

SECTION. 05



Wafers

Silicon Wafer 의 제조방법 및 특성

1. Silicon wafer 개요

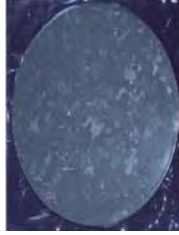
- 정의 - 다결정 응용 실리콘에서 특정 방향으로 성장시킨 결정실리콘 박판으로서 반도체 소자의 핵심원재료를 구성함. 실리콘은 다결정과 다결정 웨이퍼로 나뉜다.
- 용도 - 반도체 소자 제조용이나 태양전지 재료로서 광범위하게 사용
- 장점 - 원재료인 실리콘은 모래, 암석, 광물 등의 형태로 존재하며 이들은 지각의 13정도를 구성하고 있어 지구상에 서 매우 풍부하게 존재하고 있으며 따라서 반도체 산업에 매우 안정적인 재료이다.
 - 독성이 전혀 없어 환경적으로도 매우 우수한 재료이다.
 - 비교적 고온(약200도)에서도 소자가 동작 할 수 있다

단 결 정 : 실리콘의 원자배열이 규칙적이며 배열방향이 일정하여 전자기동에 걸림이 없어 변환효율이 높다.

제조방법 : 폴리 실리콘을 석영도기나에 넣고 불순물(붕소, 인)을 함께 넣어 고온으로 용융시켜 원주모양의 단결정을 실리콘 잉곳을 만든 후 이것을 얇게 절단한 것이 단결정 실리콘 웨이퍼

다 결 정 : 단결정에 비해 공정이 간단하고 단결정질보다 가격도 저렴하여 널리 사용되고 있다. 그러나 변환효율은 단결정질보다 낮은 것이 단점.

제조방법 : 폴리실리콘을 석영도기나에 넣고 높은 온도로 가열하여 녹인다음 정제한 후 일정한 틀에 부어 응고시키는 방법으로 잉곳을 만들 이련방법은 단결정제조 방법보다 간단하여 원가를 낮출수 있고 대량생산가능

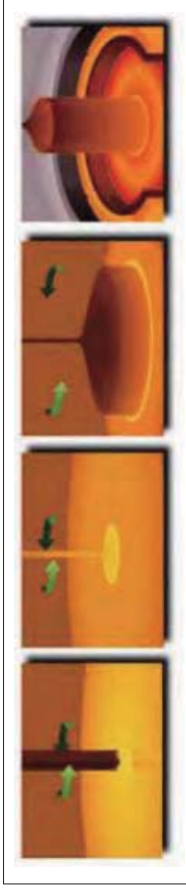


2. 제조공정



3. 단결정 성장(Crystal Growing)

단결정 성장은 실리콘 웨이퍼 제조를 위한 첫번째 공정이다. 고순도의 일정한 모양이 없는 폴리 실리콘이 고도로 자동화된 단결정 성장로 속에서 단결정봉으로 변형된다. 고진공 상태에서 섭씨 1400도 이상의 고온에 녹은 폴리 실리콘은 정밀하게 조절되는 조건하에서 큰 직경을 가진 단결정봉으로 성장한다. 이와 같은 성장과정이 끝나면, 단결정봉은 실내용도로 식혀지고 각각의 단결정봉이 여러 조건에 부합되는지를 평가하게 되고, 단결정봉은 부분별로 가공되어 정확한 직경을 갖게 된다. 실리콘의 경우, 초크랄스키법 (Cz법) 혹은, 플로팅 존법 (Fz법)에 따라서 단결정 추가가 만들어진다.

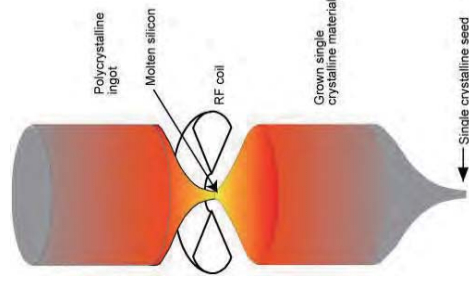


• 초크랄스키 (Czochralski, Cz)법

Czochralski (Cz) 웨이퍼는 가장 흔한 형태의 단결정 실리콘 웨이퍼이고 태양전지와 집적회로 제작에 사용된다. 석영도기나로 다결정 실리콘을 용해해서, 용액안에 증결정을 침지하고, 서서히 끌어올려 가는방법이다. 이 방법에는, 비교적 큰 구경의 단결정이 만들어지지만, 용액이 quartz crucible에 접촉하고 있기 때문에, 실리콘 잉곳에 과포화가 되는 만큼 대량의 산소가 혼입된다. 산소 그 자체는 비교적 무해하나 붕소 도핑과 복합체를 형성하여 캐리어 수명을 낮춘다. 또한, 결정의 성장방향에 따라 저항률의 변화가 커다란 문제가 있어서, 전력 소자에는 별로 사용되지 않는다.

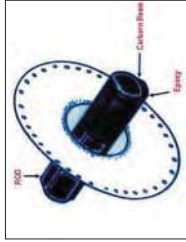
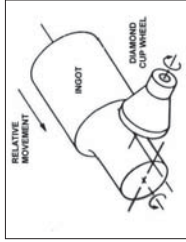
• 플로팅 존(Floating Zone, FZ)법

상업용 기판으로 Cz 웨이퍼가 가장 널리 사용되지만, 태양전지용으로는 여러 가지 단점을 가지고 있다. Cz 웨이퍼는 다량의 산소를 포함하고 있다. 산소 불순물은 태양전지에서 소수 캐리어의 수명을 단축시켜 결과적으로는 전압, 전류 및 효율을 낮추게 된다. 게다가 산소와 그리고 다른 원소와 산소와의 복합체가 고온에서 활성화되기 때문에 고온 공정에서 웨이퍼를 매우 민감하게 만든다. 이런 문제를 극복하기 위해 플로트 존(Float Zone : Fz) 웨이퍼를 사용한다. 이 프로세스에서 용융 영역은 실리콘의 rod나 bar를 따라 천천히 통과한다. 용융 영역에서의 불순물은 고체화 된 영역에 포함되기 보다는 용융 영역에 남아 서, 용융 영역이 통과된 후에 매우 순도가 높은 단결정 영역을 만들어 준다. 직경이 큰 잉곳을 만들기 어렵다는 것 때문에 그리고 높은 비용 때문에 Fz 웨이퍼는 통상 실용용 태양전지나 혹은 상업용 생산에서도 흔하지 않는 용도에만 사용된다



●절단(Shaping)

절단에서는 실리콘 단결정봉을 웨이퍼, 즉 얇은 슬라이스로 변형시키는 공정입니다. 단결정 조직이 정확하게 정렬되도록 단결정봉을 흑연병에 놓은 다음 고도의 절삭 기술을 사용하여 실리콘 단결정봉을 웨이퍼로 바꾸게 된다. 절삭작업을 거치는 동안 웨이퍼의 가장자리 부분은 매우 날카롭고 깨지기 쉽게되므로 세척과정을 거친 후 정확한 모양과 치수로 가공해 손상에 영향을 덜 받게 한다. 그다음, 이 웨이퍼들은 조연마 과정을 거쳐 표면이 평탄하고 두께가 일정하게 되어 표면의 질이 높아진다.



●경면연마(Polishing)

웨이퍼를 평탄하고 결함이 없도록 만드는 공정은 사용을 하는데 있어 대단히 중요하다. 이 목적을 이루기 위해 경면연마 공정에서 여러 가지 단계를 거치게 된다. 요구에 따라 웨이퍼의 특질을 높이는 다른 작업들이 바로 이 부분에서 이루어진다. 조연마 과정을 거친 웨이퍼는 식각공정을 거치면서 추가적인 표면 손상을 제거하고, 공정을 정밀하게 통제하는 완전 자동화된 장비로 가장자리 부분과 표면이 경면연마 된다. 그 결과 얻어지는 웨이퍼들은 극도로 평탄하고 결함이 없는 상태가 된다.



●세척과 검사 (Cleaning & Inspection)

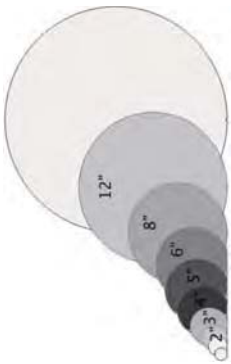
세척부분에서는 경면연마 과정을 거친 웨이퍼의 표면에 있는 오염물을 제거한다. 이 최상의 공정에서 웨이퍼에 있는 미립자 오염물, 금속, 유기 오염물질을 씻어낸다. 이 공정은 미립자, 금속, 유기물에 대하여 대단히 엄격한 규정을 적용하는 청정실 환경에서 이루어진다. 마지막 세척공정을 거친 웨이퍼들은 0.1μm 크기의 미립자까지 검출할 수 있는 레이저 검사장치로 검사를 받고 최종 검사가 끝나면 출하 포장된다



4. Silicon wafer Specification

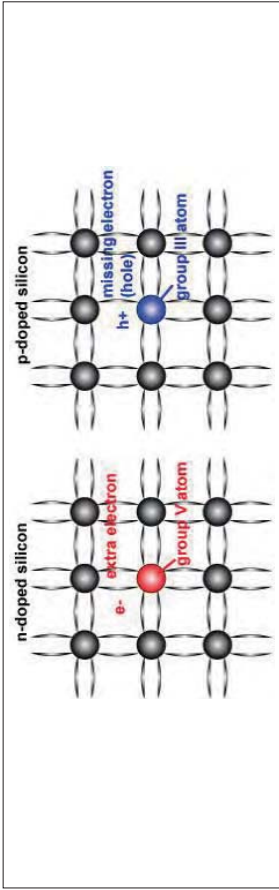
1) Size

웨이퍼의 크기는 50 mm ~ 300 mm이상까지 다양한 종류가 있으며, 구경이 크면 1장의 웨이퍼에서 많은 집적회로 칩을 생산할 수 있기 때문에, 원가 절감차원에서 시간이 지날수록 구경은 커지고 있다. 직경 300 mm의 실리콘 웨이퍼는 2000년경부터 생산량이 증가해서, 2004년에는 실리콘 웨이퍼의 전체 생산수량의 20 % 정도를 차지하게 되었다.

