

실리콘의 경면 연마

1. 머리말

1960년대에 접어들면서 급속히 발전해온 반도체 산업은 1990년대에 10년 동안 약 5배의 시장 규모 확대가 예상되고 21세기에 서도 산업의 중심으로 발전할 것이라는 데에 의심의 여지가 없다. 반도체 산업에서 항상 일관된 기술 과제는 [집적도 향상] 과 [수율]일 것이다. [집적도] 레벨은 [디자인 룰 (Design rule)]이라고 불리는 최소 패턴 치수로 표현되고 실리콘 디바이스로서 가장 생산량이 많은 DRAM의 집적도에 대응시켜 표시되는 경우가 많다. 표 1¹⁾에서 알 수 있듯이 지금까지는 거의 3년마다 집적도가 4배로 향상되는 모습을 보여 왔다. 한편, [수율]은 1장의 웨이퍼에서 직사각형 IC 칩을 몇 개 얻을 수 있는지로 판단한다. 집적도가 향상됨에 따라 칩 사이즈도 커지는 경향이 있고, 웨이퍼

구경을 크게 하는 편이 웨이퍼 주변부의 손실도 줄일 수 있어 수율이 향상된다. 30년 전에 1인치 (직경 25mm)부터 시작된 실리콘 웨이퍼는 현재 200mm, 64MDRAM이 주류를 이루며, 2000년 전후에는 300mm, 1GDRAM, 2007년에는 400mm, 16GDRAM으로 대구경화, 고집적화가 진행될 것으로 예측된다.

2. 실리콘 웨이퍼 가공의 특징과 실제 가공 프로세스

최근 고집적 디바이스의 대부분은 스테퍼라고 불리는 광 노광 장치를 이용해 제조되며, 해상도를 보증하기 위해 칩 영역 1개당 디자인 룰과 거의 같은 값의 평탄도 (LTV)가 요구된다. 즉 대구경 웨이퍼에는 한층 평탄도가 높은 가공이 필수적이며 더구나 가공 변질층이 잔류하지 않는 초평활 경면 연마 가공을 실시해야 함은 물론이다.

Si는 다이아몬드와 같은 결정 구조를 가진 공유 결합성 결정이고, 단단하고 깨지기 쉽다는 기계적 특성을 가지기 때문에 그림 1²⁾와 같은 지립 가공을 중심으로 하는 가공 프로세스가 일반적으로 채용된다. 즉 절단 (슬라이싱) 가공, 래핑 가공에서는 지립 압입에 기인하는 크랙 생성·전파 작용을 효과적으로 이용하고 능률로 소정의 웨이퍼 두께를 확보하고 알칼리 에칭 (평탄도 유지 용이, 먼 거칠기 큼) 혹은 산 에칭 (평탄도 유지 어려움, 먼 거칠기 작음)으로 래핑 변형을 제거한 후 2단계 또는 3단계 연마 가공을 통해 최종적으로 요구되는 평탄도 및 평활도를 달성한다. 각각의 가공 공정별 가공 정밀도가 연마 후의 최종 평탄도에 영향을 미치지만 가공 정밀도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 역시 연마 공정이다.

표 1. VLSI 디바이스의 경향 (1970년~2010년)

연도	최소 패턴 치수 (μm)	DRAM 집적도 (bits/chip)	웨이퍼 직경 (mm(inch))
1970	10.0	1k ($k=10^3$)	50 (2)
1974	7.0	4k	75 (3)
1977	5.0	16k	75 (3)
1980	3.0	64k	100 (4)
1983	2.0	256k	125 (5)
1986	1.0	1M ($M=10^6$)	150 (6)
1989	0.7	4M	150 (6)
1992	0.5	16M	200 (8)
1995	0.35	64M	200 (8)
1998	0.25	256M	200 (8)
2001	0.18	1G ($G=10^9$)	300 (12)
2004	0.13	4G	300 (12)
2007	0.10	16G	400 (16)
2010	0.07	64G	400 (16)

