

태양전지 Wafering Slurry 재생기술 개발에 관한 연구

A Development of Recycling Technology of Solar Cell Wafering Slurry

나원식*, 이재하**

Won-Shik Na*, Jae-Ha Lee**

요 약

태양전지용 웨이퍼 제조공정에 있어 Slurry의 가격 비중은 약 68% 정도로 매우 큰 비중을 차지하고 있기 때문에, 제조비용 절감측면과 Wafering 원가혁신 및 산업폐기물 처리비용 절감효과, 환경오염 방지를 위해 Slurry의 순환 사용은 필수적이다. 기존 Slurry를 재생하는 방식은 물리적인 원심분리(데칸터) 방식을 이용한 방법을 사용하고 있으나, 미분(微粉)이 남아 있어 재생품질에 한계가 있고, 대부분 액체, 100% 오일과 분리되지 않은 상태로 재생된다. 이 상태를 건조시키는 경우도 순도가 많이 떨어진다. 본 논문에서는 원심분리(데칸터) 방식과 케미컬 방식을 함께 사용하여, 태양전지 Wafering 공정에서 필수적인 Slurry를 재생함에 있어, 원심분리에 의한 재생품질의 한계를 극복할 수 있는 재생기술을 개발하였고, Slurry 재생에 대한 Total Solution을 제공하여 성능을 향상시키고 재생 회수율을 높였다.

Abstract

68% of the manufacturing costs of solar cell wafer can be attributed to the slurry. The recycling of slurries is mandatory for reducing the costs of manufacturing, wafering production, and the disposal of industrial waste, as well as for cutting down pollution levels. Slurries are currently being recycled using the centrifuge(decant) method. However, this method is less than optimal as it does not completely remove the fine particles, leading to low quality. Also, because of the incomplete separation from the oil, it causes the impurities in the dried slurries. This study aims to develop a new recycling technology that overcomes the flaws of the centrifuge by utilizing chemicals. It will provide a total solution to the crucial process of recycling slurries in the making of solar cell wafer, by increasing the efficiency and renewable rate.

Key words : Solar cell, Slurry, Wafer, Photovoltaic, Centrifusing, Abrasive(SiC), Water Cleaning, Acid Cleaning

I. 서 론

최근 국내·외적으로 신 재생에너지 관련분야가 급

부상하고 있는 추세이다. 그 중에서도 태양광 전지사업은 전 세계적으로 많은 국가에서 정책 사업으로 추진하고 다양한 연구를 하고 있다. 우리나라는 아직

* 남서울대학교 교양과정부(Dept. of General Education Namseoul University)

** 남서울대학교 경영학과(Dept. of Business Administration Namseoul University)

· 제1저자 (First Author) : 나원식

· 투고일자 : 2010년 6월 4일

· 심사(수정)일자 : 2010년 6월 7일 (수정일자 : 2010년 6월 21일)

