

다중 원심분리법을 이용한 태양전지용 실리콘 폐 슬러지 재생 시스템 구현[†]

(Implementation of a silicon sludge recycling system for solar cell using multiple centrifuge)

김 호 운*, 최 병 진**

(Ho-Woon Kim and Byung-Jin Choi)

요 약 본 논문은 태양전지용 실리콘 잉곳 절삭시 발생하는 폐 슬러지에서 실리콘, 연마재를 분리 회수 재사용하는 시스템에 관한 것이다. 분리시스템의 기본 공정은 다중원심분리이고 분리 효율을 높이기 위해 초음파 교반, 알코올-물 가수, 가열처리를 하였다. 실리콘의 경우 2N의 경우 96% 회수율을 보였고, 4N의 경우 94%의 회수율을 보였다. 연마재인 SiC의 경우에는 약 80%의 회수율을 보였다. 4N의 고순도 Si 회수를 위해서는 진공열처리를 수행하여 잔류성분을 제거하였다.

핵심주제어 : 실리콘, 슬러지, 재생, 원심분리, 초음파

Abstract This paper explained about the sludge recycling system which retrieved the silicon and abrasive from solar cell wafer slicing. The basic process of the recycling system was multiple centrifuge and secondary processes of ultra sonic agitation, addition of alcohol-water solution and heating sludge was added for raising separation efficiency. The recycling rate was about 96% and 94% for 2N, 4N silicon respectively. The SiC abrasive recycling rate was about 80%. To retrieve the high purity of 4N silicon, the heat process in vacuum furnace was added to remove remaining impurity components..

Key Words : Silicon, Sludge, Recycle, Centrifuge, Ultra Sonic

1. 서 론

실리콘(Silicon)은 반도체 및 태양전지용으로 주로 사용되고 있다. 최근에는 의료용으로 사용되는 보형물의 주된 원료로도 사용되고, 기능성 의류분야로도 점점 그 사용영역을 넓혀가고 있다. 최근 반도체산업의 규모가 크게 성장하면서 실리콘의 수요 또한 크게 증

가하고 있는 가운데 신재생에너지 개발에 힘입은 태양전지용 실리콘의 수요가 기하급수적으로 늘어나고 있다[1]. 2010년 태양전지용 폴리실리콘의 가격이 매우 불안정한 양상을 나타내고 있는데 이는 세계 금융위기와 국제유가 급등, 폴리실리콘 공급량 증가 등 내외적 요인이 복잡하게 작용하고 있기 때문이다. 2010년 초 발생한 멕시코만 심해저유전 유출 사고, 2011년 3월 발생한 일본 대지진의 여파로 인해 발생한 쓰나미에 피해를 본 일본 후쿠시마 원전의 사고는 기존 화석 에너지 자원에 대한 불확실한 미래와 원자력 발전

[†] 이 논문은 2010년 EIP 공모과제 연구비 지원에 의해 연구되었음.

* (주) 이레테크, 제1저자, 교신저자

** 경운대학교 신소재에너지학과, 제2저자

의 위험성을 널리 알려 신재생에너지에 대한 개발을 강요하고 있다. 하지만 신재생에너지 중에서 가장 크게 주목받고 있는 태양전지의 경우 풍력, 원자력 등 다른 에너지생산 설비에 비해 효율이 나쁜 편이지만 반도체기술의 접목, 친환경적 등의 이유로 그 성장은 빠르게 진행되고 있다.

태양전지용 웨이퍼는 성장된 실리콘잉곳을 수백 μ m 정도의 두께로 와이어 소를 이용하여 절삭하여 사용하는데 이 제작과정에서 많은 슬러지가 생성되고 있고, 이 슬러지 처리비용이 고가이며 환경오염의 문제가 있어왔다. 현재 태양전지산업의 당면 과제는 경제성을 높여 그리드 패리티(grid parity: 화석연료 발전단가와 신재생에너지 발전단가가 같아지는 균형점)를 이룩하는 것이라고 할 수 있어 발생슬러지의 친환경적 재활용이 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 친환경적 재활용은 제조기업의 경쟁력 우위 확보에 중요한 역할을 한다[2]. 특히 중소기업은 기술경쟁력을 확보 하는 것이 매우 중요하다, 비록 수년전 자료이긴 하지만 대부분의 중소기업은 선진국 기술 수준의 43%로 보고되고 있다[3].

본 연구에서는 웨이퍼 제작시 발생하는 실리콘 슬러지의 재생을 통한 실리콘 자원 확보, 태양전지용 폴리실리콘 단가 저하 효과를 이룩하고 매립되는 양을 감소시킬 수 있도록 폴리 실리콘 재생 기술 개발하고 친환경적 실리콘 폐슬러지 재생 시스템을 제시하고자 한다.