(k: 킬로, M: 메가, G: 기가)

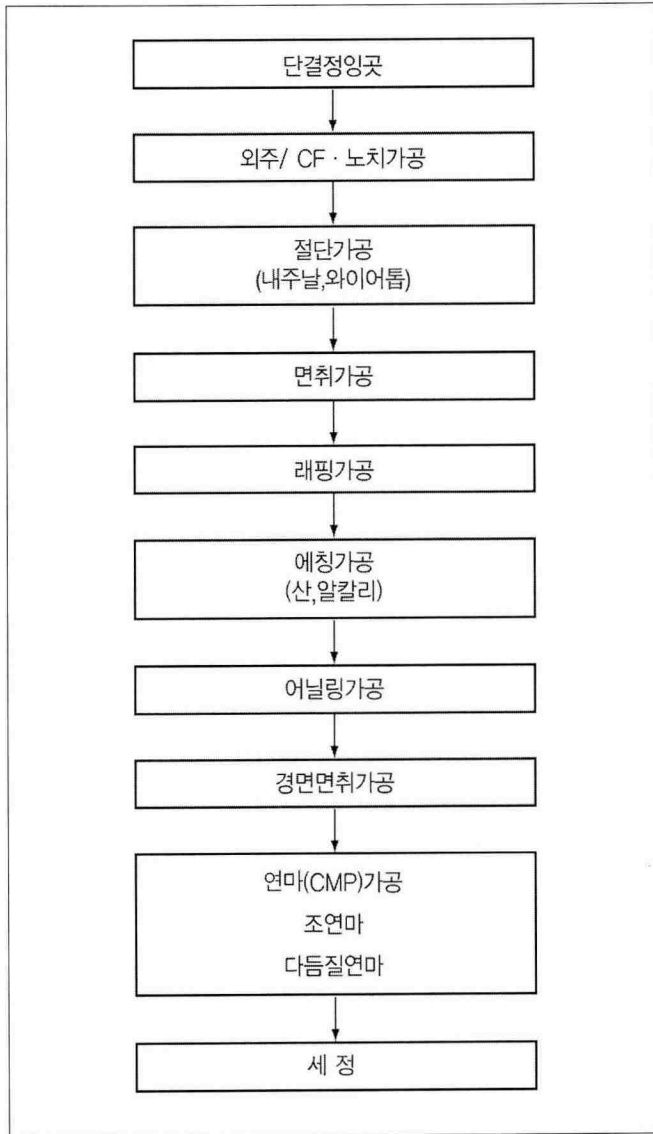


그림 1. 실리콘 웨이퍼의 가공 공정

3. 실리콘 웨이퍼 경면 연마 기술의 현황

현재 200mm까지의 실리콘 웨이퍼는 알루미늄계 #1200 지립을 이용한 양면 래핑 후, 에칭으로 20~30 μ m 표면층을 제거하고 그 후 면 연마를 통한 경면 가공을 거쳐 제조된다. 편면 연마로는 에칭이 끝난 웨이퍼 몇 장을 직경 약 600~700mm의 석영 유리 제 혹은 알루미늄제의 원반상 플레이트에 왁스로 붙이고, 이 플레이트 4장 정도를 직경 1200mm의 연마 정반에 밀어넣어 20장 정도를 한번에 연마한다, 즉 배치(batch)식 연마 방식이 채용된다. 정반 회전수 60rpm, 연마 압력 200gf/cm² 정도의 조건 하에서 가공되는 것이 일반적이다.

