

사파이어 웨이퍼 CMP 공정 신뢰성 향상을 위한 혼합 나노실리카 콜로이달 슬러리

정 찬 흥

대구대학교 화학공학과

Mixed Nano Silica Colloidal Slurry for Reliability Improvement of Sapphire Wafer CMP Process

Chan Hong Chung

Department of Chemical Engineering, Daegu University

<Abstract>

A colloidal silica slurry has been manufactured by mixing nano silica powders having different grain size to improve the reliability of Sapphire wafer CMP process. The main reliability problem of CMP process such as the breaking of wafer can be prevented by reducing the size of particles in a slurry. While existing commercial colloidal silica slurries are usually made of single grain size silica powder of about 120nm, in the present study 40nm and 100nm silica powders are mixed to achieve a similar removal rate. The new colloidal silica slurry showed wafer removal rate of $3.04\mu\text{m}/120\text{min}$ while that of a commercial colloidal silica slurry was $3.03\mu\text{m}/120\text{min}$. The roughness was less than 4\AA and scratch was 0. It is also expected that the reduction of the size of nano silica particles can improve the dispersion stability and prolong the useful life of the slurry.

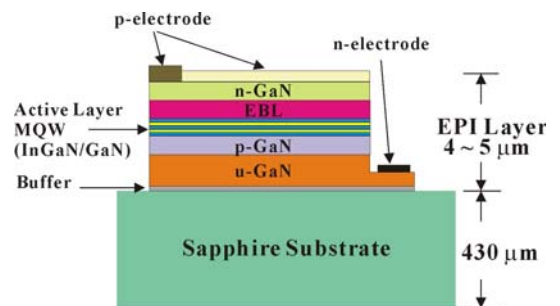
Key Words: Sapphire Wafer(사파이어 웨이퍼), CMP(기계화학적연마), Colloidal Silica(콜로이달 실리카), Slurry(슬러리), Reliability(신뢰성)

1. 서론

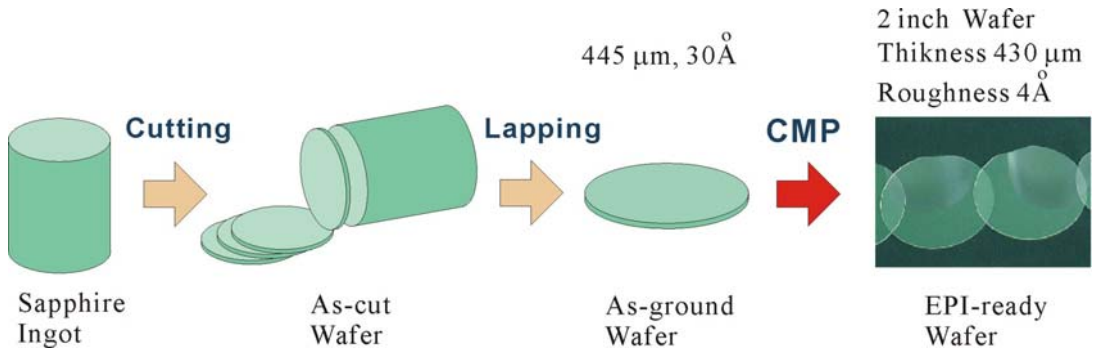
1990년도 초반 사파이어(Sapphire)를 기판(substrate)으로 하는 청색발광다이오드(blue-light emitting diode, blue-LED)가 개발되어 GaAs와 GaP를 이용한 적색 및 녹색 LED와 함께 빛의 3원색 LED가 완성되었다(이상목 (2005)). 이에 따라 총천연색을 구현할 수 있게 되어 고휘도 LED의 활용분야가 신호등, 전광판, 조명등은 물론이고 디스플레이, 자동차, 가전제품 등 산업 전반으로 확대됨에 따라 시장이 급격하게 팽창하여 세계시장 규모가 2010년도 약 100억 달러에서 2020년에는 약 460억 달러에 이르러 연평균 약 18.5% 고속성장을 할 것으로 예상되고 있다.

Blue-LED칩을 만드는데 기초 재료가 되는 사파이어

웨이퍼는 매우 중요한 소재로 LED 시장 규모는 늘어나지만 기초 소재인 사파이어 웨이퍼의 공급은 이에 미치지 못하고 있는 실정으로 고품질 사파이어 웨이퍼의 역할은 LED 사업의 대부분을 차지하고 있다. Blue-LED는 <그림 1>과 같이 두께 약 $430\mu\text{m}$ 사파이어 기판 위에 약 $4\sim 5\mu\text{m}$ 의 박막이 적층되어 있다.



