

BCSC(Buried contact Solar cell)의 제조를 위한 laser scribing  
Laser scribing for Buried contact Solar cell

조은철\*, 지일환, 이수홍  
삼성종합기술원 신소재응용연구소 태양전지팀

Eun Chel Cho, Il Hwan Ji, and Soo Hong Lee  
Photovoltaic Lab, Materials & Devices Research Center  
Samsung Advanced Institute of Technology

**Abstract**

To achieve a high aspect ration of metal contact, buried contact solar cell scribe the silicon surface using laser. The Q-switched Nd:YAG laser which has  $1.064\mu\text{m}$  wavelength use for silicon scribing with  $25\sim 40\mu\text{m}$  width and  $20\sim 200\mu\text{m}$  depth capabilities. The 2~3% shading losses are very low compared to the screen printing solar cell.

In this paper, we investigate the silicon scribing theory and practice, scribing system for BCSC processing.

**1. SP 태양전지와 BCSC 태양전지**

SP(Screen Printing) 태양전지의 금속 전극용 페이스트는 석영성분을 포함하

로 낮은 전기전도도를 갖는다. 따라서 금속 전극과 실리콘의 접촉저항을 낮추기 위하여 강하게 도핑된 이미터 및 직렬저항에 의한 손실을 방지하기 위하여 큰 전극 면적을 필요로 한다. SP 태양전지의 금속 전극 폭이 최소  $150\mu\text{m}$ 이며, 높이는  $10\mu\text{m}$ 으로 가로:세로 전극비가 약 0.07로 금속 전극에 의한 전체 빛에너지 손실은 약 10~12%로 매우 높다.

이런 문제를 해결하기 위해 고안된 태양전지 구조가 BCSC(Buried Contact Solar Cell)로 표면에 넓게 퍼진 금속전극을 실리콘 내부로 함몰시켜 형성한다. 함몰된 금속전극의 가로:세로비가 약 2.5~4로 금속전극에 의한 빛손실은 3%이하로 매우 낮다. 높은 금속전극의 가로:세로비를 형성하기 위하여 레이저를 이용하여 실리콘 표면에 홈을 파는 기술이 laser

scribing이다. Laser scribing은 실리콘 태양전지 표면구조에 큰 영향을 미치므로 직립서향, 접촉서향, 금속전극간의 간격, 금속에 의한 빛의 손실등을 고려하여 최적의 전극패턴과 조건을 설정해야 한다.

## 2. BCSC의 주요 특징

BCSC는 SP와 가장 큰 차이점은 태양전지 표면의 금속전극층에 있다. SP의 금속finger의 폭은  $150\mu\text{m}$ 이며, 금속전극층 사이의 거리(spacing)은 약  $3\text{mm}$ 로 전체 태양전지 면적 중 금속층의 면적은 약 10% 이상으로, 금속층에 의한 shading loss가 매우 크다. 이에 반해 BCSC는 SP의 금속전선층을  $90^\circ$  회전시켜 실리콘 속으로 함몰(Buried)시킨 형태로 전체 금속전선층의 폭이 약  $60\mu\text{m}$  정도로 금속층이 차지하는 shading loss는 약 2~3% 정도로 매우 작다. SP와 BCSC의 차이를 비교하면 다음과 같다.

- ① BCSC의 shading loss는 2~3%로 매우 작다.
- ② BCSC의 금속전극으로 사용되는 구리는 무전해 도금에 의하여 얻어지므로 SP에 사용되는 paste보다 3배 이상의 전기전도도를 갖는다. 이는 작은 단면적으로 큰 전류를 흘릴 수 있으므로 groove의 폭을 감소시킬 수 있음을 의미한다. 또한 BCSC는 금속전극을 직접 실리콘 내부에 고농도로 도핑된 groove내부에서 n+/금속(Ni/Cu/Ag) 접합을 형성하므로, SP의 금속접합 형성공정인 실리콘 산화막과 같은 절연체위에 금속 paste를 바른 후 열처리하

여 금속/실리콘 접합을 하는 것보다 낮은 접촉(contact) 저항을 얻을 수 있다.

3. 시동도모(right) 도핑되고 접합깊이가 낮은 emitter층 영역은 빛의 에너지가 높은 단파장 영역에서 양자효율이 100%에 가까운 거의 이상적인 특성을 보여준다.

## 3. Laser Scribing

### 3.1 실리콘 scribing의 원리

레이저 가공기술은 열을 조절하는 기술로서 재료의 물리적, 화학적 또는 내부구조의 변화를 주는 방법이다. 따라서 레이저에 의한 가공은 열원의 특성, 가공물질의 성질, 가공 공정변수, 가공기의 광학계 특성에 따라 응용범위와 성능이 크게 좌우된다.