· 게재일자 : 2010년 6월 30일

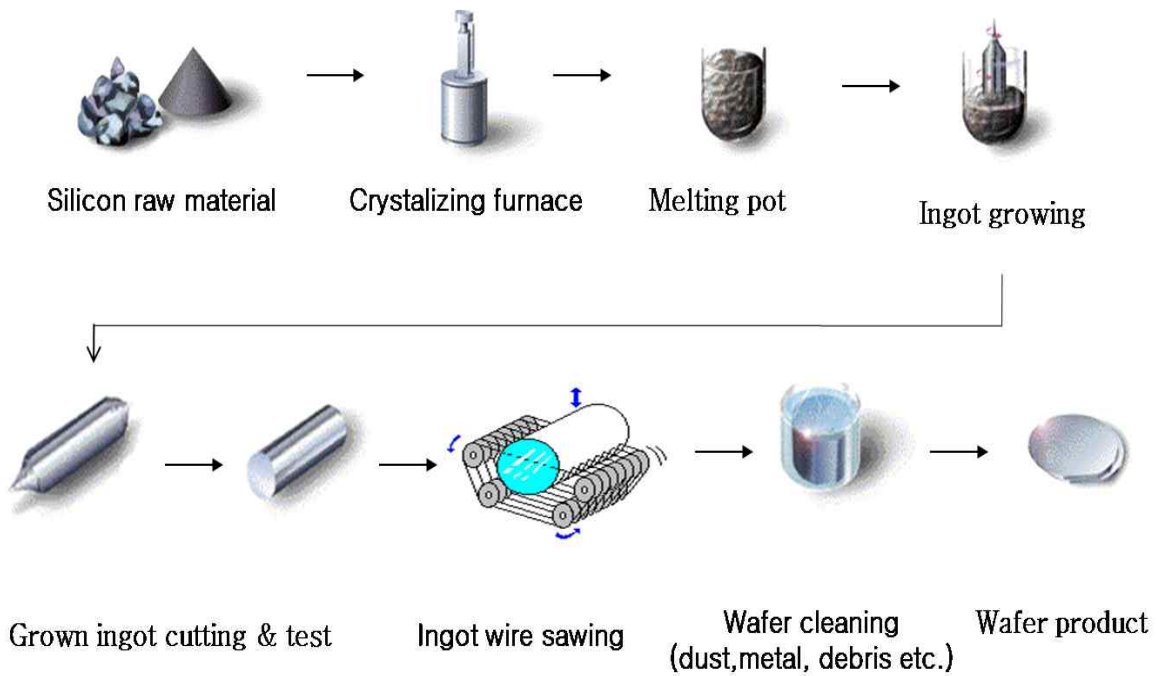


그림 1. Solar Wafering 공정
Fig. 1. Solar Wafering Process

초창기 단계이나 대기업을 중심으로 활발하게 신규로 참여하고 있으며, 대부분이 결정질 Poly silicon을 소재로 하는 태양광(Photovoltaic) 전지를 생산하고 있다. 태양광 에너지 분야의 Value chain을 살펴보면 Poly silicon을 만드는 소재산업 분야가 있고, 이 소재를 활용하여 Silicon ingot을 growing 한 후, 절단하는 wafering 분야가 있으며, 이 wafer를 기판(substrates)으로 하여 전지(Solar cell)를 생산하는 분야로 대별된다 [1].

특히, 매우 중요하면서 부가가치가 높은 것이 wafering 분야이다. 태양전지 Wafering 공정은 Wire sawing machine으로 Silicon ingot을 절단하는데, 이때 Slurry(절삭제와 윤활 냉각제의 혼합물)를 사용하고, 이 Slurry는 원심 분리를 통해서 재생하여 쓰고 있으나 미분(微粉)이 남아 있어 재생 품질이 떨어지게 된다. 본 논문은 이러한 잔여 미분을 완벽하게 제거하는 새로운 기술 및 장치를 연구 개발하고자 한다.

II. 개발 기술의 필요성

최근 반도체 소자인 Poly silicon을 이용한 태양전

지가 각광을 받고 있다. 따라서 태양전지에 관련된 분야중의 하나가 Silicon wafer이며, 이 wafering 제조 공정에서 매우 중요한 것이 Slurry로서, Slurry는 환경 오염 방지와 제조원가 절감을 위해서 반드시 재생하여 사용하지 않으면 안 된다. 그림 2에서 보는바와 같이 Slurry(SiC+Coolant)가 차지하는 원가가 상당히 높은 것이 현실이다. 참고로 2008년도의 SiC이 매입 가격은 \$8/kg, Coolant가 \$3.4/kg이었다 [1]. 이에 보다 좋은 품질과 저렴한 Cost로 Slurry를 재생하여 사용토록 Solution을 제공함으로써 국내의 태양전지 분야의 경쟁력 및 기술력을 향상시키고자 한다.

2-1 국내외 관련기술의 현황

국내의 반도체 산업의 발전과 함께 Slurry재생 업체들이 주로 전자 산업용 반도체 Wafering Slurry(지용성)를 리사이클링 해오고 있다. 그러나 원심분리에 의한 재생으로 재생품질에 한계가 있고, 태양전지용 Wafering Slurry(수용성)의 재생 기술은 전무한 실정이다. 또한 국내 업체들은 단순히 재생을 전문으로 하는 업체로서 재생장비에 대한 엔지니어링 기술 또

Cost Drivers

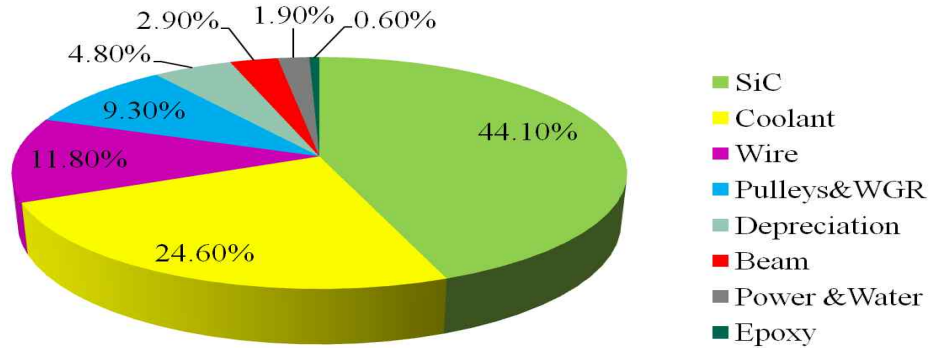


그림 2. Slurry(SiC+Coolant) 원가동인
Fig. 2. Slurry(SiC+Coolant) Cost Drivers

한 부족한 실정이다.

