

반도체 산업 폐Si슬러지의 재활용기술 현황



이수영
(KIMM 재료기술연구부)

- '77 연세대학교 요업공학과(학사)
- '82 - '85 Univ. of Illinois at Chicago(석사)
- '86 - '89 Univ. of Illinois at Chicago(박사)
- '89 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이병택
(공주대학교 재료공학과)

- '86 충남대학교 재료공학과(학사)
- '88 충남대학교 금속공학과(석사)
- '93 Tohoku Univ. 재료공학과(박사)
- '93 - '95 Tohoku Univ. Research Associate
- '95 - '96 한국기계연구원 선임연구원
- '96 - 현재 공주대학교 재료공학과 교수

1. 서론

산업의 발전과 더불어 환경문제가 심각해지고 있으며 최근에는 이에 관한 연구의 중요성이 점점 심화되고 있다. 이에 따라 환경조화 및 환경친화 재료의 개발이 요구되고 있으며 한정된 자원의 재활용에도 깊은 관심의 대상이 되고 있다. 본 기고에서는 국내 Si반도체 산업의 폐기물인 폐Si의 재활용을 검토하므로써 고부가가치의 Si₃N₄계 세라믹 소재를 개발하기 위한 연구 동향에 대해 기술하고자 한다.

세계적인 반도체 수요 증가로 웨이퍼 공급난이 극심한 가운데 Si단결정 성장 관련 기업은 시설 확충 및 안정된 poly-Si결정의 확보에 노력하고 있다. 이와 같은 Si웨이퍼의 공급이 급증함에 따라 필연적으로 발생하는 폐Si슬러지의 양도 점점 증대되리라고 전망된다.

현재 국내의 주요 Si웨이퍼 생산업체는 LG 실트론과 포스코 홀스사이며 이들 기업에서 사용되고 있는 Si원료는 외국에서 \$40~50/kg의 고가로 전량 수입하고 있다. 이들 Si를 이용하여 단결정으로 성장할 때 최종 제품인 웨이퍼로 만들기까지 많은 Si loss가 생길 것으로 추정된다. 이 중 Si ingot로부터 웨이퍼를 만들기 위한 공정인 다이아몬드 절삭 공정에서 부산물인 폐Si슬러지가 다량 발생하게 된다. 이것은 고순도의 미세한 분말을 함유하고 있지만 분말 표면은 절삭액인 유기물로 흡착되어 있을 것으로 추정된다. 국내의 Si 반도체 산업의 풍부한 부산물인 Si 슬러지를 정제하여 입도 및 입형을 조절하면 이 분말을 이용하여 저단가의 반응소결 Si₃N₄소재의 개

발이 가능하며 첨단 핵심 고온 소재로 기대되는 Si_3N_4 계 세라믹 재료의 광범위한 용도 개발이 가능하다.

구조세라믹스의 최대과제는 재료의 신뢰성과 cost-down 이다. 구조세라믹스중 특성이 우수한 것으로 알려진 Si_3N_4 의 경우를 예로 들어보자.

종래의 가압소결법으로 \$55/kg인 Si_3N_4 분말을 사용하여 제조한 Si_3N_4 소결체의 경우 성형후 많은 수축현상 때문에 제품의 형상제어가 어려웠을 뿐만 아니라 이로인해 가공비가 차지하는 비율이 높고 고가의 원료분말을 사용하기 때문에 생산된 소결체의 단가가 높아 기계소재로서의 응용이 제한되었었다.

그러나 최근 Si_3N_4 세라믹스 소결체를 얻는 방법중 Si분말을 원료로 사용하는 반응소결법이 각광을 받고 있다. 이 경우 \$14/kg정도의 저렴한 가격으로 Si_3N_4 부품제조가 가능한데 이는 원료분말이 저가이며 또한 반응소결체의 고유특성으로 소결후 형상의 제어 및 치수의 변화가 거의 없는 near-net shape의 제품을 만들 수 있어 가공비가 절감되기 때문이다. Si_3N_4 반응소결로 유명한 미국의 Ceradyne사에서는 현재 사용하고 있는 Si분말은 \$7/kg정도이며 또한 최종 단가도 \$14/kg정도이어서 Si_3N_4 ball, cutting tool 및 금속가공용 부품 소재등의 제품을 생산하고 있으며 용도개발에 대한 연구도 폭넓게 수행되고 있다.

국내의 경우도 고순도 Si분말을 이용한 반응소결 연구가 활발히 진행되고 있으나 국내에서는 Si원료 분말이 생산되고 있지 않기 때문에 전량 국외에서 Si를 수입하여 연구하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 볼 때 폐Si슬러지의 재활용을 위한 Si원료의 국산화 개발 연구의 필요성은 새삼 강조할 필요도 없을 것이다. 파인 세라믹의 기초라고 할 수 있는 원료산업의 발전 없이 국내 세라믹산업의 발전은 기대할 수 없을 것이다.

본 기고에서는 반도체 산업의 폐Si슬러지의 폐기 및 취급동향을 파악하고 이들 반도체 산업의

부산물의 이용가능성에 대해 분석한 결과를 소개하고자 한다. 또한 Si의 질화조건에 따른 미세조직 및 질화기구를 고찰하므로써 고품위의 Si_3N_4 세라믹소재를 개발하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

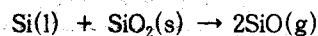
또한 저가이며 고품위의 Si_3N_4 세라믹소재를 개발하는 데 기초자료가 될 질화조건에 따른 미세조직 및 질화기구에 대해 소개하고자 한다.

