2013년 11월 전자공학회 논문지 제 50 권 제 11 호
Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 11, November 2013 http://dx.doi.org/10.5573/ieek.2013.50.11.043

논문 2013-50-11-6

# 오존수를 이용한 태양전지용 웨이퍼의 세정에 관한 연구

## ( A Study on Solar Cell Wafer Cleaning using Ozonate Water )

문 세 호*, 채 상 훈**, 손 영 수***

( Se-Ho Moon, Sang-Hoon Chai©, and Young Su Son )

요 약

실리콘 태양전지 제조에 기판으로 사용되는 156 mm 실리콘 웨이퍼의 제작 공정에 적용하기 위한 오존수 세정 메커니즘에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 생산 공정에 있어서 제품 불량 및 성능 저하를 유발하는 웨이퍼 표면 오염원을 분석하였으며, 이를 제거하기 위한 오존 세정공정에 대하여 실험하였다. 이 기술을 적용한 결과 미세입자는 94% 이상 제거 되었으며, 잔류 유기물도 45% 이상 더 제거되는 것으로 나타났다.

Abstract

We have studied on ozonate water cleaning mechanisms to apply in manufacturing process of 156 mm silicon wafer which is used in the solar cell fabrication. We have analyzed contamination sources on wafer surface which causes poor quality and performance of products in fabrication process, and examined cleaning process using ozonate water to eliminate it. Using this novel technology particles are removed over 94%, and remained organic materials are removed more over 45%.

**Keywords** : 오존수, 태양전지, 웨이퍼, 세정 공정, 기능수

## Ⅰ. 서 론

신재생에너지원의 보급 확대 정책에 따라 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 생산량이 증가되고 있다. 태양전지용 웨이퍼는 반도체용 실리콘 웨이퍼 생산 기술이 접목되어 서로 유사성을 보이나 태양전지 분야만의 특수성이 있다. 실리콘 태양전지의 제작 공정에서 발생되는 문제점으로서는 물리적인 면과 화학적인 면이 있다. 물리적인 문제로서는 태양전지 실리콘 웨이퍼의 두께가 반도체용 웨이퍼 보다 얇은 관계로 제조 공정 중 크랙의 발생이나 파손을 들 수 있으며, 화학적인 측면의 문제로서는 제조공정 과정에서 사용되는 화학물질과의 반응 및 고착화에 의한 화학물질의 잔류가 있다[1~2]. 태양전지용 실리콘 웨이퍼는 단결정 및 다결정을 모두 제조되고 있으며, 제조 원가를 고려하여 공정 오염도에 대해서는 비교적 관대하게 처리되고 있다. 태양전지 분야에 서의 공정 오염 결과로는 스테인(stain)으로 통칭되는 웨이퍼 표면의 변질 및 텍스쳐링(texturing)을 방해하는 물질의 잔류가 주된 오염으로 구분되고 있다. 스테인은 웨이퍼의 절단(slicing) 공정에서 사용되는 슬러리(slurry) 속에 포함된 오염 물질의 잔류에 의해 생긴 표면 얼룩으로써 태양전지의 제조 공정이나 발전효율에 크게 영향을 주지 않으나, 웨이퍼의 상품성을 저하시키는 요소로서 작용하고 있다. 텍스쳐링을 방해하는 오염

* 학생회원, ** 평생회원, 호서대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Hoseo University)
*** 정회원, 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부
(Advanced Manufacturing System Research Dept., KIMM)
© Corresponding Author (E-mail: shchai@hoseo.edu)
※ 본 연구는 한국기계연구원의 그린에너지 기기 양산화 기술지원센터 구축사업의 과제로 수행하였음.
접수일자 : 2013년4월1일, 수정완료일 : 2013년10월28일

은 광학적인 검사로는 발견되지 않으나, 태양전지 제작 첫 단계인 텍스쳐링 공정을 방해하는 물질이 웨이퍼 표면에 부착되어 나타나는 문제로써 세정(cleaning) 공정에서 사용되는 세척액(detergent)의 잔류에 의해 주로 발생된다.