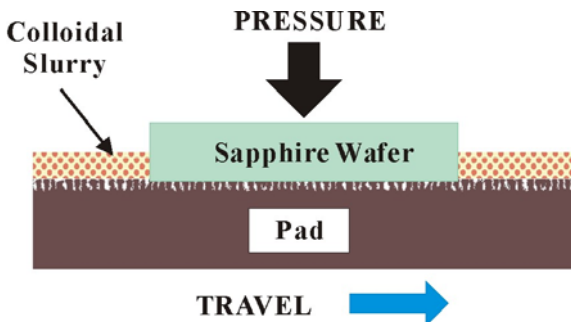
<그림 1> Blue-LED의 구조



<그림 2> 사파이어 웨이퍼 연마 공정

사파이어 웨이퍼 위에 GaN 박막을 성장하기 위하여 원자층 수준의 평탄면을 필요로 한다. 사파이어 웨이퍼는 <그림 2>와 같이 사파이어 잉곳(ingot)으로부터 절삭(cutting)-랩핑(lapping)-기계화학적연마(chemical mechanical polishing, CMP) 공정을 통해 만들어진다. 다이아몬드 분말을 이용한 거친연마공정(lapping)을 거친 웨이퍼(As-ground wafer)는 두께가 약 $445\mu\text{m}$ 이고 표면조도(surface roughness)는 약 30\AA 이다.

As-ground wafer로부터 EPI 공정에 사용될 수 있는 경면(鏡面)을 지닌 웨이퍼를 얻기 위하여 <그림 3>과 같은 CMP 공정이 필요하며, CMP 공정을 거친 웨이퍼는 두께가 약 $430\mu\text{m}$ 이고 표면조도가 약 4\AA 이하이다. CMP 공정은 LED의 휘도에도 영향을 주는 공정으로 사파이어 웨이퍼 표면의 조도가 크거나, 결함(defect)이나 스크래치 등을 완전히 제거하지 못하면 웨이퍼 표면과 GaN 박막사이의 격자불일치로 인해 불량이나 제품 수율(yield)에 큰 영향을 미친다(Itoh and Ohmori (1996), 신귀수 외 (2004)).



<그림 3> 사파이어 웨이퍼 기계화학적연마(CMP) 공정

사파이어 웨이퍼의 CMP 연마공정에 사용되는 연마제는 콜로이드 실리카 슬러리(colloidal silica slurry)이다. 콜로이드 실리카 슬러리는 기계적 연마제인 나노 실리카 입자(SiO_2 입자, $\sim 200\text{nm}$)가 화학연마제인 수성매질에 분산되어 있는 현탁액이다.

CMP 공정의 신뢰성과 관련된 중요한 요소는 단차에 대한 평탄화 능력, 적정수준 이상의 연마율 확보, 이물질 발생 방지 및 제거, 물리적인 웨이퍼 파손의 최소화 등이 있다. 여기에서 웨이퍼의 파손 또는 깨짐 현상은 물리적인 접촉에 의하여 발생하며 빈도가 높은 항목으로, 그 파편이 긁힘(scratch) 및 기타 결점을 발생시킬 수 있으며 추가로 후속 진행 웨이퍼를 오염시킬 수 있다. 이런 이유로 웨이퍼 깨짐 현상은 CMP 공정의 신뢰성을 저해하는 큰 요인이 되고 있다. 슬러리에 포함된 연마입자와 웨이퍼의 물리적인 접촉에 의해서 발생하는 마찰이 과도하게 되면 웨이퍼에 비정상적인 힘이 전달되어 웨이퍼가 깨지게 되며 마찰이 너무 작으면 연마속도가 늦어지게 된다. 따라서 사파이어 웨이퍼 CMP 공정의 신뢰성을 향상시키기 위하여는 적정 수준의 연마력을 유지하며 마찰을 최소화하여 웨이퍼의 깨짐을 방지하는 것이 필요하다(이진규 (2009)).

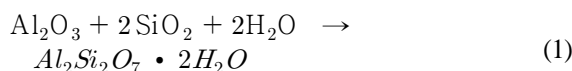
현재 우리나라는 사파이어 웨이퍼 연마용 콜로이드 실리카 슬러리 생산기술을 보유하고 있지 못하고 있는 실정으로 전량을 해외수입에 의존하고 있으나, 가격이 고가이고 수급 또한 힘든 공급자 시장으로, 국내 HB-LED 산업의 원가절감 및 안정적 조업을 위하여 CMP 공정의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 고품질의 콜로이드 실리카 슬러리의 국산화가 시급한 실정이다.