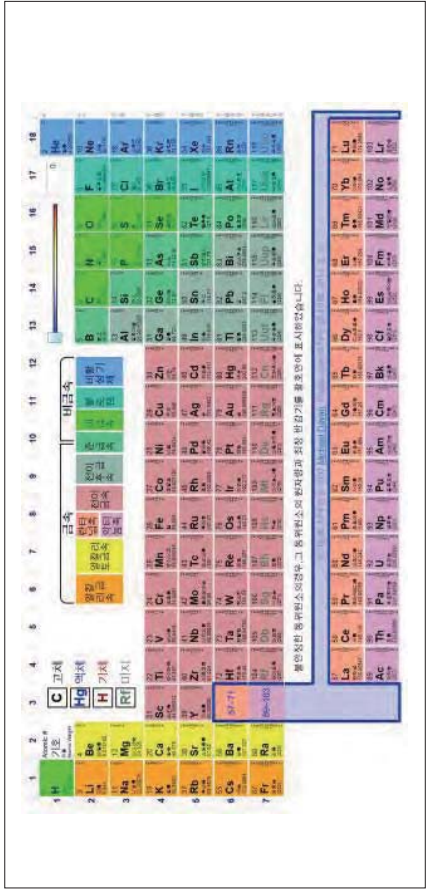


2) Type (전기적 특성에 따른 분류)

실리콘은 최외각 4 개의 전자가 있는 4가의 원소이다. 한 개의 실리콘 원자는 주변 네 개의 원자와 공유결합을 하여 안정한 상태를 이루는데 이들 중 하나가 다른 불순물 원자와 대체되면 최외각의 전자의 개수가 많아 지든지 적어지게 된다.



n형과 p형반도체 재료를 만들기 위해 불순물로 도핑한 실리콘 결정격자의 개략도



위의 방법대로 다른 원자들을 이용하여 도핑하면 실리콘 결정격자 내에서의 전자와 정공의 균형을 변화시킬 수 있다. 실리콘보다 가전자가 하나 더 많은 원자들을 가진 V족 원소 이용하면 전도대에 전자들이 추가되는 n-형 반도체 재료가 된다. 이 원소들이 가지고 있는 5개의 가전자들은 실리콘이 가진 4개의 가전자들과 공유결합을 형성할 수 있는데, 각 실리콘 원자의 공유결합에는 4개의 전자만이 필요하므로 두 개의 실리콘 원자가 결합할 때 존재하는 나머지 여분의 전자 하나는 전기전도에 참여하게 된다. 그리하여 더 많은 전자들이 전도대에 추가되고 따라서 존재하는 전자들의 개수도 증가한다. 가전자가 하나 더 적은 III족 원소의 원자들로 도핑하면 p-형 재료를 만들 수 있다. 이 원소들은 3개의 가전자를 가지고 실리콘 원자와 결합하는데, 실리콘 원자와 충분히 결합할 수 있는 전자가 부족하여 정공이 형성된다. p-형 재료에서는 결합에 잡혀있는 전자들의 개수가 더 많으므로 이렇게 하면 정공의 개수를 효과적으로 증가시킬 수 있다. 도핑된 재료에서는 한 유형의 캐리어가 다른 유형보다 항상 더 많은데, 농도가 더 높은 캐리어의 유형을 다수 캐리어(majority carrier)라 하고, 더 낮은 농도의 캐리어를 소수 캐리어(minority carrier) 라고 한다.

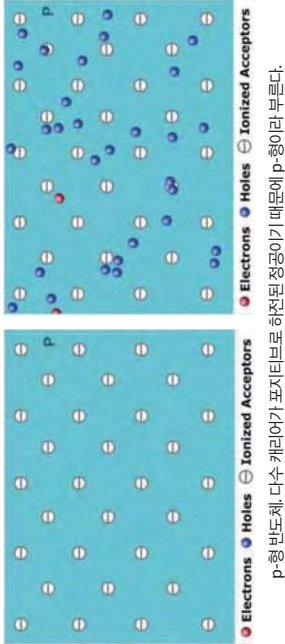
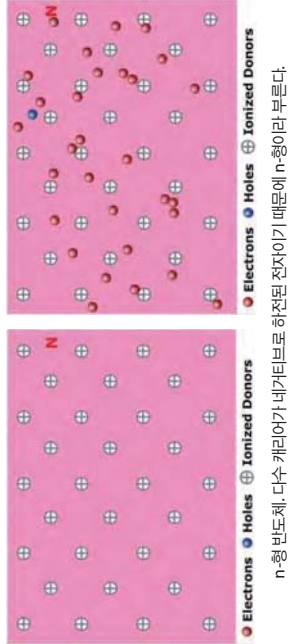
장리하면

- 1. 도핑은, 반도체 내에서 전자와 정공의 개수를 변화시키는데 사용하는 기술이다.
 - 2. IV족 반도체 재료를 V족 원소로 도핑하면 N-형 재료가 만들어지고, IV족 반도체 재료를 III족 원소로 도핑하면 P-형 재료가 만들어진다.
 - 3. N-형 재료는 전자의 개수를 늘려반도체의 전도도를 증대시키고, P-형 재료는 정공의 개수를 증대시켜 전도도를 올린다.
- P type (Boron dopant)
 - N type (Phosphorus, Antimony, Arsenic dopant)

The following table summarizes the properties of semiconductor types in silicon.

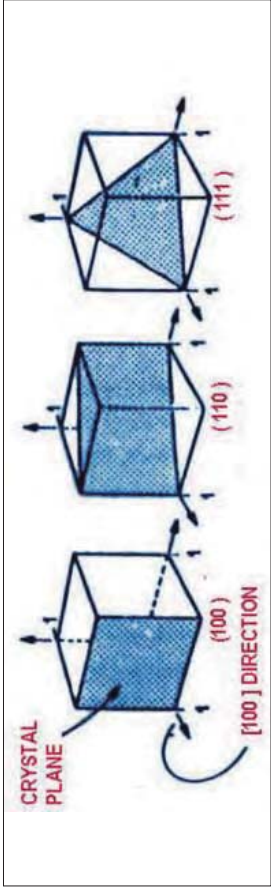
	N-type (negative)	P-type (positive)
Dopant	Group V (e.g. Phosphorous)	Group III (e.g. Boron)
Bonds	Excess Electrons	Missing Electrons (Holes)
Majority Carriers	Electrons	Hole
Minority Carriers	Holes	Electrons

아래 그림은 p-형과 n-형 실리콘을 나타낸 것이다. 보통의 반도체에서는 다수 캐리어의 농도가 10¹⁷cm⁻³, 소수 캐리어의 농도가 10⁶cm⁻³ 이다. 소수 캐리어는 열에너지나 입사되는 광자(photon)에 의해 생성된다



3) Orientation (방향성에 따른 분류)

단결정 실리콘 재료에서 결정 방향(crystal orientation)은 Miller indices(밀러 지수)로 정의한다. 실리콘 ingot을 원하는 각자 방향 대로 다이아몬드 톱으로 자를 때 표면의 각자 방향이 정해진다.



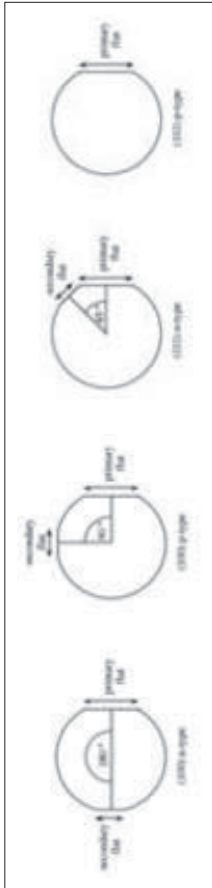
- [100] 방향은 세 좌표축 중에서 한 개만 교차하는 경우이다.
- [110] 방향은 두 개의 좌표축과 교차한다.
- [111] 방향은 세 개의 좌표축과 모두 교차하는 경우이다.

실리콘 wafer의 표면의 상태는 전기적 상태를 결정하는데 상당한 영향을 미친다. [100] 방향을 가지면 화학적으로 비교적 안정하고, [111] 방향이면 화학적으로 활성도가 비교적 높다. 따라서 [100] 방향의 표면에 대한 공정이 [111] 방향의 표면을 가진 wafer에 비하여 더디게 진행되지만 전기적인 특성이 비교적 오랫동안 변하지 않는다. [110] 방향의 실리콘 wafer 특성은 그 중간쯤이다.

실리콘 wafer의 표면의 상태는 [100] 나 [111] 상태를 주로 사용하며 [110] 방향은 거의 사용되지 않는다.

결정 방향을 표시하기 위하여 단결정 웨이퍼는 흔히 웨이퍼의 방향과 도핑을 표시하기 위해 'flat'를 가진다. 가장 널리 사용되는 규격(standard)은 SEMI 규격이다.

- secondary flat 0° primary flat과 이루는 각이 180°면, 그 웨이퍼는 n-형 <100>
- secondary flat 0° 90° 좌 혹은 우측이면, 그 웨이퍼는 p-형 <100>.
- secondary flat 0° 좌 혹은 우측에서 45° 위쪽이면, 그 웨이퍼는 n-형 <111>
- secondary flat 0° 없으면, 그 웨이퍼는 p-형 <111>



4) Resistivity (저항에 따른 분류)

저항치는 실리콘 내의 전자와 정공들의 움직임과 흐름에 대한 저항력이다. 단위는 Ohm-cm으로 표시하고 이들 단위는 실리콘 웨이퍼와 크리스탈의 저항치를 나타낼 때 쓰인다. 저항치는 실리콘에 As, Phos, Boron 와 같은 불순물을 포함 시키면서 조절이 가능하다. 불순물의 양 또는 도펀트의 양이 높아날수록 저항치는 줄어든다. 도펀트가 많이 들어간 물질은 저항치가 작은 성질이 된다.

- <0.005ohm.cm의 저저항 wafer (High dopped)
- 1-100ohm.cm의 Normal wafer
- >1,000ohm.cm의 고저항 wafer

5) Thickness

두께는 반도체 제조 공정중에 취급하기 쉬운 0.5 mm ~ 1 mm 정도 되지만, 일반 실리콘 웨이퍼의 경우에 예외 치수는 SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) 같은 업계단체에서 표준화 되고 있다.

- 2-inch (51 mm). Thickness 279µm.
- 3-inch (76 mm). Thickness 381 µm.