본 연구에서는 태양전지용 웨이퍼 제작공정의 특성을 고려하여 웨이퍼 세정 및 표면 오염원의 제거에 오존 기능수(ozone functional water)를 적용함으로써 친환경적이고 저렴하면서 효과적인 세정 메커니즘을 연구하였다.

## Ⅱ. 오존 기능수의 제조

오존 기능수를 제조하기 위해서는 먼저 대량의 오존 가스를 제조해야하며, 제조된 오존 가스를 초순수(deionized water)에 고농도로 용해시켜야 한다.

### 1. 오존 가스 제조 공정

오존($O_3$)은 불안정한 가스 상의 물질로써 주로 방전에 의해 생성되며, 산화 반응 후 자연 반감에 의해 소멸되는 특성을 보인다. 이러한 성질은 화학적이면서 친환경적 초정밀 세정 방법에 적용될 수 있다.

세정분야에서는 고농도의 오존이 필요하므로 에너지 효율, 안정성, 제어의 편리성 면에서 우수한 특성을 갖는 무성 방전(silent discharge)형 오존 발생 장치가 주로 사용된다[3~4]. 본 연구에서는 고농도의 오존 생성을 위하여 그림 1과 같이 전극 표면을 유전체인 산화알루미늄(Al2O3)으로 코팅한 특별한 구조를 갖는 무성 방전형 오존 발생기를 제작하여 사용하였다. 전극의 방전 간극을 3㎜ 이하로 대향시켜 60Hz~2kHz, 5~20kV 범위의 펄스 형태의 교류 고전압을 인가함으로써 방전공

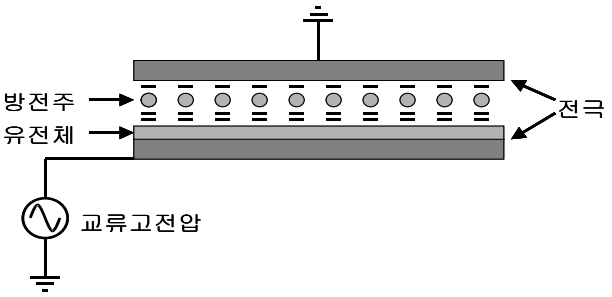



그림 1. 무성 방전 오존발생기의 구조
Fig. 1. Structure of silent discharge ozone generator.

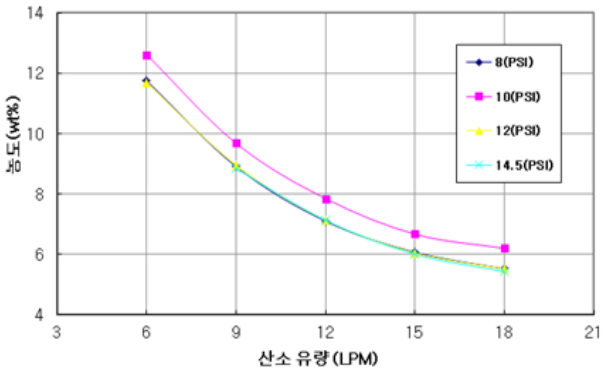



그림 2. 방전관 압력과 산소 유량 변화 따른 오존 농도
Fig. 2. Concentration of yield as PSI and LPM.

간에서는 엷은 청색의 방전이 나타났다. 이때 방전 공간 내에 존재하는 산소가 결합되어 오존 가스가 생성된다. 오존 발생기의 방전상태에 따른 방전관내의 커패시턴스 변화에 대응하여 주파수를 조절하면서 전력을 공급하였다[5]. 그림 2는 방전전력을 1,000W로 하고 방전관 내의 압력을 8~15psi, 산소 유량을 6~18l/min으로 변화시키면서 압력변화에 대한 오존농도를 측정한 것으로 10psi, 6l/min의 압력에서 오존이 가장 많이 발생하였다. 이는 주어진 조건에서 방전 밀도와 방전관 내의 가스 밀도가 오존을 생성하기에 최적 상태임을 나타낸다. 일반적인 산업용 오존 발생장치의 오존 발생효율이 6%wt 정도인데 비하여 본 오존 발생 장치에서는 최대 14%wt가 얻어짐으로써 제안된 장치로 고농도 오존을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 2. 오존 기능수 제조 공정