해외에는 독일의 경우 Slurry 재생을 전문으로 하면서, 재생 장비 엔지니어링을 병행하고 있으나, 장비 가격이 매우 고가(국산의 5배 이상)로서, 국내 기업에게는 부담이 매우 크다.

일본의 경우는 대부분이 원심분리에 의한 재생기술이고 독일과 마찬가지로 매우 고가이다. 결론적으로 Slurry 재생 품질과 회수율을 한 단계 높일 수 있는 기술과 장비의 개발이 시급한 실정이다.

2-2 국내·외 시장규모

국내 태양광 발전 시장이 2007년 5000억원 규모에서 2010년 5조 3000억원 규모로 3년 만에 10배 이상 성장할 것으로 전망했다 [2]. 독일의 태양광 산업 전문 리서치 업체인 포톤 컨설팅의 최근 보고서에 따르면 한

국의 태양광 발전 설치 용량은 2007년 60메가와트(MVW)에서 2008년 155MVW, 2009년 415MVW에 이어 2010년에는 800MVW에 달해, 2007년부터 2010년까지 연평균 137%의 높은 성장세를 나타낼 것으로 예상된다. 이에 따라 2010년까지 국내 누적 태양광발전 설치 용량은 1.5기가와트(GW)에 달할 전망이다 [3].

이 같은 폭발적 태양광 발전 성장세와 함께 국내 폴리실리콘, 웨이퍼, 태양전지 및 모듈, 발전시스템 설치 등 태양광 에너지 관련 시장 규모도 2007년 약 4억 9200만 달러(약 5000억원) 규모에서 오는 2010년 51억 달러(약 5조 3000억원)로 10배 이상 급성장할 것으로 예측된다. 이는 세계 태양광 에너지 시장 규모가 2007년 264억 달러(약 27조원, 설치용량 3.9GW)에서 오는 2010년 1328억 달러(약 135조원, 설치용량 23.3GW)로 5배 성장하는 것보다 배 이상 높은 성장을 하는 것이다.



그림 3. 세계 태양광 발전시장
Fig. 3. World Photovoltaic Market

표 1. 국내 태양광 시장규모

Table 1. Domestic Photovoltaic Market

(단위 : 백만원)

구 분	제품구분	2008	2009	2010	2011
국내시장	SRS 장비	3,000	6,000	10,000	12,000
	재생 SLURRY	4,000	5,000	6,000	7,000

지난해 세계에서 가장 큰 태양광 에너지 시장은 독일(설치용량 1.3GW, 79억 달러)이었으며, 이어 스페인(475MVV, 34억 달러), 캘리포니아를 중심으로 한 북미지역(285MVV, 21억 달러), 일본(240MVV, 14억 달러), 이탈리아(90MVV, 7억5000만 달러) 등이었다. 한국은 5억달러로 세계 6번째로 큰 시장이다. 오는 2010년에는 역시 독일(6.5GW, 300억 달러)이 세계 시장의 28%를 차지하며 가장 큰 시장을 형성할 것이며, 북미(4.78GW, 269억 달러), 스페인(2.4GW, 150억 달러), 이탈리아(1.5GW, 100억달러), 일본(1.6GW, 73억 달러), 프랑스 725MVV, 52억 달러)에 이어 한국(800MVV, 51억 달러)이 전체 시장의 약 4%를 차지하며 세계 7번째로 큰 시장이 될 것이라고 내다보고 있다 [4].

III. Wafering Slurry(SiC+Coolant) 재생기술 및 재생 분리공정

3-1 Wafering Slurry(SiC+Coolant) 재생기술

실리콘 잉곳을 슬라셀이나 반도체에 사용되는 웨이퍼를 만들기 위해 얇은 두께로 절단하게 되는데, 얇게 절단을 하기 위하여 Wire sawing을 할 때 SiC와 절삭유를 함께 문혀 실리콘을 절단하게 된다. 이 제조공정 가운데 실리콘 웨이퍼의 절단 과정에서 나온 폐기물 SiC(연마재)와 Coolant(냉각유) 등을 Slurry 라고 한다. 그동안 반도체 제조회사에서는 배출된 Slurry를 모아 폐기물 수거업체를 통해 전량 매립 또는 소각해 왔다. 100% 일본 수입에 의존하고 있는 이 소재는 매년 막대한 금액을 지불하며 국내에 들어오지만 한번 사용 후 그대로 폐기돼 환경오염의 원인이 돼왔다.