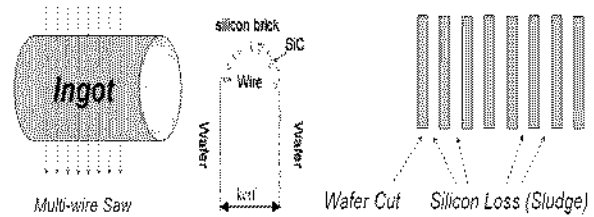
2. 본론

2.1 태양전지용 웨이퍼 제조 공정 및 슬러지 발생

태양전지는 현재 대부분 실리콘을 절삭하여 웨이퍼 형태로 만들어 제작하고 있다, 미국의 First Solar[4] 처럼 화합물 반도체를 사용하는 곳이 증가하고 있으나 아직 결정질 실리콘이 주류를 이루고 있다. 지표에 산소 다음으로 풍부하게 존재하는 원소인 실리콘은 반도체재료로 오랫동안 사용되어 왔다. 태양전지용이나 반도체 IC용 웨이퍼의 제조 공정은 기본적으로 잉

곳을 멀티와이어 소를 통해 동시에 수백장 절삭후 연마 등의 가공 공정을 거치게 된다. 태양전지의 경우 네모난 폴리실리콘잉곳을 많이 사용하는 편이나 반도체 IC용 웨이퍼의 경우 원기둥 형태의 단결정 실리콘 잉곳을 사용하며, 일부 고효율 태양전지도 단결정 실리콘을 사용하기도 한다. 웨이퍼 절삭시 와이어에 SiC 절삭연마제를 분사-절삭하게 되는데 아래 그림1에 나타난 것과 같은 슬러지가 발생하게 된다.

반도체 IC용 웨이퍼의 경우 웨이퍼의 두께가 1mm정도로 두꺼워 절삭시 소모되는 양에 비해 웨이퍼 두께가 매우 두꺼운 편이나 태양전지용 웨이퍼의 경우 두께가 0.2mm정도에 불과해 절삭시 발생하는 슬러지의 양이 상대적으로 많아진다.



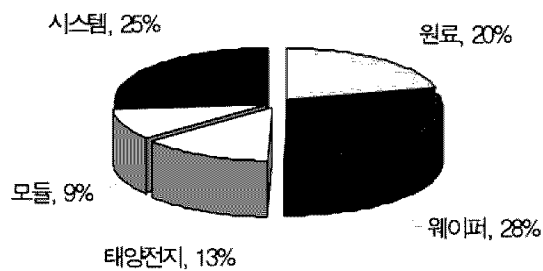
<그림 1> 멀티와이어 소 잉곳 절단 및 슬러지 발생

웨이퍼 절삭시 발생하는 슬러지 외에 잉곳의 절단 과정 등에서 실리콘 손실이 발생하며 제조공정에 따라 다르나 실리콘 웨이퍼의 두께가 얇을 경우 최대 70% 정도의 실리콘 손실이 발생할 수 있으며, 현재 주류를 이루고 있는 200 μ m두께 웨이퍼의 경우 와이어의 두께 120 μ m로 가정시 kerf 손실은 약 160 μ m 발생하고, 잉곳에서 칼럼으로 절삭시 30%, 총 68%의 손실이 발생하게 된다[5].

2.2 태양전지용 웨이퍼 두께 변화 및 슬러지 재생의 필요성

상기 언급한 것처럼 태양전지용 웨이퍼는 반도체 IC용 웨이퍼에 비해 두께가 매우 얇은 편인데 이는 태양전지의 구조가 반도체 IC에 비교해 매우 간단한 PN 다이오드 구조로 되어 있기 때문이다. 따라서 복잡한 구조를 지지해야 할 필요가 없고 오히려 플라스틱이나 금속 구조물에 지탱되는 구조가 되므로 얇아도 큰 문제가 발생하지 않는다. 태양전지용 결정질 실리콘

웨이퍼의 최소 두께는 실리콘 순도와 광 흡수율에 따라 다르나 대체적 100 μ m로 예상하고 있다. 이는 일반적인 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 광 흡수율을 고려할 때 광 흡수를 위한 필요 두께가 약 70 μ m로 계산되기 때문이다[6]. 현재 태양전지용 실리콘 웨이퍼의 두께는 아직 200 μ m가 주류를 이루고 있으나 앞서 언급한 그리드 패리티를 이룩하기 위해서는 제조단가를 낮춰야 하고 현재 태양전지 제조단가에 가장 큰 영향을 미치는 것이 실리콘 재료비로 그림 2에 구성 요소별 생산비용을 나타내었다[7]. 그림에서 웨이퍼와 원료의 비용이 전체의 절반을 차지하는 것을 알 수 있다.