오존 용해 기능수는 강 산화성을 나타내며 반도체 웨이퍼 세정, 포토레지스트 제거 등에 사용된다. 또한 LCD 등의 유리 기판 세정에도 적용되며, 최근에는 신재생 에너지 분야에서 실리콘을 사용하는 결정질 또는 비정질 태양전지 웨이퍼 제조 산업에도 적용 가능하다. 오존 가스는 물에 잘 녹지 않는 난용성 기체이므로 반도체 제조 공정에서 사용되는 초순수에 쉽게 용해되지 않는다. 그러므로 용해도를 높이기 위한 특별한 장치가 필요하다. 오존의 용해도는 공기 속 오존농도와 물 속 오존농도의 비를 의미하며, 이를 정의하는 헨리의 법칙[6]에 의해

$$K_H = \frac{P_i(atm)}{C_w(mol/L)}\left[\frac{atm \cdot L}{mol}\right] \quad (1)$$

$$= \frac{C_{air}RT}{C_w} = \frac{K_H}{RT} = \frac{C_{air}}{C_w} \quad (2)$$

의 수식이 구해진다. 헨리상수 $K_H$는 클수록 용해도가 높다는 것을 의미하며, $P_i$는 오존의 분압, $C_{air}$은 공기 속에서의 오존의 몰농도(mole/L), $C_w$는 물속에서의 오존의 몰농도, $R$은 기체상수(0.08206[L · atm/mol · K]), $T$는 절대온도(°K)이다. 공기와 물이 접하고 있는 계면에서의 오존의 공기 속과 물 속에서의 비산성(fugacity) $f_g$와 $f_w$, 즉, 실제 압력은 같으므로 $f_g$와 $f_w$,는

$$f_g = P_i,\ \ f_w = \gamma_w x_w P^0(l, L),\ \ f_g = f_w \quad (3)$$

$$P_i = \gamma_w x_w P^0(l, L) \quad (4)$$

으로 표시된다. $\gamma_\omega$는 물에서의 활동도 계수(activity coefficient), $x_\omega$는 몰비(molar abudance), $P^0$는 압력, $l$은 액체를 나타내며, $L$은 녹는점 바로 아래의 온도이지만 여전히 액체 상태를 유지하는 "sub-cooled liquid" 상태를 의미한다. 헨리의 법칙에 의하여 헨리상수는

$$K_H \equiv \frac{P_i}{C_w} = \frac{\gamma_w x_w P^0(l, L)}{x_w / V_w} = \gamma_w V_w P^0(l, L) \quad (5)$$

으로 표시된다. 이 수식으로부터 헨리상수가 크려면 오존의 분압이 높아야 하고, 분압이 높으려면 오존의 몰비와 활동도 계수가 커야한다. 그러므로 몰비를 높이기 위하여 오존의 농도를 높이고, 활동도 계수를 증가시키기 위하여 오존의 초순수와의 접촉면적을 극대화하면 오존의 용해도를 높일 수 있다는 것을 알 수 있다.

오존 기능수의 사용 용도가 매우 높은 산화력을 필요로 하기 때문에 고농도의 오존가스 발생과 함께 고효율의 접촉효율을 갖도록 오존 접촉 장치를 설계하는 것이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 단순 접촉 방식을 탈피하여 그림 3과 같은 특수한 형태의 오존 기능수 생성장치를 제작하였다. 투입된 고농도 오존가스와 초순수가 스태틱 믹서와 인젝터를 통하여 접촉 장치 상부로 주입되면 헬리컬 방식의 내부 구조에 의해 액상의 용액과 기체가 혼합되어 버블형태로 미세화 되고 가운데의 병목부분을 통과하면서 더욱 미세화 됨으로써 최종적으로 초미세 버블만이 중앙의 배출장치를 통하여 접촉 장치 밖으로 배출된다. 또한 다른 버블은 다시 접촉기 상부로 올라간다. 이러한 과정을 반복하게 됨으로써 미세 버블화와 체류시간 증가를 통하여 오존가스와 순수가 90%이상의 접촉효율을 갖는 것을 확인하였다. 그림 4는 일반적인 방식과 본 연구에 의한 방식의 오존 용해 성능을 비교한 것이다. 본 연구를 통하여 100