연마제로는 콜로이드 실리카 혹은 실리카 파우더 (입경 :

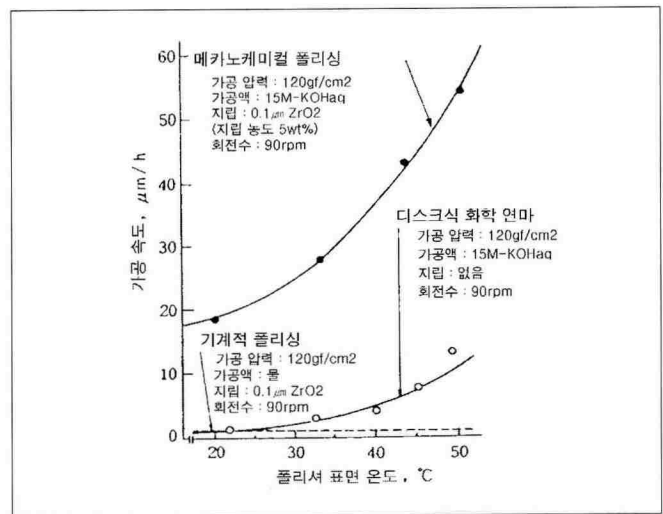


그림 2. 폴리셔 표면 온도와 가공 속도의 관계 (시료 : Si 단결정)

10~100nm 정도)와 KOH 수용액의 혼합액과 같은 알칼리성 용액 (모두 pH 10~11)이 주로 이용된다. 이것은 미세 실리카 입자의 기계적 미세 절삭 작용과 KOH 수용액의 화학적 에칭 작용을 복합해 가공 능률의 향상과 가공 변질층의 제거를 양립시킨, 이른바 CMP(Chemical and Mechanical Polishing)의 대표적인 기법이다. 그림 2는 CMP의 복합 효과를 나타낸 일례로³⁾, 지립의 기계적 작용만 혹은 알칼리성 액의 화학적 작용만으로는 가공 능률이 저하되는 것에 반해 양쪽을 병용하면 훨씬 능률이 올라간다는 것을 알 수 있다.

연마포로는 필요한 형상 정밀도를 고능률로 확보하기 위한 1차 연마용으로 발포 타입의 우레탄 패드 혹은 고분자 섬유를 수지 본드로 굳힌 부직포 패드가 많이 이용된다. 1차 연마에서 발생한 미세한 스크래치나 가공 변질층을 제거하고 표면 거칠기도 최소화하기 위한 2차 연마에는 표층에 납(nap)층이라 불리는 발포층을 가진 부드러운 스웨이드 클로스 패드가 자주 이용된다. 2차 연마에 이용되는 연마제는 1차 연마와 거의 비슷하지만 형상 정밀도의 열화를 피하기 위해 연마량은 몇 μ m 이하로 억제한다. 또한 2차 연마에서 부착된 입자나 오염의 제거를 목적으로 연마포는 2차 연마와 같이 스웨이드 클로스 패드를 사용하지만 지립 농도를 낮춰 세정 효과를 향상시킨 연마제를 이용하여 최종 연마를 하는 경우도 있다.

4. 연마 가공에서 형상 정밀도에 영향을 주는 인자

실리콘 웨이퍼 가공에 있어 평탄도 향상은 항상 제일 중요한 과제이다. 슬라이싱부터 에칭까지 전공정에서 가공 정밀도가 평탄도에 미묘하게 영향을 주는 것은 물론이지만 연마 공정에도 몇