2. Si웨이퍼 제조 산업의 폐기물 현황

2.1 폐기물 현황

국내의 반도체용 Si웨이퍼 제조업체는 (주)LG실트론과 (주)포스코 홀스사이며 국내의 정량적인 Si웨이퍼량을 파악하기는 어려운 것 같다. 이들 국내 업체에서는 웨이퍼제조용 원료로 피상 고순도의 Si다결정을 \$40~50/kg의 가격으로 전량 수입하고 있는 실정이다.

초LSI기판으로써 이용되는 Si단결정웨이퍼 제조법에는 Czochralski법, Float zone법 및 Epitaxial growth법이 있지만 국내의 Si반도체웨이퍼 제조업체에서는 주로 Czochralski법을 이용하고 있다. Si웨이퍼 제조를 위해서는 우선 수입된 고순도 다결정 Si을 고순도 석영(SiO_2) 도가니에 넣어 용해시킨후, seed결정을 접촉시켜 회전인상 시키면서 단결정을 성장시키게 되며 가열을 위해 흑연 히터가 사용된다. 최근 고주파 가열법도 적용되었지만 단가면에서 유리한 흑연 히터가 사용되고 있고, 가열을 적절히 하기 위해서는 단열재(카본올등)가 사용되고 있다. 다결정 실리콘은 흑연 도가니 안에 넣은 석영도가니 안에서 녹게된다. 석영도가니와 용융실리콘이 반응하여 산소의 혼입이 발생한다.



의 반응으로 용융체에 녹은 산소는 용융체 표면으로부터 SiO 가 되어 증발하지만 일부는 Si단

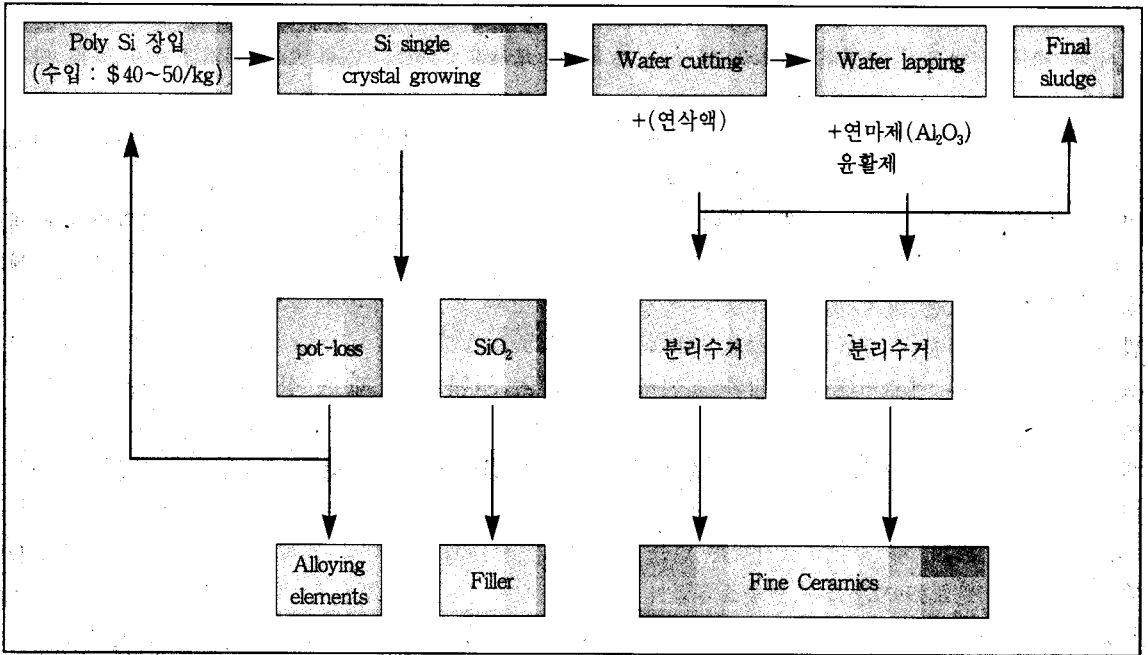


그림 1. Si wafer제조 공정 및 부산물 생성경로

결정중에 들어가게 된다. 이 산소는 열처리조건, 특히 450°C 부근에서 도너를 형성하여 단결정의 전기적 특성에도 영향을 주기 때문에 주의를 요한다.

그림 1.은 Si wafer제조 공정 및 부산물 생성 경로를 나타낸 것이다. 국내에서 생산되는 Si 단결정의 대부분은 직경 8inch의 ingots로 ingot 한 개당 약 70kg 정도로 ingot이 성장된다. Ingot의 성장이 끝난 후에도 석영도가니에는 장입량의 약 10% 정도가 잔탕Si으로 남게 되는데 이것을 pot-loss라고 한다. 이 pot-loss Si은 대부분 석영도가니와 붙어 있게 되는데 석영도가니는 접착 강도가 약하기 때문에 잘 분리된다.

그림 2.(a)은 석영도가니에 붙어있는 pot-loss Si을 보여주고 있으며 흰 부분이 석영도가니 파편의 일부이며, 검은 부분이 Si이다.