본 연구의 목적은 단일입도(120nm)의 나노실리카입자를 사용하는 수입 슬러리와 달리 40nm와 100nm의 나노실리카입자를 혼합한 슬러리를 개발하는 것이다. 또한 슬러리의 연마력은 유지하면서 입도를 줄이고 고체함량을 낮추어 CMP 공정의 신뢰성을 향상시키고, 분산안정성이 높아져서 유효수명이 증대되며, 슬러리 농도를 줄여서 사용할 수 있어 운반 및 저장비를 절감할 수 있는 고품질의 콜로이달 실리카 슬러리를 개발하고자한다.

2. 콜로이달 실리카 슬러리 개발

사파이어는 경도가 높아, 경도가 낮은 SiO₂ 슬러리만으로는 높은 연마율을 발휘할 수 없다. 즉 기계적 연마로는 한계가 있어 화학적인 연마에 좀 더 중점을 두어야 한다. 모든 CMP 공정은 화학적인 연마와 기계적인 연마가 동시에 이루어지며 그 빈도에 차이가 있을 뿐이다. 일반적인 실리콘웨이퍼는 화학적 연마와 기계적 연마가 비슷하게 일어나며 텅스텐이나 구리웨이퍼의 연마는 화학적인 연마가 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 사파이어웨이퍼의 연마는 기계적인 연마가 주로 이루어져 SiO₂ 슬러리의 입자 크기가 매우 큰 편이고 SiO₂ 함량 또한 높고 연마시간도 매우 긴 실정이다.

CMP 연마 시 각종 첨가제가 함유된 콜로이달 실리카 슬러리의 작용으로 사파이어 표면의 표면전위가 사파이어와 실리콘의 전자교환이 우세한 전하밀도분포를 형성하게 되며, 이러한 환경에서 연마제 SiO₂가 화학결합에 참여하여 사파이어 웨이퍼 사이에는 다음과 같은 화학반응이 일어난다(Gutsche and Moody (1978)).



화학반응으로 생성된 알루미늄 실리사이드 디하이드레이트(Al₂Si₂O₇ · 2H₂O)는 사파이어(Al₂O₃) 보다 경도가 낮아 기계적인 연마작용을 통하여 사파이

어보다 쉽게 제거될 수 있다.

기존 사파이어 웨이퍼 CMP용 슬러리는 입자가 크고 농도가 높아 분산안정성이 매우 낮고 외국에서 수입하고 있는 실정이라 수급이 매우 불안정하다. 그리고 겨울철에는 동결되기 쉬워 미리 재고를 많이 가지고 가야되는 불편함도 있다. 본 연구에서는 이러한 여러 문제점을 가지고 있는 기존의 사파이어웨이퍼 CMP용 슬러리의 입자 크기를 줄이고 화학적 연마 비중을 높임으로서 공정의 신뢰성을 향상시키고자 한다. 화학적 연마 효율을 증대시키고 슬러리의 분산안정성을 높이기 위해서는 첨가제가 필요하다. 본 연구에서는 적절한 첨가제를 선택하고 함량을 최적화하여 연마공정의 신뢰성을 높이고 분산안정성을 향상시켜 유효수명이 연장된 새로운 슬러리를 개발하고자 한다.

2.1 스탠다드 슬러리 테스트

스탠다드 슬러리로는 현재 가장 널리 사용되고 있는 일본 후지미사의 COMPOL80슬러리를 선정하고 연마율, 조도, 안정성 등을 분석하여 개발될 슬러리의 비교대상으로 설정하였다. <표 1>은 기존 일본 후지미사의 사파이어 웨이퍼용 슬러리의 금속성분을 파악하기 위한 ICP 분석자료이다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 기존 일본 후지미사의 사파이어 웨이퍼용 슬러리는 Na₂O를 베이스로 한 슬러리이며, 고체함량이 41%로 매우 높음을 알 수 있고, 사용된 콜로이달실리카의 입자크기는 120nm이다.