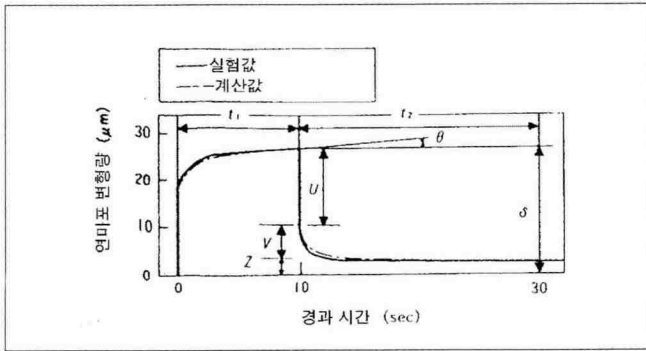


그림 3. 연마포의 변형 특성 측정 예

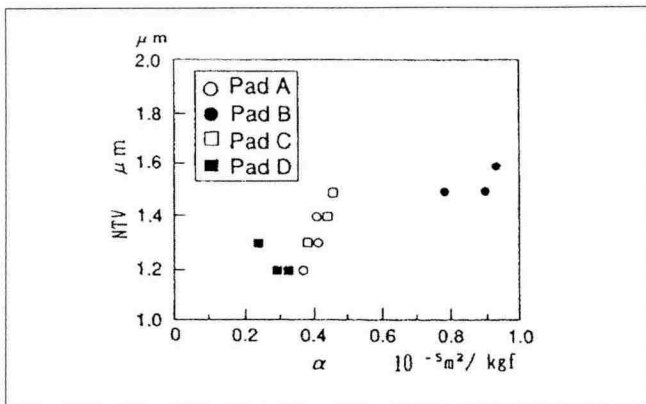


그림 4. 평탄도 (NTV)와 α의 관계

가지 평탄도 저해 요인이 있다. 연마 장치에 관련된 주요 요인으로는 연마 정반의 정형 정밀도 (평탄성), 연마제 온도의 변화나 마찰열에 동반되는 연마 정반의 열 변형, 연마 압력 분포의 불균일성, 연마 플레이트에 대한 웨이퍼 부착 정밀도 등이 있다. 저열팽창 재료의 채용이나 냉각·압력 부가 기구 등의 기계 구조적 요인의 고도화로 평탄도 개선이 가능해진다.

한편, 연마포에 관련된 요인으로는 연마포의 점탄성 특성이나 그 조직·구조의 균질성이 중요하고, 평탄도에 직접적인 영향을 미친다. 부하가 작용했을 때 연마포는 일반적으로 그림 3처럼 점탄성적 변형 특성을 나타낸다.⁴⁾ 웨이퍼의 평탄도에 가장 큰 영향을 주는 것은 1차 연마 공정이지만 이 때 평탄도에 대해 지배적인 요인이 되는 것은 부하를 제거했을 때 연마포의 순간 탄성 변형량 U 임을 많은 실험에서 알 수 있다. 이것은 연마포의 탄성 계수 E_1 의 역수에 대응하는 값이며, 예를 들면 150mm 웨이퍼의 평탄도 NTV (Nonlinear Thickness Variation : 가상 평면에서 요철의 최대값과 최소 값의 합)와 E_1 사이에 그림 4와 같은 관계가 나타난다.⁴⁾ 가로축의 지표 α 는 연마포 전면의 E_1 편차의 크기 (E_{1max}/E_{1min})을 E_1 의 평균값으로 나눈 값 (E_{1ave})이다. 이 그림에서 탄성 계수가 크고 (즉 단단하고) 면 안의 편차가 적은 연마포일

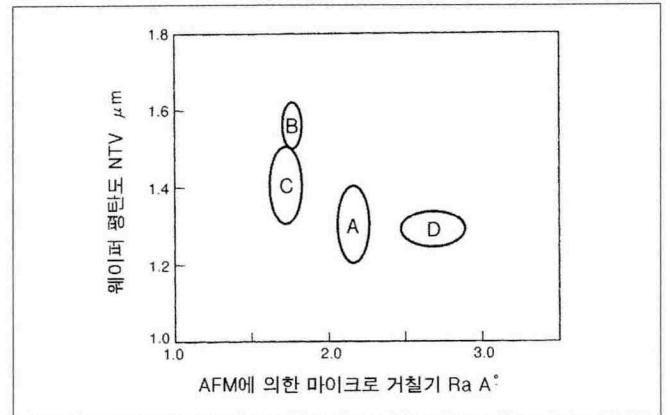


그림 5. 실리콘 웨이퍼의 평탄도와 마이크로 거칠기의 관계

수록 높은 평탄도를 나타내는 경향이 강하다는 것을 알 수 있다.