이 pot-loss Si은 단결정 ingots을 제조하기 위해 remelting용으로 사용하기에는 부적당할 것으로 판단된다. 왜냐하면 pot-loss Si 피상이 석영도가니부와 접촉되어 있는 부위에는 그림 3.(b)

에서 볼 수 있는 바와 같이 반응 생성물인 결정질 실리카 입자들이 형성되기 때문이다. 그림 3.(c)는 그림 3.(b)의 일부분을 확대한 SEM image로 약 5 μ m 이하의 미립 실리카결정이 형성되어 있음을 알 수 있다. 그림 3.은 pot-loss Si을 attrition mill에 의해 분쇄한 Si입자를 나타낸 SEM image이다. 최적의 attrition mill 조건에 의해 분쇄하므로써 반응소결용 Si원료 분말로의 이용이 가능할 것으로 생각된다. 특히 attrition milling시 도입될 수 있는 contamination을 최소로 한다면 표면에 부착되어 있는 소량의 SiO₂상 이외에 불순물 혼입이 적은 양질의 Si분체를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 석영도가니는 Si 단결정 ingot 1개를 제조하면 폐기되는 것으로 이것 역시 폐기물로 처분하고 있으며 현재 재활용되고 있지 않다. 그러나 반도체 산업에서 사용되는 석영도가니는 5N의 고순도 재료를 사용하고 있기 때문에 표면에 붙어있는 Si만 산쇄처리하므로써 재활용 용도를 개발할 수 있다고 본다. 특히 석영도가니는 비정질

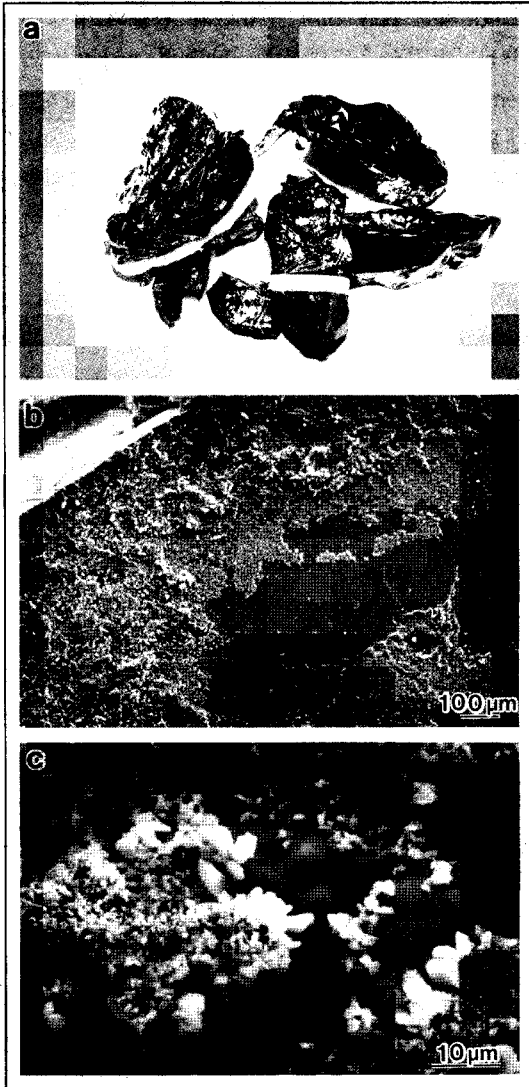


그림 2. a) 석영도가니 파편에 붙어있는 Si pot-loss, b), c) 석영파편을 제거한 Si pot-loss 표면의 SEM image와 확대 image

상으로 존재하는 것으로 attrition-milling에 의해 손쉽게 약 $10\mu\text{m}$ 의 미분을 제조할 수 있다. 이 각상의 실리카 분체는 반도체팩키지용 filler로 사용될 수 있으며, 고집적 반도체 팩키지용 filler로 이용하기 위해 각상의 실리카 분체를 재가공하는 방법으로 플라즈마 스프레이 공정을 이용하여 구형의 실리카 분체로 재활용할 수 있다. 특히 고부가가치의 구형 실리카 분체는 현재 국내