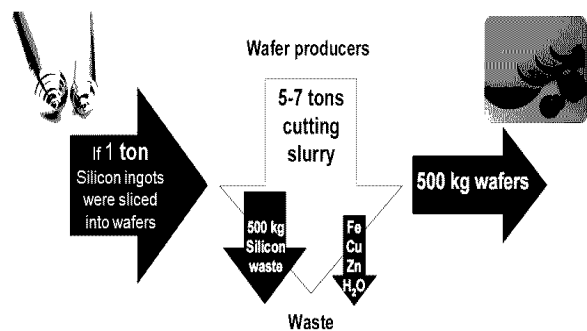


<그림 2> 태양광 구성 요소별 생산비용

제조단가를 낮추기 위해서는 재료비를 줄여야 하는데 이를 위해 여러가지 방안이 모색되고 있으며, 크게 제조 공정중 실리콘 손실을 막는 방법과 슬러지에서 실리콘 회수를 최대한 많이 하는 방법으로 나뉜다. 실리콘 사용손실을 막는 방법은 실리콘 절삭을 최대한 줄여 원천적으로 실리콘 슬러지 발생을 억제 하는 방법으로 리본법 등이 있으나 태양전지의 에너지 변환효율이 낮거나 매우 고가의 제조공정이 요구되어 현재까지 잘 사용되지 못하고 있다. 예를 들어 Evergreen Solar[8]사의 Ribbon법은 실리콘을 원형이나 육면체형의 잉곳으로 성장시키지 않고 처음부터 판형으로 성장시키기 때문에 재료 손실이 거의 없어 많은 기대를 받았으나 효율이 기존의 태양전지에 비해 매우 낮고 효율 개선이 현재까지 눈에 띄게 이뤄지지 않고 있어 전력 생산 단가는 다른 결정질 실리콘 웨이퍼와 비슷한 상황이다. 한편, 슬러지에서 실리콘 회수를 극대화시키는 방법은 실리콘 사용 초창기부터 고려된 방식이나 오랫동안 답보 상태에 머무르다 최근에 와서 다시 주목 받고 있다[9].

실리콘 회수가 주목받게 된 이유는 산업적 이유와 경제적 이유로 나누어 생각할 수 있는데 산업적 이유는 최근 태양전지와 반도체용 실리콘 수요 이외에도 다양한 방면에서 실리콘 수요가 늘어나고 있기 때문이다. 예를 들어 건축 마감재로 많이 사용되는 실리콘 실란트(Silicone sealant) 같은 silicone의 사용 분야 확대를 들 수 있다. Silicone은 Silicon을 포함하고 있는 탄수화물계 폴리머로 내열성이 기존의 플라스틱에 비해 뛰어난 제품을 만들기 쉽다. 이에 silicone은 플라스틱을 대체 할 수 있는 재료로 각광 받고 있으며, 화석 연료 고갈이 걱정되고 있는 현재 지각에 풍부하게 존재하고 있는 규소와 탄소, 수소, 산소로 구성되어 자원 고갈 걱정이 적다. 실리콘은 이 외에도 염료용 SiO₂분말, 유리 원료 등 용도가 매우 다양하다. 이러한 다양한 용도가 실리콘 회수의 경제성을 높여 주게 되었다.

지금까지 태양전지의 경제성을 높이는 데 가장 효과적인 방법 중 하나로 폐 슬러지 재생 시스템이 거론되어 왔으나 오랫동안 그 수요가 작고, 기존 실리콘 공급가격이 충분히 낮았기 때문에 이에 대한 기술개발이 크게 이루어지지 못하였다. 또한, 최근까지 실리콘의 주된 수요는 반도체IC용이었으며 10N이상의 초고순도를 요구했기 때문에 정제 비용이 원광석 채광 비용에 비해 압도적으로 높았다. 그동안 태양전지는 반도체용 웨이퍼중 저급의 웨이퍼를 사용하면서 성장하여 왔다. 하지만 최근에는 반도체용 웨이퍼의 수요보다 태양전지용 웨이퍼의 수요가 훨씬 많아지면서 가격과 생산성을 고려한 태양전지용 다결정질 실리콘 웨이퍼를 주로 사용하게 되었다.