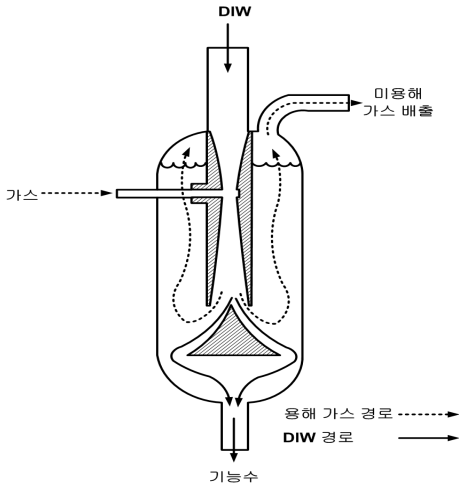



그림 3. 고효율 오존 용해 기능수 생성 장치
Fig. 3. Apparatus for high efficient ozone dissolved functional water.

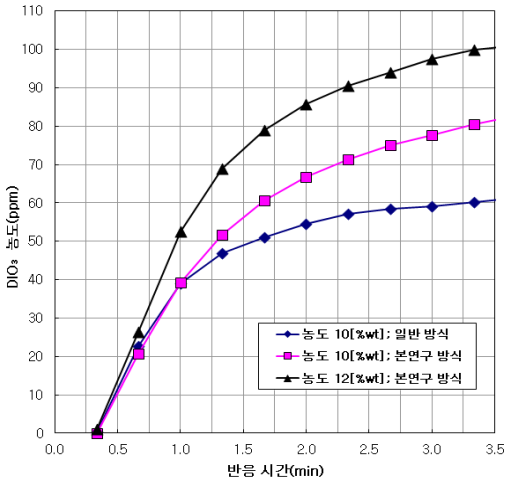



그림 4. 오존 접촉 장치의 용해 성능 비교
Fig. 4. Comparison of dissolution performance for the ozone contactor.

표 1. 오존 및 오존수 제조 특성 비교
Table 1. Comparison of ozone and DIO3 fabrication.

| 실험 조건 | 기존 | 본 실험 | 증가율[%] |
|---|---|---|---|
| 오존발생 농도[%wt] | 6.0 | 14.0 | ≒230 |
| 오존 용해도[ppm/l] | 40~60 | 55~100 | ≒150 |

ppm/L 이상의 고농도의 오존 기능수를 얻음으로써 기존 방식에 비해 1.5배 이상의 오존 용해 농도를 얻을 수 있었다.

표 1은 기존 방법과 본 실험 방법에 의한 오존발생 농도 및 오존수의 오존 용해도를 비교한 것이다.

## Ⅲ. 오존수 세정장치 구성

태양전지용 웨이퍼의 오염원은 잉곳 슬라이스 과정에서 사용되는 슬러리와 세정수에 포함된 세척액의 영향으로 알려져 있다. 본 연구에서는 먼저 웨이퍼 제작 공정에서 사용된 유기물이 대량 포함된 세정수의 오존에 의한 유기물 분해 가능성과, 태양전지용 웨이퍼의 표면에 발생된 스테인 오염의 제거에 중점을 두고 그림 5와 같은 오존 기능수 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 태양전지용 웨이퍼의 특성을 고려하여 오존수의 농도는 10 ppm으로 결정하였으며, 1 l/min.의 유량으로 순환하며 오존수를 공급하도록 구성하였다. 세정조는 양산형 태양전지용 웨이퍼의 크기가 156 x 156 ㎜임을 고려하여 4 리터 용적으로 구성하였으며, 오존 분해 모듈을 장착하여 사용 시의 안전성도 확보하였다.

