

特許와 論文으로 본 실리콘 슬러지의 再活用 技術 動向[†]

張喜棟 · 吉大燮 · 蔣韓權 · 曹永柱 · 曹奉圭*

韓國地質資源研究院, *廢金屬 · 有用資源再活用技術開發事業團

Trend on the Recycling Technologies for Silicon Sludge by the Patent and Paper Analysis[†]

Hee-Dong Jang, Dae-Sup Kil, Han-Kwon Chang, Young-Ju Cho and Bong-Gyoo Cho*

Rare Metals Research Center, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

*R&D Center for Valuable Recycling

요 약

반도체 및 태양광 산업에서는 반도체 소자 및 솔라셀을 제조하기 위하여 실리콘 웨이퍼가 사용되고 있다. 실리콘 웨이퍼는 실리콘 잉곳의 절단으로부터 만들어지며 이 공정에서 실리콘 슬러지가 발생한다. 반도체 소자의 사용처가 점점 증가함에 따라 실리콘 슬러지의 발생량 또한 증가하고 있는 실정이다. 최근 경제적인 측면과 효율성에 관한 측면에서 실리콘 슬러지의 재활용 기술이 폭 넓게 연구되고 있다. 본 연구에서는 실리콘 슬러지의 재활용 기술에 대한 특허와 논문을 분석하였다. 분석범위는 1982년~2011년까지의 미국, EU, 일본, 한국의 등록/공개된 특허와 SCI 논문으로 제한하였다. 특허와 논문은 키워드를 사용하여 수집하였고, 기술의 정의에 의해 필터링하였다. 특허와 논문의 동향은 연도, 국가, 기업, 기술에 따라 분석하여 나타내었다.

주제어 : 실리콘 슬러지 재활용, 특허, 논문, 분석, 기술 동향

Abstract

Silicon wafer for making semiconductor devices and solar cell is used in the semiconductor and solar industry, respectively. Silicon wafer is produced by cutting with silicon ingot and sludge contains silicon occurs from cutting process. Generation of silicon sludge is increasing on developing all industry sectors which have need of semiconductor device. These days it has been widely studied for the recycling technologies of the silicon sludge from view points of economy and efficiency. In this paper, patents and paper on the recycling technologies of the silicon sludge were analyzed. The range of search was limited in the open patents of USA (US), European Union (EU), Japan (JP), Korea (KR) and SCI journals from 1982 to 2011. Patents and journals were collected using key-words searching and filtered by filtering criteria. The trends of the patents and journals was analyzed by the years, countries, companies, and technologies.

Key Word : Silicon sludge recycling, Patent, paper, Analysis, Technical trend

1. 서 론

실리콘 웨이퍼는 반도체 및 태양광 산업에서 DRAM(Dynamic Random Access Memory) 등의 다

양한 형태의 반도체 소자와 태양전지를 만드는데 없어서는 안 될 중요한 소재이다. 따라서 산업이 발전됨에 따라 실리콘 웨이퍼의 수요는 앞으로 더욱 증가될 전망이다.¹⁾

이러한 실리콘 웨이퍼는 고순도의 피상 실리콘 다결정으로부터 단결정의 실리콘 잉고트를 만들고, 이를 절단하는 절단공정과 절단된 웨이퍼를 연마하는 연마공정

[†] 2012년 3월 15일 접수, 2012년 4월 16일 1차수정

2012년 5월 22일 수리

*E-mail: hdjang@kigam.re.kr

을 거쳐 제조된다. 실리콘 잉고트를 절단하는 공정에서는 직경 약 0.14 정도의 와이어 톱(wire saw)과 평균 입경 20의 실리콘 카바이드 등을 함유한 절단용 슬러지를 사용하고 있다. 이러한 절단공정에서 많은 양의 실리콘 카바이드와 실리콘 입자, 그리고 절삭유 등이 함유되어 있는 실리콘 슬러지가 발생되고 있다. 이 슬러지 중에 함유되어 있는 평균 입경 20 정도의 실리콘 카바이드와 절삭유는 분리, 회수하여 실리콘 웨이퍼 제조업체에 제공하여 웨이퍼의 절단공정에 재이용하고 있다. 이러한 절단 공정에서 많은 양의 슬러지가 발생되고 있으며, 이 슬러지는 몇 년 전까지만 해도 매립 처리되어 왔다. 상기 슬러지 중에 함유되어 있는 평균 입경 20의 실리콘카바이드와 절삭유는 분리, 회수하여 실리콘 웨이퍼의 절단공정에서 재이용을 할 수 있어서 유용한 자원으로 재이용 또는 재활용하여 환경적으로도 의미가 있다.¹⁾

