반도체디스플레이기술학회지 제16권 제3호(2017년 9월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 16, No. 3. September 2017.

연마제 재활용을 위한 분급장치 개발에 관한 연구

김문기[*†]
[*†]한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

A Study on the Development of Classifier for Recycling of Abrasive

Moon Ki Kim[*†]
[*†]School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

For process improvement and cutting down on expenses in solar cell industry, it is necessary to improve recycling process of wafer manufacturing. In this research, a study is introduced to develop classifier which is for recycling of abrasive. First of all, recycling process of wafer manufacturing is analyzed. And then, 3 steps of experiments such as oil removal, impurities removal and classification were executed. For the classification of slurry, a classifier is designed and manufactured. From experiments, it is verified that ultra sound vibration and flux are very important factors for classification. By experiencing the recycling processes and making devices, the technique can be initiated industry if needed such as decreasing waste and cutting down on expenses.

Key Words : Recycling, Abrasive, Classifier, Wafer, Waste

1. 서 론

석유자원의 고갈과 화석연료 사용으로 인한 지구환경 파괴는 새로운 에너지원의 발굴을 요구하고 있고, 이를 위해 태양광 산업이 새로운 에너지원으로서 성장하여 왔으며 전체 에너지산업에서 차지하는 비중은 점점 커지고 있다.

현재 태양광산업은 여러 국가에서 활발히 진행되고 있으며, 공정개선과 원가절감을 이루기 위해서는 원재료의 소모가 가장 큰 웨이퍼 제조분야의 재활용 공정 개선은 필수적이다[1]. 웨이퍼 제조 공정에서 배출되는 슬러리(slurry)는 on-line 공정 또는 외부에서 재생 처리하여 연마재와 절삭유가 혼합된 상태로 공정 중에 다시 사용되고 있다[2]. 즉, 기존의 공정은 약 70%의 슬러리를 재활용하고 있으며, 나머지 30%는 폐기 되고 새로운 재료로 보충되어 왔다. 이렇듯 슬러리의 재활용률이 70%에 불과하여 30%에 달하는 추가 재료 비용이 소요되고, 이에 따른 폐기물처리비용 및 환경오염 요인이 발생하게 된다. 그래서 업체에서는 대부분의 폐 슬러리를 회수 및 재활용하여 공정효율을 높이고, 오염물질의 발생을 대폭 감소시키는 이중효과를 얻을 수 있도록 재생시스템 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다[3].

본 연구에서는 업체로부터 참여 의뢰를 받아 재생시스템의 한 부분인 연마재 재활용을 위한 분급장치를 개발한 사례를 소개하고자 한다. 전체 발생량의 30%에 달하는 폐기량 중 대부분의 폐 슬러리를 회수 및 재활용하여 새로운 재료 대신 재생제품으로 대체함으로써 원가 절감을 도모하고, 공정효율의 비약적인 개선을 이룰 수 있을 뿐만 아니라, 오염물질의 발생을 대폭 감소시키는 효과를 얻을 수 있다.

이와 같은 재생시스템을 효율적으로 운영하기 위해서 기존의 on-line 시스템과 연계운영 가능한 재생 분말 연마재 생산시스템의 개발을 본 연구의 목적으로 한다.

[†]E-mail: mkkim@koreatech.ac.kr

2. 연구의 개요

2.1 태양전지용 웨이퍼 제조 공정

태양전지용 웨이퍼 제조는 Fig. 1과 같이 고 순도의 실리콘을 노(furnace)내에서 용해/응고과정을 거쳐 실리콘 블럭(잉곳)으로 만든 후 이를 와이어에 슬러리를 분사하여 잉곳을 절단하는 방식이 가장 널리 사용된다[4].

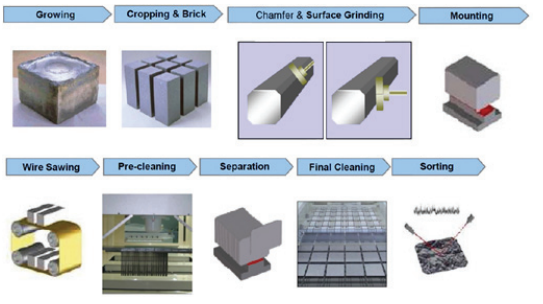

Fig. 1. Manufacturing process for solar cell silicon wafer.

2.2 연구 내용

업체로부터 의뢰받은 연구의 내용은 재생 시스템의 공정설계 및 테스트, 장비 제작 그리고 샘플 결과 성분 분석 및 검토 등이다.