레이저를 이용한 가공기술은 이러한 특성과 변수들을 조절하는 기술로 레이저의 에너지 밀도가 증가함에 따라 그림과 같이 금속표면에서 일어나는 현상이 변하게 되는데, 에너지 밀도가  $10^5 \text{ W/cm}^2$  이하에서는 그림 (a)와 같이 시편내부로 열전달이 일어나게 된다.  $10^5 \text{ W/cm}^2$  정도가 되면 용융점에 도달되어 용융계면이 그림 (b)와 같이 금속내부로 전달된다.  $10^6 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$  정도가 되면 용융계면은 내부로 이동됨과 동시에 표면온도도 증발점 이상이 되어 그림 (c)와 같이 재료의 증발이 시작되며, 그림 (d)는 레이저의 밀도가 더욱 증가되어  $2.5 \times 10^7 \text{ W/cm}^2$  이상이 되면 레이저 에너지가 증발되는 물질에 흡수되어 원자를 이온화시켜 플라즈마를 발생시키는 것을 보여준다. 즉, 고출력, 펄스

형의 laser가 각각의 물질을 조사되었을 때 고체상태의 물질은 액상 또는 기상으로 상변이를 일으킨다.(1)

Fig. 1. Interaction with laser beam and material

태양전지 산업계에서 laser는 웨이퍼 자르기, silicon ribbon trimming, 박막 태양전지의 patterning, 불순물의 확산(2~4), 이온주입된 표면의 annealing용(5)으로 사용되어 왔으며, 실리콘 태양전지의 금속전극 패턴형성 및 표면의 texturing에 이용된다.(6,7)

BCSC 태양전지에서 레이저의 응용은 주로 그림 1의 (c)와 같이 용융과 증발을 이용하여 실리콘의 표면에 홈(groove)을 파서 금속전극 형성을 위한 영역을 만든다. 실리콘 표면에 홈을 형성하는 기술을 실리콘 scribing이라 하면, 최적의 grid 패턴 및 shading loss, 직렬 저항, 접촉 저항 등을 고려하여 전극용 패턴을 제작한다.

실리콘의 scribing을 위한 레이저는 실리콘이 증발할 동안 열의 흐름에 의하여 주변에 손상(damage)을 최소화하여야 하며, 레이저 펄스의 주기를 조절할 수 있는 Ruby(694.3nm), Nd:glass(1.06x103nm)와 Nd:YAG 레이저가 적합하다. 실리콘 표면의 도핑 효과, 산화막 등의 효과를 무시하면 상온에서 실리콘의 valance-conduction band로의 광학적인 흡수는 1130nm이하에서 일어나며, 700nm~1100nm에

서 표면의 반사율은 큰 차이가 없다. 실리콘의 증발을 위하여 충분한 에너지가 필요하며, 루비나 Nd:glass 레이저는 펄스의 주기에 제한이 있고 scribing 속도에 제한이 있다. 그러므로 연속적인 레이저 펄스로 만들 수 있는 10KHz 이상의 Q-switch를 갖는 Nd:YAG 레이저가 적합하다.(8)

실리콘 표면의 scribing시 레이저-실리콘의 연속적인 상호작용은 다음과 같이 진행된다.

- ① 레이저에서 고출력의 펄스를 발생하여 실리콘 표면에 집중한다.
- ② 실리콘에 흡수되는 레이저는 표면온도를 증가시킨다. 표면에서 레이저빔에 의한 열의 흐름은 실리콘의 증발점(2900℃)까지 충분히 온도가 올라간다.
- ③ 표면온도가 끓는점 이상이 되면, 실리콘의 증발이 일어난다.
- ④ 펄스의 폭이 열적 시상수보다 대단히 짧기 때문에 조사된 점으로부터 열의 흐름은 없다. 대부분의 흡수된 레이저 에너지는 물질을 증발시키는데 소모된다.
- ⑤ 실리콘의 증발은 작은 원뿔모양의 홀(hole)을 형성한다. 연속되는 펄스의 중첩은 최고출력, 펄스의 폭, 중첩의 정도, spot의 크기 등에 의존하는 groove를 형성한다.
- ⑥ 증발된 실리콘들은 매우 큰 속도를 가지고 groove의 주변으로 방출된다. 이런 실리콘 알갱이들은 대물렌즈의 초점 맞추기에 문제가 생기게 하며, 웨이퍼에 결함을 생기게 한다.