<표 1> 후지미사의 COMPOL80 ICP 분석자료

Metal	Concentration(ppm)
Na	2,595
Al	110
K	24
Fe	19.4
Mg	15.2
Ca	9.2

<그림 4>는 스탠다드 슬러리 및 혼합 제조된 슬러리의 시험을 위하여 시험용 연마장비를 사용한 연마

과정이다. <그림 5>와 <그림 6>은 각각 후지미社の COMPOL80 웨이퍼용 연마제 농도 및 연마압력에 따른 연마속도의 변화를 나타낸다.



DSCF3827



CMP 연마

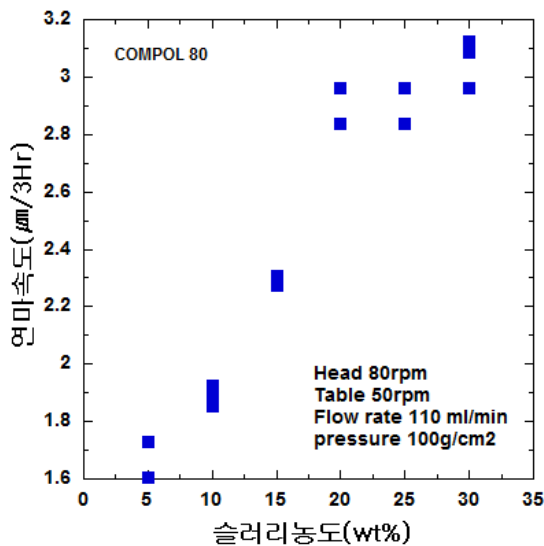


연마조건 setting

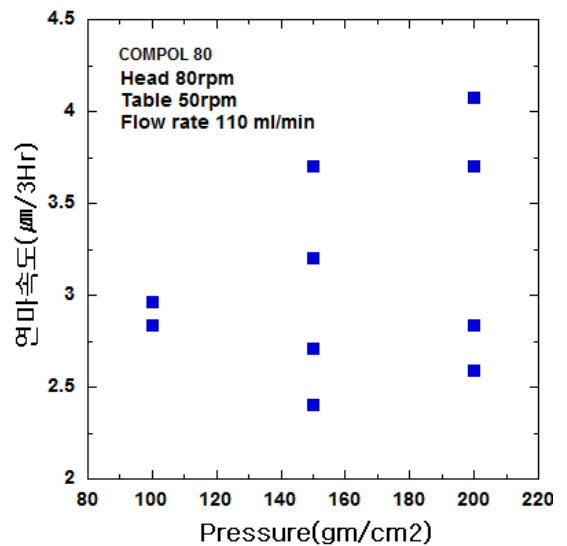


연마 후 세정

<그림 4> 시험용 연마장비 연마 과정



<그림 5> 후지미社の COMPOL80 웨이퍼용 연마제 농도에 따른 연마속도

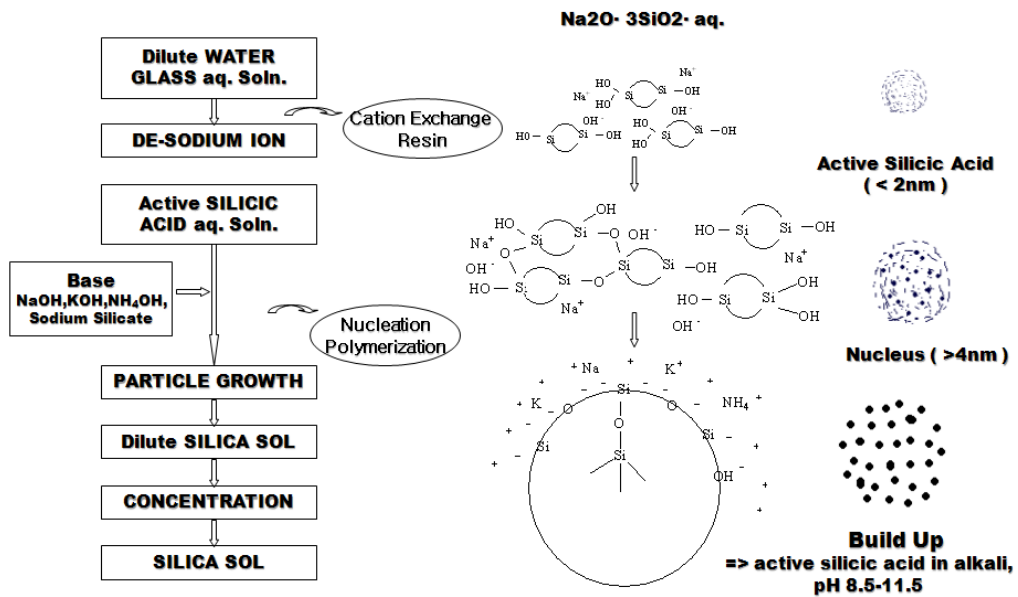


<그림 6> 후지미社の COMPOL80 웨이퍼용 연마제의 연마압력에 따른 연마속도

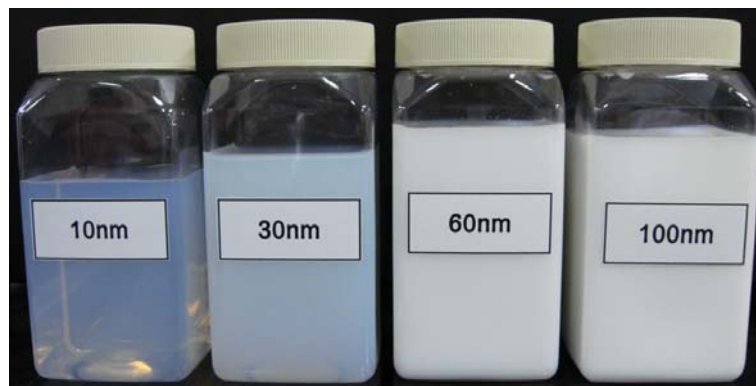
2.2 나노실리카 입자

기계적 연마가 주로 일어나는 사파이어 웨이퍼 CMP 슬러리의 연마율 제고를 위한 콜로이달 실리카의 입자제어는 매우 중요하다. 실리카 입자의 모양은 둥글거나, 땅콩모양, 타원형 등 여러 가지가 있으며 입자의 제조공정 및 모양에 따라 연마율에 많은 차이가