2.2.1 공정설계

2차 폐기물을 재활용하기 위한 전체 공정은 Fig. 2와 같이 폐슬러지 내부의 오일 제거, 불순물 제거 그리고 분급 과정 등 3차례 공정으로 설계하였다. 즉, 1차에서는 폐슬러지 내에 포함 되어 있는 오일을 최소화하고, 2차 실험을 통하여 불순물을 제거함으로써 오일까지 재활용 가능한 개념으로 설계하였으며, 3차로 폐슬러지 내의 연마재를 재활용하기 위한 분급 방법을 선정하였다. 분급공정은 입자 크기별로 분리해 내기 위한 공정으로서, 이를 위하여 분급기를 직접 설계 및 제작하였다.

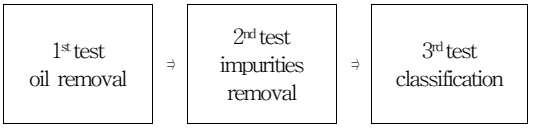

Fig. 2. Precess chart for recycling.

2.2.2 오일제거 공정

테스트를 위하여 업체에서 포집한 2차 폐기물에 폐오일을 첨가하여 비중 맞추어 최적 운전 조건을 도출하며, 비중계를 이용하여 폐슬러지와 오일이 혼합된 비중을 측정한다. 폐기되는 오일과 폐슬러지를 혼합하여 재생 슬러리 공정에 적용되는 공정 조건인 비중 약 1.6을 만들어 필터링 시스템에 투입하였다. 투입 결과 필터링 후의 슬러지가 약 10분~15분만에 형성되었고 육안 검사 결과 오일이 충분히 제거가 되지 않은 것으로 판단이 되었다. 그래서 이번에는 비중을 1.3으로 만들어서 필터링 시스템에 투입하였다. 그 결과 약 1시간~1시간 30분 정도 운전 시 슬러지가 형성되었고, 육안 검사 결과 충분히 오일이 제거 된 것으로 판단되었다. 슬러지를 회수하기 위해 필터링시스템을 해체한 결과 오일이 포함되지 않은 슬러지만 배출 되었고, 필터링 시스템을 통과한 오일도 육안 검사 결과 깨끗하다고 판단되었다.

필터링 시스템을 통해서 나온 슬러지의 오일 함량 측정은 오일을 가열로에 연소시키는 함량 분석 방법으로 측정하였고, 분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Analysis result of oil content

item	waste sludge	specific gravity 1.6	specific gravity 1.3
oil content	25%	18%	8%

2.2.3 케미컬 처리 공정

2차 공정은 폐슬러지에서 불순물(Si)을 제거하는 공정이다. 회수된 폐슬러지의 Si(규소)를 화학적으로 제거하는데 쓰이는 케미컬은 NaOH, KOH, 질산/불산 등이 있는데, 본 연구에서는 생산성 및 안전을 고려하여 KOH를 사용하였다. 케미컬(KOH)은 Si와 반응 시 발열반응이 일어나므로 완벽히 오일이 제거가 되지 않은 상태에서 투입을 하게 되면 오일 내 계면 활정제 때문에 거품이 일어나면서 끓어 넘치게 되므로, 거품이 덜 일어나면서 반응이 될 수 있도록 적당량의 케미컬과 물의 혼합이 필요하고, 적당한 온도 조건도 필요하다. 상온의 물과 케미컬을 5% 수용액으로 혼합하고 온도를 60도 이상으로 유지시킨 결과 거품은 일어나지만 끓어 넘침이 없고, 반응 또한 1시간 이내에 완료가 됨을 알 수 있었다. 물의 양은 많으면 많을수록 잔여 오일을 제거하는데 효과적이지만, 폐수가 다량 발생하여 생산성 및 원가 측면에서 비효율적이므로 1:1 비율로 투입하는 것을 기본으로 하였다.

Si는 KOH와 반응하여 녹아 제거가 되고, 잔여 오일은 이 공정 이외에 린스공정을 여러 번 거쳐야만 제거가 된다. Si 성분만 제거하더라도 SiC 순도가 꽤 높게 나옴을 알 수 있다.