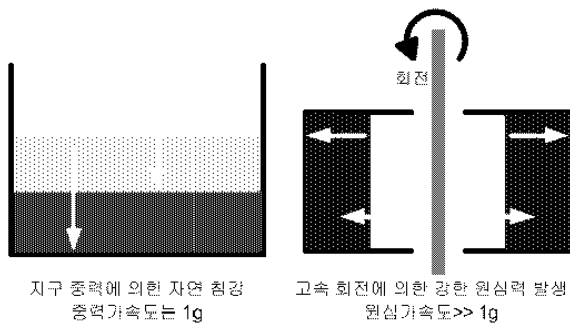
<그림 3> 실리콘 절삭시 발생 슬러리 및 슬러지

태양전지용 웨이퍼 사용이 급격하게 증가함에 따라

필연적으로 웨이퍼 절삭시 발생하는 실리콘 슬러지 발생량 역시 급격하게 증가하게 되었고 처리비용도 증가하였다. 실리콘 절삭시 절삭유 등을 사용하기 때문에 일반적인 매립 처리가 불가능하여 전문 처리업체에서 처리해야하는데 현재 톤당 약 20만원의 처리비용이 발생하고 있다. 그림 3에 실리콘 절삭시 발생하는 슬러리, 슬러지에 대한 모식도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 태양전지용 웨이퍼 절삭시 많은 양의 슬러리와 슬러지가 발생하는데 슬러지에는 연마재에서 나온 다양한 불순물이 포함된다. 이러한 불순물이 실리콘의 순도를 낮춰 재생에 어려움을 겪게 한다. 특히 이전의 실리콘 재생의 목표는 태양전지나 반도체용 웨이퍼에 다시 사용 할 수 있을 정도의 고순도를 목적으로 하였기 때문에 정제에 고비용이 발생하여 경제성이 매우 낮았지만 상기한 바와 같이 현재 실리콘의 수요는 반도체IC용과 태양전지용 이외에도 많이 성장한 상태고 높은 순도가 필요치 않은 분야가 적지 않다. 또한, 폴리실리콘 가격이 현재 높게 유지되고 있으며 향후 추가 상승시 재생 실리콘의 초고순도 정제도 경제성을 가지게 될 것으로 예상된다.

2.3 원심 분리법을 이용한 슬러지 분리 (1차 원심분리)

본 연구에서는 슬러지에서 실리콘을 분리하는 방법으로 원심 분리법을 사용하였다.



<그림 4> 원심분리기 원리

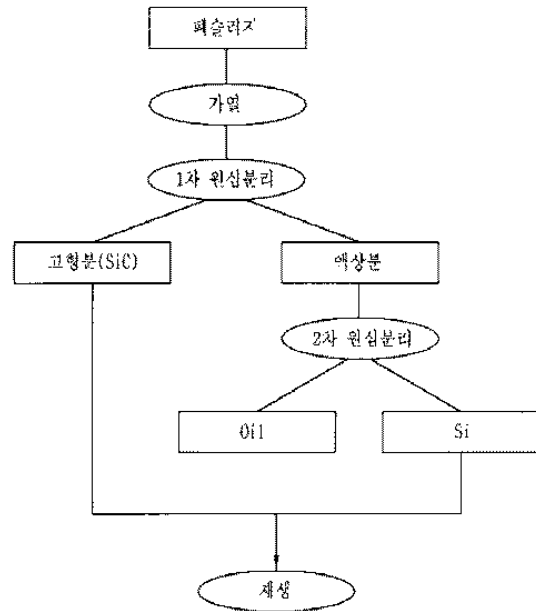
원심분리법은 물질의 비중차이를 이용하여 분리하는 것으로 비중이 큰 물질이 가라앉는 자연의 원리를 응용한 것이다. 실제 분리에서 지구 중력에 의한 자연

분리는 지구중력가속도가 작기 때문에 비중이 서로 비슷한 경우 분리가 잘 되지 않는다. 따라서 인위적인 힘을 유발해서 서로간의 분리를 빠르게 이루어 낼 필요가 있다. 원심력은 회전하는 물체에 발생하는 힘으로 그 크기는 회전각속도의 제곱에 비례한다.

$$F = mr\omega^2 = m \frac{V^2}{r} \quad (1)$$

$$a = r\omega^2 = \frac{V^2}{r}$$

식(1)에서 알 수 있듯이 원심가속도는 선속도의 제곱에 비례하므로 고속회전시 중력의 수십~수만배도 가능하다. 따라서 비중 차이가 많이 나지 않는 물질도 빠르게 분리할 수 있게 된다. 기존의 실리콘 재생 방식은 그림 5에, 본 연구에서 제안하는 시스템의 전체 원심 분리 흐름은 그림 6에 나타나 있다.