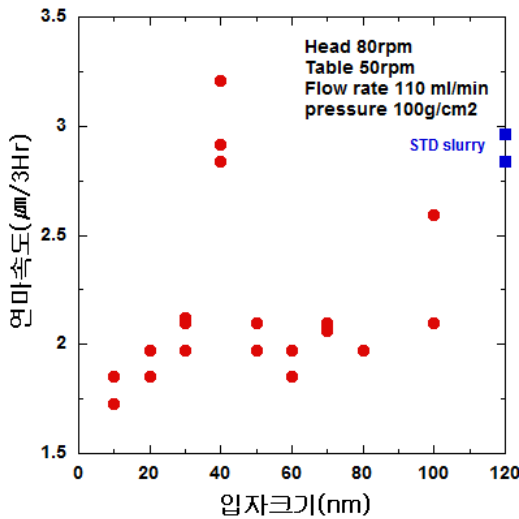
있다. 국내에서 유일하게 콜로이달 실리카(실리카졸) 자동화 제조설비 라인을 구축하고 있는 A社は 10년간의 노하우를 바탕으로 입자의 크기, 모양 등의 조절 및 제어가 가능하다. <그림 7>은 A社の 실리카 입자 제조 공정이며 <그림 8>은 A社에서 제조한 10nm ~ 100nm 사이의 실리카 입자 현탁액이다.



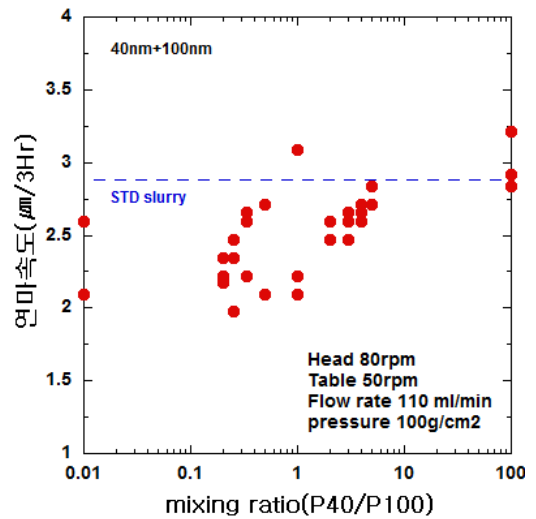
<그림 7> 실리카 입자 제조 공정



<그림 8> 실리카 입자 현탁액



<그림 9> 실리카 입자 크기에 따른 연마율



<그림 10> 40nm와 100nm 실리카 입자 혼합 시 연마율 변화

<그림 9>는 A사에서 제조한 10nm ~ 100nm 사이의 실리카 입자의 크기 변화에 따른 연마율 변화이다. 시험 시 첨가제는 첨가하지 않았으며, 모든 조건은 스탠다드 슬러리 테스트 조건과 동일하게 head speed 80rpm, table speed 50rpm, flow rate 110ml/min이며, 연마압력은 100g/cm²이다. 시험결과 40nm 실리카 입자의 연마력이 가장 우수하여 사각형으로 표시된 스탠다드 슬러리(120nm 실리카 입자 사용)와 비슷한 연마속도를 보였다.