2.2.4 분급공정

현재 반도체 및 태양광 웨이퍼 제조공정에서 일반적으로 사용되는 연마재의 입도(grit size)는 #1500과 #2000인데, 앞의 오일 제거 공정과 케미컬 공정을 지나온 SiC는 그 자체로는 입도가 달라서 사용할 수 있는 영역이 한정된다. 따라서, 입도 순으로 분리해서 입도마다 유리한 부분에서 사용하기 위함이 3차 분급 공정의 목적이다. 분급 공정의 기본 컨셉은 SiC의 비중차를 이용한 방식이다. 이를 위하여 Fig. 3과 같이 SiC와 물의 혼합물을 공급한 후 인버터 모터를 이용하여 물을 일정한 속도로 쏘아주어 속도 차이에 의해 입자 크기가 나뉘는 원리로 진행하였다.

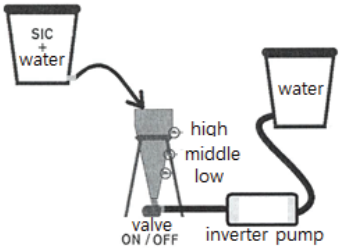

Fig. 3. Research progress.

분급기는 Fig. 4와 같이 원뿔형 및 원기둥을 혼합한 모형으로 제작하였으며, 이는 일정하게 간격이 서서히 넓어짐으로 인하여 물의 흐름이 급격하게 변화하는 것을 방지하고자 했다. 펌프는 유량 조절이 가능하며 소량에서부터 대량까지 포괄할 수 있는 펌프로 선정하였다. 특히 인버터를 부착하여 유량의 미세조정이 가능할 수 있도록 하였다.

Fig. 4. Precipitation tank.

침전조 제작 및 펌프의 선정 작업이 끝난 후, 이들을 Fig. 5와 같이 연결하여 두 차례에 걸쳐 실험을 실시하였다.

Fig. 5. Connection and test of pump and precipitation tank.

오일 제거 공정과 케미컬 처리 공정을 거친 SiC 연마재를 물과 혼합하여 침전조에 투입하였고, 침전조의 2/3가량이 차오르면 SiC를 침전시키기 위한 목적으로 투입을 중단하고 약 5분의 여유를 두었다. 그런 후, 하부로부터 일정하게 펌프를 통하여 10Hz와 15Hz의 속도로 물을 공급하여 이 물의 흐름을 따라 미세한 입자들은 흘러넘치게 한 후 침전조의 상부, 중앙, 하부의 샘플을 각각 채취하여 입도 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Analysis result of 1st experiment

velocity	grit size		
	DV(3%)	DV(50%)	DV(94%)
10HZ-high	11.44	7.22	3.12
10HZ-middle	11.70	7.32	3.09
10HZ-low	11.36	7.31	3.22
15HZ-high	11.52	7.55	3.94
15HZ-middle	12.23	7.75	4.40
15HZ-low	11.90	7.82	4.61

Table 2에서 볼 수 있듯이 DV50%의 데이터가 10Hz에서 7.2~7.3 μm이고, 15Hz에서 7.5~7.8 μm로 속도에 따른 입도 차이는 있었으나 상/중/하 높이에 따른 변화가 없음을 알 수 있었다. 즉, 단순히 침전조의 높이나 유량만으로는 작은 입자와 큰 입자를 분리하는데 효과적이지 못하다는 의미이고, 이는 폐기물에서 회수된 SiC의 각각의 입자들

이 분리가 되지 않고 붙어 있을 것이라는 예상이 들었다. 그래서 각각의 붙어 있는 입자를 분리시키기 위한 방법으로 초음파 진동기를 침전조에 설치하기로 하였다. 설치 후의 실험은 1단계와 마찬가지로 같은 조건으로 진행하였고, 실험 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Analysis result of 2nd experiment

velocity	grit size		
	DV(3%)	DV(50%)	DV(94%)
15HZ low-1	12.34	8.10	5.18
15HZ low-2	12.17	8.03	5.13
15HZ high-1	11.67	7.35	3.31
15HZ high-2	11.45	7.38	3.61

Table 3에서 볼 수 있듯이 15Hz의 속도로 유량을 공급하면 침전조 하부는 DV50%가 #1500의 사양과 유사하게 나오고, 흘러 넘치는 상부의 SiC는 #2000의 사양 근처로 분급이 되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 초음파와 유량을 조절하게 되면 분급이 이루어짐을 확인하였다. 그래서 마지막 단계로 초음파와 침전조의 높이는 변화 없이 유속만 변화를 주어 샘플을 채취하여 분석하는 3단계 실험을 하였는데 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Analysis result of 3rd experiment

velocity	grit size		
	DV(3%)	DV(50%)	DV(94%)
10HZ low-1	9.34	4.78	0.86
10HZ low-2	8.74	5.17	1.03

Table 4에서 알 수 있듯이 10Hz의 속도로 유량을 공급하면 침전조 상부는 DV50%가 #3000의 사양과 유사하게 나옴을 알 수 있다. 이 실험을 통하여 분급을 조성하는 조건 중 중요한 요소가 초음파 및 유량이라는 사실을 확인할 수 있었다.