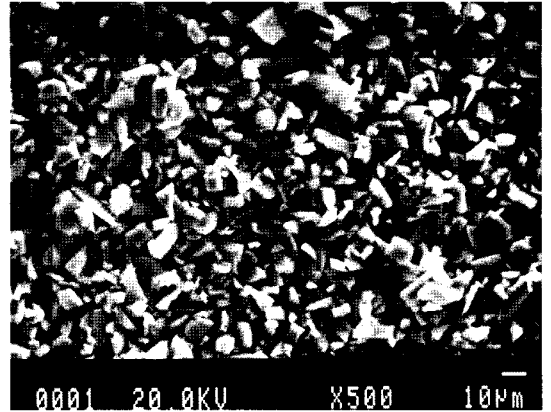


그림 3. Si pot-loss괴상을 10시간 attrition milling하여 얻은 Si분말의 SEM image

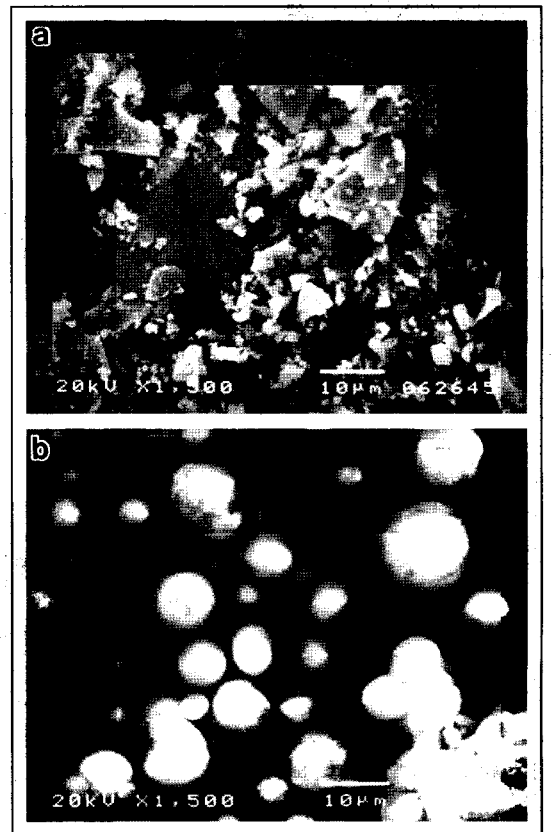


그림 4. 석영도가니를 분쇄하여 얻은 실리카분체의 SEM상 (a) 분쇄상태, (b) 플라즈마 스트레법에 의해 가공된 상태

에서는 생산되지 못하고 있으며, 전량 일본제품

을 수입하고 있는 실정이어서 국산화 개발이 시급히 요망되고 있는 분야이다. 그림 4.(a), (b)는 milling법에 의해 분쇄한 각상 실리카분의 SEM image, 플라즈마 스프레이법에 의해 제조된 구형 실리카 분체의 SEM image이다.

그림 1의 wafer제조 공정에서 알 수 있는 바와 같이 Wafer 제조를 위해 ingots는 고속 diamond wheel cutter에 의해 약 1mm두께로 절삭된다. Tail 및 shoulder부는 1년전까지만하더라도 폐기 처리해 금속합금용 첨가제로 이용되었

으나, 최근 poly Si의 수급난과 환률의 급상승에 따라 이것들은 대부분 단결정 ingot용으로 remelting되고 있다. 단결정 Si ingots절삭시 한 개의 ingot당 약 40%의 손실이 발생한다. 이 손실은 절삭액과 미분Si의 혼합된 상태의 폐Si슬러지로 출현하게 된다. 이들 폐기물은 배출 라인을 통해 wafer lapping공정 라인의 폐기물 배출구와 연결되어 있으며 wafer lapping라인을 통과한 다음 최종의 폐기물 처리지로 이송된다. Lapping공정에서는 Al_2O_3 연마제를 사용하기 때문에 다량의 Al_2O_3 분말이 혼입되게 되며 최종폐기물처리 공정에서는 슬러지의 건조 및 처리를 용이하게 하기위해 탄산칼슘등이 다량 첨가된다.

그림 5.(a), (b)는 Si ingots 절삭 슬러지를 건조한 후 60mesh의 sieve를 처리한 Si분체의 SEM image와 입도 분석결과이다. 건조된 Si분체는 평균입도 $8\mu m$ 의 미분으로 불규칙 형상으로 되어 있으며 비교적 비표면적이 높은 분말형태를 보인다.

한편 기존에 수입되어 사용되어온 Si분말은 H. Stack사의 Si분체를 많이 이용하였으며 평균입도가 $10\mu m$ 로 슬러지 건조 분말보다 조대하였다. Si peak만 검출되고 ICP성분분석결과로부터 비교적 고순도임을 알 수 있다. 또한 ICP분석결과 약 0.04%의 Fe가 존재하는데 이는 ingot절삭공정시 다이아몬드휠의 상크부의 마모에 기인한 것으로 추정되며 이들 소량의 불순물들은 세라믹의 기계적 특성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

그림 6.(a), (b)는 H. Starck사와 슬러지 건조 Si분체의 Si분체를 TEM으로 관찰한 결과이다. H. Stack사의 Si분체보다 슬러지 건조 Si분체의 표면에 약50nm scale의 SiO_2 비정질막이 coating되어 있음을 알 수 있다. 또한 이 입자 내부에는 강한 strain field contrast가 관찰되는데 이는 다이아몬드 휠 연삭시 가해진 응력에 의해 도입된 전위가 다수 존재함에 기인한 것이다.

