨에 따라 via 가공 공정의 안정성이 증가함을 확인하였다.<sup>18)</sup> 또한, 펄스폭이 매우 길 경우 드릴링 효율이 3.3 정도로 입사된 거의 모든 에너지가 물질 제거에 사용되어 에너지 손실이 매우 적게 됨도 알아 내었다.<sup>18)</sup> 이처럼 via 공정에서 가공 효율이 좋은 이유는 첫째로 기화 실리콘의 반발 압력으로 인한 용융 실리콘 액체의 배출 때문이며, 두 번째는 생성된 분화구 벽에서 레이저 빔이 반사되면서 조사된 가우스 분포의 빔 단면 형상을 수정하여 분화구의 중심으로 집속이 용이하도록 유도되기 때문으로 설명 가능하다.

레이저 가공 후 손상을 제거하기 위해 에칭(그림 3 참조)이 필수적인데, 에칭 시간이 길수록 표면 재결합 속도가 감소하는 일반적인 경향을 관측하였다. 에칭 시간이 부족할 경우에는 via 인접 영역에서 수명시간 감소 및 기계적 스트레스가 여전히 관측되며, 반면 지나친 에칭의 경우에는 레이저 빔에 의한 손상이 완전히 제거되지만 동시에 via 가공에 의한 표면적 증가로 인해 수명시간이 미 가공된 웨이퍼에 비해 더 짧아지는 결과를 초래하였다.

via에서 수명시간은 동일한 에칭 시간 조건하에서 펄스폭이 길수록 실리콘 내부의 온도 분포의 기울기가 더 작아짐에 따라 열적 스트레스가 더 적기 때문에, 그리고 via 밀도가 작을수록 재결합의 주요 원천인 pn 접합부가 작기 때문에 더 길어진다.

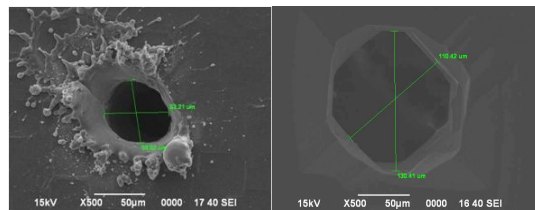


그림 3. 레이저에 의한 손상 제거를 위한 KOH 에칭 전·후 비교

Via에 대한 패시베이션 효과를 살펴보기 위해서 Mingirulli 등은 두께 330  $\mu\text{m}$ 의 FZ 웨이퍼에 파장 1  $\mu\text{m}$ 의 레이저를 이용하여 다양한 밀도로 via 가공 후에 KOH 용액에서 다양한 시간 동안 손상을 에칭으로 제거한 다음 분석한 결과 손상의 제거는 240초 이상의 에칭으로 충분하며, 에칭 시간이 충분하지 않은 경우에 패시베이션은  $\text{SiO}_2$ 가  $\text{SiN}_x$ 보다 더 효과적이며,  $\text{SiN}_x$ 의 패시베이션 효과는 via의 반경이 증가할수록 더욱 커진다는 사실을 확인하였다.<sup>19)</sup>

## 7. via의 직렬 저항에 대한 영향 및 총 진을 개선 방안

EWT 셀에서 via에 의한 직렬 저항의 영향은 모델링을 통한 계산 및 실제로 시료 제작 후 분석한 결과 via 벽의 면 저항이 웨이퍼 평면상에서의 면 저항이 동일하다고 가정하면 계산 결과와 실제 시료의 측정 결과가 매우 잘 일치하였다. 다만, 고농도 도핑된 경우에는 모델링 결과와 측정 결과가 매우 잘 일치하였으나, 저 농도 도핑인 경우에는 실제 측정 결과가 계산치보다 약간 더 높았다. 따