평탄도와 함께 마이크로 거칠기의 향상도 웨이퍼 연마에 필수적이지만, 그림 4와 같이 4종류의 연마포에 대해 측정한 평탄도와 마이크로 거칠기 (AFM 측정)의 관계는 그림 5와 같이 높은 평탄도를 나타내는 연마포의 마이크로 거칠기는 거칠고, 마이크로 거칠기가 작은 연마포에서는 반대로 평탄도가 떨어지는 미묘한 관계를 보인다.⁵⁾ 이것은 경질이고 치밀한 구조의 연마포를 개발할 필요성이 있음을 의미한다.

이 외에도 웨이퍼 제조 현장에서는 “리플”이나 “헤이즈”라 불리는 미세한 형상 이상이 문제가 된다. 전자는 연마포에 기인하는 것으로 추정되는 수~수백 μ m의 파장 영역의 마이크로 거칠기이고, 후자는 연마제의 입자 크기에 기인하는 수~수백nm의 파장 영역의 마이크로 거칠기로 생각된다.²⁾ 따라서 연마포, 연마제, 가공 조건의 모든 면에서도 최적화가 요구된다고 할 수 있다.

5. 앞으로 기대되는 새로운 연마 기술

이미 양산화가 시작된 300mm 실리콘 웨이퍼는 지금까지 해 왔던 편면 연마 (뒷면 : 랩 에치 우둘투둘한 면) 대신 양면 연마가 적용되고 있다. 양면 연마는 웨이퍼의 양면을 정반에 끼워넣어 연마하기 때문에 양면 모두 같은 조건으로 연마되어, 왁스의 접촉 얼룩의 영향도 당연히 생기지 않는 등 이점이 있기 때문에 그림 6에 나타난 편면 연마와의 비교에서도 분명한 것처럼 평탄도 향상이 쉽다는 것이 큰 매력이다.⁶⁾ 그러나 현재와 같은 일괄처리 방식을 답습하는 한 웨이퍼의 대구경화에 따른 연마 장치의 대형화는 피할 수 없고 장치 취급이나 정밀도 유지가 힘들어질 것으로 예상돼, 10년 후에 등장할 것으로 예상되는 400mm 이상

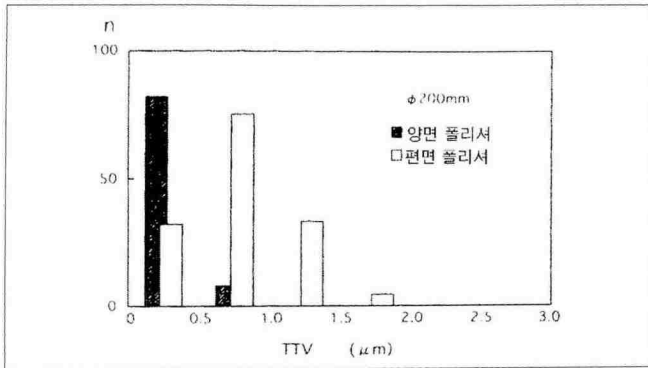


그림 6. 양면 폴리셔와 편면 폴리셔의 평탄도 비교

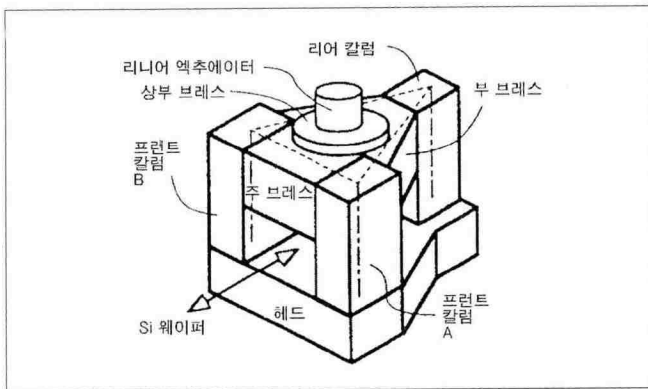


그림 7. 3개의 칼럼으로 구성된 삼각 프리즘·오면체 구조 연삭 장치의 개념도

의 초대구경 웨이퍼에는 오히려 날장식 연마가 유리할 것으로 판단된다.