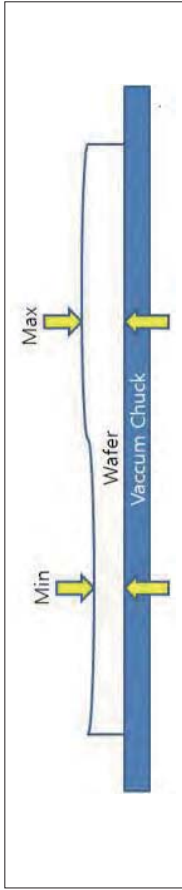
- 4-inch (100 mm). Thickness 525, 625 µm.
- 5-inch (130 mm) or 125 mm (4.9 inch). Thickness 625 µm.
- 150 mm (5.9 inch, usually referred to as "6 inch"). Thickness 675 µm.
- 200 mm (7.9 inch, usually referred to as "8 inch"). Thickness 725 µm.
- 300 mm (11.8 inch, usually referred to as "12 inch"). Thickness 775 µm.

6) TTV (Total Thickness Variation)

= (Maximum Thickness) - (Minimum Thickness)

웨이퍼 두께의 편차를 나타낸다. 크기는 작을수록 두께가 일정하다는 의미.

웨이퍼 두께를 균일하게 만들어야 웨이퍼에서 나온 각각의 칩들의 특성이 웨이퍼내 칩의 위치에 무관하게 일정한 특성이 나와야 하기 때문이다.

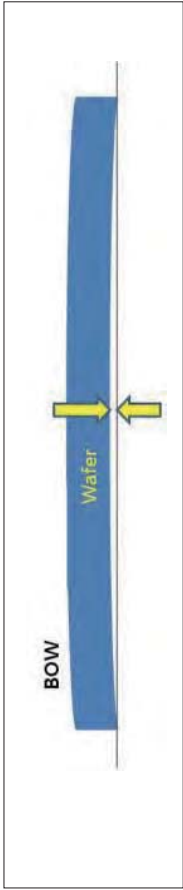


7) 평탄도

웨이퍼의 평탄도는 소자들의 품질에도 영향을 미치고 칩의 공정 수율과 직결되기 때문에 매우 중요한 요소이다. 웨이퍼의 직경이 점점 대구경화 됨에 따라 이러한 웨이퍼의 평탄도를 제어하는 기술은 더 큰 이슈가 되고 있으며, 웨이퍼의 형상을 결정하는 최종 공정으로서 단면 래핑에 대한 중요성은 더욱 커지고 있다.

• Bow

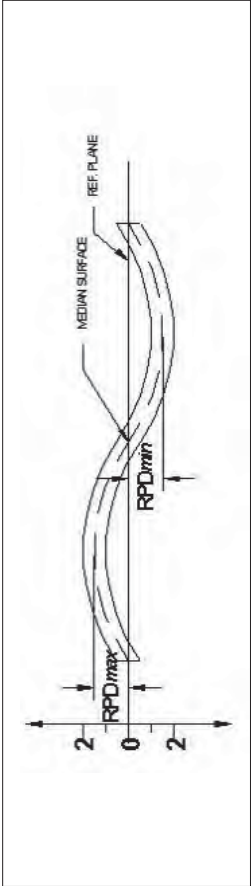
웨이퍼의 중간 표면이 볼록하거나 오목하게 휨 정도. Bow는 웨이퍼 슬라이싱에 의한 본원적인 문제이다. Bow값이 크면 결국 웨이퍼의 평탄도 TTV에 영향을 미치므로 Bow값 역시 낮을수록 좋다. 그리고 Bow값이 크면 결국 웨이퍼의 평탄도 TTV에 영향을 미치므로 Bow값 역시 낮을수록 좋습니다.



• Warp

Warpage의 줄임말. 기준면(Reference Plane)과 중앙면(Median Plane)까지 거리의 최대값과 최소값의 차이.

Warp = RPDmax – RPDmin



8) Surface finished

- Single side polished
- Double side polished

실리콘 웨이퍼의 표면은 Device Process의 완함함과 고품질 회로를 구성하기 위해, 회로 제조시 치명적인 영향을 주 는 표면 Damage(Particle, Scratch) 또는 미량의 화학적 성분이 표면에 잔존해서도 안되며, 극도의 평탄도(Flatness) 가 요구된다. 따라서 Slicing, Lapping, Polishing 작업시 미세한 진동도 억제되어야 한다. 빛을 이용하기 때문에 Roughness에 따라 회로의 폭, 깊이 등이 변하기 때문이다.

양면을 폴리싱 하는 이유는

1. 양면에 반도체를 만드는 작업을 원활하게 하기 위해서
 2. 웨이퍼의 두께를 균일하게 만들기 위해서
- 반도체 제조 공정에서 제조 장비가 웨이퍼를 쥐고 옮기면서 작업을 하게 되는데장비가 웨이퍼를 쥐 때 진공을 이용해서 웨이퍼 뒷면을 잡아서 사용한다. 이때 진공을 이용해서 웨이퍼를 잡고 사용할때, 어느정도 폴리싱이 되어 있어야 좋은 진 공상태를 유지할수 있다. 너무 거칠거나, 평평도가 좋지 않으면 진공이 제대로 잡히지 않아서 작업이 원활하지 않게 된다.

9) Grade

• Prime Grade

Prime 웨이퍼는 일반적으로 산업용 웨이퍼 중 가장 높은 등급으로 구분되고 평평도 나 파티클 개수규정에 맞는 '제품생 산가능 품질'로 여겨진다. 대부분의 프리미엄 등급 웨이퍼는 미세한 사이즈의 슬러리나 연마제를 사용하는 2-3단계의 폴리 싱 공정을 거치게 된다. Prime웨이퍼는 일반적으로 Test웨이퍼보다 비싸다. 높은 품질의 prime wafer는 정확한 특성 을 나타내어 정확도가 요구되는 제품이나 반도체 공정에 주로 사용된다.

• Test Grade

Test웨이퍼는 다양한 목적으로 사용된다. 특히 정비 테스트나 대량의 웨이퍼 사용이 필요한 경우에 많이 쓰인다. Test 웨이퍼는 다른말로 Prime웨이퍼가 되지 못한 웨이퍼다. 완벽하지 않은 표면과 저항치 때문에 Prime보다는 저렴 하지만 대학교 연구용이나 제품개발 용으로 널리 사용되고 있다.



10) Carrier lifetime

Carrier(반송자) : 반도 체 내에서 전기 전도에 기여하는 정공(hole)이나 전자를 말한다.

소수 캐리어의 수명은 하나의 캐리어가 재결합하기 전에 얼마 동안이나 버티는 지를 나타내는 척도이고 태양전지용 반도 체 웨이퍼의 중요한 척도중 하나이다. "실리콘웨이퍼가 긴수명을 가졌다"라는 뜻은 소수 캐리어가 재결합 전까지 오랜시 간동안 지속되었다는 것을 뜻한다. 여기서 수명은 재료의 안정성과는 아무런 관계가 없다. 실리콘 웨이퍼가 긴 수명을 가 지고 있다는 것은 빛이나 여타 방법으로 웨이퍼의 벌크 내에 생성된 소수 캐리어들이 재결합하기 전에 오래 동안 살아남 는다는 것을 의미한다. 구조에 따라서 소수 캐리어의 수명이 긴 웨이퍼로 만든 태양전지는 수명이 짧은 웨이퍼로 만든 태 양전지보다 항상 효율이 더 높다. '긴 수명(longlifetime)'과 '높은 수명(high lifetime)'이란 용어는 동일한 의미이다.

요약

1. 반도체의 수명은 재결합 속도에 의해 좌우되는데, 재결합은 소수 캐리어 농도에 의존한다.
2. 재료의 수명은 서로 다른 유형의 재결합을 고려한 것이다.
3. 수명은 태양전지의 효율을 나타내는 지표이고, 따라서 태양전지 재료를 선택하는데 있어 핵심 고려 요소이다.

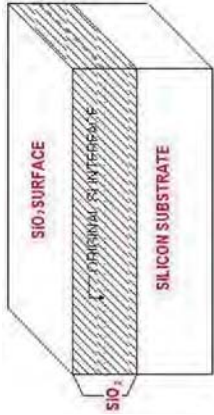
Silicon Wafer의 추가 공정 단계

1. Oxidation

연마 직후의 실리콘 웨이퍼는 전기가 통하지 않는 순수 상태이기 때문에 반도체의 성질을 갖도록 웨이퍼 표면에 여러가지 물질층을 형성시킨 후, 설계된 회로 모양대로 깎고, 다시 물질층을 입혀 깎아 내는 작업의 반복이 필요한데 이 모든 공정의 기초 단계인 산화(Oxidation) 공정은 웨이퍼에 여러가지 물질로 얇은 막을 증착하는 대표적인 방법으로, 고온(800~1200 도에서 산소나 수증기를 웨이퍼 표면에 뿌려 얇고 균일한 실리콘 산화막(SiO2)을 형성시키는 과정이다. 이때 형성되는 산화막은 공정 시 발생하는 오염물질이나 화학물질로 생성되는 불순물로부터 실리콘 표면을 보호하는 역할을 한다.

눈에 보이지 않는 미세한 불순물도 실리콘 표면에 침투하게 되면 비저항 혹은 전도율을 변화시키는 요인이 되어, 집적회로의 전기적 특성에 치명적인 영향을 미치게 된다. 이 때문에, 불순물 침투로부터 실리콘 표면을 보호하는 산화막의 역할은 매우 중요하다.

또한, 산화막은 이온 주입법으로 주입된 불순물이 웨이퍼 표면에 도달하는 것을 막아 주는 든든한 보호막 역할을 하고 웨이퍼 위에 그려지는 각 배선이 합선이 되지 않도록 구분해주고 절연막 역할을 하기도 한다.