연구에 앞서, 국내 실리콘 슬러지 재활용에 대한 기술 연구의 중요함을 인식하여 실리콘 웨이퍼 생산 공정에서 발생하는 실리콘 슬러지의 재활용 기술과 관련한 일본, 미국, 유럽 그리고 한국의 특허와 논문 정보를 분석함으로써 기술동향을 파악하고자 하였다. 특허와 논문 분석에 의한 기술 동향 파악은 기존에 수행되었던 관련기술의 연구내용뿐만 아니라, 향후 연구의 방향을 설정하는데 중요한 자료로 활용되고 있으며, 연구내용이 중복되는 것을 사전에 막아주는 역할을 한다.

이에 본 연구에서는 2007년까지의 실리콘 슬러지 재활용 기술에 대하여 일본, 미국, EU 그리고 한국의 특허 및 논문정보에 대하여 본 연구팀에서 기존에 발표하였던 연구결과²⁾를 토대로 하여 1982년부터 2011년도까지의 특허 및 논문을 보다 더 구체적으로 분석함으로써 최신기술의 동향을 파악하고자 하였다.

2. 기술 검색대상 및 분석기준

2.1. 특허 및 논문검색 대상

실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 특허와 논문을 분석하기 위하여 관련된 모든 특허와 논문을 검색하여 분석하는 것이 이상적이지만 모든 것을 수집하는 데는 한계가 있으므로 우선 자료의 검색 범위를 설정할 필요가 있다. 본 논문에서는 2011년 10월까지의 기간에 등록 또는 공개된 특허와 발표된 논문을 수집 대상으로 하였으며 Table 1과 같은 검색 DB를 사용하여 진행하였다. 논문은 Scopus DB를 사용하였으며 특허는 Wips DB

Table 1. Main content of patent and paper analysis

	Patent	Paper
검색 DB 명	Wips	Scopus
분석건수	310 건	26 건
분석기간	~ 2011.10	

Table 2. Technical clarification of recycling for waste silicon sludgy

해당기술	대분류	소분류
폐실리콘 슬러지 재활용	분리회수	Silicone-based Separation and Recovery
		Playing abrasive sludge
	제조	Silicon compounds
		Electronic devices
		Other

를 사용하여 한국, 미국, 일본, 유럽연합, PCT특허로 제한하였다. 본 연구에서는 검색된 특허와 논문의 초록 및 요약문을 검토하여 선정된 특허 310건과 논문 26건을 대상으로 분석하였다.

특허의 경우, 출원 후 1년 6개월 이후에 공개되는 특허제도의 특성상 2010년도부터 미공개특허가 존재하므로 분석결과의 유효기간은 2009년까지로 볼 수 있다.

2.2. 데이터 구축

DB구축은 실리콘 슬러지 재활용 기술과 관련된 키워드의 조합으로 조사되었으며, Table 2와 같이 분리회수, 제조 기술에 관한 2개의 기술 분야로 나누어 분석하였다.

3. 폐실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 특허 동향 분석

3.1. 연도별 동향

실리콘 슬러지 재활용 기술의 연도별 특허 출원건수를 Fig. 1에 나타냈다.

1982년 실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 특허가 처음으로 출원되었으며 1990년대 중반 이후 본격적인 특허활동이 이루어진 것으로 나타났다. 2000년까지 증가한 이후 감소하였으나 다시 증가하고 있는 경향을 보인다. 2009년 이후 구간에서 특허수가 감소하는 경향을 보이는 것은 미공개 또는 심사 중인 데이터에 의한 것으로 판단되며, 이를 감안한다면 특허출원은 지속적으로

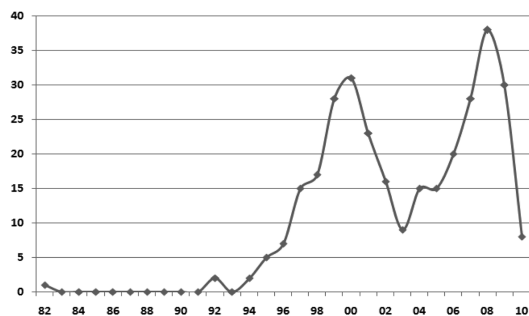


Fig 1. Trend of the applied patent by the year.

