

# V형 홈 형성에 의한 N<sup>+</sup>P 접합형 태양電池의 效率 改善

## (Efficiency Improvement of N<sup>+</sup>P Junction Solar Cell by Forming V-Groove on the Silicon Surface)

蔡 相 勳\*, 金 在 昌\*\*, 李 梁 成\*\*

(Sang Hun Chai, Jae Chang Kim and Yang Sung Lee)

### 要 約

결정면이 (100)인 실리콘 웨이퍼 위에 열확산(thermal diffusion)법을 이용하여 표면에 V형 홈이 형성된 N<sup>+</sup>P 태양전지를 제작하였다. (100) 실리콘 표면에 V형 홈을 형성시키기 위하여 이방성 부식용액으로는 etylenediamine, water, pyrocatechol 혼합용액을 사용하였다. 100mW/cm<sup>2</sup>의 조광아래에서 V형홈을 형성시킨 태양전지가 효율면에서 일반 평면 N<sup>+</sup>P 태양전지보다는 2.5~3.5%, texturized 태양전지보다는 0.4~0.6%정도의 증가를 보였다.

### Abstract

V-groove N<sup>+</sup>P solar cell is fabricated by thermal diffusion in silicon wafer with (100) crystal structure. To form the V-grooves in (100) silicon surface, a mixture of etylenediamine, water, pyrocatechol is used as the etchant of anisotropic etching. Under light intensity of 100mW/cm<sup>2</sup>, the efficiency of the V-groove solar cell is 2.5-3.5% greater than the conventional N<sup>+</sup>P solar cell and 0.4-0.6% greater than the texturized one.

### I. 序 論

오늘날 人類文明이 급속도로 발달함에 따라 사용하는 에너지의 量도 계속 증가하고 있으며, 최근 몇 차례의 石油波動을 겪으면서 石油에 대한 代替 에너지 개발을 위한 인간의 노력은 여러 方面에서 이루어지고 있다. 그 중에서도 太陽光 에너지는 그 자체가 量的으로 無限할 뿐만 아니라 公害를 비롯한 附加的인 문제가 별로 없기 때문에 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 특히 太陽電池는 太陽光 자체를 직접 電氣 에너지

로 변환할 수 있다는 점에서 脚光을 받고 있다. 단지 아직까지는 製造單價가 비싸다는 문제로 인해 실용화에 어려움이 있으나 太陽電池 자체의 效率을 높임으로써 이러한 문제도 改善되고 있다.

太陽電池의 效率을 높이는 방법으로는 電池표면에 光反射 防止膜(antireflection coating)을 입혀 주거나, BSF(back surface field) 전지를 제조하여 漏池電流를 줄이는 방법<sup>1)</sup>, 接合깊이(junction depth)를 얇게 하여 短波長에서의 效率을 개선한 violet 전지를 만드는 방법<sup>1)</sup>, 또는 실리콘 표면을 texturization하여 전지 표면에서의 反射光을 줄여서 光吸收率을 증대시키는 방법<sup>2,3)</sup> 등이 있다.

본 研究에서는 texturization 방법을 더욱 개선한 형태인 V형 홈(V-grooves)을 N<sup>+</sup>P接합형 太陽電池의 표면에 형성시킴으로써 太陽光의 反射를 줄이고 收光面積을 넓혀서 太陽電池의 效率을 향상시키는 점에 관

\*準會員, 韓國電子技術研究所

(Korea Institute of Electronics Technology)

\*\*正會員, 釜山大學校 工科大學 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Pusan Univ.)

接受日字: 1983年 10月 4日

심을 두고, 표면에 V형 홈을 형성시킨 태양電池를 제조하여 종래의 전지들과 그 特性을 비교 조사하고자 한다.

II. V형 홈 형성에 의한 태양電池

平面 실리콘 웨이퍼 (silicon wafer) 표면의 태양光 反射率은 34~54%<sup>(4)</sup>가량 된다. 그런데 그림 1과 같이 웨이퍼 표면에 서로 평행한 V字 모양으로 만들어진 홈들을 아주 조밀하게 형성시켜 주면<sup>(5)</sup> 入射한 태양光이 V形 홈사이에서 여러번 反射되면서 많은 量이 吸收될 수 있다. 이때 V形 홈은 (100)의 結晶面을 가진 실리콘 웨이퍼를 異方性 腐蝕 (anisotropic etching) 함으로써 만들 수 있다.