3단계의 실험 과정을 거쳐 나온 데이터를 확인 한 결과 2차 폐기물에서 회수되는 SiC는 현실적으로 분급이 가능하여 연마재로 재활용이 가능할 것으로 판단이 되며, 마지막 단계에서 회수되는 SiC 미립자(#3000이하)도 내화물의 용도로는 사용이 가능할 것으로 판단이 된다.

3. 결과 및 고찰

본 연구가 수행됨에 있어서 기업의 가장 큰 이슈사항은 분급의 여부였다. 그 이유는 분급이 이루어지지 않으면 2차 폐기물에서의 SiC 입자 크기가 대체적으로 작은 편이고, 금속의 오염성이 높을 뿐만 아니라 회수된 SiC가 기존 #1500에 사용되지 못한다면, #2000 연마재로서 사용이 가능한지를 판단하기에 가장 큰 관심사는 입도였기 때문이다. 분급 공정에서 분리된 #2000과 #1500은 연마재로서 재활용이 가능하고, 이보다 더 작은 입자는 연마재로서 사용이 불가능하다. 작은 입자는 내화물의 첨가재로 사용 가능 할 것으로 판단이 된다.

본 연구를 통하여 입자사이즈가 물을 이용한 분급을 통하여 분리된다는 증명은 되었고, 2차폐기물을 전량 재활용하기 위해서는 분급 방식 및 재현성 검토 등과 같은 선행 연구가 필요하리라 판단이 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 연마제 재활용을 위한 재생 시스템의 공정설계 및 분급장치를 제작하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 재생 연마재가 가지고 있는 가장 큰 문제점인 입도분포의 불균일성과 분급 시 필요한 공간 및 침전시간 문제를 보완하기 위하여 필터링 및 분급기 방식의 기술을 도입하였다.

(2) 2차폐기물이 전량 폐기 처분되고 있는 현실을 비추어 보면 #2000 및 #1500으로 재활용 후 남은 미립자들을 내화물의 용도로 사용한다면 2차 폐기물 재활용공정에서 발생되는 폐기물이 제로화가 되므로 비용측면에서 효과적인 방안이 될 수 있다. 물론, 내화물용도가 아닌 소결용이나 SiC코팅 재료로 사용이 가능하다면 훨씬 더 고부가가치를 창출 할 수도 있다.

(3) 전량 수입에 의존하고 있는 SiC 연마재 및 SiC 재료들을 폐기 처분되고 있는 폐기물에서 회수하여 재활용이 가능하게 한다면 원가절감은 물론 수입대체 효과, 그리고 환경적으로 큰 효과를 볼 수 있을 것이라고 판단된다.

(4) 산업영역의 확충과 그에 따른 고용창출의 효과가 클 뿐만 아니라 원가절감을 통한 국내기업의 경쟁력강화 및 신재생 산업의 활성화를 기대할 수 있다.

이번 연구를 토대로 산학연계에 의한 실용화 과정을 통한다면, 반도체용 실리콘 웨이퍼 및 LED용 사파이어 웨이퍼의 래핑공정에 사용 중인 래핑슬러리 재활용에도 적용하여 개발기술 활용범위를 대폭 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. W. S. Na, J. H. Lee, “A Development of Recycling Technology of Solar Cell Wafering Slurry”, Journal of the Korea Navigation Institute, Vol.4, No.3 pp. 426-431, 2010.
2. J. Y. Kim, U. Kim, K. T. Hwang, W. S. Cho, K. J. Kim “Recovery of Metallurgical Silicon from Slurry Waste”, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.48, No.2 pp. 189-194, 2011.
3. W. S. Na, “A Study on Slurry Isolation Through Chemical Processing with Comparative Analysis and Validation”, Journal of Digital Contents Society, Vol.14, No.1 pp. 35-40, 2013.
4. S. Y. Kim, G. B. Kim, “Classification Performance Analysis of Silicon Wafer Micro-Cracks Based on SVM”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.33, No.9 pp. 715-721, 2016

접수일: 2017년 8월 15일, 심사일: 2017년 9월 18일,
게재확정일: 2017년 9월 22일