로 증가세를 보일 것으로 예상된다. 급격한 증가세를 보인 1999년부터 2000년까지 Sanyo Electric은 실리콘 슬러지 재활용 기술에 관한 특허 26건을 출원한 것으로 나타났다.

3.2. 국가별 동향

Fig. 2는 특허의 출원인 국적별 특허출원건수를 나타낸 그래프이다.

일본이 190건으로 61.3%의 가장 높은 점유율을 보이고 있으며 한국은 2위권으로 나타나지만 특허건수가 65건으로 일본에 비해 격차가 크게 나타났다. 미국은 22

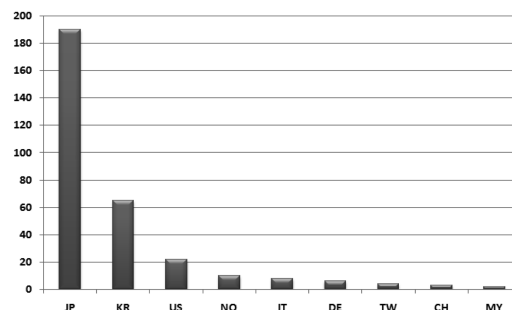


Fig 2. The numbers of patent by the country.

건, 노르웨이는 10건, 이탈리아는 8건, 독일은 6건, 대만은 4건, 스위스는 3건, 말레이시아는 2건으로 나타났다. 가장 많은 특허를 출원한 일본은 1994년부터 2000년까지 급격하게 증가한 이후 감소하였으나 최근구간에 다시 증가하는 경향을 보이고 있다.

3.3. 주요 출원인

Table 3은 특허로부터 도출된 주요 출원인(Top 10) 현황을 나타낸 표이다.

Sanyo Electric이 32건으로 가장 많은 특허를 출원하였으며, Sharp가 22건, Nippei Toyama, Kurita Water

Table 3. Main applicants of patent

Main applicants	Quantity	Technology	Application Date
Sanyo Electric (JP)	32	Silicone-based Separation and Recovery	1999~2007
Sharp (JP)	22	Silicone-based Separation and Recovery, Playing abrasive sludge	2001~2009
Nippei Toyama (JP)	12	Playing abrasive sludge, Silicone-based Separation and Recovery, Solar Cell Manufacturing	1996~2009
Kurita Water (JP)	12	Playing abrasive sludge, Silicone-based Separation and Recovery	1994~2003
IHI Compressor and Machinery (JP)	11	Playing abrasive sludge, Silicone-based Separation and Recovery	1997~2008
IIS Materials (JP)	10	Silicone-based Separation and Recovery	2003~2006
Sumco Corp. (JP)	10	Playing abrasive sludge, Silicone-based Separation and Recovery	1998~2010
Shin-Etsu Chemical (JP)	10	Playing abrasive sludge, Silicon compound manufacturing	1996~2009
Lucid Treatment Systems (US)	9	Playing abrasive sludge	1997~2000
MEMC Electronic Materials (US)	8	Playing abrasive sludge, Silicone-based Separation and Recovery	1999~2009

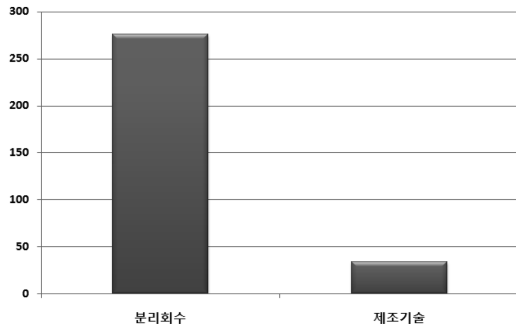


Fig 3. The numbers of patent for detailed technologies.

가 각각 12건의 특허를 출원하였다. 대부분 실리콘 성분분리회수와 연마슬러리 재생에 관한 특허이다. 상위 10위 중 일본국적 소속이 8개 기관으로 가장 많았으며 미국국적 소속이 1개 기관으로 나타났다.