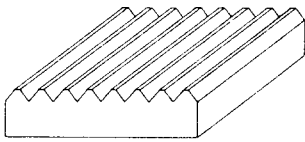


그림 1. V형 홈의 형태  
Fig. 1. V-groove pattern.

異方性 腐蝕의 원리는, 실리콘의 경우 각 結晶面에 다른 腐蝕速度가 서로 달라서 (100)면에서 가장 빠르고 (111)면에서 가장 느리며 그 비는 40:1 정도이다. 이 성질을 이용하여, 실리콘 표면에 酸化膜을 선택적으로 腐蝕시켜 서로 평행한 폭이 좁은 산화막 띠 (SiO<sub>2</sub> stripes)를 만들고, 이것을 이방성 부식용액<sup>(4)</sup> 속에서 腐蝕시키면 V形 홈이 만들어진다.

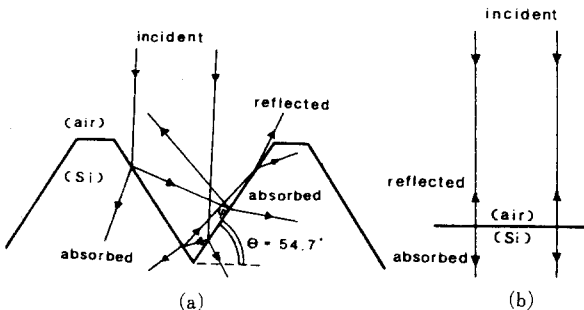


그림 2. 입사광에 대한 반사 및 흡수  
(a) V형 홈 (b) 평면 표면  
Fig. 2. Reflection and absorption of light incident.  
(a) V-groove surface and  
(b) Normal surface.

1. 光反射

그림 2는 V형 홈을 형성시킨 실리콘 표면과 일반적인 平面 실리콘 표면에서의 入射光에 대한 反射와 吸收를 나타낸 것이다. 이 그림에 의하여 V형 홈을 형성시킨 실리콘 표면이 더 많은 빛을 흡수하여, 결과적으로 더 많은 光電流를 발생시켜 태양電池의 效率를 증대시킬 수 있다.

그림 2 (a)에서  $\phi$ 는 入射한 태양光이 V形 홈사이에서 두 번째 入射가 일어날 때의 실리콘 표면과의 각도로서 (100) 결정면의 경우는 74.1°이다. 그림 3은 V형 홈의 자세한 형태를 나타낸 것이다.

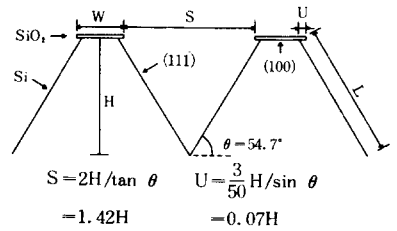


그림 3. 부식 후의 V형 홈의 형태  
Fig. 3. Dimension of V-groove after etching.

이때 S는 산화막 (SiO<sub>2</sub>) 사이의 폭이고 U는 산화막 아래부분에서 실리콘이 초과 부식된 것을 표시하며 실제의 V형 홈의 폭은 S+2U로 나타낼 수 있다.<sup>(7)</sup>

2. 效果面積

그림 3에 나타난 바와 같이 V형 홈을 형성시켜 줌으로써 전체 收光面積이 증가하는 효과가 있다. 즉 V형 홈을 형성시키기 전에는 길이, S에 의해 전지의 표면적의 한 변이 결정되었으나 V형 홈을 형성시킨 후에는 길이, L에 의해 결정된다. 그런데

$$2L = S / \cos \theta = 1.73$$

이 되어 홈을 통한 길이가 직선거리, S에 비해 1.73배 증가하나 부식되지 않는 부분, (W-U)를 고려하면 전체면적은 1.65배 증가한다. 따라서 V형 홈을 형성시킨 VG 태양電池 (V-groove solar cell)는 일반적인 平面 태양電池에 비해 效果面積 (effective area)이 1.65배 가량 증가한다는 것을 알 수 있다.

III. 제조 공정

본 실험에서는 V형 홈을 형성시킨 VG 태양電池와 일반 태양電池 및 표면을 texturization시킨 태양電池를 제조하고 측정하여 그 特性을 비교 분석하였다. 電池는 N<sup>+</sup>P接合形式으로 만들었으며 N<sup>+</sup>층을 형성시키기 위해서 인 (phosphorus)을 열확산법 (thermal diffusion)

에 의해 P형 웨이퍼에 침투시켰다.