날장식 연마로 형상 정밀도를 확보하려면 전공정에서 고정밀 화학 반드시 이루어져야 할 것이며, 이를 위해서는 래핑 대신 초정밀 연삭 가공 기술의 도입이 필수적이다. 그림 7은 400mm 초대구경 웨이퍼 제조 기술 개발을 목적으로 설립된 슈퍼 실리콘 연구소 (SSi)에서 개발 중인 400mm 웨이퍼 연삭용 초고강성 연삭 장치의 개념도⁷⁾로, 평탄도 0.1μm 레벨의 연성 모드 연삭 기술의 실용화를 목표로 하고 있다. 크랙이 생기지 않는 연성 모드 연삭으로 경면에 가까운 평활면을 얻을 수 있다면 연마 비용도 당연히 적게 들 것이고 연마 시간 단축과도 연결될 것이다.

연마 공정에 대해서도 고정 지립 연마의 가능성이 보인다. 예를 들면, 연질 지립을 이용한 메카노케미컬 폴리싱을 이용하면 화학 작용액을 사용하지 않아도 무요란 경면 연마가 가능하고⁸⁾, 실리콘에 대해서는 BaCO₃ 파우더가 유효하다는 사실이 알려져 있지만, 이 BaCO₃ 파우더를 페놀 레진 등과 같은 적당한 본드로 고정시킨 연마 지석을 이용해 경면 연마가 실현된다. 예를 들면, 그림 8(a)는 #800 다이아몬드 컵 지석으로 웨이퍼의 정 절입 연삭을 한 뒤, 동일한 장치에 다이아몬드 지석 대신 BaCO₃ 지석을 장착해 건식 정압 연마를 실시했을 때의 웨이퍼 에지 형상을 측