CMP 공정의 신뢰성 확보를 위한 웨이퍼 깨짐을 방지하기 위해서 슬러리 내 연마입자의 크기를 작게 해야 한다는 점이 수학적 해석과 실험을 통하여 확인되었다[4]. 연마력이 가장 우수한 40nm 실리카 입자를 기본 입자로 하여 다양한 크기의 실리카 입자를 혼합하여 연마속도 변화를 조사한 결과 대부분의 경우 연마속도가 스탠다드 슬러리 연마율에 미치지 못하였으나, 100nm 실리카 입자를 혼합 시 높은 연마속도 보였으며 스탠다드 슬러리의 연마속도와 비슷하였다. <그림 10>은 기본 입자인 40nm 실리카 입자와 100nm 실리카 입자 혼합 시 연마속도 변화이다. <그림 10>에서 점선은 스탠다드 슬러리를 사용하였을 때의 연마속도이다. <그림 10>에서 볼 수 있듯이 40nm 실리카 입자와 100nm 실리카 입자를 대략 1:1로 혼합하였을 때 연마속도가 스탠다드 슬러리를 사용하였을 때의 연마

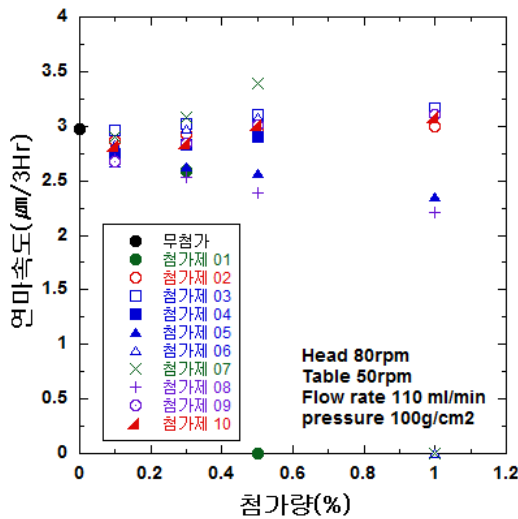
속도와 비슷한 것을 알 수 있다. 따라서 40nm 실리카 입자와 100nm 실리카 입자 혼합하면 기존 제품에서 사용되는 120nm 입자를 사용하는 슬러리에 비하여 입자의 크기가 작아져서 CMP 공정의 신뢰성이 향상될 수 있다.

2.3 슬러리 최적화

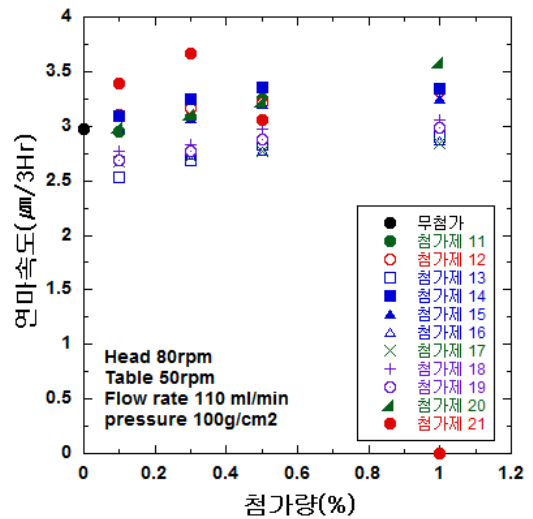
사파이어 웨이퍼용 연마슬러리 개발에서 각종 첨가제를 이용한 품질특성치 향상을 위하여 <표 2>와 같이 21가지의 첨가제의 영향에 대하여 실험하였다. <그림 11>은 첨가제 1 ~ 10의 첨가량 변화에 따른 연마율 변화이고, <그림 12>는 첨가제 11 ~ 21의 첨가량 변화에 따른 연마율 변화이다. 모든 연마 조건은 스탠다드 슬러리 테스트 조건과 동일하게 head speed 80rpm, table speed 50rpm, flow rate 110ml/min이며, 연마압력은 100g/cm²이다. 첨가제의 첨가량은 0.1 ~ 1.0 wt%이다. 그림에서 흑색원은 첨가제를 사용하지 않았을 경우이다. <표 3>은 첨가제 영향 시험 결과 및 안정성 결과이다. 여기서 안정성은 소음과 진동의 발생과 이에 따른 연마장비의 부하를 나타낸다. <표 3>에서 ●는 안정성이 우수, ○는 안정성 보통을 나타내며, X는 불안정하여 연마가 어려운 경우를 나타내며, 이 경우 연마율은 0이다.