본 실험에서 사용한 실리콘 웨이퍼는 실험 목적상 두께가 350~400 $\mu\text{m}$ 이고 결정 방향이 (100)이며 비저항이 1~9 $\Omega\cdot\text{cm}$ 인 P형 單結晶 基板이다. 이때 결정 방향이 (100)인 것은 실리콘 표면에 異方性 腐蝕을 하기 위해서이고 비저항이 1~9 $\Omega\cdot\text{cm}$ 인 것은 이 정도의 값에서 제조된 太陽電池의 특성이 일반적으로 가장 양호하기 때문이다. 비저항이 이보다 작으면 단락전류 및 개방전압은 증가하나 시간이 지날수록 電池의 성능이 떨어지는 단점이 있고, 이보다 저항이 크면 단락전류가 감소하는 경향이 있다.<sup>[1]</sup>

VG 太陽電池의 제조 공정은 그림 4와 같다.

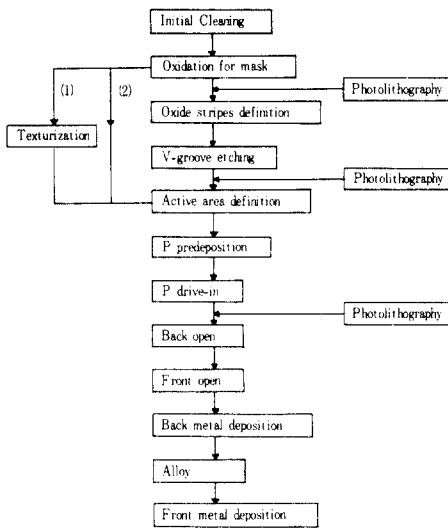


그림 4. 공정 순서도  
Fig. 4. Process flow diagram.

이 그림에서 (1)은 texturized 太陽電池를, (2)는 일반적인 N<sup>+</sup>P접합형 電池를 제조할 때 쓰이는 경로이다.

먼저 앞면에 V形 홈을 형성시키기 위한 산화막 피를 만들어 주고, 뒷면을 인의 침투로부터 보호하기 위해 1100 $^{\circ}\text{C}$ , Wet 분위기에서 60분간 酸化膜을 성장시켰으며 이때 두께는 6500 $\text{Å}$  가량 되었다. 그런데 高温에서의 酸化膜 성장은 表面再結合 속도(surface recombination velocity)를 감소시켜 주는 잇점은 있으나, 送子 수명(carrier life time)이 줄어드는 결점이 있으므로 이를 최소로 줄이기 위해 웨이퍼를 고온로속에 넣을 때와 꺼낼 때 가능한 천천히 하였다.<sup>[1]</sup> 그리고 마스크(mask) 산화막 피를 만들기 위해 사진식각법(photolithography)을 이용하여 웨이퍼의 앞면에 폭이

약 25 $\mu\text{m}$ 이고 간격이 각각 125, 225 $\mu\text{m}$ 인 산화막 피를 가로, 세로 1cm크기의 형태속에 형성시켰다. 이때 酸化膜의 부식 용액으로는 HF 완충용액( $\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}=7:1$ )을 사용하였다.

표면에 산화막 피가 형성된 웨이퍼를 異方性腐蝕 용액인 etylenediamine 180ml, water 90ml, pyrocathecol 15g을 혼합한 용액<sup>[6]</sup>에 넣은 후 용액의 온도를 104~110 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면서 부식시켰다. 이때 용액의 온도가 너무 높으면 산화막 피가 파괴되면서 결함이 생길 우려가 있으므로 주의를 요한다. 시간에 따른 부식의 깊이는 그림 5에 나타나 있다.

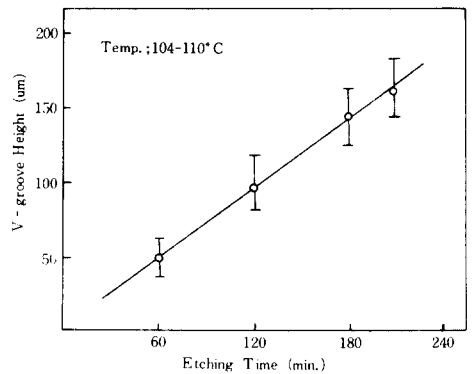


그림 5. 부식 시간에 따른 V형 홈의 높이  
Fig. 5. V-groove height vs. etching time.