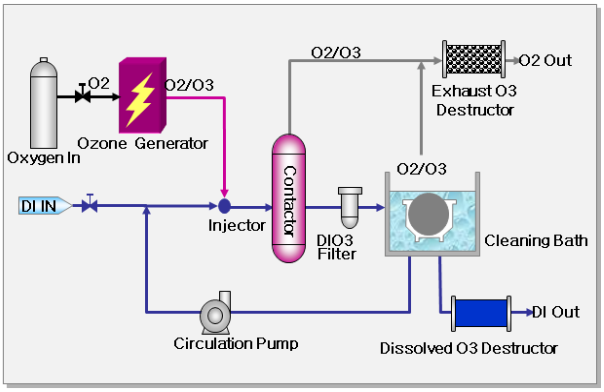


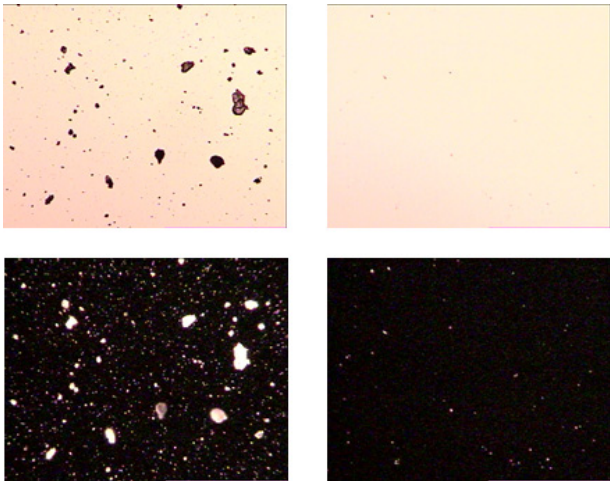

그림 5. 기능수에 의한 태양전지용 웨이퍼 습식 세정 장치 구성

Fig. 5. Structure of the solar cell wafer cleaner using ozone dissolved functional water.

## Ⅳ. 태양전지 웨이퍼 세정 실험 및 분석

### 1. 미세 입자 세정 실험

본 연구에서는 우선 오존 기능수에 의한 실험 장치를 실리콘 웨이퍼의 무기물(미세입자; particle) 세정에 적용함으로써 오존 기능수의 웨이퍼 세정 공정 대체 가능성을 분석하였다. 실험방법은 6“ 웨이퍼를 일반 대기에 수일간 노출시켜 오염시킨 후, 오염원으로써 유기물, 무기물, 금속 등 성분에 대한 구분없이 세정실험 전후의 총 미세입자 수를 관찰하여 세정 성능을 분석하였다. 이때 오존 농도를 20 ppm과 30 ppm으로 각각 용존한 세정조에서 웨이퍼를 3분간씩 세정한 후 웨이퍼 표면의 미세입자 세정 정도를 확인하였다. 세정 전후의 미세입자 측정은 가시광 및 자외선 광원을 장착한 광학 현미경으로 관찰하여 판독하였다. 그림 6의 상단은 가시광을 광원으로 촬영된 사진이며, 하단은 판독성 향상을 위하여 자외선 광원을 사용하여 촬영된 사진이다. 본 실험을 통하여 유기물과 무기물의 복합오염 상태에서 오존 용해 기능수가 가진 세정 효과를 확인 할 수 있었다. 표 2는 자외선 판독을 기준으로 1 ㎜2 면적 당 세정 전후의 미세입자 제거율을 나타낸 것으로 20 ppm에서는 85%, 30 ppm에서는 94% 정도로 나타났다. 따라서 오존의 농도와 세정 시간을 증가시킨다면 더 좋은 결과를 기대할 수 있다.