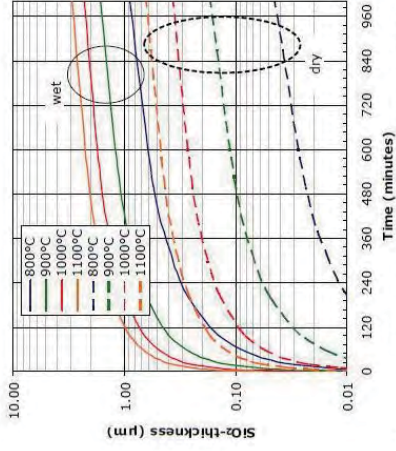
Thermal Oxidation

보통 산화막 형성에는 열산화(thermal oxidation), 전기화학적 산화(electrochemical oxidation; anodization) 방법, 플라즈마 보강 화학 기상 증착(PECVD)등 여러가지 방법이 있지만 고온의 환경에서 웨이퍼에 산화막을 형성하는 열 산화가 가장 보편적인 방법이다. 열 산화법은 산화층 내부와 SiO2/Si 계면에 결함을 거의 생성시키지 않는 방법으로 우수한 특성의 절연막을 형성시킬 수 있는 기술이다. 이 기술은 산화 반응에 사용되는 기체의 종류에 따라 건식 산화(dry oxidation)법과 습식 산화(wet oxidation)법으로 구분되는데, 반 응기체로 순수한 산소를 사용하는 경우를 건식 산화라 하고, 산소와 수증기의 혼합물을 사용하는 경우를 습식 산화라 한다.



• 건식과 습식 열산화의 차이점

- 건식산화는 산소만을 이용해 얇은 막을 형성할때 주로 쓰이고, 습식산화는 산소와 수증기를 모두 사용하기 때문에 보 다 두꺼운 막을 형성할 때 사용된다
- 건식산화는 동일한 온도를 적용 했을 때 같은 두께의 산화물을 형성하는데 습식산화 보다 훨씬 더 많은 시간을 필요 로 하고 공정비용이 비싸다. 밀도가 치밀하고 불순물이 섞이지 않아 전기적특성(절연능력)이 우수하지만 산화막 두께 300nm이상 공정이 어렵다.
- 공정가능 산화막 두께 : 100nm~300nm
Si+O2 =SiO2
- 습식산화의 경우 산화막 성장속도가 빠르기 때문에 공정이 저렴하고, 성장두께를 두껍게 올릴수 있는 장점이 있다. 같은 온도와 시간에서 습식산화를 사용하여 얻어진 산화막은 건식산화를 사용한 것보다 약 5~10배 정도 더 두껍게 나 타난다. (SiO2에서의 용해도가 H2O의 경우가 O2보다 1000배정도 크기때문에 습식산화의 경우가 더 빠르다)
- 공정가능 산화막 두께 : 300nm~2um
Si+2H2O=SiO2+2H2
- 실온에서는 실리콘과 산소의 확산이 매우 느리게 일어나므로 반응은 자연히 멈추게 되고 이러한 자연발생 산화층 (native oxide)은 15-25 Å 정도의 두께만 갖게 된다. 따라서 지속적인 산화반응을 위해서는 산화 기체 속에서 실리콘 웨이퍼를 높은 온도로 가열시키는 것이 필수적이라 하겠다.



The attained film thicknesses of wet and dry (dashed) SiO₂ as a function of the growth time and temperature.

산화막 두께에 따라 웨이퍼 표면의 색상이 아래와 같이 달라진다.



Oxidation Thickness Color Chart

2. Silicon Nitride Coating (Si3N4)

Nitride 코팅은 Oxide에 비해 조성이 치밀하고 경도가 높기 때문에 소자의 물리적 손상이나 불순물의 침입을 막기 위한 보호막으로 사용된다. 그러나 Plasma 화학 증착법으로 증착된 Nitride 막은 stress가 크기 때문에 하부의 금속층의 stressmigration(열팽창 계수의 차이) 특성에 큰 영향을 주므로 증착막의 stress조건이 중요하고 10000Å 이상의 두께에서 nitride 막 증착시 형성되어 약한 결함을 하고 있는 Hydrogen 이온이 후속 열공정에 의해 밖으로 확산되어 Micro Cracking을 유발시키는 단점이 있다.

FILM	밀도(g/cm³)	굴절률	비유전율	Band Gap(eV)
SiO2	2.2	1.46	3.9	8
Si3N4	3.1	2.05	6.9	5.1

특성

저온(400C)에서 양질의 Nitride Film을 증착하여 외부로부터 Device를

보호 및 격리시키는 절연막

-기계 화학적 내성이 우수

-Pin Hole density가 낮음

* 1000 Å ~ 3000 Å : normal stress

5000 Å ~ 2um: low stress



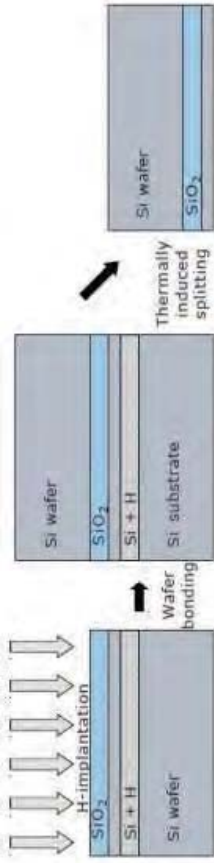
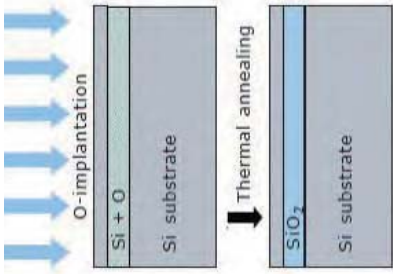
3. Silicon Epitaxy

소자의 응용을 위한 결정성장방법 중의 하나는 단결정으로 이루어진 웨이퍼 상에 얇은 박막결정을 성장시키는 것이다. 이 과정에서 기판은 그 위에 새로운 결정을 성장시키는 시드 결정(seed crystal)이 되며, 새 결정은 기판과 같은 결정구조 및 방향성을 가진다. 이렇게 기판 웨이퍼 위에 같은 방향성을 갖는 단결정막을 기르는 기술을 에피택셜 성장(epitaxial growth) 또는 에피택시(epitaxy)라 한다. 에피택시는 성장되는 결정이 기판 결정과 같은 물질인 경우인 호모 에피택시(homoepitaxy)와 결정들이 서로 유사한 격자구조를 갖지만 다른 물질인 경우인 헤테로 에피택시(heteroepitaxy)로 구분된다. 에피택시는 기판 결정의 응용점보다 훨씬 낮은 온도에서 행해지며, 성장막의 표면에 적절한 원자를 공급하기 위하여 다양한 방법이 사용된다.

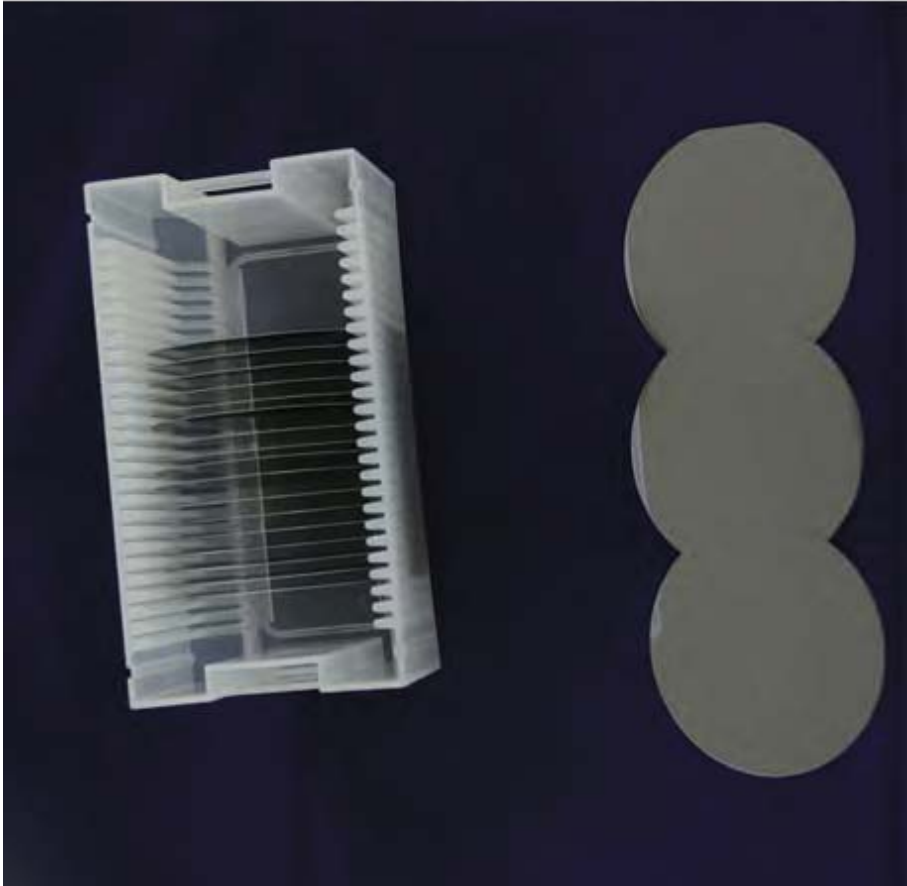
현재 주로 사용되고 있는 방법에는 액상 에피택시(liquid phase epitaxy; LPE), 기상 에피택시(vapor phase epitaxy; VPE), 그리고 분자선 에피택시(molecular beam epitaxy; MBE) 등이 있고 이러한 성장방법들에 의해 Si와 GaAs를 포함하는 광범위한 반도체 박막 결정들이 키워지고 있다. 특히 화합물 반도체를 이용한 전자 및 광전자 소자의 구현에 있어 에피택시 공정은 필수적인 공정이다

4. SOI-Wafers

SOI(Silicon On Insulator) wafer: 반도체 소자간의 전기적 격리를 더욱 강 화시키기 위해서 실리콘과 실리콘 사이에 유전체(SiO2) 층을 만들어 놓은 것. 제조 방법은 Polished wafer에 SiO2를 성장시키고 이 위에 polished wafer 한장을 붙인 다음 한쪽 wafer를 적절한 두께만 남기고 갈아내서 만 든다. SOI wafer가 쓰이는 곳은 CPU 처럼 아주 민감한 반도체 제품의 제조에 쓰인다. SOI 웨이퍼는 절연체(열산화막)로 차단된 얇은 무결정 실리콘층을 제공하기 때문에 절연체인 웰(Well)형성 공정 등을 줄일 수 있어 반도체 업체는 제품 개발 및 생산기간과 비용을 줄일 수 있고 또한 현재의 장비를 그대로 사용하거나 오히려 줄일 수 있어 설비투자에 대한 부담이 적다. 따라서 SOI 웨이퍼의 가격이 기존 실리콘 웨이퍼에 비해 다소 비싸더라도 전체적인 생산 비용이 줄어들이기 때문에 오히려 더 큰 이익을 얻을 수 있다. SOI 웨이퍼나 이를 사용한 반도체 제품 모두 초기 단계이며 군수용 및 항공 우주산업의 고성능 마이크로프로세서, 초고집적 메모리나 절전 효율을 요구하는 휴대통신부품 등을 중심으로 수요가 확대되고 있다.