절삭(Slicing) 공정에서 연마재와 절삭유, 미분 등의 불순물이 혼합되기 때문에 고도의 정제기술이 없이

는 불가능하다. 외국회사의 슬러리 재활용 기술이 50% 수준에 머물고 있고, 그동안 폐기돼 환경오염의 원인이 됐던 슬러리를 재활용 한다는 점에서 환경 친화적 기술이며, 반도체 및 태양전지 업체에서 수거해 온 폐 슬러리를 원재료로 삼기 때문에 원료 값이 거의 들지 않는 집약형 기술이다 [5].

기존 Slurry를 재생하는 방식은 물리적인 원심분리(데칸터) 방식을 이용한 방법을 사용하고 있으나, 대부분 액체, 100% 오일과 분리되지 않은 상태로 재생된다. 이 상태를 건조시키는 경우도 순도가 많이 떨어진다. 대략 70% 정도의 순도로 두, 세 번 재생하고 나서는 더 이상 재생이 안 되어 폐기처분을 해야 한다. 하지만 본 연구 기술은 원심분리(데칸터) 방식과 케미컬 방식을 함께 사용하여, 슬러리 재생기술로 분리된 SiC는 신규 SiC 처럼 파우더 형태로 되어있고, 순도도 신규 SiC와 거의 차이가 없다. 또한 두, 세 번 사용되고 나서 버려지는 슬러리에서도 SiC 재생이 가능하다.

3-2 Slurry(SiC+Coolant) 재생 분리공정 및 성분 분석

잉곳 슬라이싱 공정에 사용되는 슬러리는 현재 연마재와 냉각유를 약 1:1로 혼합하여 사용하고 있으며, 태양전지용 웨이퍼 경우 제조 경비의 약 68%를 차지하여 생산비용 절감을 위한 순환 사용이 필수적이다. 연마제로 사용되고 있는 탄화규소는 모스경도가 9.5이며, 비중이 약 3.3이고 입자의 크기가 수십 마이크로 수준의 비교적 큰 입자로서 분산이 용이하지 않기 때문에 균일한 분산을 얻기 위한 고도의 기술이 필요하다.

잉곳 슬라이싱 공정에서 사용된 슬러리에서 포함된 불순물을 물리적 또는 화학적 방법으로 적절히 제거하여 다시 잉곳 슬라이싱 공정에 사용할 수 있도록 하며, 슬라이싱 공정 중 발생하는 불순물로는 실리콘

가공칩(Si-Kerf), 구리, 철 등의 무기성분, 잉곳 접착제 및 플라에서 발생하는 고분자 형태의 유기물 등이 있다. Si-Kerf 손실물이 반도체에 비해 약3배인 태양전지 제조공정에서는 원심분리를 이용한 순환 사용공정은 한계가 있으며, 저급 슬러리의 순환 사용에 있어, Si-Kerf 및 불순물 제거율이 최소 95% 이상이어야 하고, 미분 함유율이(within 2'nd coolant) 5% 이하이어야 한다 [6].

고효율, 고품질의 슬러리 순환 공정에서 요구되어지는 핵심 기술로는 비중선별 및 고(Solid)/액(Liquid) 분리 수율이 최적화된 원심분리 장치의 개발이 선행되고, 이로부터 분리된 고상(연마제 주성분) 및 액상(가공유 주성분) 상의 잔류되어 있는 Si-Kerf 및 불순물을 제거할 수 있는 물리적, 화학적 처리 기술이 요구되어지며, 또한 생산성 측면에서의 이들 공정들의 연속적이고도 자동화된 상용공정 시스템 개발이 요구되어진다. 다음 그림 4는 Slurry(SiC+Coolant) 분리 공정도 이다.

- ① 원심분리기를 통해서 분리된 SiC를 물(DI water)로 세척한다.
- ② 산(Acid)으로 불순물을 제거한다.
- ③ 물로 헹군 다음 원심분리기를 이용하여 액상(Liquid)을 분리한다.
- ④ SiC를 건조하여 분말로 만든다.