그림 7.(a)는 Si wafer lapping공정시 발생하는

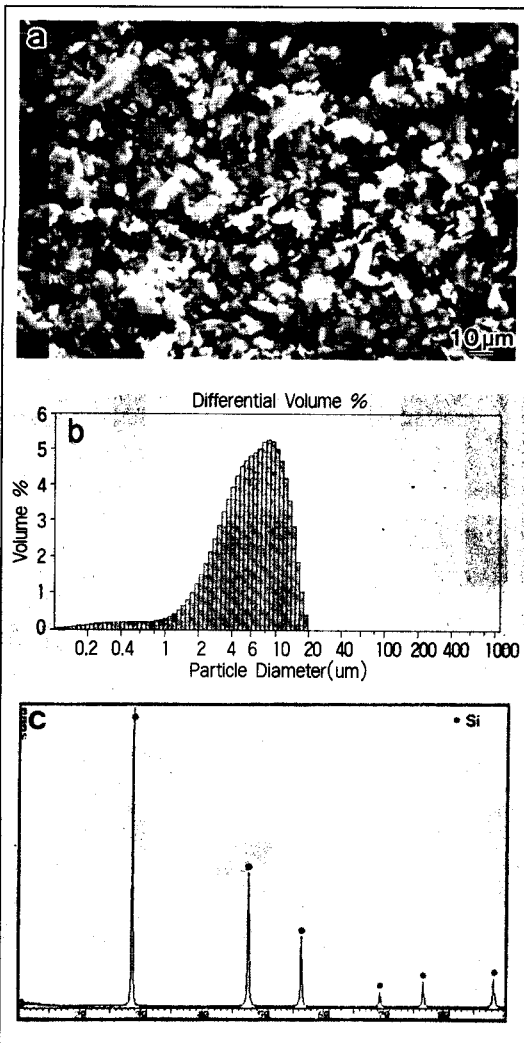


그림 5. 폐Si슬러리로 부터 얻은 Si분체의 SEM image (a), 입도분석(b) 및 XRD결과(c)

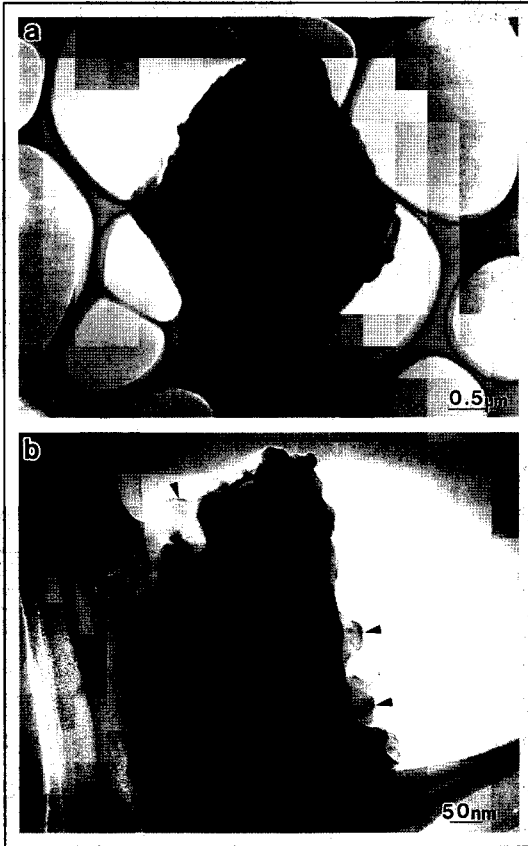


그림 6. H. Starck사의 Si분체(a) 및 폐Si분체(b)의 TEM images

폐기물을 건조하여 관찰한 SEM image이다. 대부분의 입자는 $12\mu\text{m}$ 정도의 크기로 된 edgeless의 등축정 분말로써 연마제로 흔히 이용되는 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 가 대부분이지만 이들 사이에 연마되어 나온 미세한 (약 $1\sim 2\mu\text{m}$) Si분체도 관찰된다. 그림 7.(a)와 (b)는 각각 입도분석 및 XRD분석 결과이다. 입도분석 결과에서 $1.5\mu\text{m}$ 와 $12\mu\text{m}$ 에서 곡선을 보이는 것은 각각 연마전 Si 입자와 연마제 Al_2O_3 의 평균입도에 대응한다. XRD결과에서 대부분이 $\alpha\text{-type}$ 의 Al_2O_3 임을 확인할 수 있으며 소량의 Si 분체도 검출됨을 알 수 있다.

표 1.은 Si반도체 산업에서 발생하는 ingot cutting sludge, lapping sludge 및 final sludge 의 폐기물과 pot-loss부에서 채취한 석영 및 Si의 화

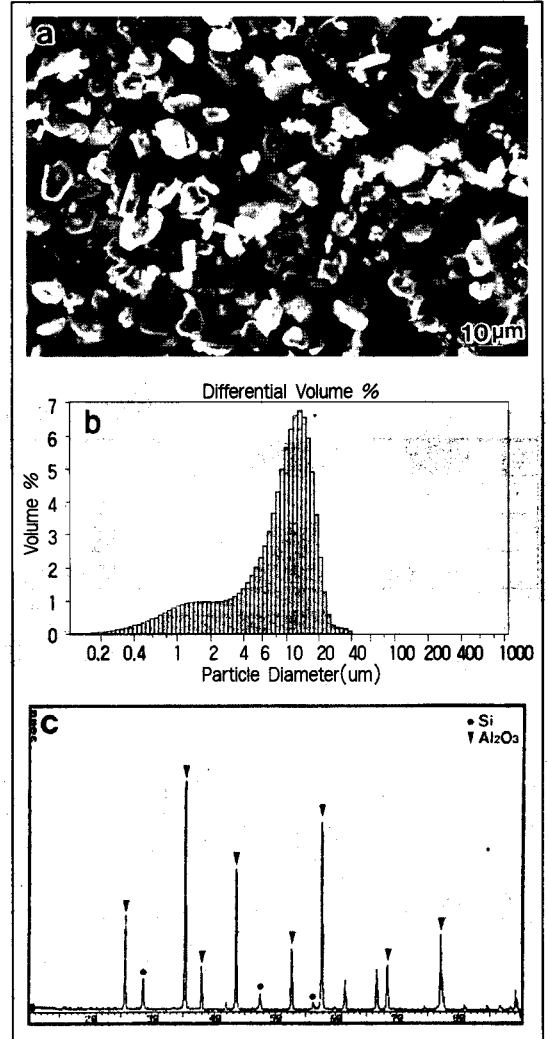


그림 7. Si wafer lapping공정시 발생하는 Al_2O_3 -rich분말의 SEM image(a), 입도분석(b) 및 XRD 결과(c)