Silicon wafer



Diameter 2"(50.8mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test , Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron) , N-type(Phos, Antimony, Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	275um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Diameter 3"(76.2mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test , Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron) , N-type(Phos, Antimony, Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	380um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Diameter 4"(100mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test , Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron) , N-type(Phos,Antimony,Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	525um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Diameter 5"(125mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test , Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron) , N-type(Phos,Antimony,Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	625um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Diameter 6"(150mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test, Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron), N-type(Phos, Antimony, Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~100ohmcm, 고저항(1000~10000ohmcm)
Thickness	675um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Diameter 8"(200mm)

Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test , Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron), N-type(Phos, Antimony, Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	725um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Sapphire wafer

Diameter	12"(200mm)
Growing method	CZ, FZ
Grade	Prime, Test, Dummy
Type/Dopant	P-type(Boron), N-type(Phos, Antimony, Arsenic)
Orientation	<100>, <111>, <110>, <510>, <113>
Resistivity	저저항(0.001~0.1ohmcm), 1~30ohmcm, 고저항(100~10000ohmcm)
Thickness	775um or Customer Request
Surface	Single side polishing, Double side polishing

Process Service	
Oxidation Service	Wet type(Thermal) 50nm~500nm Dry type(PECVD)~100nm
Nitride Service	LPCVD 150nm~300nm
Dicing	Customer Request
Sputtering	4"~12"
SOI(Silicon On Insulator), SOG(Silicon On Glass), SOG(Silicon On Quartz)	

Solar Grade Wafer

Multicrystalline Wafer P-type/B-doped 3.0~6.0ohmcm 125mmX125mmX0.2mmth
156mmX156mmX0.2mmth

Monocrystalline wafer P-type/B-doped 3.0~6.0ohmcm 125mmX125mmX0.2mmth
156mmX156mmX0.2mmth



Material	High Purity Optical Grade Monocrystalline Kyropulos Al2O3
Diameter	2"(50.8mm), 3"(76.2mm), 4"(100mm), 6"(150mm)
Orientation	C-axis [0001], A-axis [1120], M-axis [1010]
Thickness	330um, 430um
Surface Finish	Front(Epi-ready), Back(Lapping)

Single Crystal Substrates

Gd3Ga5O12single crystal

Physical Properties of Sapphire	
Crystal Structure	Cubic;a=12.376Å , (Z = 8)
Molecular weight	1012.365
Melting Point	1800 °C
Density	7.09g/cm³
Hardness	~8 Mohs
Refractive index	1.95
Crystal Purity	>99.99%
Crystal growth method	Czochralski
Crystal growth direction	<111>
Standard Spec	
Max. Crystal boule	2" diax100mm length
Standard substrate size At Orientation <111>±0.5o	3" dia X0.5mm, two sides epi polished 10x10x0.5mm, two sides epi polished

Ge Single Crystal

Typical Specifications				
General Properties	Structure: Cubic, a = 5.6754 Å Density: 5.323g/cm3 at room temperature Melting Point: 937.4°C Thermal Conductivity: 640			
	Czochralski			
	Doping available	Undoped	Sb Doping	Doping In or Ga
	Conductive Type	/	N	P
	Resistivity, Ωcm	>35	0.001~18	0.001-0.18
EPD	<4x10 ³ /cm ²	<4x10 ³ /cm ²	<4x10 ³ /cm ²	
Crystal Grades and Application (please specify when you order)	Electronic Grade: Used for diodes and transistors Infrared Grade: Used for IR optical window Cell Grade: Used for substrates of solar cell			
Standard Spec				
Crystal Orientation	<111>, <100> and <110>±0.5o or special orientation			
Crystal boule as grown	φ1"~φ5" diameterx200mm Length			
Standard blank as cut	φ1"x 0.5mm, φ2"x0.6mm, φ4"x0.7mm, φ5"x0.8mm			
Standard Polished wafer One or two sides polished	φ1"x 0.30 mm, φ2"x0.5mm, φ4"x0.5mm, φ5"x0.6mm			

InP Single Crystal

Typical Properties					
Dopant	Type	Carrier Concentration (cm-3)	Mobility (cm2/V.Sec)	Resistivity (ohm-cm)	EPD (cm-2)
Undoped	N	0.8 ~ 2.0 x1015	3600 ~ 4000	0.03 ~ 0.2	5~6 x104
	Sn	0.5 ~1.0x1018 0.5 ~1.0x1018	200 ~ 2400 1500 ~ 2000	0.001 ~ 0.002 0.0025~0.007	3~5 x104
Zn	P	0.8 ~ 2.0x1018 2.5 ~ 4.0x1018	2500 ~ 3500 1300 ~ 1600	0.0025 ~ 0.006	1~ 3 x104
Fe	N	0.1 ~ 1.0	2000	107 ~ 108	4~ 5 x104
Standard Products					
Products	Dimension(mm)		Orientation	Others	
Ingot	2" dia x 200mmL 3" dia x 100mmL		<100>	Purity > 99.9999%	
epi polished wafer	2" dia x 0.3mm 3" dia x 0.5mm		<100>, <110> , <111> or customer specs	epi ready are available upon request	
Products	Dimension (mm)		Orientation	Others	

InSb Single Crystal

Typical Physical Properties	
Crystal Structure	Cubic Zinc Blende
Space Group	F bar 3m
Lattice Parameter a0 at 300K	0.647 nm
Nearest Neighbour Distance at 300K	0.280 nm
Density at 300K	5.80 g.cm³
Dielectric Constant (f=0 to f=RF)	17.7
Nature of Energy Gap Eg	Direct
Energy Gap Eg at 300 K	0.17 eV
Energy Gap Eg at ca. 0 K	0.237 eV (at 2 K)
Electron Effective Mass / m0	0.013
Hole Density of States Mass mdos/m0	0.4

KTa 1-X NbXO3 Single Crystal

Typical Properties	
Chemistry	(KTa 1-X NbXO3)
Crystal growth method:	Top seed flux growth
Crystal Structure:	Cubic, Perovskite, a = 3.989 -4.0Å depended on Nb doped
Melting point:	Does not melt congruently.
Curie Temperature	20- 30 °C
Density:	7.015 g / cc
Thermal conductivity:	0.17 w/m.k at 300k
Linear Eelectric - Optical Coeff	r33 : > 600 pm/V
Refractive index:	2.234
Coercive Field	Ec = 250 V/mm
Transmission Range	400 nm - 4000 nm
Standard substrates size	10x10x0.5 mm, <100> 5 x 5 x 0.5 mm. <100>

KTaO3 Single Crystal

Typical Properties	
Molecular weight	268.04
Crystal structure	Cubic,Perovskite,A=3.989 Å
Melting point	Does not melt congruently
Density	7.015 g/cm³
Thermal Conductivity	0.17 w/m.k at 300k
Refractive index	2.14
Crystal growth method	Top seed flux growth
Stand specs	
Purity	99.99%
Standard size	10 mm x 10mm x 0.5mm
Common orientation	(100) or (110)
Orientation tolerance	+/-0.5
Surface Finish	One or both faces epi-polished
Surface Roughness	<10 Å

LaAlO3 Single Crystal

Typical Physical Properties	
Crystal Structure	Rhombohedral at 25 °C: a=3.79 Å c= 13.11 Å Cubic at > 435 °C: a=3.821 Å
Growth Method	Czochralski
Density	6.52 g/cm3
Melting Point	2080 °C
Thermal expansion	10 (x10-6/ °C)
Dielectric Constant	~ 25
Loss Tangent at 10 GHz	~3x10-4 @ 300K, ~0.6 x10-4 @77K
Color and Appearance	Tan to Brown based on annealing condition
Chemical Stability	Visible twins on polished substrate.
	Insoluble in mineral acids at 25 °C and soluble in H3PO3 at> 150 °C

(La0.18Sr0.82)(Al0.59Ta0.41)O3 single crystal

Typical Physical Properties	
Chemical Formula	(LaAlO3)0.3 (Sr2AlTaO6)0.7 or (La0.18Sr0.82)(Al0.59Ta0.41)O3
Crystal Structure	cubic: a = 3.868 Å
Growth Method	Czochralski
Density	6.74 g/cm3
Melting Point	1840 oC
Thermal expansion	10 (x10-6/ oC)
Dielectric Constant	~ 22
Color and Appearance	Colorless to light brown based on annealing condition No twin and domain visible
Standard Spec	
Epi -polished substrates <100>ori. ± 0.5o 1or 2 sides polished Ra < 8 Å	2" dia x 0.5 mm 10 x 10 x 0.5mm Special size and orientation is available upon request 5 x 5 x 0.5 mm

LiGaO2 Single Crystal

Typical Physical Properties	
Crystal Structure	Orthorhombic. a=5.4008 Å b=6.379 Å c=5.012 Å
Growth Method	CZ
Density	4.18 g/cm³
Melting Point	1600 °C
Color and Appearance	White to brown. No twins and inclusion
Standard Products	
As - grown boule <100> ori. ± 0.5o	30 mm dia. x 30- 50 mm length
As cut blank <001> ori. ± 0.5o	20 x 20 x 0.7 mm thickness 10 x 10 x 0.7 mm thickness.
Epi -polished substrates <001> > ori. ± 0.5o 1 or 2 sides polished, Ra< 8 Å	20 x 20 x 0.5mm 10 x 10 x 0.5 mm

LiNbO3 Single Crystal

Typical Physical Properties	
Crystal Structure	Hexagonal a=5.148 Å, c= 13.863Å
Growth Method	CZ
Melting Point	1250 °C
Density	4.64 g/cm³
Curie Temperature	~ 1160 °C
Hardness	5 Mohs
Thermal expansion (x10-6/°C)	α11: 15.4 α33: 7.5
Index of Refraction	ηo=2.286 ηe=2.203 at 632.8 nm
Transmission wavelength	0.4 ~ 2.90 μ
Nonlinear coefficient	d33=34.45, d31=d15=5.95 d22=13.07 (pmV-1)
Electro-optical Coefficient	γ13=8.6, γ22=3.4, γ33=30.8, γ51=28.0, γ22=6.00 (pmV-1)
Transparency Range	370 ~ 5000 nm
Transmissivity	> 68 % @ 632.8 nm
Stand Specs	
Size	Any size below 4' diameter boule
Tolerance of size	Z-axis: ± 0.3 mm X-axis and Y-axis: ± 0.1 mm
Chamfer	Less than 0.5 mm at 45° ± 5°
Accuracy of orientation	Z-axis: < 5' X-axis and Y-axis: < 10'
Parallelism	< 10"
Finish	10/5 scratch/dig
Flatness	λ/8 at 632.8 nm
AR-coating	Reflectance < 0.2% @ 1064 nm
Wavefront distortion	< λ/4 @ 633 nm
Extinction ratio	> 400:1 @ 633 nm, Φ 6mm beam