라서 via 벽을 충분히 고농도 도핑하는 것이 바람직하다.<sup>20)</sup>

EWT 셀이 종래의 셀보다 충전율이 낮은 이유를 잠재적으로 높은 저항을 가지는 에미터에서의 하전입자 이송 경로와 via를 따라 발생하는 전력 손실만으로는 설명할 수 없었는데, 시뮬레이션 결과 손실의 근본적인 원인 중 하나는 via의 저항에 기인한 재결합 증대 효과 (Via-resistance Induced Recombination Enhancement effect; VIRE effect) 로 확인되었으며, 이는 via 내부 에미터층을 따라 발생하는 전압 강하로 인해 전면 pn 접합부에서 소수 하전 입자의 주입이 증대되어 후면 pn 접합부에서의 재결합 전류보다 더 높은 재결합 전류를 발생시키기 때문이다.<sup>21)</sup> VIRE 효과로 인해 EWT 셀의 전면 에미터가 후면 에미터에서 검출되는 외부 전압보다 더 높은 전압 조건하에서 체계적으로 동작하게 되며, 전/후면 에미터의 전압 차가 외부 전압을 증가 시킴에 따라 감소하기 때문에 VIRE 효과가 EWT 셀의 충전율을 감소시키게 되는데, 이러한 효과는 특히 웨이퍼의 높은 비저항 조건에서 더욱 현저하게 나타나게 된다. 금속 전극의 충전이나 via의 밀도를 높여 via의 저항을 감소시키는 것으로는 이러한 효과를 단지 부분적으로만 제거할 수 있을 뿐이며, 기술적인 관점에서 보면 비저항이 낮은 웨이퍼를 사용하는 것이 훨씬 더 효과적이고 보다 더 실질적인 충전율 개선 방법이다.<sup>22)</sup>

## 8. 레이저 via 가공 시스템의 예

레이저 가공 기술은 거의 비 접촉 작업에 기반을 두고 있으므로 파손되기 쉬운 박형 웨이퍼 및 자동화 라인 구성에 적합하다. 게다가, 정밀 제어가 가능하여 높은 주파수에서도 완벽한 재현성을 보장하며, 고속의 스캔 속도로 인해 생산 속도에 필요한 짧은 공정 시간 구현이 가능하다. 일반적으로 레이저 via 가

공 시스템은 레이저, 스캐너 헤드를 포함하는 빔 전송부, 다축 이송 장치와 비전시스템으로 구성된다. 레이저 빔은 그림 4에서와 같이 입사 빔 크기를 조절하기 위한 광학유닛, 두 개의 회전 거울을 이용하여 2차원 영역을 스캔할 수 있는 스캐너 및 웨이퍼 상에 레이저 빔을 집속시키기 위한 f- $\theta$  렌즈를 통해 전송되며, 약 165 mm x 165 mm의 영역을 100  $\mu$ m 이하의 집속 빔을 이용하여 다양한 속도로 가공할 수 있다.<sup>23)</sup>

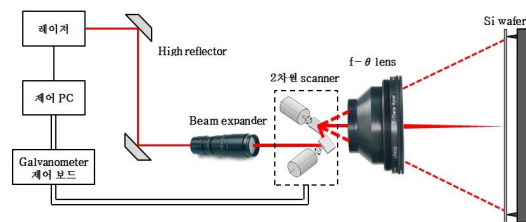


그림 4. 레이저 via 가공을 위한 시스템의 구성 예

앞서 언급한 바와 같이 레이저 기술을 적용하는 이유는 공정을 능률적이고 간소하게 하거나 효율을 개선함으로써 생산 단가를 줄이는데 얼마나 기여를 하는지가 가장 중요한 고려 요소이다. 하지만, 현재는 실험실 수준에서 적용 및 평가하는 수준으로 효율 개선에 의한 이득이 추가 투자비 보다 상당정도 나아져야만 양산까지 고려할 수 있으므로 아직도 가야할 길이 많이 남아있는 것이 사실이다.

현재 Rofin사<sup>24)</sup> <sup>25)</sup>, 3D Micromac사<sup>26)</sup>, Fraunhofer ILT<sup>27)</sup> 및 ISFH<sup>28)</sup> 등 세계적인 장비업체 및 연구소들은 기본파장의 약 100W 출력을 갖는 Q-스위치 레이저를 이용하여 초당 수천 개의 via를 고 정밀도로 가공할 수 있는 장비를 개발 및 보유하고 있으며, 이 장비를 이용하여 고효율의 wrap-through 셀을 개발하고 있다.

## 9. 결 론

Via의 직경 및 웨이퍼 두께에 따라 가공 속도는 달라질 수 있지만, 현재는 파장이 1 $\mu$ m이

고 긴 펄스폭을 가지는 고품질 고출력 레이저를 이용하여 3000~5000 vias/s의 가공 속도가 일반적이며 향후 양산 적용을 위해서는 현재보다 2~3배 이상의 고속 가공 능력을 가지는 레이저 via 가공 기술이 요구된다. 또한, via 형성 후 손상을 최소화하기 위해서는 짧은 펄스폭을 가지는 적절한 레이저의 개발과 이를 이용한 via 가공기술 개발 및 가공 후 효과적인 손상제거 기술의 확보가 매우 중요하다.