학조성을 ICP법에 의해 분석한 결과이다. 또한 기존에 반응소결 Si_3N_4 세라믹 제조를 위해 국내에서 수입되고 있는 대표적인 Si분체 제조업체인 Hermann, C. Starck사와 Permascand사의 Si분체 성분도 비교하였다. 조성 table에서 알 수 있는 바와 같이 pot-loss부에서 채취한 Si 과 석영도가니는 비교적 고순도로 다양한 fine ceramic 원료로 재생 가능하다. Ingot cutting sludge에서는 극소량의 Fe성분이 검출되지만 이런 정도의

표 1. Si반도체 폐기물 및 타사 Si분체의 ICP성분 분석·비교

Maker	Element(wt%)	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca	Er	Mn	Cr	Mo	V	Ti	Ni	C	Na	O
L.G 실트론	quartz	0.001 ↓	0.0004	0.00081	0.001 ↓	0.004	0.002	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓			
	Si ingot	0.001 ↓	0.0010	0.00012	0.001 ↓	0.001 ↓	0.004	0.002	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓	0.001 ↓			
Hermann,C,Starck					0.001	0.004	0.005								0.09		0.58
Permascand					0.07	0.07	0.01								0.10		0.2~1.0
Ingot Cutting Sludge					0.039	0.005	0.011						0.007			0.032	
Lapping Sludge					2.68		0.027						0.042			0.11	
Final Sludge		0.001 ↓	0.001 ↓	0.026	0.45	7.55	0.20	0.001 ↓	0.001 ↓	0.0081	0.001 ↓	0.001 ↓	0.013	0.001 ↓			

표 2. 각 공정에서 배출되는 폐슬러지의 성상 및 응용 용도

구분	공정	Si단결정성장	Si wafer cutting	Si wafer lapping
폐기물 성분		Si+SiO ₂ (pot-loss)	Si분말+유기물	Al ₂ O ₃ (주성분)+Si+유기물
성상		깨상	sludge	sludge
가능한 Recycling 소재		Si ₃ N ₄ 및 SiC Ceramics	Si ₃ N ₄ 및 SiC Ceramics	Al ₂ O ₃ 기저 Si ₃ N ₄ 복합재료

불순물은 fine ceramic원료용으로 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 다만 lapping슬러지의 경우 고급 ceramic원료로 사용하기 위해서는 magnetic 교반기 등을 이용하여 Fe성분을 추출하는 법을 고려해야 할 것이다.

2.2 폐기물 재활용 검토

표 2.에 각 공정에서 배출되는 폐기물을 종합하였다.

우선 Si 단결정 성장시 발생하는 pot-loss 부의 Si은 고순도이기 때문에 미분으로 분쇄하여 반응소결법에 의한 고기능성 Si₃N₄ 또는 SiC부품제조용 원료로 재활용할 수 있다. 또한 반도체 산업의 Si wafer열처리용 치구를 제조하는 용도로도 기대된다. 한편 KIMM에서도 기관고유사업으로 진행되고 있는데 폐Si sludge를 이용하여 저단가의 Si₃N₄계 세라믹스를 개발하고자하는 데 연구목적이 있으며, 이를 위해 폐Si슬러지를 건조 및 정제하여 seiving만하면 그 상태로 반응소결용 세라믹 원료 분말로 이용 가능하다. 특히 슬러지 입자들이 기존의 수입 Si원료 분말에 비해 미세

하기 때문에 성형성에 유리할 것으로 예측된다. 다만 물과 반응에 의해 형성된 실리카 피막만 탈지처리후 환원 공정을 통해 제거한다면 질화율도 개선 할 수 있을 것으로 기대되며 폐자원을 이용한 반응소결용 세라믹원료의 국산화가 가능하게 될 것이다.

특히 Si웨이퍼 제조공정에서 가장 많은 폐기물이 배출되며 비교적 고순도의 Si분말이기때문에 저가의 원료를 이용하여 다양한 고기능성 Si₃N₄ 및 SiC의 세라믹 소재 개발이 기대된다. 한편 Si wafer lapping시 방출되는 폐기물은 Al₂O₃가 주성분이기 때문에 고온 소재보다는 저급의 Al₂O₃계 세라믹 소재 용도로 재활용이 가능할 것이다. 또한 Al₂O₃ 슬러지에 포함된 소량의 Si를 제거하기 위해 산처리 함으로써 연마용 Al₂O₃ 분체로의 재활용도 가능할 것이다. 그러나 여기서 주목해야 할 사항은 현재의 Si웨이퍼 제조 산업에서 발생하는 각 각의 폐기물이 각공정에 따라 분리 처리되는 것이 아니라 Si웨이퍼 산업의 전 공정이 한 라인을 통해 최종 처리지로 이송된다는 점이다. 상기에서 언급한 폐기물이 fine ceramic 용으로 재활용을 위해서는 Si 웨이퍼 제조사의

폐기물 처리 수급방식의 변화가 선행되어야 할 것이다.