### 3.2 시스템의 구성

실리콘의 scribing을 위한 시스템은 TEM<sub>00</sub> 모드에서 3~4W의 평균 파워를 전달한다. TEM<sub>00</sub> 모드는 매우 높은 출력과 레이저 빔의 광축의 좁은 영역에 출력이 집중되기 때문에 사용된다. Nd:YAG 레이저는 Nd<sup>3+</sup>의 이온의 형태로 에너지를 축적하고 있으며, Q-switch를 사용하여 펄스모드에서 이용할 때 매우 높은 peak power를 낼 수 있다. 레이저 빔은 광학계를 통하여 실리콘 표면에 조사되며, 조사된 레이저빔은 국부적으로 실리콘을 증발하기 충분한 에너지를 갖는다. Q-switch는 0~50KHz로 조절이 가능하며 수십  $\mu$ s의 펄스폭을 갖는다. 레이저 빔은 광학계를 이용하여 빔을 전달하여 실리콘 표면에 도달된다. 이 때 가공가능한 groove의 깊이는 20~400 $\mu$ m, 폭은 15~40 $\mu$ m로 미국 Florod사의 MEL 40 레이저 시스템을 사용하였으며, 시스템의 구성은 그림 2와 같다.

Fig. 2. Schematic configuration of laser scribing system.

### 4. BCSC 태양전지에서의 laser scribing

일반적으로 scribing시 groove의 폭과 깊이, 모양 등의 특성은 실리콘 표면에 레이저 빔의 초점을 맞추는 광학계, Q-switch의 주파수, 가공 속도, 펄스의 평균 및 최대 출력, 실리콘 표면의 평판도와 표면구조 및 구성등에 의하여 달라진다. 또한 Nd:YAG 결정의 온도, pumping lamp에 공급되는 전류, 펄스발생기(Q-

switch)의 왜곡등에 의해 영향을 받는다.

특히 레이저 빔의 표면적이 7x7cm<sup>2</sup>인 태양전지 표면을 가로와 세로로 scribing하므로 좋은 초점을 유지하기 위해 표면의 평판도를 유지하지는 것이 중요하다.

실리콘이 증발하기 위한 충분한 에너지인 펄스의 최대 및 평균 출력은 레이저에 공급되는 pumping 램프의 출력에 의하여 결정되고, groove의 폭과 깊이를 일차적으로 결정한다. 그림 3은 pumping lamp의 출력변화에 의한 groove의 폭과 깊이를 나타내며, laser의 pumping lamp에 비례하여 groove 깊이가 변함을 알 수 있다.

그림 3. Variation of groove width and depth with changes in pumping lamp power

그림 4는 scribing에 영향을 미치는 요소들 중 광학계에 의하여 초점거리가 달라졌을 때의 groove의 폭과 깊이를 나타낸다.

Fig. 4. Variation of groove width and depth with changes in lens to sample spacing

그림 5는 레이저를 이용하여 scribing한 후 groove에 남아 있는 찌거기를 KOH 용액으로 에칭한 후의 groove 모양을 나타낸다.

Fig. 5. Contour of Groove after KOH etching(x500 mag.)

형성된 groove를 Ni/Cu/Ag로 금속전극을 형성한 후, I-V tester로 SP와 BCSC의 측정된 결과는 표 1과 같다.

Table 1. The characterization of SP and BCSC

상수	Eff cell (%)	Voc (mV)	Isc (A)	Jsc (mA)	Fill factor
SP	12.8	588.5	1.57	31.47	69.3
BCSC	18.5	651.0	1.74	38.6	74

### 5. 결론

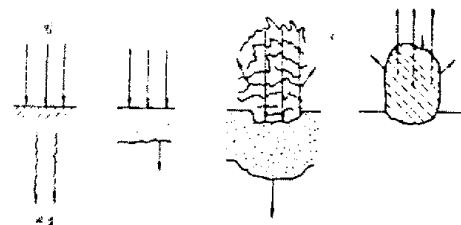
실리콘의 레이저 scribing은 1.064 $\mu$ m의 파장길이를 갖는 고출력의 Nd:YAG 레이저가 실리콘 표면에서 용융 및 증발하는 성질을 이용하여 홈을 형성하는 기술이다. 이 기술은 BCSC 제조시 전체 전극면적을 SP 전극면적의 25% 이하로 제작하여, 전극 표면적에 의한 빛의 손실을 3%이하로 만든다.

Groove내를 Ni/Cu/Ag로 도금한 후, 효율을 측정하였을 때 스크린 프린팅 태양전지의 12.8%, BCSC 태양전지는 18.5%의 높은 효율을 얻었다.

### 참고문헌

1. A. Polman, W. Sinke, M. Uttormark, and M. Thompson, J. Material Res., Vol. 4, Jul/Aug, p.843, 1989.
2. G. Turner, D. Tarrant, D. Aldrich, R. Pressley, and R. Press, Conf. Rec. of 16th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, p.775, 1982.