(a) (b)

그림 6. 30 ppm 오존 수에 의한 미세입자 세정 결과 (a) 세정 전, (b) 세정 후

Fig. 6. Results of particle cleaning using ozone functional water with 30 ppm. (a) before cleaning, (b) after cleaning

표 2. 오존수에 의한 미세입자 제거율

Table 2. Rate of particle cleaning using DIO3.

| 실험 조건 | 세정전 | 세정 후 | 제거율(%) |
|---|---|---|---|
| 20 ppm 세정 | 1,050 | 150 | 85 |
| 30 ppm 세정 | 1,380 | 80 | 94 |

## 2. 오존 가스에 의한 유기물 제거 가능성 실험

세척액 또는 계면활성제(surfactant)를 포함한 사용된 세정수의 오존에 대한 반응 여부를 실험하였다. 태양전지 웨이퍼 제조에 사용된 세정수 내의 잔여물이 웨이퍼 표면 오염원으로 추정되기 때문에 본 실험은 오존 세정수를 이용한 웨이퍼 표면의 잔류물 즉, 세척액 또는 계면활성제 성분의 제거 가능성을 테스트하는데 목적이 있다. 본 실험을 위하여 웨이퍼 제조 공정에 실제 사용된 세정수를 국내 제조사를 통하여 확보하였다. 사용된 세정수는 무색투명으로 보이며, 포함된 성분은 세척액, 계면활성제, 솔벤트(solvent)와 초순수의 혼합물로 알려져 있다. 따라서 세정수 내에 포함된 유기물의 총량을 UV 스펙트럼 방식의 수질 분석기를 사용하여 측정하였다. 측정기를 사용하여 세정수 내에 유기물의 총량을 오존 반응 전후에 비교 분석한 결과 태양전지 세정수의 오존 반응성은 그림 7과 같이 세정수 내에 존재하는 유기성분 변화가 관측되었다. 따라서 오존수에 의한 세척액의 제거 및 세정은 가능하다고 판단되었다. 표 3은 측정결과를 나타낸 것으로써 오존반응 전에 비하여 반응 후에는 TSS, COD, BOD, TOC 등 모든 수치가 개선되었다.

(a) (b)

그림 7. 세정수 내의 세척액 오존 반응 실험
(a) 반응 전-무색 투명 (b) 반응 후-일부 변색
Fig. 7. Detergent reaction using ozone in cleaning solution.
(a) before - transparence (b) after - changed

## 3. 태양전지 웨이퍼 세정

그림 8은 태양전지용 웨이퍼 표면에 고착된 스테인 물질에 대하여 5,000배 확대한 SEM(전자현미경) 사진이다. EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 분석결과 스테인은 Si(실리콘) 외에 유기물의 주성분인 C(탄소)와 O(산소)가 다량 포함되어 있으며, 절삭와이어의 성분인 Fe(철)와 Cr(크롬)도 미량 포함되어 있다. 이 결과로부터 태양전지 웨이퍼링 공정에서 발생되는 스테인 오염은 슬러리 물질 중에 존재하는 유기물과 무기물의 이상 고착 현상으로 판단되므로 본 실험에서는 스테인이 발생된 태양전지용 웨이퍼를 세정조에 침지시켜 오존수에 의한 직접 세정 시험을 진행하였다. 웨이퍼 표면에 발생된 스테인 오염의 오존수 세정은 각각의 웨이퍼를 세정조에 1/2을 잠기도록 하여 세정 부분과 비세정 부분을 비교 할 수 있도록 실험을 진행하였다. 유기물과 무기물의 복합 고착 형태의 스테인은 시간이 지남

표 3. 오존 가스에 의한 유기물 제거 효과
Table 3. Removal effect of organic material using $O_3$.

| 실험 조건 | 처리 전 | 처리 후 | 개선율(%) |
|---|---|---|---|
| TSS(부유물질 총량) | 3,450 | 2,310 | 49.4 |
| COD(화학적 산소요구량) | 1,800 | 1,230 | 46.3 |
| BOD(생물학적 산소요구량) | 860 | 600 | 43.3 |
| TOC(유기탄소 총량) | 580 | 390 | 48.7 |