3. Si을 이용한 Si_3N_4 반응소결기구

폐Si을 이용하여 반응소결법에 의해 Si_3N_4 세라믹소결체 제조시 질화율을 높여 잔류Si의 양을 줄여야 한다. 물론 소량의 잔류Si은 GPS에 의한 후처리 공정시 질화되지만 폐Si은 특히 SiO_2 피막 (10wt.% 정도)이 많이 존재하기 때문에 질화율도 기존의 외산 Si분말을 이용한 것에 비해 떨어진다. 폐 Si에 Fe를 첨가하는 경우 질화율을 어느 정도 높일 수가 있다.^[1-2]

그림 8.(a), (b)는 각각 Si성형체를 1350°C 에서 10시간 및 20시간 질화한 후 관찰한 TEM image이다. 잔류Si내에 cracks등이 다수 관찰되며 이들 전자선회절도형으로부터 cracks주변에 존재하는 검은 contrast의 미립들이 직접질화에

의해 형성된 $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ 결정립임을 알 수 있다. 질화시간이 길어짐에 따라 잔류Si내부로 질화가 촉진되는 것을 알 수 있으며 잔류Si내부에 미세한 결정립($0.3\mu\text{m}$)이 증가되고 이들 사이에는 미세한 crack들이 관찰되며 잔류Si내에는 dislocation들도 관찰된다.

일반적으로 Si_3N_4 반응소결체는 α 상과 β 상이 공존하는 형태로 존재하며 가능한한 α 상의 분율을 높여 후처리시 α/β 상변의 조직제어를 통한 기계적 특성 향상기술이 잘 알려져 있다. 질화 초기에는 그림 7. 및 그림 9.에 도식적인 그림에서 나타내는 바와같이 폐Si은 SiO_2 의 비정질로 덮여 있게 되는데 우선 $\text{N}_2\text{-}10\% \text{H}_2$ gas 분위기하에서 비정질 SiO_2 가 다음과 같이 반응하게 된다.

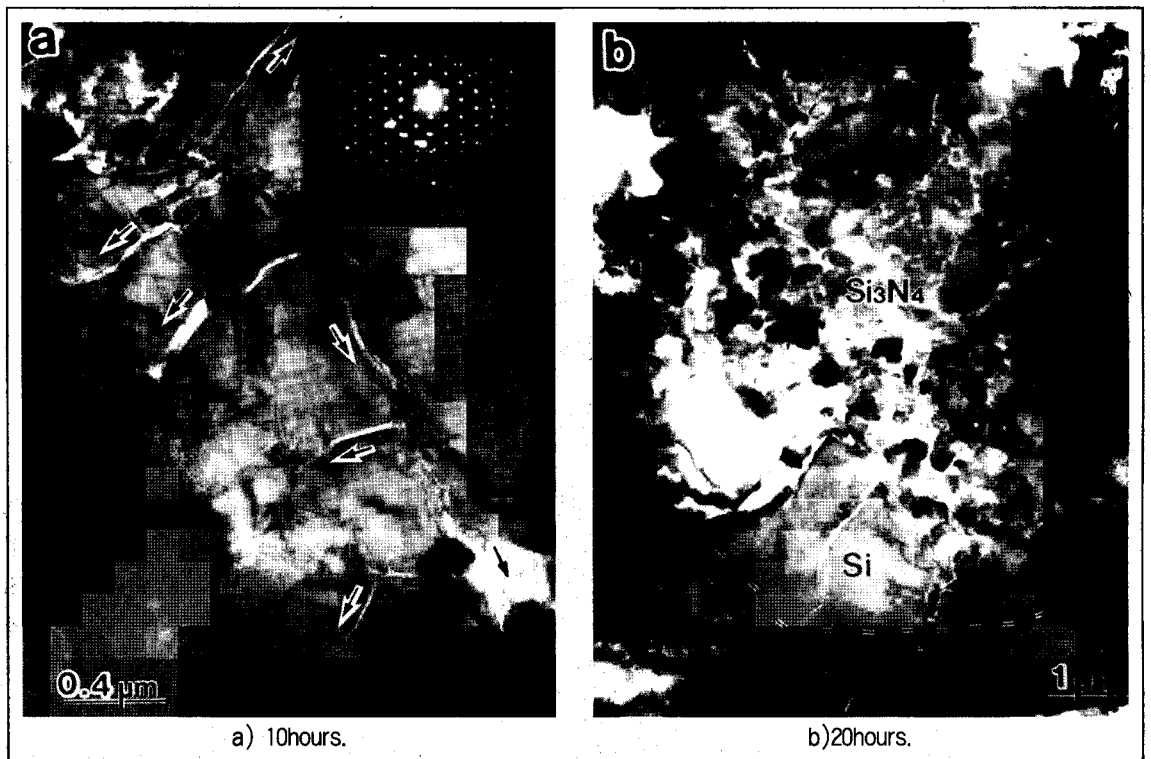
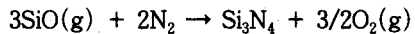
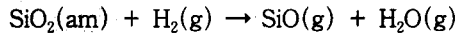