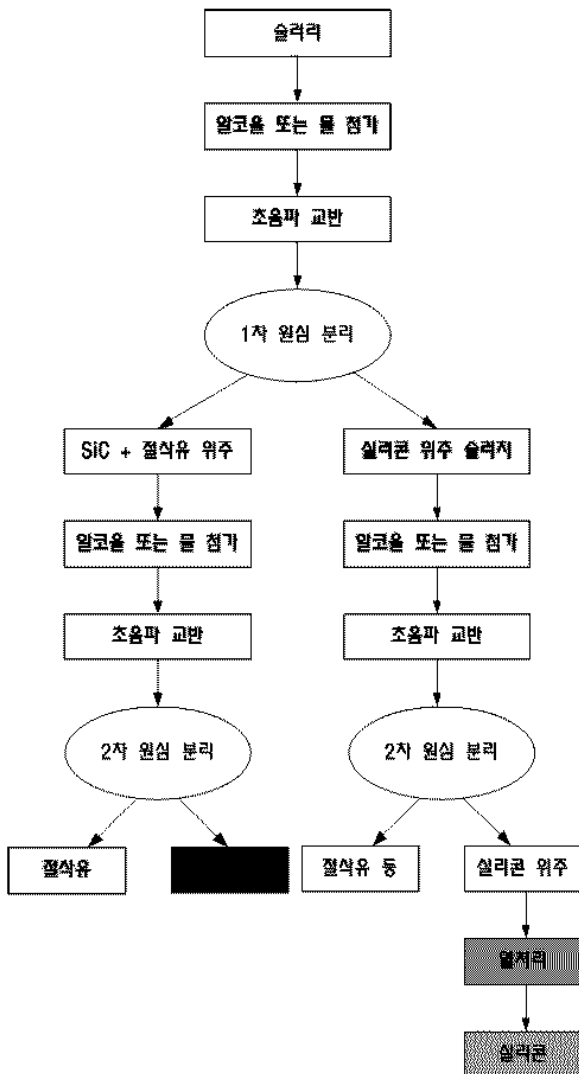
<그림 5> 기존의 실리콘 재생 방식 : 가열과 단순 원심 분리법

그림 6에서 알 수 있듯이 1차원심분리 후 슬러리/슬러지를 분리하여 실리콘 위주의 슬러지와 절삭유+SiC 위주의 슬러리로 나누어 다시 고속 원심 분리를 수행한다. 이때 효율을 높이기 위해 알코올 수용액을 첨가

하고 초음파 교반을 한다. 원심분리기는 가열을 하여 온도를 높일 수 있도록 되어 있어 50℃까지 온도를 높여서 원심분리를 수행하였다. 초음파 교반의 시간이 증가할수록 일정시간 분리효율이 증가하였다. 가열은 유동성 증대를 기대한 것으로 50℃까지 승온한 상태로 원심분리를 하였는데 본 실험에서 가열 대조군이 없었기 때문에 가열에 따른 영향을 확인하지 못하였다.

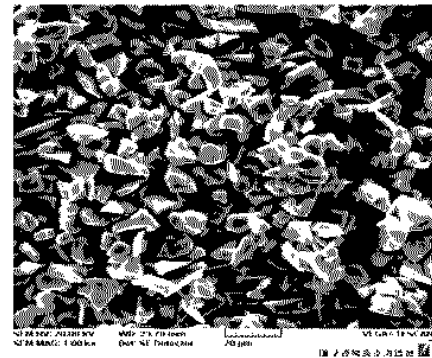
2.4 SiC 분리 (2차 원심분리)

절삭 슬러리에 가장 많이 포함되는 고형 물질은 실리콘을 제외하면 절삭 연마재인 SiC가 된다.

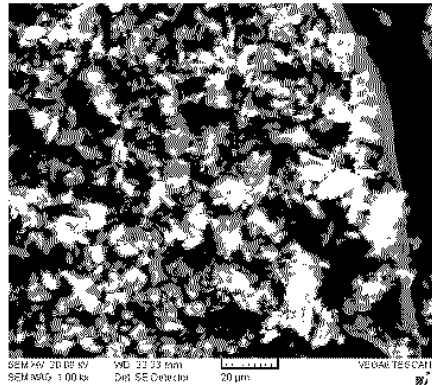


<그림 6 > 제안한 슬러지 분리 시스템

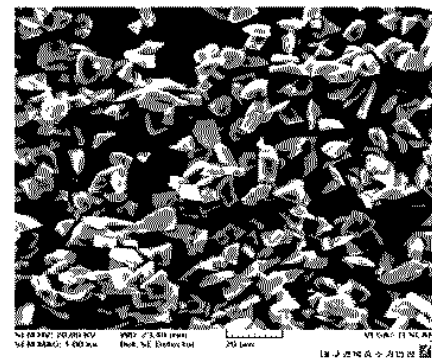
따라서 절삭연마재의 회수 또한 매우 중요하다고 할 수 있다. SiC의 경우 회수가 비교적 쉬운 편으로 위의 그림에서도 나타난 바와 같이 실리콘 회수에 비해 간단하다고 할 수 있다. 이는 SiC가 화학적으로 안정적이고 고순도의 회수가 필요하지 않기 때문이다. 고순도 보다는 고른 입도 분포가 더 중요하고 입도를 분별



(a)



(b)



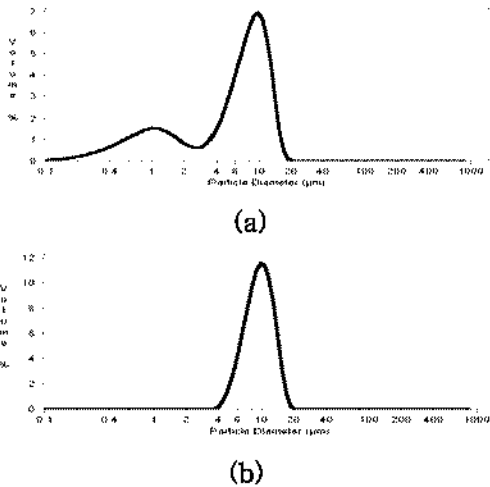
(c)

<그림 7> SiC 분말 SEM 사진
(a) new (b) used (c) recycled

하는 데는 원심분리가 매우 효과적이기 때문이다. 연마제는 절삭유와 같이 분사되어 실리콘의 절삭에만 사용되므로 절삭조건에 영향 주지 않을 정도로 회수하면 된다. SiC가 비록 높은 정도를 가지고 있다고 하지만 멀티와이어소에서 절삭연마제의 사용 특성상 SiC끼리 부딪히는 것을 피할 수가 없어 SiC 알갱이의 깨짐이 상당부분 발생하게 된다.