3. J. Fan, T. Deutsch, G. Turner, D. Erhlich, R. Chapman, and R. Osgood, Conf. Rec. of 16th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, p.432, 1982.
4. K. Ibbs and R. Osgood, Laser chemical processing for microelectronics, Cambridge Univ. Press, pp.146-166, 1989.
5. J. Katzeff, M. Lopez, and D. Burger, Conf. Rec. of 15th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, p.437, 1981.
6. M. Green, C. Chong, F. Zhang, A. Sproul, J. Zolper, and S. Wenham, Conf. Rec. of 20th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, p.411, 1988
7. S. Narayanan, S. Wenham, and M. Green, Proc. of 4th international PVSEC, p.111, 1989.
8. W. W. Duley, "Laser Processing and Analysis of Materials", Plenum Press, New York, pp.177-235, (1983)



(a) 열전도 (b) 용융 (c) 증발 (d) 플라즈마 발생.

Fig. 1. Interaction with laser beam and material

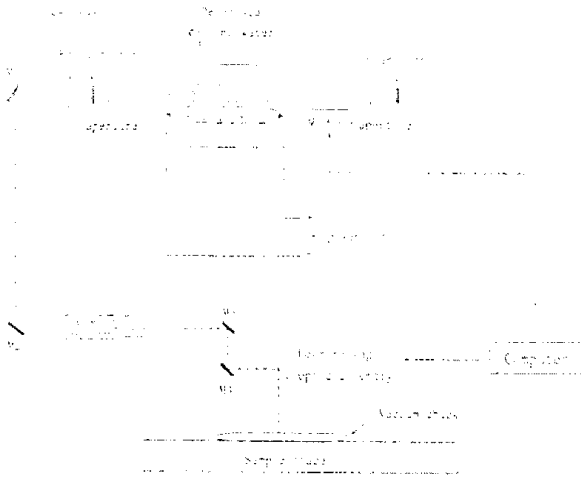


Fig. 2. Schematic configuration of laser scribing system.

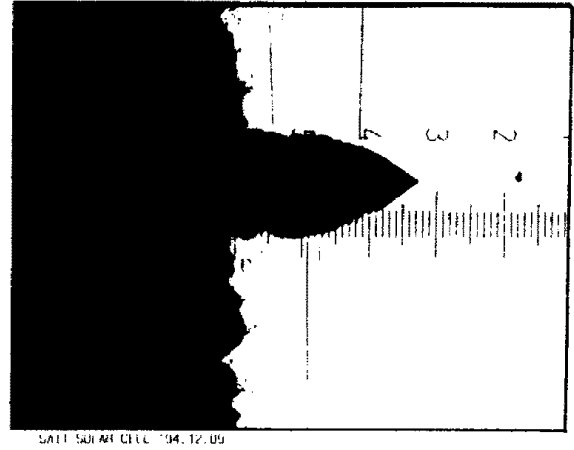


Fig. 5. Contour of Groove after KOH etching(x500 mag.)

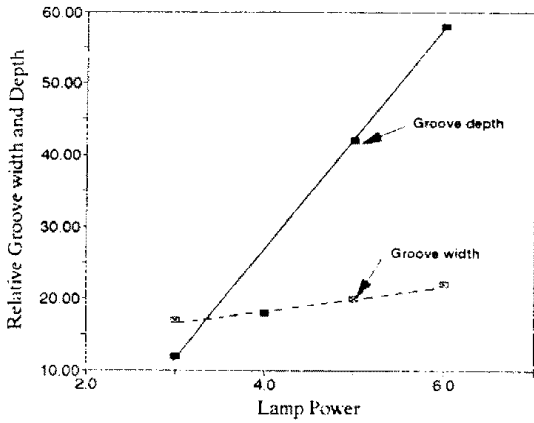


그림 3. Variation of groove width and depth with changes in pumping lamp power

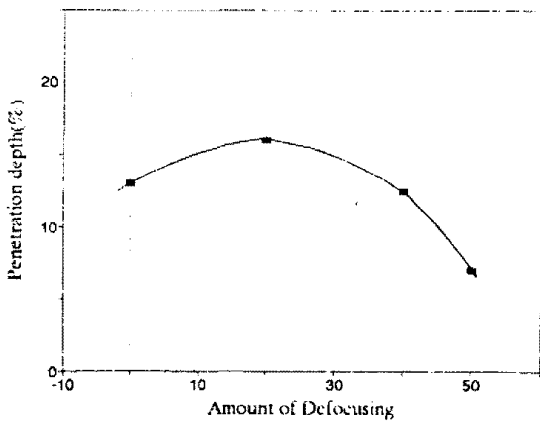


Fig. 4. Variation of groove depth with changes in lens to sample spacing