3.4. 기술별 동향

Fig. 3은 실리콘 슬러지 재활용 분야 특허의 기술별 건수를 나타낸 그래프이다.

기술별 건수를 살펴보면 분리회수 기술이 276건으로 89.0%의 점유율을 보이고 제조 기술은 34건으로 11.0%의 점유율을 보이며 대부분의 특허가 분리회수 기술에 대한 것임을 알 수 있다. 출원인 국적별 특허건수

Table 4. The number of applied patent by nationalities of applicants in each technology

Country	Separation and Recovery Technology	Playing abrasive sludge,	Manufacturing Technology	Silicon compounds
		Silicon compound manufacturing		Electronic devices
				Other
JP	176	84	14	11
		93		1
KR	54	32	11	2
		27		3
				6
US	22	17		2
		5		
NO	3		7	7
		3		
IT	8	8		
DE	6	6		
		3		
TW	4	3		
		2		
CH	3			
		3		
MY			2	
				2

를 비교해 보면 일본이 분리회수와 제조 기술에서 높은 점유율을 나타낸다. 이를 Table 4에 정리하였다.

또한 분리회수 기술의 경우, 연마슬러지 재생, 실리콘 성분분리회수로 나누었는데 대부분의 국가에서 연마슬러지 재생 관련 기술에 대한 특허건수가 많으며 일본과 한국은 실리콘성분분리회수 기술에 대한 특허건수도 많았다. 제조기술의 경우, 한국에서 전자소자 제조기술에 대한 특허건수가 높게 나타났다.

3.4.1. 분리회수 기술

Fig. 4는 실리콘 슬러지 재활용 분야 중 분리회수 기술의 연도별 특허건수를 나타낸 것이다.

분리회수 기술은 1994년 이후부터 본격적으로 성과가 나타나고 있다. 1998년까지 증가한 이후 감소하였으나 다시 증가하고 있는 경향을 보이고 있으며, 2008년에는 가장 많은 37건의 특허가 출원되었다.

Fig. 5는 실리콘 슬러지 재활용 분야 중 분리회수 기술의 기술별 건수를 나타낸 그래프이다.

기술별 건수를 살펴보면 연마슬러지 재생 기술이 150

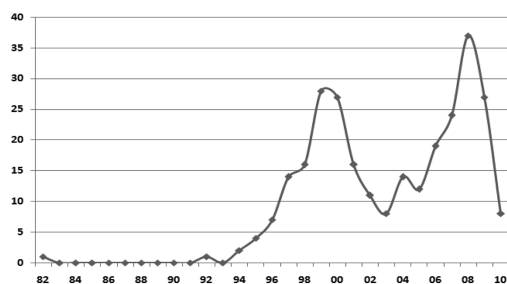


Fig 4. The patent trends for separation & recovery technologies.

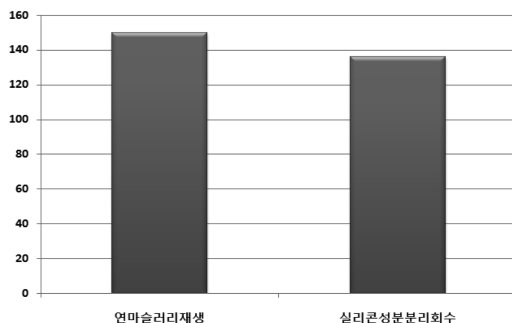


Fig 5. The numbers of patent for separation & recovery technologies.

Table 5. Separation & recovery technology analysis by major applicants

Main applicants	Quantity
Sanyo Electric (JP)	32
Sharp (JP)	22
Kurita Water (JP)	12
IHI Compressor and Machinery (JP)	11
Nippei Toyama (JP)	11
IIS Materials (JP)	10
Sumco Corp. (JP)	10
Shin-Etsu Chemical (JP)	9
Lucid Treatment Systems (US)	9
Fujitsu (JP)	8

건으로 52.4%의 점유율을 보이며 실리콘성분 분리회수 기술이 136건으로 47.6%의 점유율을 보인다.

Table 5는 특허로부터 도출된 주요 출원인 (Top 10) 현황을 나타낸 표이다.

일본의 Sanyo Electric이 32건으로 가장 많은 특허를 출원하였으며, 다음으로 Sharp가 22건으로 나타났다. 상위 10위 중 일본국적 소속이 9개 기관으로 가장 많았으며 미국국적 소속이 1개 기관으로 나타났다.