<표 2> 사파이어 웨이퍼용 연마슬러리 개발을 위한 구성 성분

No.	Chemical	종류	역할	비고
1	piperazine	Additive	Chemical 연마	0.1 ~ 1 wt%
2	ethylenediamine	Additive	Chemical 연마	0.1 ~ 1 wt%
3	polyvinylalcohol	Polymer	Haze 방지	0.1 ~ 1 wt%
4	sclean-606	Surfactant	분산력 증대	0.1 ~ 1 wt%
5	polyvinylpyrrolidone	Polymer	Haze 방지	0.1 ~ 1 wt%
6	polyethylene glycol	Polymer	Haze 방지	0.1 ~ 1 wt%
7	trimethylamine	Additive	Chemical 연마	0.1 ~ 1 wt%
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	1-methylpiperazine	Additive	Chemical 연마	0.1 ~ 1 wt%



<그림 11> 첨가제 첨가량 변화에 따른 연마율 (첨가제 1~10)



<그림 12> 첨가제 첨가량 변화에 따른 연마율 (첨가제 11~21)

<표 3> 첨가제 영향 시험 결과 및 안정성

	첨가제	첨가량 (%)	연마속도 (μm/3Hr)	안정성
비교예	무첨가	0	2.9771	●
Expt.1	Additive-1	0.1	2.6732	○
Expt.2	Additive-1	0.3	2.5969	○
Expt.3	Additive-1	0.5	0.0000	X
Expt.4	Additive-2	0.1	2.8619	●
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Expt.81	Additive-21	0.1	3.3963	●
Expt.82	Additive-21	0.3	3.6656	●
Expt.83	Additive-21	0.5	3.0578	○
Expt.84	Additive-21	1.0	0.0000	X

3. CMP 슬러리 제조 및 테스트

인자 실험의 결과로 도출된 최적의 조건에 따라 3가지의 최종 시제품 ACESOL SP1, SP2, SP3을 제작하였다. 시제품 ACESOL SP1, SP2, SP3는 Na₂O 베이스 수용액(수백 ~ 수천 ppm)에 40nm와 100nm의 실리카 입자가 특정비율로 혼합된 수용액에 첨가제가 가미된 현탁액이다. 제작된 시제품인 ACESOL SP1에 대한 경면(鏡面) 연마 테스트는 수요기업인 Rubicon社에 의하여 수행되었다.

<표 4>는 Rubicon社에서 사파이어 웨이퍼 CMP에 사용되고 있는 Kemet XJ36을 이용하여 2인치 사파이어 웨이퍼 연마시험 시 장비조건이다. 유량과 연마압력은 각각 15l/min과 300g/cm²으로 실제 상용 사파이어 웨이퍼 CMP 장비조건이 부하되었다. 비교를 위한 스탠다드 슬러리는 Rubicon社에서 현재 사용 중인 RST ULTRASOL-17 슬러리이다.

테스트 결과 연마속도는 RST ULTRASOL-17과 ACESOL SP1이 각각 3.03μm/120min과 3.04μm/120min으로 두 슬러리가 대등한 결과를 보였으며, 두 제품 모두 스크래치는 0이고 roughness는 4Å보다 작았다.

<표 5>는 시제품 ACESOL SP1, SP2, SP3 슬러리의 SPEC을 스탠다드 슬러리인 후지미社 COMPOL80 및

수요기업인 Rubicon社에서 현재 사용 중인 RST ULTRA SOL 17과 비교한 것이다. <표 5>에서 볼 수 있듯이 고체입자 농도는 기존 슬러리의 36% ~ 41%에서 30%로 6% ~ 11% 감소하였으며, 후지미社 COMPOL80 슬러리의 입자 사이즈는 120nm인 반면 시제품에서는 40nm와 100nm의 혼합물이 사용되어, 120nm 입자를 사용하는 기존의 슬러리에 비하여 입자의 크기가 작아져서 CMP 공정의 신뢰성이 향상될 수 있다. 또한 기존대비 농도를 낮추고 입자 Size 줄여 분산안정성 및 유효기간이 증대될 것으로 예상된다.