한편 VG 太陽電池와 비교를 위한 texturized 太陽電池를 만들기 위해 평면 실리콘 웨이퍼를 hydrazinehydrate 50cc와 pyrocathecol 3g의 혼합 용액속에서 80 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하면서 20분간 부식시켰다.<sup>[3]</sup> 이때 부식된 부분의 크기는 VG 太陽電池의 영역과 동일하게 1 $\times$ 1cm로 하였다.

이렇게 하여 만들어진 각 웨이퍼 및 평면 웨이퍼 위에 熱擴散法을 이용하여 얇은 N<sup>+</sup> 接合層을 만들었다. 우선 웨이퍼 앞면에 사진 식각법을 이용하여 활성영역(active region)을 정의한 후 인을 905 $^{\circ}\text{C}$ 에서 6~8분간 P형 기판위에 초기 확산(predeposition)시켰다. 이때 사용된 도우핀트(dopant)는  $\text{POCl}_3$ 였으며 운반 기체(carrier gas)로는  $\text{N}_2$ 와  $\text{O}_2$ 를 사용하였다. 초기 확산된 인은 800 $^{\circ}\text{C}$ 에서 60분간 열처리(drive-in)시켰으며 고온로내에는  $\text{N}_2$ 를 흘려 주었다. 앞·뒷면의 전극으로는 진공 증착법을 이용하여 알루미늄을 1 $\mu\text{m}$  정도 증착시켰다. 그리고 뒷면 전극 증착이 끝난 후 실리콘 표면과의 오음 접촉(ohmic contact)을 위하여 465 $^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{N}_2$ 분위기에서 20분간 열처리(alloy)를 행하였

으며 앞면의 금속 면적은 전체 동작 영역의 약 13%에 해당하였다. 그림 6은 완성된 電池들을 나타낸 것이다.

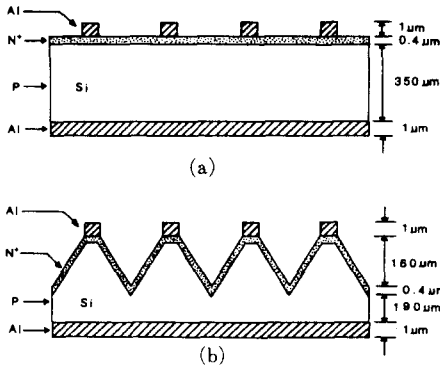


그림 6. (a) 일반 평면  
(b) V-groove 태양 전지의 단면도  
Fig. 6. Schematic diagrams of (a) normal and (b) V-groove solar cells.

이 과정을 거쳐서 제작된 電池들을 100mW/cm<sup>2</sup>의 人工照明하에서 측정하였으며 비교를 위한 기준전지(reference cell)로는 한국전자기술연구소에서 제작한 單結晶 실리콘 N+P 接合形 태양電池를 사용하였다.

IV. 結果 및 考察

1. I-V 特性 및 光變換 效率 비교

표 1은 본 실험에서 제작된 각종 태양電池들의 측정 결과를 나타낸 것이다.

이 표에서 큰 V形 홈(large V-groove)은 폭이 225 μm인 경우를 나타낸다. 또한 光變換 效率는 일반 평면 태양電池를 기준으로 하여 개선되는 정도를 표시하였다. 이 표에서 나타난 바와 같이 VG 태양電池는 일반 平面 태양電池에 비해 개방전압(Voc)은 약간 증가하나 단락전류(Isc)는 30~50%정도 크게 증가하였다. 그리고 효율면에서도 2.5~3.5%가량 증가하였다. 이것으로 미루어 보아 VG 태양電池는 일반 平面電池보다 훨씬 많은 태양光을 吸收한다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 태양電池 표면에 V形 홈을 형성시켜서 실리콘 표면에서의 光反射도 줄이고 효과 면적을 넓혀서 많은 빛을 吸收함으로써 태양電池의 效率를 개선할 수 있다는 것을 보여 준다. 또 이 표에 의해 texturization에 의한 것과 V形 홈을 형성시킨 두 태양電池를 비교해 보면 V形 홈이 작을 때에는 texturized 태양電池

표 1. 각 전지의 측정치 비교

Table 1. Comparison of the N+P junction solar cell characteristics with normal, texturized, and V-groove surface.