3.4.2. 제조 기술

Fig. 6은 실리콘 슬러지 재활용 분야 중 제조 기술의 특허출원건수를 나타낸 것이다.

제조 기술은 2000년대 이후 본격적으로 성과가 나타나고 있다. 2001년까지 급격하게 증가한 이후 감소하였으나 꾸준히 특허가 출원되고 있으며 2001년에는 가장 많은 7건의 특허가 출원되었다.

Fig. 7은 실리콘 슬러지 재활용 분야 중 제조 기술의 기술별 건수를 나타낸 그래프이다.

기술별 건수를 살펴보면 실리콘화합물 제조 기술이 21건으로 61.8%의 점유율을 보이며 전자소자 제조 기술이 9건으로 26.9%, 기타가 4건으로 나타났다. 기타는 실리콘 슬러지를 이용하여 도자기나 내화물 분말을 제조하는 기술로 나타났다.

Table 6은 특허로부터 도출된 주요 출원인 (Top 5) 현황을 나타낸 표이다.

노르웨이의 Elkem ASA가 5건으로 가장 많은 특허를 출원하였으며, 한국출원인인 경희대학교는 3건, 한국 지질자원연구원은 2건의 특허를 출원하였다.

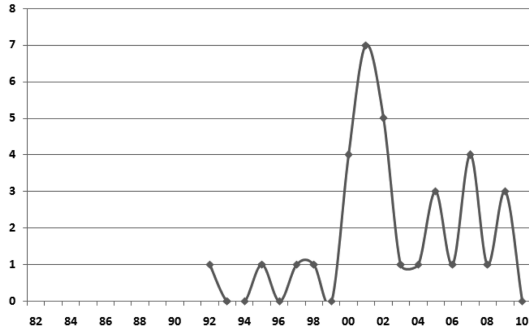


Fig 6. The patent trends for production technologies.

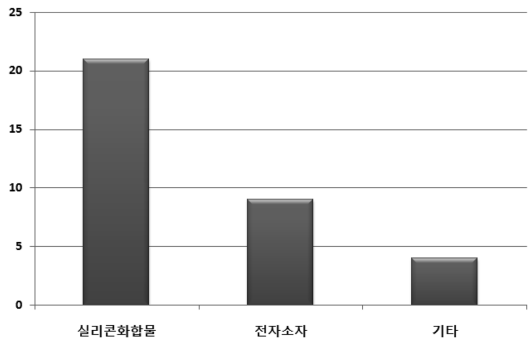


Fig. 7. The numbers of patent for production technologies.

Table 6. Production technology analysis by major applicants

Main applicants	Quantity
Elkem ASA (NO)	5
경희대학교 (KR)	3
Metalkraft AS (NO)	2
Nguyen, Hanh Thi (MY)	2
한국지질자원연구원 (KR)	2

4. 실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 논문 동향 분석

4.1. 연도별 동향

실리콘 슬러지 재활용 기술의 연도별 논문발표건수를 Fig. 8에 나타냈다.

2002년 실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 논문이 처음으로 발표되었으며 2000년대 후반에 많은 논문이 발표되었다.³⁻¹⁰⁾

2008년부터 대만국적 저자들의 논문발표가 활발하게 이루어져 증가세를 보이고 있는 것으로 나타났다.

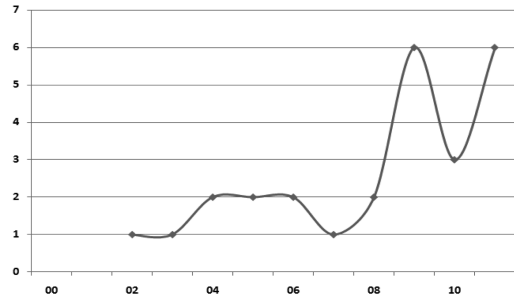


Fig 8. Trend of the published paper by the year.

Table 7. The number of the published paper by the nationalities of author in each technology

	TW	KR	JP	US	NO	IN	FR
분리회수	11	5	4	1	1	1	1
제조	2	6					

4.2. 국가별 동향

Table 7은 저자의 국적별 기술별 게재 논문 현황을 나타낸 표이다.