LiGaO₂ Single Crystal

Typical Physical Properties	
Materials Purity	>99.995%
Crystal Structure	Rhombohedral space group 3M
Lattice constant	(Hex) a=5.154 Å c=13.783 Å
Melting Point	1650 °C
Density	7.45 g/cm³
Hardness	5.5~6 Mohs
Thermal Expansion	Aa=1.61 x 10-6/k , Ac=4.1 x10-6/k
Resistivity	10 -6ohmcm
Color	Colorless
Transmission Range	0.4~5.0um
Refractive Index	2.176 or 2.180 @633nm

Standard Specifications of Crystal Boules and Wafers

Item No	Products	Orientation	Standard Dimension
LTB	Crystal Boule	X, Y or Z axis $\pm 1^\circ$	2" dia x 50 mm L 3" dia x 50 mm L
LTW	EPI Polished wafer two sides polished Ra < 10 Å	X, Y, Z, or rotated Y cut with or without Flat	10x10x0.5mm 2" dia x 0.5mm 3" dia x 0.5mm 3" dia x 1.0 mm

Lu₂SiO₅:Ce

Typical Properties	
Lattice Constant (A)	a =14.254,b =10.241,c =6.641,Y =122.20 Deg
Melting Point	2047 °C
Density	37.3--7.4 g/cm
Hardness	5.8 Mohs
Refractive Index	1.82
Emission wavelength	418 nm
Relative emission Intensity	75% relative to NaI
After glow	40 ns
Resistant to radiation	>1×108 Rad
Moisture	No
Typical Crystal axis	Z cut
Typical crystal Boule Dimension	Max. Diameter : 2" Max Length: 2.5"
Crystal growth Technology	CZ

MgAl2O4 Crystal

Typical Properties	
Crystal Structure	Cubic: $a = 8.083 \text{ \AA}$
Growth Method	Czocharalski
Density	3.64 g/cm ³
Melting Point	2130 °C
Hardness	8.0 Mohs
Thermal expansion	7.45 (x10 ⁻⁶ /oC)
Phase Velocity	6500 m/s at (100> shear wave
Propagation loss	6.5 dB/ μ s
Typical growth direction	<100> and <110>
Standard Products	
As-grown boule <100> ori. $\pm 0.5^\circ$	35 mm dia x 60 mm length
As-cut blank <100>, <111>, <110> $\pm 0.5^\circ$	32 mm dia x 0.7 mm with <011>OF
Epi-polished substrates <100>, <111>, <110> $\pm 0.5^\circ$ 1 or 2 sides polished Ra<8 Å	32 mm dia x 0.5 mm 1" dia x 0.5 mm 10x10x0.5 mm

SrLaAlO₄ Single Crystal

Typical Physical Properties		
Crystal growth method	Czochralski	
Crystallographic structure	Tetragonal Space group I4/mmm	
Lattice constant	a = 0.3754 nm c = 1.2630 nm	
Twinning structure	No	
Color	Colorless-Yellow	
Density		
Standard Products		
Melting point	5,924 g/cm³	
Hardness	1650°C	
Thermal expansion coefficient	along <100> : 3512 MPa at <100> : 6349 MPa along a-axis : (7.55 ± 0.02) x 10-6 K-1 along c-axis : (1.71 ± 0.02) x 10-5 K-1	
Thermal conductivity	8.82 W/mK@300 K 7.50 W/mK@450K	
Dielectric constant	17	
Dielectric loss tangent	8 x 10-4	
Specific resistivity	0.33 x 1015 Wm	
Transmission range	240 - 6670 nm	
Refraction index	1.926	
Dispersion (nF-nc)	0.002	

SrLaGaO4 Single Crystal	
Typical Physical Properties	
Crystal growth method	Czochralski
Crystal growth orientation	<100> ; <110> ; <001>
Maximum wafer diameter	< 1 inch
Standard sizes	10 mm x 10 mm
Standard thickness	0.5 ÷ 1 mm
Surface quality	one- or both side epipolished
CRYSTALLOGRAPHIC PROPERTIES	
Crystallographic structure	tetragonal
Lattice constant	a = 0.3843 nm c = 1.2680 nm
Twinning structure	No
Color	Colorless-Yellow
PHYSICAL PROPERTIES	
Density	6.389 g/cm³
Melting point	1520°C
Hardness	at <001> : 7394 MPa at <100> : 7119 MPa
Thermal expansion coefficient	along a-axis : 10.05 x 10-6 K-1 along c-axis : 18.90 x 10-5 K-1
Dielectric constant	22
Dielectric loss tangent	5.7 x 10-5
Electrical character	dielectric

SrTiO3 Single Crystal	
Typical Physical Properties	
Crystal structure	Cubic, a=3.905 Å
Growth Method	Vernuil
Density	5.175 g/cm³
Melting Point	2080 °C
Hardness	6 Mohs
Thermal expansion	10.4 (x10-6/ oC)
Dielectric Constant	~300
Loss Tangent at 10 GHz	~5x10-4 @ 300K, ~3 x10-4 @77K
Color and Appearance	Transparent (sometimes slightly brown based on annealing condition). No twins.
Chemical Stability	Insoluble in water
Standard Products	
As - grown boule <100>	30 mm dia. x 30-50 mm length 22 mm dia. X 30 - 50 mm length
As cut blank <100>	1" dia x 0.7 mm thickness 10 x 10 x 0.7 mm thickness.
Epi -polished substrates <100>, <110> or <111> ori. 1 or 2 sides polished, Ra< 7 Å	1" dia x 0.5 mm 20 x20 x 0.5mm 10x10x0.5 mm

Strontium-Barium (SrxBa(1-x)Nb2O6) Single Crystal	
Typical Properties	
Chemical formula	(SrxBa1-x)Nb2O6) 0.75<x>0.60
Crystal structure	Tetragonal (4mm) a = 3.946 Å c = 12.46 Å
Melting point	1500 °C
Density	5.4 g/cm³
Hardness	5.5 Mohs
Thermal conductivity	0.006 W/cm*K
EO constants	(r33:460~1400pm/V)
High optical uniformity	(1x10-4)
Dielectric constant	E11=450 E32=900
Coercive field	(Ef~0.25 k V/mm
Curie Temperature	70-80°C
Transmission range	400 – 6000 nm
Absorption coefficient	0.3cm-1 @ 0.44µm
Piezoelectric Coefficient	D33 = 130 m/V

TiO2 single crystal

Typical Properties	
Crystal Structure	Tetragonal a=4.5936 Å, c= 2.9582 Å ,
Growth Method	floating zone (FZ)
Melting Point	1840 °C
Density	4.26 g/cm³
Hardness	7 Mohs
Specific Heat capacity	0.17 (25 °C) Cal. / (g. Deg)
Linear expansion Coeff.	a: 7.14x10 ⁻⁶ c: 9.19x10 ⁻⁶
Refractive Index	n ₀ = 2.47 n _g = 2.73 at λ = 1.3 μm
Transmittance	0.5- 4.5 μm
Thermal optical Coefficient	dn/dT: a: -0.72 x10 ⁻⁶ /K c: -0.42x10 ⁻⁶ /K
Crystal boule dimension	~25 mm dia x 35 mm length (conical)
Typical polished components	2.6x2.6 x10 mm, 4x4x10 mm, 10x10x0.5 mm or any custom size Dimension: +/- 0.02 mm Flatness: < λ/10 Roughness: < 10/5 Parallelism: < 15 " Perpendicularity: < 15 "

Typical Properties Single Crystal Silicon Carbide (SiC 6H/4H)

Chemical Formula:	SiC
Formula weight:	40.10
Unit Cell:	Hexagonal
Lattice constant:	a =3.08 Å, c = 15.08 Å
Stacking sequence:	ABCACB (6H) ABCA (4H)
Growth Technique:	MOCVD
Orientation:	on axis or 3.5° off (0001)
Polish:	Silicon face polished
Band Gap:	2.93 eV (Indirect)
Conductivity type:	N
Thermal Conductivity @ 300K:	5 W / cm . K
Hardness:	9 Mohs
Standard substrate size:	2" dia x 0.4 mm thick, 10 mm x 10 mm x 0.4 mm

YAG:Nd Single Crystal

Typical Physical Properties	
Chemical Formula	NdY3Al5O12
Crystal Structure	Cubic Garnet
Lattice Constants	12.01
Concentration	~ 1.2 x 1020 cm-3
Melting Point	1970 oC (2240K)
Density	4.56g/cm3
Hardness	8.5 Mohs
Refractive Index	1.82
Thermal Expansion Coefficient	7.8 x 10-6 /K [111], 0 - 250 oC
Thermal Conductivity	14 W/m /K @20 oC, 10.5 W/m /K @100 oC
Lasing Wavelength	1064 nm
Stimulated Emission Cross Section	2.8x10-19 cm-2
Relaxation Time of Terminal Lasing Level	30 ns
Radiative Lifetime	550 ms
Spontaneous Fluorescence	230 ms
Loss Coefficient	0.003 cm-1 @ 1064 nm
Effective Emission Cross Section	2.8 x 10-19 cm2
Pump Wavelength	807.5 nm
Absorption band at pump wavelength	1 nm
Linewidth	0.6 nm
Polarized Emission	Unpolarized
Thermal Birefringence	High