그림 7은 SiC분말의 사용전 SEM 사진과 사용후 SEM, 원심분리후의 SEM 사진이다. 사용 후 사진에는 원래 분말에 비해 작은 크기의 미분이 다량 포함되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 미분이 많아질수록 절삭효율이 나빠지게 되므로 제거할 필요가 있다.

아래 그림 8은 SiC분말의 입도에 따른 분포 그래프로 (a)는 사용후 (b)는 재생한 분말의 입도분포 그래프다. 그림 (a)에서 알 수 있듯이 SiC입자의 일정 부분이 서로 충돌하고, 분쇄되어 작은 입도들이 늘어난 것을 알 수 있다. 작은 입도의 분말을 제거하기 위해 원심분리에서 하층에 쌓이는 부분을 일부 제거한 후 측정된 입도분포그래프가 (b)에 나타나있다. 본 연구에서 SiC회수율은 실리콘 회수율에 비해 낮은 80% 정도로 나타났다. 이는 입도분포그래프에서 알 수 있듯이 제거된 미세분말의 분포면적이 전체의 약 1/5 정도로 나타난 것과 일치한다.



<그림 8> SiC 분말 입도 분포 그래프
(a) Used (b) recycled

결과적으로 SiC 회수율을 80%로 설정하여 양질의

SiC를 회수하게 되어 실제 1회사용 후 폐기시에 비해 최대 4회 추가 사용이 가능한 시스템을 구축하였음을 알 수 있다. 또한 자연 상태에서 쉽게 자연분해가 이루어지지 않는 SiC의 매립을 줄일 수 있게 되어 친환경적 재생 시스템을 구현 했다고 볼 수 있다. 재생 SiC는 회수 판매용이 아닌 실리콘 절단에 재사용하는 것을 목표로 하였다.

2.5 고순도 Si 분리 (2차 원심 분리)

1차 원심분리를 통해 SiC 등 비중이 큰 고형물을 분리한 슬러지에는 Si이 대부분이다. 본 연구에서는 95% 정도의 실리콘 회수를 목표로 하였고, 2차 분리된 Si의 순도는 2N급을 얻고자 하였다. 고효율의 분리를 위해서 알코올·물용액을 첨가 초음파 교반을 한 것은 기본적으로 1차원심분리와 같으나 2차원심분리에서는 1차에 비해 2.5배의 고속 원심 분리를 하였다. SiC 분리에 비해 실리콘의 분리는 고순도 및 고회수율을 목표로 하였기 때문에 원심 가속도를 증가시키는 것이 효율적이라고 판단하였다.

<표 1> 본 시스템에서 SiC 및 Si 회수율

구 분	달성정도
Si 회수율	2N: 96% 이상 2회 원심분리로 가능
	4N: 94% 이하 진공 열처리 추가 필요
SiC 회수율	80% 이상

앞서 SiC 분리회수부분에서 언급한 것과 마찬가지로 고순도 Si를 얻기 위해서 불순물이 많은 부위는 제거하였다. 2N 회수시는 약 4%의 슬러지 제거시 성공적인 회수가 가능하였다. 99%의 2N급 재생 실리콘에는 아직 1% 정도 불순물이 존재하는데 대부분 미량의 액상 휘발 성분과 일부 금속성분의 불순물로 간주되었다. XRF 분석 결과 소량의 알루미늄과 칼슘 등 분석 한계치 근처값을 보이는 미량의 원소들이 나타났는데 이는 절삭유와 연마제에서 나온 불순물로 판단되었다. 그래서 4N급의 고순도를 얻기 위해 분리된 슬러지를 진공 열처리 하였으나 순도를 크게 증가시

키지 못하였다, 하지만 약 6%의 슬러지를 제거하고 1mTorr 400℃ 6시간 진공 열처리 한 결과 4N급의 고순도 실리콘을 얻을 수 있었다. 진공 펌프는 Diffusion pump와 mechanical pump를 사용하여 고진공이 가능하도록 하였다.