### 후 기

본 연구는 에너지기술평가원 (신재생 에너지 기술개발 사업-전략 기술)의 개발비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2010T100200262)

### 참 고 문 헌

1. James M. Gee, et al, Emitter wrap-through solar cells, IEEE, 1993
2. Peter Fath, Grid Parity Factory - Centrotherm photovoltaics AG, Dutch Solar Energy R&D Seminar 2009
3. Mohamed M. Hilali, et al, Two-dimensional modeling of EWT multicrystalline silicon solar cells and comparison with the IBC solar cell, IEEE, 2006
4. Nils-Peter Harder et al, Laser-processed high-efficiency silicon RISE-EWT solar cells and characterization, Phys. Status Solidi C 6, No. 3, 736 - 43 (2009)
5. James M. Gee, et al, Development of industrial high efficiency back contact czochralski-silicon solar cells, Prog. Photovolt: Res. Appl., 2011
6. H. Haverkamp, et al, Screen printed EWT cells: Limitations and alternative approaches to the manufacturing process, 23rd EC PVSEC, 2008
7. Junsin Yi, Commercial Technology Development of Solar Cells and Grid Connected 3kW PV System for PV House Supply, 2005
8. Engelhart P. et al, Laser processing for back-contacted silicon solar cells, Proceedings ICALEO, paper M703, 2006
9. Alexander Polyakov, Timon Grob, et al, Comparison of Via-Fabrication Techniques for Through-Wafer Electrical Interconnect Applications, 2004 Electronic Components and Technology Conference
10. D.V. Tran and A.G. Aberle, Overview on the use of laser processing techniques for high efficiency silicon wafer solar cells, Proc. 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Kolkata, Jan 2009
11. Finlay Colville, THE HOLE STORY: Lasers Take the Wrap, INTER PV, 2009
12. A. Schoonerdbek et al, Laser technology for cost reduction in silicon solar cell production, Proc. Of 69th Laser Materials Processing Conference, ISBN 4-947684-70-4, 2007.
13. Yun Zhoua, et al, Physical mechanism of silicon ablation with long nanosecond laser pulses at 1064nm through time-resolved observation, Applied Surface Science 257 (2011) 2886 - 2890
14. Henrikki Pantisar, et al, Laser microvia drilling and ablation of silicon using 355 nm pico and nanosecond pulses, ICALEO 2008 Congress Proceedings, 2008
15. T. Baier, et al, Theoretical approach to estimate laser process parameters for drilling in crystalline silicon, Prog. Photovolt: Res. Appl., 2010
16. R. Kling, The interaction of laser light with crystalline Silicon, OptecNet workshop photovoltaics, 2007



17. Mingirulli N, et al. Lifetime studies on laser drilled vias for application in emitter-wrap-through solar cells. In Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 2007
18. Knorz, et al, High speed laser drilling: Parameter evaluation and characterization, 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10, September 2010
19. Mingirulli N, et al. Passivation of laser-drilled via holes for emitter-wrap-through-cells. In Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 2008; 996 - 999
20. Mingirulli N, et al. Resistance analysis of wrapped-through emitters. In Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, USA, 2008; 116 - 119.
21. C. Ulzhöfer, et al, VIRE effect: via-resistance-induced recombination enhancement - The origin of reduced fill factors of emitter wrap through solar cells, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2009
22. Christian Ulzhöfer, et al, Loss analysis of emitter-wrap-through silicon solar cells by means of experiment and three-dimensional device modeling, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 107, 104509, 2010
23. E. Schneiderlöchner, et al, Scanning Nd:YAG laser system for industrially applicable processing in silicon solar cell manufacturing, Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on, 2003
24. Richard Hendel, Lasers in Thin-Film and c-Si Photovoltaics, Solar Novus Today, 06 September 2010
25. Richard Hendel, Laser Applications in Solar Cell Manufacturing - Lasers Play a Significant Role in the Development of New Production Processes in Photovoltaics, LTJ(Laser Technik Journal) Volume 5, Issue 1, pages 32-35, January 2008
26. 3D-Micromac AG, Heavy Duty Laser Machining of EWT Solar Cells (2008, 3D-Micromac AG, Press Release)
27. Reinhart Poprawe M.A., High speed drilling for modern cell concepts, Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT, 04/2009
28. [http://www.isfh.de/institut\\_solarforschung/photovoltaik.php?\\_l=1](http://www.isfh.de/institut_solarforschung/photovoltaik.php?_l=1)