YSZ Single Crystals Yttria atabilized Zirconia

Typical Properties	
Chemical Formula	Zr ₁ YO ₂ with ZrO ₂ : Y ₂ O ₃ = 92.8 / 8 mol% Y ₂ O ₃ stabilized)
Crystal Structure	Cubic, Face Centered, CaF ₂ type
Unit Cell	a = 5.125 Å
Density	5.8 g / cc
Purity	99.99%
Melting Point	2500 oC
Thermal Expansion Coeff	2500 oC
Dielectric Constant	27
Crystal Growth Technique	Flux Technique
Maximum crystal Size	2" diameter
Standard substrate Sizes	2" dia. x 0.5 mm thick, one side or two sides polished
	1" dia. x 0.5 mm thick
	10 mm x 10 mm x 0.5 mm
Standard Orientation	(100),(110) and (111) also possible
Orientation tolerance	+ / - 0.5o
Surface Roughness	<10 Å

YVO4 :Nd Neodymium doped Yttrium Vanadate Crystal

Typical Properties of YVO4 crystal	
Crystal Structure	Tetragonal: a = b = 7.119 Å c = 6.289 Å
Growth Method	Czochralski
Melting Point	1825 °C
Density	4.22 g/cm³
Hardness	4 ~ 5 Mohs
Thermal Expansion	α _a = 4.43 x10 ⁻⁶ / oC α _c = 11.37 x10 ⁻⁶ /oC
Thermal Conductivity,	A axis 5.32 W/(m.k) C axis = 5.10 W/(m.k)
Thermal Optic Coefficient	dn _a / dT : 8.5x10 ⁻⁶ /°C dn _c / dT : 3.0 x10 ⁻⁶ /oC
Lasing wavelength	1064 nm,1342 nm
Stimulated emission cross-section	25 x 10 19 cm2 at 1064 nm
Fluorescent lifetime	90 μs
Absorption Coefficient	31.4 cm ⁻¹ at 810 nM
Intrinsic Loss	0.02 cm ⁻¹ at 1064 nm
Gain bandwidth	0.96 nm at 1064 nm
Diode pumped optical to optical efficiency	> 60 %
Standard Spec	
As -grown boules <100> or <001> ori.± 0.5o	20 – 35 mm diameter x 30 – 40 mm length Doping level: 0.27 , 1.0 or 2.0 atm % upon customer request
Standard Nd:YVO4 components Polished from 2 to 6 sides	3 x 3 x 1 mm 10x10x0.5 mm 3 x 3 x 2 mm 3 x 3 x 5 mm
Optically polished parts Specs	Dimension Tolerance : ± 0.05 mm Orientation Tolerance : ± 0.5 o Tolerance Parallelism : < 15" Flatness: < λ/8 Surface quality: 10/5
Optical coating:	AR coating: R < 0.2% @1064 nm (available upon request) HP coating: R > 99.8% at 1064 nm , T . 95% at 808 nm

기타단결정기판

Al
Crystal Structure : FCC
Lattice Constant : 4.05Å
Density(g/cm³): 2.7
Melting point(°C): 467
Boiling point(°C) : 660.4

BaF2
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 6.196
Melting point(°C): 1354
Density(g/cm³): 4.88
Transmission waveband(um): 0.15~13.00
Application : IR and UV

BaTiO3
Crystal Structure : Tetragonal
Lattice constant : a=3.99 c=4.04
Melting point(°C): 1600
Density(g/cm³): 6.02
Transmission waveband(um): 0.45~6.30

BaTiO3:Ce
Crystal Structure : Tetragonal
Transmission waveband(um): 0.45~6.30

Bi4Ge3O12
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 10.518
Melting point(°C): 1050
Density(g/cm³): 7.13
Refractive Index : 2.15

Bi12GeO20
Crystal Structure : Cubic

Bi12GeO20
Lattice constant : 1.10146
Melting point(°C): 930
Density(g/cm3): 9.2
Refractive Index : 2.55
Transmission waveband(um): 0.47~7.500

CaF2
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 5.462
Melting point(°C): 1418
Density(g/cm³):3.18
Transmission waveband(um): 0.11~12.00
Application : IR window

CaCO3
Crystal Structure : Rhomb.
Lattice constant : a=4.989 c=17.062
Melting point(°C): 1339
Density(g/cm³): 2.71
Transmission waveband(um): 0.35~2.3
Application : IR window

Cd(1-x)Zn(x)Te
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 6.468
Infrared Transmittance(um) : 1.5~25

CdWO4
Crystal Structure : Monoclinic
Lattice constant : a=5.028 B=5.859 C=5.971
beta=91.519
Melting point(°C): 1325
Density(g/cm³): 7.9
Mohr Hardness : 4~4.5
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 10.2

CdWO4
Refractive index : 2.2~2.3

Cu
Crystal Structure : FCC
Lattice constant : 3.610
Melting point(°C): 1083
Density(g/cm³): 8.96

CsI:TI
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 4.566
Melting point(°C) : 894
Density(g/cm³): 4.51
Mohr Hardness : 2
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 50
Refractive index : 1.79

DyScO3
Crystal Structure : Orthorhombic
Lattice constant : a=5.44 b=5.71 C=7.89
Melting point(°C) : 2127
Density(g/cm³): 6.9

GdScO3
Crystal Structure : Orthorhombic
Lattice constant : a=5.45 b=5.75 C=7.93
Melting point(°C) : 2127
Density(g/cm³): 6.6

LiF
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 4.026
Melting point(°C) : 870
Density(g/cm³): 2.60

LiF
Transmission waveband(um): 0.11~7.00
Application : UV window

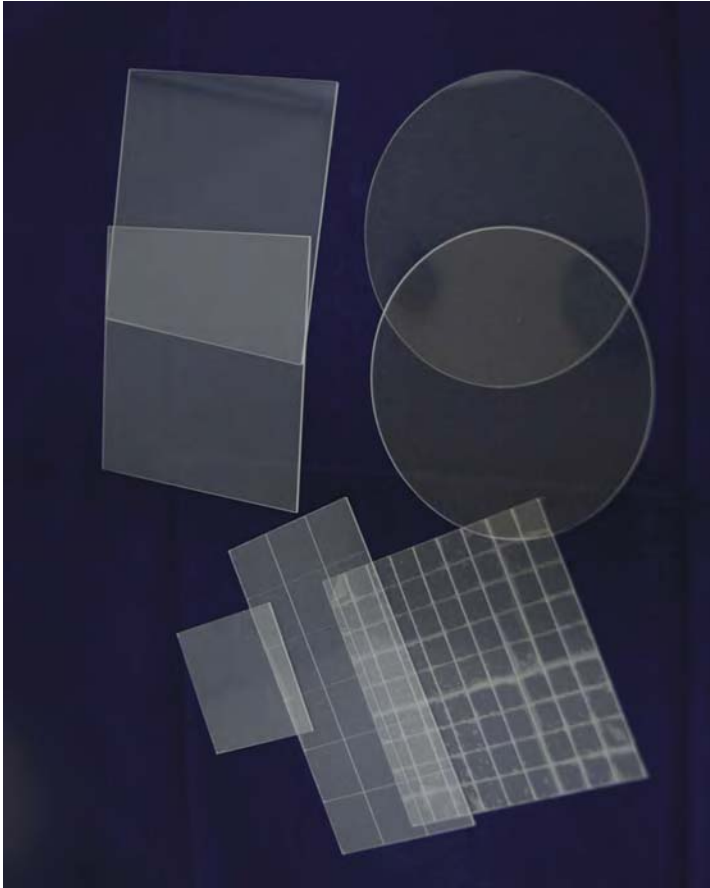
Lu2SiO5:Ce
Crystal Structure : Trigonal
Lattice constant : a=14.254 B=10.241 C=6.641
gamma=122
Melting point(°C) : 2047
Density(g/cm³): 7.4
Mohr Hardness : 5.8
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 19.5
Refractive index : 1.82

MgF2
Crystal Structure : Tetragonal
Lattice constant : a=4.64 C=3.06
Melting point(°C) : 1255
Density(g/cm³): 3.18
Transmission waveband(um): 0.11~7.5
Application : VUV Window

NaI:TI
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 6.46
Melting point(°C) : 651
Density(g/cm³): 3.67
Mohr Hardness : 18.4
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 10
Refractive index : 1.85

NaCl
Crystal Structure : cubic
Lattice constant : a=5.640
Melting point(°C) : 801
Density(g/cm³): 2.16

Glass substrate



NdGaO3	YAG:Ce
Crystal Structure : Tetragonal	Melting point(°C) : 1950
Lattice constant : a=5.43 b=5.50 c=7.71	Density(g/cm³): 4.55
Melting point(°C) : 1600	Mohr Hardness : 8.5
Density(g/cm³): 7.57	Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 1.82
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 7.80	Refractive index : 1.82
	Transmission waveband(um): 0.55

NdCaAlO4
Crystal Structure : Tetragonal
Lattice constant : a=3.685 C=12.12
Melting point(°C) : 1850
Density(g/cm³): 5.56
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 12.0

Ni
Crystal Structure : FCC
Lattice constant : a=0.325nm

PbWO4
Crystal Structure : Tetragonal
Lattice constant : a=5.416 c=12.049
Melting point(°C) : 1123
Density(g/cm³): 8.28
Mohr Hardness : 3.5~4.0
Thermo expansion (10 ⁻⁶ /K) : 10
Refractive index : 2.16

TeO2
Crystal symmetry : 422
Density(g/cm³): 6.02
Optical spectral range: 0.35~5μm

YAG:Ce
Crystal Structure : Cubic
Lattice constant : 12.01

Soda-Lime

Soda Lime Float Glass (Clear & Tinted)

Description

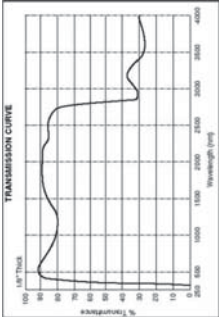
소다 라임 글라스는 가장 일반적인 유리의 종류이며 soda, 석회, 실리카, 알루미늄 그리고 소량의 정제물을 유리 용광로에 서 최고 온도 1675°C 에서 용융하여 제조된다.