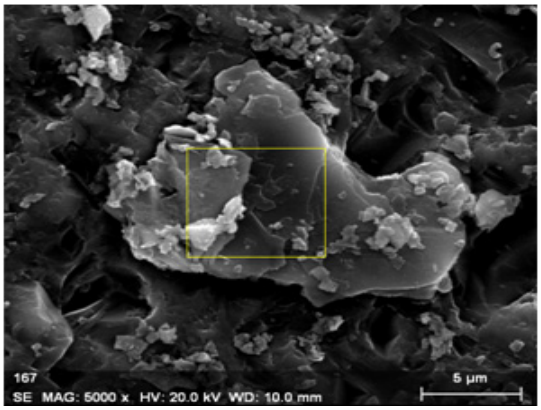
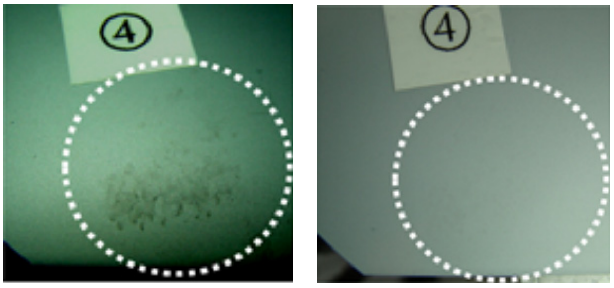
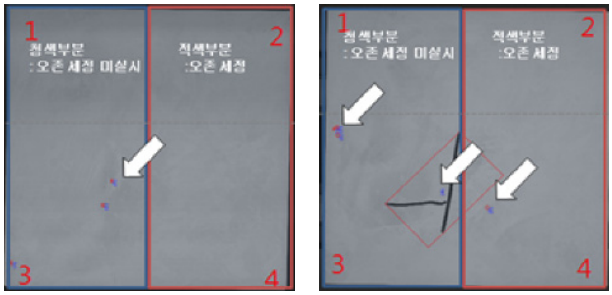



그림 8. 웨이퍼 표면 스테인의 전자현미경 사진
Fig. 8. SEM photograph of wafer surface stain.




(a) (b)

그림 9. 단결정 웨이퍼 표면 스테인 세정 결과
(a) 세정 전 (b) 세정 후
Fig. 9. Cleaning results for mono crystalline wafer.
(a) before cleaning (b) after cleaning




(a) (b)

그림 10. 다결정 웨이퍼 표면 스테인 세정 결과
(a) 세정 양호 (b) 세정 불량

Fig. 10. Cleaning results for polysilicon wafer.
(a) good cleaned (b) bad cleaned

에 따라 건조되고 고형화가 되므로 샘플 웨이퍼의 보관 과정에서 상당 부분 고착화가 진행되었을 것으로 예상되었다. 그럼에도 불구하고 실험 결과 그림 9와 같이 세정을 통하여 단결정 웨이퍼 상에 존재하는 스테인은 잘 제거됨을 알 수 있었다. 그림 10은 태양전지용 다결정 웨이퍼에 대한 실험결과로써 다결정 웨이퍼는 그레인(grain)으로 인해 육안 판별이 어려우므로 자동 검사 장비를 이용하여 관찰 및 측정을 하였다. 실험 결과 그림 (a)에서와 같이 대부분의 스테인은 잘 제거되었으나, 그림 (b)에서와 같이 간혹 제거되지 않은 경우도 발견할 수 있었다. 이는 본 실험에 사용된 웨이퍼가 공정 진행 후 상당 시간을 통하여 경화되었을 뿐만 아니라, 다결정 웨이퍼는 결정방향이 일정하지 않고 그레인 간의 경계(boundary) 면 존재로 인해 오염물의 표면 접착력이 더 강하기 때문에 나타나는 현상으로 분석된다. 실제 양산 공정에서 경화가 진행되지 않은 상태에서 오존 기능수를 사용하여 세정할 경우에는 이러한 현상은 거의 없을 것으로 판단된다.

## V. 결 론

본 연구를 통하여 고농도 오존 발생 장치, 고농도 오존 용해 기능수 제조 장치, 고효율의 오존 분해 장치를 각각 구현한 다음 이들을 이용한 오존 기능수 세정 장치를 구성하였다. 오존 발생기는 일반적인 평판방전 방식을 개선한 유전체로 코팅한 구조의 전극을 갖는 무성방전형 오존 발생기를 사용함으로서 오존 발생 효율을 높이고 고농도의 오존을 발생시킬 수 있었다. 실험 결과 약 14%의 고농도의 오존 가스를 얻음으로써 종래에 비해 2배 이상의 고농도의 오존 발생 연구 결과를 얻을 수 있었다.