대만이 분리회수 기술에 대한 논문이 11건으로 가장 많았으며 한국은 분리회수 기술에 5건, 제조 기술에 6건의 논문을 발표하였다. 일본, 미국, 노르웨이, 인도, 프랑스는 분리회수 기술에 대한 논문만을 발표하였다.

4.3. 기술별 동향

Fig. 9는 실리콘 슬러지 재활용 분야 논문의 기술별 건수를 나타낸 그래프이다.

논문의 기술별 건수를 살펴보면 분리회수 기술이 22건으로 가장 많았으며 제조 기술은 4건으로 나타났다.

분리회수 기술 중 실리콘성분 분리회수 기술이 55.6%(15건), 연마슬러리재생 기술이 44.4%(12건) 순으로 나타났으며 제조 기술은 실리콘화합물 제조 기술과 기타가 각각 50.0%(2건)의 점유율을 차지하고 있다.

4.4. 주요기관 동향

Table 8은 논문으로부터 도출된 주요 기관 (Top 5) 현황을 나타낸 표이다.

대만의 National Taipei University of Technology가 5건의 논문을 발표하였으며, 한국의 지질자원연구원과 공주대학교는 공동으로 5건의 논문을 발표하였다.

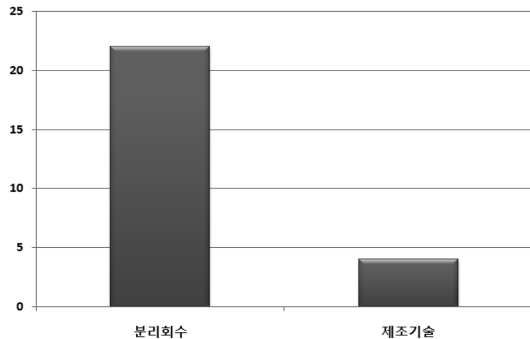


Fig. 9. The numbers of paper for detailed technologies.

Table 8. Main organizations of paper

주요 출원인	건수
National Taipei University of Technology (TW)	5
지질자원(연)+공주대	5
National Taiwan University (TW)	4
대불대학교 (KR)	4
Industrial Technology Research Institute (TW)	2

5. 실리콘 슬러지 재활용 기술 관련 특허 및 논문의 심층 분석

Table 9는 기술적 중요도를 기준으로 선별된 주요특허와 주요논문을 정리하여 나타내었다.

분리회수 기술 측면에 있어서 원심분리나 필터를 이용한 실리콘과 연마재 회수에 대한 특허와 논문이 주를 이루고 있다. Sharp는 원심분리와 증류를 이용하여 고형분을 분리한 후 알코올이나 케톤을 이용하여 세척하고 건조하여 고순도의 실리콘을 회수하거나 폐액을 필터 또는 원심 분리하여 고형분을 회수하고 감압 또는 불활성가스 분위기에서 용융하여 얻은 입자를 산 또는 알칼리로 세척하여 연마입자를 회수하는 특허를 출원하였고, Nippon Steel은 알칼리성 수용액(수산화나트륨 또는 염산 수용액)을 이용하여 실리콘을 회수하는 특허를 출원하였으며, Fukuda Crystal Laboratory는 실리콘 잉곳의 절단슬러지를 열처리하여 액체부분을 여과하고 액체의 분산체는 그대로 절단공정에 재이용하고 고체 부분을 폴리팅스텐산나트륨 용액에 섞어 비중 분리하여 실리콘을 회수하는 특허를 출원하였다. (주)유스텍 코리아는 초음파를 이용하여 분산시키고 분산된 슬러리는