Features

- 기계적 강도를 높이기 위한 화학적 강화 가능
- 열 충격 저항과 기계적 강도를 높이기 위한 열 강화 혹은 조질 가능
- 가공, 광학적 코팅, 화학적 에칭, 샌드블라스팅, 착색, 라미네이팅 가능
- Float 공법으로 인한 좋은 편평도와 표면 품질
- 편유리 조립 구성요소를 위한 가장 저렴한 해결책

Physical Properties

탄성계수(영률)	7.2 x 10 ¹⁰ Pa	(10.4 x 10 ⁶ psi)
강성계수(전단)	3.0 x 10 ¹⁰ Pa	(4.3 x 10 ⁶ psi)
체적탄성계수	4.3 x 10 ¹⁰ Pa	(6.18 x 10 ⁶ psi)
포와송비	0.23	
비중	2.53	
밀도	2530kg/m ³	(158lb/ft ³)
열 응력 계수	0.62mPa/°C	(50psi/°F)
열 전도성	0.937W/m/m ² °C	(6.5btu.in/hr.°F.ft ²)
선 팽창 계수	8.9 x 10-6 strain/°C	(4.9 x 10-6 strain/°F)
경도(모스 범위)	5 ~ 6	
굴절률 (Sodium D line)	1.523	
(1µm)	1.511	
(2µm)	1.499	
연화점	340°F	(726°C)
서냉점	1015°F	(546°C)
스트레인점(변형점)	957°F	(514°C)
75°F에서의 방사율(반구)	0.84	



Dimensions of standard products

- 두께: 0.02" - 1"(0.55mm - 25.4mm)
- 사이즈: 최대 96" x 72"(2440mm x 1830mm)
- 요청에 따른 다른 사이즈 가능

Quartz/Fused Silica

Corning® 7980 Fused Silica

Description

코닝 7980 은 아주 순수하며 비결정성 실리카 유리이다. UV 스펙트럼에서 매우 높은 투과율을 포함하여 매우 낮은 열팽창과 우수한 광학 특성을 갖추고 있다.

Features

- 우수한 광학적 특성
- 낮은 열 팽창
- 높은 UV 투과율

Applications

- Optical windows
- 과온의 뷰 포트

Physical Properties

- Mechanical

밀도 (25°C) ρ	2.201g/cm ³	137.4lb/ft ³
탄성계수(영률) E	72.7GPa	10.5Mpsi
포와송비 μ	0.16	0.16
누프 경도 HK0.1/20	522kg/mm ²	
전단 탄성계수	31.4GPa	4.55Mpsi

- Viscosity

연화점	1685°C	2885°F
서냉점	1042°C	1908°F
스트레인점(변형점)	893°C	1639°F

Thermal Expansion

- 0 - 200°C (32 - 392°F) 5.7 x 10-7/°C

Optical

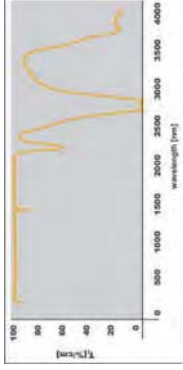
- 굴절률 @589.3nm 1.4584

Electrical

- Log10 체적 저항률: (205°C, 482°F) 11.8ohm*츠

Dimensions

- 두께: 1.6mm
- 사이즈: 최대 6.5" x 6.5" (165.1mm x 165.1mm)



Borosilicate

Corning® Eagle XG® LCD Glass

Description

코닝 Eagle XG LCD 글라스는 LCD에서 고성능을 내기 위해 특별히 디자인 된 봉규산 유리이다. 중금속(비산, 인티몬, 바륨이나 할로겐 화합물)을 포함하지 않기에 환경친화적인 것으로 간주된다. 표면의 고품질, 우수한 열적 특성, 낮은 밀도 그리고 화학물질에 대한 높은 내구성을 갖추고 있다.

Features

- 환경 친화적 (중금속 미함유) • 우수한 표면 품질 • 우수한 열적 특성
- 낮은 밀도 • 화학적 내구성

Applications

- LCD • Lightweight optical windows

Physical Properties

Mechanical

밀도 (20°C, 68°F)	2.38g/cm³	148.5lb/ft³
영률(세로탄성계수)	73.6GPa	10.7Mpsi
포와송비	0.23	0.23
전단 탄성계수	0.1GPa	4.4Mpsi
비커스 경도	640	

Viscosity

작업점	1293°C	2359°F
연화점	971°C	1780°F
서냉점	722°C	1332°F
스트레인점(변형점)	669°C	1236°F

Thermal Expansion

0-300°C (32-572°F)	31.7 x 10 ⁻⁷ /°C	17.7 x 10 ⁻⁷ /°F
작업실 설정 온도 25-675°C (77-1247°F)	35.5 x 10 ⁻⁷ /°C	19.7 x 10 ⁻⁷ /°F

Optical

굴절률	@ 435.8nm	1.5198
	467.8nm	1.5169
	480.0nm	1.5160
	508.6nm	1.5141
	546.1nm	1.5119
	589.3nm	1.5099
	643.8nm	1.5078
복굴절 상수	(331nm/cm)/(kg/mm2)	

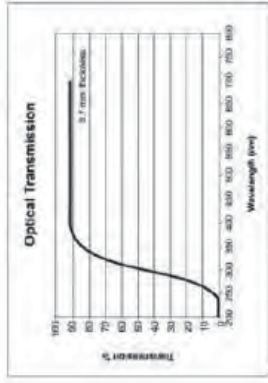
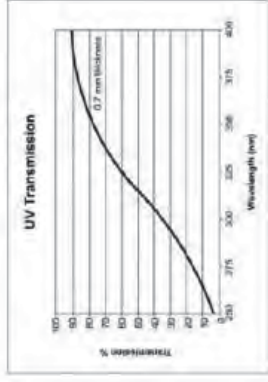
Electrical

Log10 체적 저항률	(250°C, 482°F)	12.9
	(500°C, 932°F)	8.8

Dimensions

- 두께 0.0433", 0.0275"(0.7mm, 1.1mm)
- 사이즈 최대 61" x 52"(1549.4 x 1320.8mm)

Transmittance



Corning® Gorilla® Glass

코닝 고릴라 글라스는 환경적으로 친화적인 알칼리 알루미늄규산염의 박판 유리이다. 다른 대부분의 화학 강화 유리 보다 뛰어난 내구성과 손상 방지 기능을 가진다.

Benefits

- 높은 수준의 화학적 강화를 위해 제작된 유리
 - 높은 압축
 - 깊은 압축 층
- 사용 후의 높은 유지 강도
- 스크래치 손상에 대한 높은 저항
- 아주 깨끗한 표면 품질

Applications

- 전자 디스플레이를 위한 이상적인 보호 덮개
 - 소형 기기 및 장치
 - 노트북과 태블릿 컴퓨터의 화면
 - 스마트폰을 포함한 모바일 장치
- 터치 스크린 장치
- 광학 부품
- 고 강도 유리 물품

Viscosity

- 연화점 862℃
- 서냉점 613℃
- 스트레인점(변형점) 563℃

Dimensions

- 가능한 두께 0.55mm - 2.0mm (다른 두께 필요시 문의 요망)
- Gen 5 - 49.21" x 35.43" 혹은 1250mm x 900mm 시트 가능

Optical

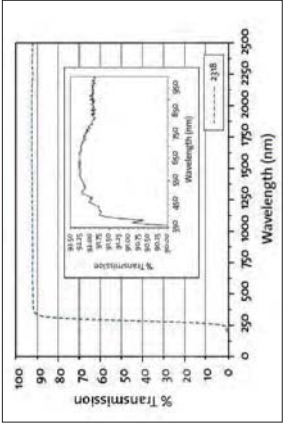
- 굴절률 (633nm)
- 코어 글라스 1.5094
- 압축 층 1.5116
- 광탄성 상수 29.4nm/cm/MPa



Chemical Durability

내구성은 침수 후 표면적의 질량 감소를 통해 측정된다. 측정 값은 실제 시험 조건에 따라 크게 달라진다. 위 자료는 코드 2318 글라스의 결과 값이다. 따로 언급하지 않는 한 농도는 질량배분율로 나타낸다.

Reagent	Conc.	Time	Temperature (°C)	Weight Loss (mg/cm²)
HCl	5%	24 hrs	95	0.04
NH ₄ F/HF	-10%	20 min	20	3.4
HF	-10%	20 min	20	11.96
NaOH	5%	6 hrs	95	1.10



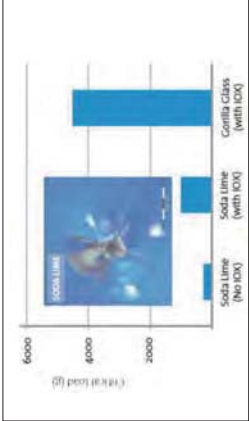
Properties

- 밀도 : 2.44g/cm³
- 영률(세로탄성계수) : 71.7GPa
- 포아송비 : 0.21
- 전단 탄성률 : 29.7GPa
- 비커스 경도(200g 부하)
 - 비 강화 : 625kgf/mm²
 - 강화 : 674kgf/mm²
- 파괴 인성 : 0.7MPa m0.5
- 팽창 계수(0℃ - 300℃) : 84.5 x 10-7/℃

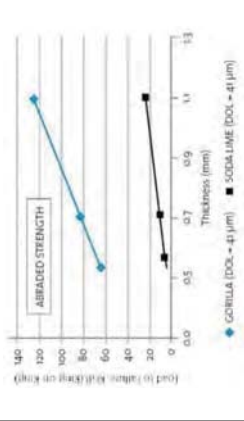
Chemical Strengthening

- 압축응력 ≥ 800MPa 가능
- 층의 깊이 ≥ 40μm 가능

Has Greater Damage Resistance

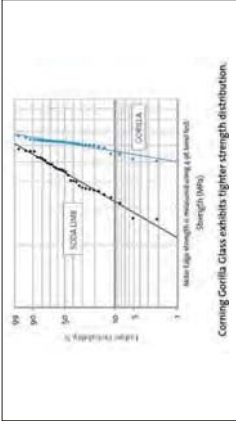


Enables Use of Thinner Glass



디바이스는 지속되는 강도에서 이점이 있다.

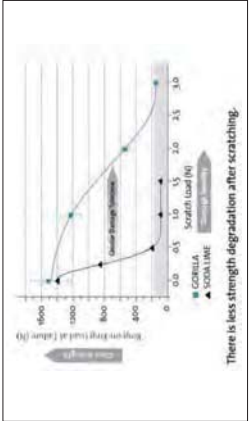
Has Greater Design Strength



High Ion-Exchange (HIE) - Corning Gorilla Glass(cont.) Electrical : Characteristics

Frequency (MHz)	Dielectric Constant	Loss Tangent
54	7.88	0.013
490	7.26	0.013
912	7.30	0.014
1977	7.22	0.015
3986	7.19	0.016

Greater Retained Strength



Scratches are Less Visible



코닝 고릴라 글라스는 흠집이 덜 보이도록 손상대와 핑크색을 여해 한다.