IV. 결 론

태양전지용 웨이퍼 제조공정에 있어 슬러리의 가격 비중은 약 68% 정도로 매우 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 제조비용 절감 측면과 Wafering 원가혁신 및 산업 폐기물 처리 비용(톤당 약 30만원 이상) 절감 효과와 환경오염 방지를 위해 슬러리의 순환 사용은 필수적이다. 그러나 배출 슬러리에 대한 기존의 재사용 방법은 원심분리에 의한 고(Solid)/액(Liquid) 분리 방식으로 미세 입자의 분리에 한계를 갖고 있으며 이는 잉곳 절삭 품질에도 영향을 준다. 고효율 고품질 슬러리 순환사용 공정 개발을 위해선 슬라이싱 가공유에 대한 기술 및 국산화가 선행되어 연마제의 분산매인 가공유의 특성을 이해하여 슬러리의 특성을 이용, 가장 효율적인 방법으로 슬러리 순환 공정을 개발하여야 한다.

본 연구에서는 태양전지 Wafering 공정에서 필수적인 Slurry를 재생함에 있어, 원심분리에 의한 재생 품질의 한계를 극복할 수 있는 재생기술을 개발하였고, Slurry 재생에 대한 Total Solution을 제공하여 성능을 향상시키고 재생 회수율을 높였다.

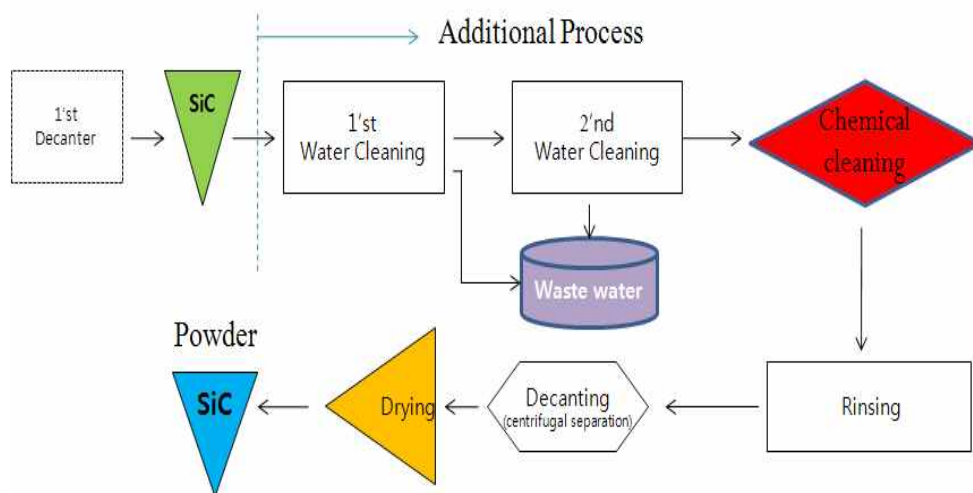


그림 4. Slurry(SiC+Coolant) 분리 공정
Fig. 4. Slurry(SiC+Coolant) Separation Process

감사의 글

이 논문은 2009학년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] Tzu-Hsuan Tsai, "Pretreatment of recycling wiresaw slurries-Iron removal using acid treatment and electrokinetic separation", *Separation and Purification Technology* 68, pp. 24-29, 2009.

[2] T.H Tsai, J.H Huang, J. Chin. Inst. Chem. Eng. 40, pp. 1-5, 2009.

[3] T.Y. Wang, Y.C. Lin, C.Y. Tai, R. Sivakumar, D.K. Rai, C.W. Lan, *J. Cryst. Growth* 310, pp. 3403-3406, 2008.

[4] 문상진, "태양전지용-Si 잉곳웨이퍼 제조기술 동향", Nov 2008.

[5] T. Surek j, *Cryst. Growth* 275, pp. 292-304, 2005

[6] Photon International, 2008.

[7] The 4th workshop on the future direction of photovoltaics, ZSW, 2008.

[8] Future State of PV Industry - Trends and Technologies, 2007.

[9] The 22nd EU PV Solar Conference, Indium Corperation, 2007.

나 원 식 (羅元植)



2005년 8월 : 경희대학교 컴퓨터 공학과(공학박사)
 2001년 3월~2003년 2월 : (주)성신 섬유 전산실장
 2006년 3월~현재 : 남서울대학교 교양과정부 교수 (컴퓨터계열)
 관심분야: 네트워크 보안, 무선 LAN,

의료정보, 전자제어

이 재 하 (李在河)



시립인천대학교 산업공학과(공학사)
 성균관대학교 산업공학과(공학석사)
 성균관대학교 산업공학과(공학박사)
 한국 PL학회 총무
 중국 상해 교통대학 전문가 초빙교수
 (주)농심의 R&BD 센터의 자문교수
 流靜經營 아카데미 컨설팅 대표

현재 : 남서울대학교 경영학과 교수
 관심분야 : 프로젝트 관리, 시스템 설계 및 분석, 경영변화 및 혁신