기능수 생성을 위한 오존과 초순수의 접촉 방법도 기존의 단순 접촉방식을 탈피하여 미세 버블화가 여러 번 반복되는 구조를 적용함으로서 미세 버블화와 체류시간 증가를 통하여 발생되는 기포의 크기가 작아지고 오존이 쉽게 순수에 용존되어 오존 용존율 및 이용률이 향상되었다. 이 방법에 의한 실험 결과 100 ppm/L 이상의 고농도의 오존 기능수를 얻음으로써 종래의 방식 보다 1.5배 이상 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에 의한 오존수를 태양 전지용 실리콘 웨이퍼의 제작 공정에 세정공정에 적용한 결과 무기물(미세입자)는 94% 이상 제거되었으며, 잔류 유기물은 45% 이상 더 제거되어 오존 세정공정의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 다만 제품의 품질에는 크게 영향을 미치지 않지만 외관상 이유로 제품의 가격에 영향을 미치는 스테인 오염에 대한 제거 실험에서도 장기간 방치된 다결정 실리콘 웨이퍼 일부에서는 제거되지 않는 경우가 있었으나, 실리콘 잉곳의 웨이퍼링 공정에서 바로 오존수 세정공정을 적용하면 보다 효과적인 스테인 오염 제거가 가능하다는 연구 결과를 얻었을 수 있었다.

## REFERENCES

[1] H. Kim, A. Cha, J. Bae, H. Lee, M. Lee, B. Park, “A study on development of aqueous/semi-aqueous cleaning materials and application of electronic parts cleaning process”, Clean Technology, Vol. 10, No. 2, pp.61-72, Oct. 2004.

[2] S. Bae, H. Lee, J. Lee, J. Bae, D. Lee, “Development of cleaning agents for solar silicon wafer”, Clean Technology, Vol. 18, No. 1, pp.43-50, Mar. 2012.

[3] S. Chai, Y. Son, “A study on photoresist strip processes using DIO3”, Journal of KIEEME, Vol. 17, No. 11, pp.1143-1148, Nov. 2004.

[4] S. Moon, M. Gweon, B. Kim, H. Kim, S. Chai , “EC recycling technology for chemical reduction and energy saving in semiconductor/FPD fabrication”, IEEE, Proc. of ICAEE, pp. 24-26, 2011.

[5] Y. Son, S. Chai, “A study on the ozonized water production technology for the PR strip process”, Journal of IEEK, Vol. 41 SD, No. 12, pp.13-19,

Dec. 2004.
[6] Rip. G. Rice, “Handbook of ozone technology and applications”, Vol. 1, Ann Arbor Science, 2001.

## 저 자 소 개

문 세 호(학생회원)
1992년 호서대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업
2003년 호서대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업
2007년～호서대학교 전자공학과 박사과정
1993년 12월～1999년 2월 케이씨텍(주) 연구소
1999년 3월～현재 오존웍스(주) 대표이사
2007년～현재 사단법인 오존협회 부회장
<주관심분야 : 반도체 공정장비, 오존시스템 설계, 의료용 전자기기>

채 상 훈(평생회원)-교신저자
1981년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
1983년 부산대학교 전자공학과 석사 졸업
1992년 부산대학교 전자공학과 박사 졸업
1983년～1997년 한국전자통신연구원 반도체연구단
2004년～2006년 University of Florida 연구교수
1997년 9월～현재 호서대학교 전자공학과 교수
<주관심 분야 : 전력소자 및 태양전지, 반도체 신공정, RF 아날로그 ASIC 설계, >

손 영 수(정회원)
1982년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업
1984년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업
1996년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업
1989년～현재 한국기계연구원 책임연구원
<주관심 분야 : 태양전지 공정기술, 고효율 그린 세정기술, 초정밀 기계>