<표 4> Rubicon社 테스트 조건

Machine	Kemet XJ36
Lapping Plate	SU130 (without groove)
Work holding	Template
Total loading	15pcs
Depth of Groove	N.A
Groove's angle	N.A
Groove's Distance	N.A
RPM	N.A
Pressure	300g/cm ²
Slurry Flow rate	15l/min
Polishing time taken	120mins

<표 5> 시제품과 기존 일본 CMP 연마제의 SPEC 비교

	Unit	ACESOL SP1	ACESOL SP2	ACESOL SP3	COMPOL 80	RST ULTRA SOL 17
Solid content	%	30	30	30	41	36
S.G (at 20℃)	-	1.202	1.202	1.202	1.289	1.250
실리카 입도	nm	30~110	30~110	30~110	120	-
Viscosity (at 25℃)	cps	<5	<5	<5	<5	<5
pH	-	9.6	9.9	9.8	10.2	8.9
Base	-	Na ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O
첨가제	-	有	有	有	N/A	N/A
혼합비	-	40:100nm 1:3 Mix	40:100nm 1:1 Mix	40:100nm 3:2 Mix	-	-
제조사	-	A社	A社	A社	일본	일본

4. 결론

본 연구에서는 CMP 공정의 신뢰성 확보에 중요한 인자인 웨이퍼 깨짐을 방지하기 위해서 기존 슬러리에 비하여 연마입자의 크기를 줄인 사파이어 웨이퍼 연마용 슬러리 제조기술을 개발하였다. 국내에서 유일하게 사파이어 웨이퍼 연마용 콜로이달 실리카의 핵심 소재인 나노실리카입자 제조기술을 보유하고 있으며 반도체 연마용 콜로이달 실리카 슬러리를 생산·판매하고 있는 A社와 공동연구를 수행하였다.

웨이퍼 깨짐을 방지할 수 있도록 40nm 실리카 입자와 100nm 실리카 입자를 혼합한 슬러리를 개발함으로써 기존 제품에서 사용되는 120nm 입자를 사용하는 슬러리에 비하여 입자의 크기가 작아져서 CMP 공정의 신뢰성이 향상될 수 있게 되었으며, 분산안정성 및 유효기간도 증대되었다.

개발된 사파이어웨이퍼 CMP용 슬러리 시제품은 수요기업인 Rubicon社와 일본 최대의 사파이어웨이퍼 가공장비 제조업체인 BBS KINMEI사의 테스트에서 기존 일본제품과 동등한 연마 성능을 갖고 있는 것으로 나타났으며, 연마율을 추가로 향상시킨 ACESOL SP3는 테스트 준비 중에 있다.

연구의 결과로 연마효율이 우수한 고효율 슬러리를 저가에 생산할 수 있는 기술을 바탕으로 초고속 성장을 할 것으로 예상되는 세계 사파이어 웨이퍼 연마용

콜로이달 실리카 슬러리 시장에 진출 할 수 있을 것으로 예상된다.

개발된 사파이어 웨이퍼 연마용 슬러리 제조기술은 사용량이 빠른 속도로 늘어나고 있는 사파이어 웨이퍼 backside 연마용 슬러리 및 사파이어 윈도우 연마용 슬러리 등 다양한 사파이어 가공분야의 슬러리 국산화에도 바로 적용될 수 있다.

참고문헌

- [1] 이상문 (2005), 적색, 녹색, 청색 LED를 이용한 Full-color 픽셀용 구동회로에 관한 연구, 석사학위논문, 충남대학교.
- [2] Itoh, N. and Ohmori, H. (1996), Finishing Characteristics of ELID-lap Grinding Using Ultra Fine Grain Lapping Wheel, Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 305-310.
- [3] 신귀수, 황성원, 김근주, 서남섭 (2004), "사파이어 웨이퍼의 기계-화학적 연마 가공특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A, 제28권 제 1호, pp. 85-91.
- [4] 이진규 (2009), 슬러리 내 연마입자의 최적화를 통한 산화막 CMP 공정의 신뢰성 향상, 석사학위논문, 충북대학교.
- [5] Gutsche, H. W. and Moody, J. W. (1978), "Polishing of Sapphire with Colloidal Silica," J. Electrochem. Soc., Vol. 125, No. 1, pp. 136-138.