Cell Number	Diffusion Time (min)	Surface Form	Voc [V]	Isc [mA]	FF	Ea (%)	Ea improvement [%]
6-6N	6	Normal	0.522	21.0	0.693	8.74	0
6-6T	6	Texturized	0.529	26.5	0.713	11.50	2.76
6-6VS	6	Small V-groove	0.524	26.5	0.706	11.27	2.53
6-6VL	6	Large V-groove	0.530	28.0	0.701	11.96	3.22
8-7N	8	Normal	0.538	24.0	0.682	10.12	0
8-7T	8	Texturized	0.541	28.0	0.713	12.42	2.3
8-7VL	8	Large V-groove	0.543	29.0	0.711	12.88	2.76
6-4N	6	Normal	0.523	19.0	0.634	7.25	0
6-4VL	6	Large V-groove	0.538	27.5	0.604	10.27	3.02

쪽이 效率이 약간 높으나 V形 홈이 클 때에는 VG 태양電池쪽이 0.4~0.6%정도 더 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 V形 홈이 클수록 실리콘 표면의 光吸收面積이 더 넓어지기 때문이라 생각된다. 그러므로 좋은 效率의 태양電池를 얻기 위해서는 V形 홈의 크기를 가능한 크게 하는 것이 바람직하다고 본다.

2. 暗(Dark) 상태에서의 I-V特性 비교

태양電池의 暗電流는 전지내의 光電流가 흐를 때 接合부근에 順방향 전압이 인가되어 이때문에 발생하는 電流로써 光電流와 반대방향으로 흐르며 태양電池의 전체적인 特性에 많은 영향을 준다. 일반적으로 태양電池의 暗電流는 다수 캐리어(majority carrier)인 전자나 홀이 공간 전하 영역(space charge region)가 장차리에서 接合層을 통과하여 반대쪽으로 이동함에 따라 발생하는 전류, J<sub>inv</sub>와 이때 통과하던 전자와 홀이 결핍층(depletion region)에서 재결합할 때 생기는 전류, J<sub>rs</sub> 및 전자나 홀이 직접 터널링함으로써 발생하는 전류, J<sub>tun</sub>의 합으로 표시된다. 그런데 J<sub>tun</sub>은 0.1Ω·cm 이상의 실리콘 웨이퍼에서는 거의 일어나지 않으므로 이 실험에서는 고려할 필요가 없다.

그림 7은 각 태양電池의 暗電流 特性을 나타낸 것으로서 0.35V 부근에서 그 이상은 J<sub>inv</sub>의 특성이, 그 이하에서는 J<sub>rs</sub>의 특성이 뚜렷이 나타나 있다.

그런데 VG 태양電池는 특히 J<sub>rs</sub>특성이 크게 나타나 있다. 한편 이 J<sub>rs</sub>는 주로 接合層의 결함(disloc-

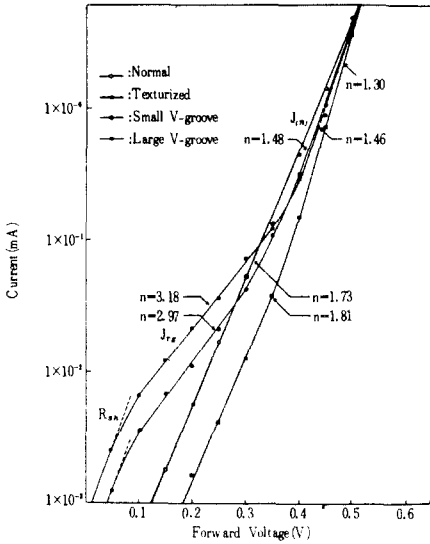


그림 7. 각 전지의 암전류 특성  
 Fig. 7. Dark forward I-V characteristics of N<sup>+</sup>P solar cells.

tion) 또는 불순물(impurity)에 의해서 발생하므로 VG 태양電池는 표면에 V形 홈을 부식시킬 때 표면에 많은 결함이 생성된다는 것을 알 수 있다. 그러므로 VG 태양電池는 제조 공정상에서 발생하는 전지 표면의 결함을 줄이기 위한 많은 연구가 필요하다. 또한 VG 태양電池는 0.1V 이하에서 곡선의 기울기가 급변하는데 이것은 V形 홈을 형성시킬 때 제조공정상의 문제로 인하여 漏泄抵抗, R<sub>SH</sub>가 감소했기 때문이라 본다.