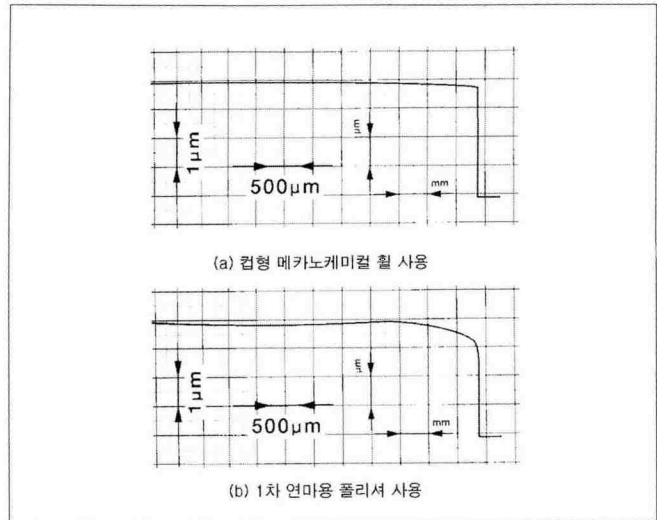


그림 8. BaCO₃ 지석 (a) 및 유리 지립 (b)을 이용한 Si 웨이퍼 폴리싱 면의 에지부 형상 비교

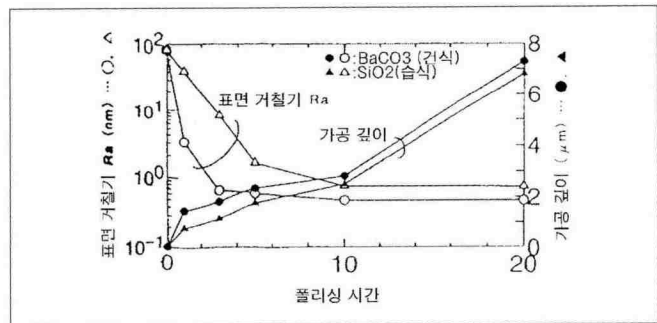


그림 9. BaCO₃ 지립을 이용한 건식 연마와 실리카 슬러리 (습식) 연마의 가공 특성 비교

려 건식일 때가 가공 능률이 높고, 표면 거칠기의 개선 효과도 뛰어난 특징을 갖고 있다.⁹⁾ 가공 프로세스에서도 환경 보호 대책이 앞으로 중요한 문제가 되는 것은 불가피하며, 그런 의미에서 대량의 화학 연마제를 배출하는 현행 프로세스를 대신해 “환경 친화적”인 고정 지립 연마의 실용화는 대단히 기대되는 부분이다.

6. 맺음말

대구경화·고집적화에 따른 평탄도 및 마이크로 거칠기의 향상, 파티클이나 금속 오염의 최소화 등 웨이퍼 표면의 고품위화를 어떻게 저 비용으로 달성하는가가 향후 실리콘 웨이퍼 가공 기술에서 큰 과제가 될 것이다. 동시에 [지구 환경을 고려한 생산 시스템 구축]이 21세기의 가장 중요한 과제로 부각될 것이 틀림없다. 그런 의미에서 모든 가공 공정에 있어 유리 지립 방식에서

고정 지립 방식으로 전환하고 후처리에서 문제가 되는 유해 화학액 및 오일을 중성액으로 전환하는 것은 물론 건식 프로세스로 옮겨갈 가능성에 대해 진지한 검토가 필요한 시기가 다가오고 있다.

[참고문헌]

- 1) 前田和夫 : 일간 공업 신문, 1997년 12월 2일자
- 2) 村 壽 · 工藤秀雄 : CMP 사이언스, 사이언스 포럼, (1997) 201.
- 3) 土肥俊郎 : 광학 기술 콘택트, 31, [10] (1993) 605.
- 4) 左光大和 : CMP 사이언스, 사이언스 포럼, (1997) 107.
- 5) N. Yasunaga : Intern. J. Japan Soc. Precision Engg., 28, [3] (1994) 191.
- 6) 甲斐文隆 : CMP 사이언스, 사이언스 포럼, (1997) 216.
- 7) K. Abe et al. : Proc. ASPE Spring Topical Meeting, (1998) 113.
- 8) 安永暢男 : CMP 사이언스, 사이언스 포럼, (1997) 54.
- 9) 安永暢男 : CMP 사이언스, 사이언스 포럼, (1997) 359.

한국광학기기협회 회원 가입안내

한국광학기기협회는 산업발전법에 의하여 설립된 산업자원부 산하단체로서 우리나라 광학산업 발전을 위한 공익사업 및 회원사 지원업무를 수행하고 있습니다. 21세기 첨단기술산업으로 각광을 받고 있는 국내 광학산업의 공동발전을 위해 회원가입을 안내하오니 희망업체에서는 신청해 주시기 바랍니다.

1. 회원구성 : 정회원 및 특별회원

2. 회원 서비스 및 특전

- 국내외 광산업 관련 정보 및 자료제공
- 동종업계 공동사업 참여 및 교류
- 정책지원 대상업체 추천, 확인 및 수혜 안내
- 기술개발지원 자금안내 및 사업참여
- 협회발간 '광학세계' 에 업체 및 생산제품 홍보

3. 가입금 및 기본회비 : 업체규모에 따라 차등

4. 가입신청 및 문의

- 전화 : (02)3481-8931
- 홈페이지 : www.koia.or.kr