원심분리기로 이동되어 원심분리를 이용하여 연마재 고형물을 추출하는 특허를 출원하였고, Garbo S.R.L.은 현탁액에 용매를 이용하여 희석하고 희석된 현탁액을 원심 분리나 침전을 통하여 처리하는 특허를 출원하였으며, Sanyo Electric은 여과장치를 이용하여 고형물을 효과적으로 회수하는 특허를 출원하였다. (주)세미머티리얼즈는 열처리를 하여 실리콘 슬러지의 재생방법에 관한 특허를 출원하였고, (주)실파인은 원심분리를 이용하여 고순도 실리콘 파우더를 얻는 특허를 출원하였으며, 인천대학교는 비중차 분리법으로 99.5%이상 순도의 실리콘을 분리해 내는 특허를 출원하였다. SIC Processing AG는 하이드로싸이클론을 이용하여 연마슬러리를 재생하는 특허를 출원하였고, IHI Compressor And Machinery, M. Setek은 여과를 이용하여 단결정 실리콘을 회수하는 특허를 출원하였으며, (주)이피웍스는 용기 내에 실리콘 폐기물, pH가 5~6인 용매 및 계면활성제를 담아 이를 혼합하고 용기 내에 공기를 주입하여 부유물과 침전물로 분리하여 실리콘을 회수하는 특허를 출원하였다. Sumco Corp.은 산을 이용하여 불순물을 제거하는 특허를 출원하였고, Shin-Etsu Handotai등은 액체싸이클론을 이용하여 냉각제 성분을 추출하는 특허를 출원하였으며, Elektroschmelzwerk Kempten은 가열에 의하여 고체성분과 액체성분을 분리하는 특허를 출원하였다. E & E Co.는 원심분리기를 이용하여 와이어 톱 연마입자 슬러리를 재활용하는 특허를 출원하였고, EPFL은 실리콘 잔해를 탈 산소화시켜 와이어 톱 폐기물을 처리하는 특허를 출원하였으며, Iosil Energy Corp.은 요오드화물을 포함하는 증기를 생성하여 실리콘을 회수하는 특허를 출원하였다. National Taiwan대학에서는 실리콘 절단 슬러지를 원심분리와 열처리를 이용하여 실리콘카바이드를 제거하여 실리콘을 회수하는 논문을 발표하였고, Missouri과학기술대학교에서는 실리콘 스크랩을 필터를 통하여 실리콘카바이드, 실리콘나이트라이드를 제거하는 논문을 발표하였다.

제조기술 측면에 있어서 태양전지 등과 같은 전자소자와 실리콘 화합물을 제조하는 특허가 주를 이루고 있으며, Nippei Toyama은 실리콘의 단결정 또는 다결정을 가공한 때에 발생한 실리콘 가루 등의 폐기물을 이용하여 태양전지를 제조하는 특허를 출원하였고, Metallkraft AS는 실리콘 웨이퍼 생산과정 중 생기는 슬러리 폐기물을 이용하여 비산화물 세라믹스를 제조하는 특허를 출원하였다.

Table 9. The list of core patents & papers

기술	특허번호/논문, Vol, Page	공개(등록)일	출원인(저자)
분리 회수	[JP]2009-196849	2009.09.03	Sharp
	[JP]2010-047443	2010.03.04	Sharp
	[JP]2008-290897	2008.12.04	Nippon Steel
	[JP]2011-088805	2011.05.06	Fukuda Crystal Laboratory
	[JP]2010-530135	2010.09.02	(주)유스테크 코리아
	[JP]2011-509187	2011.03.24	Garbo S.R.L.
	[KR]0614540	2006.08.14	Sanyo Electric
	[KR]0837346	2008.06.04	(주)세미머티리얼즈
	[KR]0896070	2009.04.27	(주)실파인
	[KR]1045815	2011.06.27	인천대학교
	[KR]2008-0021110	2008.03.06	SIC Processing AG
	[KR]2008-0104318	2008.12.02	IHI Compressor And Machinery, M. Setek
	[KR]2011-0036434	2011.04.07	(주)이피웍스
	[KR]2011-0084928	2011.07.26	Sumco Corp
	[US]6001265	1999.12.14	Shin-Etsu Handotai, Mimasu Semiconductor Industry, Ohtomo Chemical, Hitachi Zosen Metal Works
	[US]6010010	2000.01.04	Elektroschmelzwerk Kempten
	[US]6615817	2003.09.09	E & E Co.
	[US]20100278707	2010.11.04	Ecole Polytechnique Federale De Lausanne(EPFL)
	[US]20110059002	2011.03.10	Iosil Energy Corp
	Journal of Crystal Growth Vol. 310, pp. 3403~3406	2008	Wang T.Y., Lin Y.C., Tai C.Y., Sivakumar R., Rai D.K., Lan C.W.
Solar Energy Materials and Solar Cells Vol. 92, pp. 1450~1461	2008	Zhang L., Ciftja A.	
제조	[JP]2002-009320	2002.01.11	Nippeï Toyama
	[JP]2002-167280	2002.06.11	Metalkraft AS

6. 결 론

실리콘 슬러지를 재활용하는 기술은 1990년대 중반 이후 본격적으로 특허출원이 이루어졌으며 1990년대 후반 이후 급격한 성장을 보이고 있다. 전체 특허 중 75% 이상의 특허가 2000년 이후 출원된 특허로 반도체 산업이 발달됨에 따라 생산 공정에서 나오는 폐기물을 재활용하는 기술은 앞으로도 많은 연구가 될 것으로 판단된다.

