Chapter 2

Evaporation Material & Inorganic Chemicals







박막코팅물질과
응용제품 개론

고굴절률과 저굴절률 재료로 만들어진 투명박막층으로 이루어진 광학 코팅은 다른 파장들의 입사에너지를 제어한다. 다른 코팅조성들은 표면의 기계적 성질을 개선시키거나 장식목적을 수행한다. 이러한 기능들을 동시에 수행하는 코팅들도 있다. 표면의 성질을 수정하고 제어하는 박막층의 능력은 코팅물질과 물질들의 물리적 미세구조에 의해 결정된다.

기존물질들의 성질과 증착 기술을 개선시키면서 코팅재료들에 진일보가 이루어졌다.
물리적 기상증착(증착이나 스퍼터링)이나 화학적 기상증착에 적합한 물질인가의 여부는 물질의 형태, 조성(불순물 포함), 그리고 아주 중요하게, 제법 상태에 따라 결정된다. 이 기사를 읽게되면 특정한 용도에 맞는 최적의 물질을 선정하고 증착 요인들을 조정하는데 있어 도움이 될 것이다. 광학응용제품에 중점을 두었으나 물질이 화합물이나 혼합물, 금속 같은 단일 원자로 이루어지는 여부에 따라 어떠한 박막제품에도 일반적으로 적용될 수 있다.

광학용 코팅에 사용되려면, 물질이 흡수가 잘 일어나지 않고, 재현성있고, 안정적인 굴절률을 보이며, 적절한 기계적, 환경적(화학적) 내구성을 보이는 강한 박막으로 증착되야 한다. 박막층의 조성과 미세구조는 초기 조성, 제법, 사용된 기상증착 방법에 따라 영향을 받고 상기 성질들을 결정한다.

산화물들은 특정산화형태로 준비된다. 예를들면, 일부 금속산화물(TixOy)들은 부분적으로 환원되어 산화상태로 되면 증착후 최적의 광학특성을 보인다. 반면 다른 금속산화물(SiO2, Al2O3)들은 초기 상태에서 완전히 산화되어야 한다. 몇가지 물질들은 sintered(SiO) 나 melted(MgF2) 형태로 준비된다. 불화물들은 종종 녹아서 소량의 기체를 머금기도 한다. 다른 화합물들은 밀리미터 크기의 입자로(분말은 안됨) 공급해서 입자의 튐이나 수분흡수에 따른 폭발성의 outgassing이 발생하지 않도록 해야한다.

1. 증착기술의 영향

증착되거나 스퍼터된 박막의 최적형태는 이상적인 박막성질에 더해서 덩어리 밀도에 가까운 충진밀도, 낮은 고유응력, 적절한 증착력과 내구성을 갖는 형태이다. 증착인자들은 초기 코팅물질들만큼이나 증요하다. 증착률과 조성, 코팅분위기의 압력은 조성과 증착고체박막에 영향을 미친다. 박막 핵형성과 성장과정의 에너지는 박막의 물리적, 광학적 성질을 결정한다. 기판표면은 적절히 화학적, 물리적으로 작업하여 결합력을 증진시키도록 준비한다. 기판표면에너지는 온도나 이온충돌을 조정하여 보완한다.

2. 특정한 증착 자료

물질들은 네가지 큰 화학적 그룹으로 분류된다. : 유전체 산화물, 불화물, 금속, 적외선 물질. 각 그룹내에서 혼합물이나 합금을 만들어 보완한다. 각 그룹들에 대해 눈에 띄는 증착요인들은 아래에 예시하였다. 다른 그룹들 내 물질들로 이루어진 박막들은 조합해서 특정한 성질의 코팅을 만들수 있다. 예를 들면, 불화물과 산화물들을 혼합하여 AR 코팅에 사용될 수 있고 산화물과 금속은 보호거울로 사용될 수 있고 불화물과 반도체 물질들은 IR 코팅에 사용되며 혼합물들은 내마찰성 과 고온 코팅 등에 사용된다. 광학코팅에서 가장 널리 쓰이는 물질들은 Table1.에서 예시하였다. 가시광선영역에서 Niobia와 Ziconia 같은 내구성있는 산화물을 스퍼터 증착하는 기술이 최근에 발전했다.

표 1. 가장 널리 쓰이는 코팅물질

파장대역(nm)	저굴절률 물질	고굴절률 물질
Ultra Violet : 250-400	SiO2, MgF2, Al2O3	HfO2, Sc2O3, Al2O3
VISible-Near Infra Red : 400-1100	SiO2, MgF2, CeF3	TiO2, Y2O3, HfO2, Ta2O5
Short Wave-Middle Wave IR : 1100-5000	SiO2, CeF3, SiO	Ta2O5, HfO2, Ge, Si
Long Wave IR : 5000-12,000	YF3, CeF3, ThF4, ZnS	ZnS, ZnSe, Ge

전이금속 산화물과 다른 금속들은 가장 널리 쓰이는 광학용(그리고 기계적) 증착물질이다. 왜냐하면, 전자빔이나 저항가열, 스퍼터 등으로 상대적으로 쉽게 증착되서 내구성있는 유전막을 만들기 때문이다. 일반적인 응용제품은 AR, 광학필터, 안경용 mirror 코팅, 의학용, 과학용, 오락용 등이다.