2.6 XRF 분석에 나타난 순도 변화

성분 분석에 사용한 XRF 장비는 Rigaku사의 장비를 사용하였으며, 슬러지에서 원심분리, 진공 열처리를 수행하여 얻은 결과물에 대해 측정된 분석결과를 아래 그림 9에 나타내었다. XRF 분석결과에 나타난 것과 같이 회수된 슬러지 속에는 다양한 원소가 존재하였다. 1차 원심분리 후의 슬러지 경우에는 실리콘의 함량이 약 86.3%로 나타났으며 2차 원심분리 후의 경우에는 99.2%의 실리콘을 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

No.	Component	Result	Unit	Detect limit
1	Na	0.0000	mass%	
2	Mg	0.0277	mass%	0.0064
3	Al	0.202	mass%	0.0032
4	Si	86.3	mass%	0.0141
5	P	0.0115	mass%	0.0024
6	S	0.212	mass%	0.0028
7	K	0.0113	mass%	0.0043

(a) 1차 원심 분리 후의 실리콘 슬러지

No.	Component	Result	Unit	Detect limit
1	F	0.116	mass%	0.0466
2	Na	0.0000	mass%	
3	Al	0.0091	mass%	0.0025
4	Si	99.6	mass%	0.0127
5	S	0.0398	mass%	0.0025
6	K	0.0097	mass%	0.0034
7	Ca	0.0243	mass%	0.0040

(b) 2차 원심 분리 후의 실리콘 슬러지

No.	Component	Result	Unit	Detect limit
1	Al	0.0061	mass%	0.0025
2	Si	99.98	mass%	0.0127
3	S	0.0039	mass%	0.0025
4	K	0.0067	mass%	0.0034
5	Ca	0.0024	mass%	0.0040
6	Fe	0.0045	mass%	0.0043
7	Cu	0.0015	mass%	0.0030

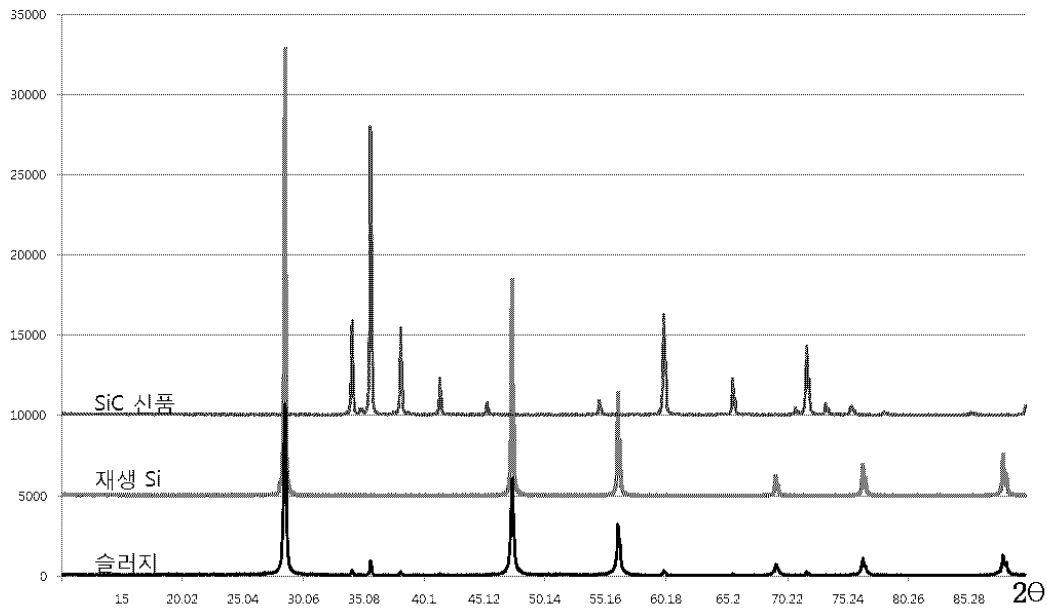
(c) 진공 열처리 후의 실리콘 슬러지

<그림 9> 슬러지, 원심분리, 진공 열처리 후 XRF 데이터

앞에서 언급한 바와 같이 2N급을 얻는 경우에는 실리콘 슬러지 4%를 제거하였다. 4N급을 얻는 경우에는 순도를 높이기 위해 1, 2차 원심 분리 후 약 6%의 슬러지를 제거 하였으며 진공 열처리를 거친 후 측정된 슬러지의 순도는 99.98%를 나타내었는데, 이는 XRF 측정 한계로 판단되며 데이터에 나온 미량 원소들은 측정 조건을 변화시켰을 시 다른 원소로 측정 되는 등 오차 범위 아래의 값으로 99.99% 순도의 실리콘으로 판단된다. 진공 열처리 후의 실리콘 슬러지 속 다른 불순물을 확인하면 칼륨, 알루미늄, 황, 철 등이 매우 낮은 함량으로 존재하는 것을 알 수 있다. 이를 열처리 전과 비교해 보면 열처리 전에는 상당한 양을 보이던 불소가 검출 되지 않을 정도로 감소한 것을 확인 할 수 있다. 그외 황과 칼륨이 약 1/10로 줄어든 것을 알 수 있다. 이러한 시료속의 불순물은 연마재와 절삭유에서 유래한 것으로 2차 원심 분리 후에도 남아 있던 미량의 잔류물에 고온의 진공 열처리를 통해 탈리되기에 충분한 에너지가 주입되고 1mTorr의 낮은 분위기압에 쉽게 탈착되어 진공 펌프를 통해 제거된 것으로 판단된다.