국가별로는 일본이 주도하고 있으며 한국은 2위권으로 나타나지만 특허건수가 65건으로 일본에 비해 격차

가 크게 나타났으며 주요출원인으로는 Sanyo Electric, Sharp 등으로 조사되었다.

실리콘, 연마재, 절삭재 등을 높은 수율로 회수하는 기술이 최근에 증가하고 있으며 핵심특허와 논문을 살펴보면 원심분리나 필터를 이용하여 실리콘과 연마재를 회수하는 특허와 논문이 주를 이루고 있다. 분리회수한 실리콘과 실리콘카바이드는 고순도 물질이며 이를 원료로 사용하는 고부가가치 소재의 개발이 크게 기대되며 향후 상용화기술 개발이 완료되면 자원재활용산업 분야의 활성화가 기대된다.

감사의 글

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐 금속유용자원재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구 되었으며 이에 감사드립니다.(11-A08-IR)

참고문헌

1. 이수영, 이병택, 1998 : 반도체 산업 폐Si슬러지의 재활용 기술 현황, 한국기계연구원 기계와 재료, Vol. 36, pp. 6-15.
2. 길대섭, 장희동, 강경석, 한혜정, 2008 : 폐실리콘 슬러지 재활용기술에 관한 특허동향 분석, 한국자원리사이클링학회지, 17(4), pp. 66-76.
3. 서용재, 장희동, 장한권, 김병규, 이병택, 장원철, 2004 : 폐실리콘 슬러지로부터 실리카 나노분말 제조, 한국지구시스템공학회지, 41(6), pp. 1-8.
4. Paul, R.K., Gain, A.K., 이희정, 장희동, 이병택, 2006 : 연속다공질 SiC-Si₃N₄ 복합체의 미세구조 및 기계적 특성, 한국재료학회지, 16(3), pp. 188-192.
5. 장희동, 장한권, 조국, 길대섭, 2007 : 폐실리콘 슬러지로부터 TMOS 및 실리카 나노분말 제조, 한국자원리사이클링학회지, 16(5), pp. 41-45.
6. Paul R.K., Gain A.K., Lee B.T., Jang H.D., 2006 : Effect of Addition of Silicon on the Microstructures and Bending Strength of Continuous Porous SiC.Si₃N₄ Composites, J. Am. Ceram. Soc., 89(6), pp. 2057-2062.
7. Chang H., Park J.H., Jang H.D., 2008 : Flame synthesis of silica nanoparticles by adopting two-fluid nozzle spray, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, Vol. 313, pp. 140-144).
8. Paul R.K., Jang H.D., Lee B.T., 2009 : Fabrication of platinum coating on continuous porous SiC.Si₃N₄ composites by the electroless deposition process, J. Mater. Process. Technol., Vol. 209, pp. 2958-2962.
9. Wang T.Y., Lin Y.C., Tai C.Y., Sivakumar R., Rai D.K., Lan C.W., 2008 : A novel approach for recycling of kerf loss silicon from cutting slurry waste for solar cell applications, Journal of Crystal Growth, Vol. 310, pp. 3403-3406.
10. Zhang L., Ciftja A., 2008 : Recycling of solar cell silicon scraps through filtration, Part I: Experimental investigation, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 92, pp. 1450-1461.

張 喜 棟

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제19권 4호 참조

吉 大 燮

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임기술원
- 당 학회지 제17권 4호 참조

曹 永 柱



- 현재 글로벌탑환경기술개발사업 폐금속·유용자원재활용기술개발사업단 연구지원실장

曹 奉 圭

- 현재 글로벌탑환경기술개발사업 폐금속·유용자원재활용기술개발사업단 단장
- 당 학회지 제18권 5호 참조

蔣 韓 權

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제16권 5호 참조