3. 漏泄抵抗 및 直列抵抗

漏泄抵抗, R<sub>SH</sub> 및 直列抵抗, R<sub>s</sub>를 측정하여 표 2에 나타내었다.

표 2. N<sup>+</sup>P 태양전지의 누설저항 및 직렬저항  
 Table 2. Shunt resistance and series resistance of N<sup>+</sup>P solar cell.

Resistance	Cell Surface	Normal	Texturized	Small V-groove	Large V-groove
	R <sub>SH</sub> (KΩ)		250~350	200~300	20~30
R <sub>s</sub> (Ω)		1.5~2	2~2.5	2~2.5	1.5~2

R<sub>SH</sub>는 양호한 태양電池의 기준치인 1KΩ보다 훨씬 커서 좋은 특성을 가진 전지임을 나타내었다. 그런데 일반 平面太陽電池가 texturized 태양電池보다 크고 또 VG 태양電池보다 훨씬 더 큰 것은 전지를 만들 때

의 제조 공정이 많을수록 R<sub>SH</sub>가 상대적으로 떨어진다 는 것을 알 수 있다.

R<sub>s</sub>는 대략 1.5~2.5Ω사이의 값으로 측정되었다. 이것은 양호한 태양電池의 기준치인 0.5Ω보다 훨씬 큰 값으로써 제조 공정상의 부주의로 인하여 전지의 표면이 많이 汚染되었기 때문이라 생각된다.

V. 結 論

실리콘 웨이퍼 표면에 V形 홈을 형성시켜 太陽光의 反射를 줄인 VG 태양電池와 일반 平面太陽電池 및 texturized 태양電池를 열 확산법에 의해 N<sup>+</sup>P 형으로 만들어 그 특성을 서로 비교 분석하였다.

V形 홈은 (100) 結晶面의 실리콘 표면을 異方性腐蝕 용액인 etylenediamine, water, pyrocathocol을 혼합한 용액 속에서 부식시켰으며, 폭 225μm를 완전한 V形 홈으로 만드는 데는 104~110°C에서 3시간 가량 소요되었다. 그리고 측정된 결과 다음 사실을 알 수 있었다.

- 1) I-V 特性面에서는 단락전류가 30~50%정도 증가하여 전체 效率面에서는 VG 태양電池가 일반 태양電池보다 2.5~3.5%, texturized 태양電池 보다는 0.4~0.6%정도 개선되었다.
- 2) 暗電流 特性에서는 VG 태양電池가 타전지에 비해 J<sub>sc</sub>가 큰 특성을 나타내었다. 이것은 V形 홈을 형성시키는 부식 과정에서 표면에 많은 결함이 생성되었기 때문이다.
- 3) 漏泄抵抗은 제조 공정상의 汚染으로 인하여 VG 태양電池가 다른 전지에 비해 작은 특성을 보였으며 直列 抵抗은 큰 차이가 없었다.

參 考 文 獻

- [1] Harold J. Hovel, *Semiconductors and Semimetals. Solar Cells*, Academic Press, vol. 11, pp. 89, 1975.
- [2] S.M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*. Second Edition, Wiley-Interscience, pp. 812-813, 1981.
- [3] Kim Jin Sup, *Efficiency Improvement of Al-Mis Solar Cells Using Texturization*. K.N.U., 1981.
- [4] Harold J. Hovel, *Semiconductors and Semimetals. Solar Cells*, Academic Press, vol. 11, pp. 203, 1975.
- [5] Terry I. Chappel, "The V-groove multi-junction solar cell," *IEEE Trans.*, vol. ED-26, no.7, July 1979.
- [6] R.M. Finne and D.L. Klein, "A water-

- amine-complexing agent system for etching silicon," *J. Electrochem. Soc.: SOLID STATE SCIENCE*, vol. 114, no. 9.
- [7] Terry I. Chappel, *V-Groove Multijunction Solar Cells*. Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley, 1978.
- [8] Harold J. Hovel, *Semiconductors and Semimetals*. Solar Cells, Academic Press, vol. 11, pp. 3, 1975.
- [9] L.L. Rosier, "Surface state and surface recombination velocity characteristics of Si-SiO<sub>2</sub> interfaces." *IEEE Trans. on Electron Devices*, ED-13, pp. 260-268, 1966.
-