그림 8. 1350°C 에서 질화반응한 Si_3N_4 반응 소결체의 TEM images

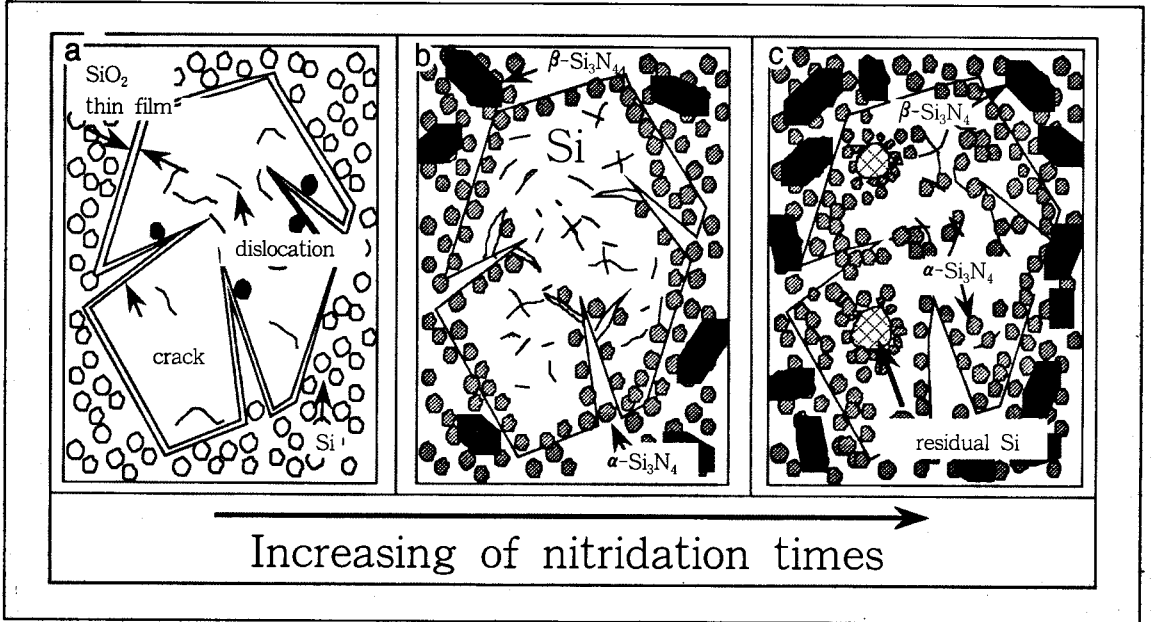
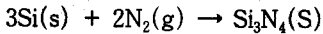


그림 9. Si질화반응 기구를 설명하기 위한 모식도

초기 단계에서는 위 식에서 보여준대로 가스 상의 반응을 통하여 Si_3N_4 가 형성되는데 이상은 $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ 이지만 질화시간이 증가함에 따라 Si 표면에 존재하는 SiO_2 는 줄어들게 되고 Si 상은 질소 gas와 직접 반응하여 아래식에 의해 $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ 결정상이 형성되게 된다.^[3]



Si분말은 불밀링시 또는 다이아몬드 공정시에 응력을 받아 다수의 전위 및 cracks들이 도입될 수 있다. 이들의 존재는 조대한 Si의 질화를 촉진하게 된다. 이 경우 cracks과 dislocation은 Si입자의 질화기구를 설명하는 데 중요한 역할을 하게 된다. 일반적으로 SiO_2 막이 분해된 경우 많은 Si_3N_4 핵이 Si표면 또는 cracks 주변의 Si입자내부에 형성될 것이다. 이들 핵이 submicron size의 $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ 입자로 성장함에 따라 Si과 Si_3N_4 의 격자 상수차에 의해 계면에 잔류응력에 의한 전위가 형성된다. 이들 전위의 집적은 microcracks을 유발할 수도 있으며 전위 자체만의 결합에 의해서

도 Si입내로 질소의 확산을 촉진시킬 수 있다.^[4]

이와 같은 과정의 반복에 의해 Si입내로의 질화가 촉진되며 따라서 단시간에 Si의 질화율을 높이기 위해서는 최적의 질화공정 조건이 도출되고 있다. 반응소결 시간의 단축은 초기 원료분말의 상태에 밀접한 관계가 있으므로 초기 원료 Si분말의 특성제어가 요망된다.

4. 맺음말

반도체 산업의 폐Si슬러지를 재활용하는 기술 개발은 자원이 부족한 우리나라에서 자원낭비와 에너지 절감뿐만 아니라 환경보호 측면에서도 크게 기여할 것으로 생각된다. 특히 이들 유기물 Si슬러지가 폐수 또는 대기에 노출될 경우 환경오염의 원인이 될 수 있기 때문이다. 또한 폐Si슬러지에서 고순도의 저가 폐Si분말을 얻어 재활용한다면 선진국에 비해 낙후된 국내 구조세라믹 특히 비산화물 세라믹의 발전에 큰 원동력이 될 것이며, 부품류의 수입 대체 효과에도 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] B. T. Lee, S. Y. Lee and S. J. Kim, Fabrication of reaction-bonded Si₃N₄ using waste Si sludge, 3th Inter. Conf. on Ecomaterials, p.75, 1997.
- [2] S. Y. Lee and B. T. Lee, Recycling of Si wafer cutting sludge to form Si₃N₄ ceramics" Amer. Cera. Society Meeting, May(1998).
- [3] S. Y. Lee " Fabrication of Si₃N₄/SiC Composite by Reaction-Bonding and Gas-Pressure Sintering" J. Am. Ceram. Soc., 81 (5), p.1262-68, 1998.
- [4] B. T. Lee and H. D. Kim, Mater. Trans. JIM, 37, p.1547, 1996.