2.7 XRD 분석을 통한 Si/SiC 분리 확인

XRF 분석에 나타난 Si는 순수한 실리콘으로 판단되지만 SiC와 결합된 형태로 존재하는 것이 있을 수 있다, 이를 확인하기 위하여 구미전자정보기술원에 XRD분석을 의뢰하였다. 그림 10에 분석결과를 나타내었다. 분석 방법은 $\theta-2\theta$ 방식으로 시료를 각도 θ 회전 시키면 X선 감지기는 2θ 회전하여 회전된 값을 얻는 방식이다. 그림에서 위에서부터 차례대로 비교용 SiC 신포 분말, 원심분리를 거쳐 얻어진 재생 실리콘 분말, 원심분리전 슬러지의 XRD 분석 결과 그래프 모습이다. 그림에서 알 수 있듯이 Si와 SiC의 피크 위치는 확연히 구별된다. 원심분리전의 슬러지에서는 SiC 피크가 미세하게 관찰되는 것을 알 수 있으나 재생 Si의 그래프에서는 SiC의 피크가 전혀 관찰 되지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 XRD분석 결과 1,2차 원심분리를 통하여 얻어진 최종 재생실리콘에는 연마재인 SiC가 포함되어 있지 않았다고 판단하였다.



<그림 10 > SiC, 재생 Si, 슬러지의 XRD 분석 데이터

3. 결론 및 고찰

참 고 문 헌

본 연구에서 태양전지용 웨이퍼 제작시 발생하는 슬러지를 실리콘과 SiC 연마제로 재생하는 시스템 구현을 하였다. 발생한 슬러지에서 실리콘의 회수율은 평균 95% 이상으로 기존 전량 매립 방식때 매립량의 약 1/20로 매립량을 줄였으며, 99% 순도와 99.99% 순도의 실리콘을 각각 기존의 방식대비 경제적으로 회수 하는데 성공하였다. 회수 시스템은 원심 분리를 2회 이상 서로 다른 회전수에서 수행하며, 분리효율을 높이기 위해 초음파 교반과 알코올수용액 첨가, 가열 시스템을 사용하였다. 추가로 순도를 높이기 위해 미세 잔류 휘발성분 제거용 진공 고온 열처리를 수행하였다. 진공 고온 열처리까지 거친 실리콘 분말의 경우 4N의 순도를 나타내었으며, 태양전지용 실리콘 원료로 사용될 수 있는 가능성을 보였다. 99% 실리콘의 경우 열료, Silicone의 원료로 사용이 가능할 것으로 생각된다.

알리는 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업단지공단의 생태 산업단지구축사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다

- [1] 김동환 고려대 신소재공학부 교수 etnews <http://www.etnews.com/news/detail.html?id=201010080112>
- [2] 채병찬, 이정환, 김종원, “제조기업의 경쟁우위 확보를 위한 생산전략에 관한 실증적 연구” 한국산업정보학회논문지, v.13, no.5, pp.7-21, 2008년 12월
- [3] 박노국, “중소기업 기술경쟁력 요인의 실태분석” 한국산업정보학회논문지, v.6, no.4, pp.61-67, 2001년 12월
- [4] First Solar: Thin film solar cell product <http://www.firstsolar.com/en/index.php>
- [5] Giso Hahn, University of Konstanz Ribbon, Silicon for Cost Reduction in Photovoltaics Advantages and Challenges, Zakopane May 23 2009
- [6] 이준신 공저, 태양전지공학 2006, 도서출판 그린
- [7] 신재생에너지 RD&D 전략 2030, 2007.11, 산업자원부, 에너지관리공단 신재생에너지센터
- [8] <http://evergreensolar.com/en/> Evergreen solar
- [9] 길대섭, 장희동, 강경석, 한희정, “페실리콘 슬러지의 재활용 기술에 관한 특허동향 분석”, J. of



김 호 운 (Ho-Woon Kim)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 학사
- 경북대학교 전자공학과 석사
- 경북대학교 전자공학과 박사

- (주) 이레테크 연구소장
- 관심분야 : 태양전지, 자원 재생 시스템, 신재생에너지, 신소재 등



최 병 진 (Byung-Jin Choi)

- 정회원
- 경북대학교 전자공학과 학사
- 경북대학교 전자공학과 석사
- 경북대학교 전자공학과 박사

- 경운대학교 신소재에너지학과 부교수
- 관심분야 : 디스플레이부품소재, 태양전지, 나노소재 등

논문접수일 : 2011년 08월 10일
1차수정완료일 : 2011년 08월 27일
2차수정완료일 : 2012년 02월 06일
게재확정일 : 2012년 02월 10일