많은 산화물들이 증착공정(열 증착법이든 스퍼터링이든간에) 후에 아산화물로 환원된다. 따라서, 산화물 증기과 반응하여 완전 산화된 박막을 얻기위해서는 산소의 분압이 진공상태에 존재해야한다. 박막이 불완전 산화막을 갖게 되면, 고에너지 레이져 방사시에 박막의 손상문턱수를 낮추어 커다란 실패를 초래할 수 있는 흡광이 일어난다.

고온의 기판이나 활성화에너지 형태로 첨가되는 에너지가 공급되어 산화를 촉진시켜야 한다. 높은 운동에너지를 공급하는 이온충돌(이온빔 보조증착)과 활성화에너지를 공급하는 산소 플라즈마들은 낮은 기판온도에서 산화물층 성장이 가능하도록 해 준다. 이러한 기술들을 사용할 수 없다면, 기판온도는 최소한 200℃가 되어야 산화층의 밀도를 보장할 수 있다. 외부 도움이 없다면, 증착에너지는 증착요인별로 1eV 하나에서 시작하여 다음순서대로 5-10정도씩 증가시켜야 한다. : 열(저항), 전자빔, 스퍼터링.

대부분의 산화물들이 증착온도에 도달하기 위해서는 전자빔에 의해 발생되는 고온이 필요하다. 물질 표에서 보듯이, 이 사실은 특히 내화산화물에 맞아 떨어진다. 대부분의 산화물은 스퍼터로 증착 가능한데, 스퍼터 증착은 고온이 아닌 높은 운동에너지가 원자들이 타겟에서 자유롭게 하여 흡착원자에 수십eV의 운동에너지를 주는 방식이다.

일반적으로 증착시 산소분압은 E-0.5 torr범위이고 증착속도는 2에서 5Å/s 이다. 모든 증착인자들은 상호의존적이며 챔버의 크기와 진공시스템의 진공을 빼는 속도에 따라 영향을 받는다. 따라서, 주어진 물질을 갖고 재현성 있는 박막을 생산하기 위해서는 각각의 증착시스템이 자신만의 공정을 개발할 것이다.

증착속도가 지나치게 높으면, 박막층이 흡수가 일어날 수 있다. 산소압이 지나치게 높으면, 박막의 밀도가 약해지고 대기에 노출되면 굴절률, 밀도, 응력정도가 변할 수 있다. 이온빔 보조증착(IAD)을 이용하면 이러한 문제들을 어느정도 피할 수 있다. 스퍼터 증착은 m-torr 압력범위내에서 일어나지만, 에너지가 높은 플라즈마 분위기에서는 높은 기체압의 효과가 박막강도에 영향을 준다.

많이 알려진 Al2O3나 Silica 같은 물질들은 막성장하는 동안 과도하게 산소압이 필요치 않고, 산소압이 과하면 오히려 막의 밀도와 안정성에 해롭다. 높은 충진밀도를 얻으려면, 높은 운동에너지가 필요하다. 따라서, 최소한의 압력에서 작동하여 흡수가 일어나지 않는 박막을 얻는 것이 이상적이다. 높은 운동에너지가 없으면, 기판표면에서 흡착원자는 곧바로 안정된 위치에 핵형성을 할 수 없고, 강력한 결합을 형성할 수 없다.핵형성이 분산되어 진행되면, 2차원적으로 균일한 성장이 이루어지면서 층진밀도가 낮게 나타나고, 개방형 기둥미세구조의 형태로 성장하는 것이 명백하다. 수분은 대면적의 기둥들 위에 흡수되어 이미 약하게 형성된 결합들을 더욱 약하게 할 뿐아니라, 막이 효과를 가질 수 있는 굴절률을 변화시킬 수있다. 이러한 미세구조는 내마찰성이거나 내화학성을 나타내지 않는다.

지나치게 높은 온도의 기판이나 이온에너지를 사용하면 두가지의 바람직하지않은 현상이 나타날 수 있다. 알려진 바로는 ZrO2, Al2O3, HfO2, TiO2 와 같은 산화물들은 다른 응력과 광학적 특성을 보이는 결정형태로 성장할 수 있다.

이런 경우에 박막두께에 따라 굴절률이 불균일하게 나타나는 것을 종종 경험할 수 있다. 다른 문제는 물질이 부분적으로 분해되면서 산화물이나 불화물에서 흡수가 일어날 수 있는 경우이다.

비정형 박막 미세구조로 성장하는 것이 항상 바람직하다. 왜냐하면, 충진밀도와 그에 따른 환경적 내구성이 최적상태가 되고, 안정한 수행결과를 나타내기 때문이다. 유리 같은 박막을 형성하는 산화물질로는 SiO와 SiO2가 있다. ZrO2, TiO2나 다른 물질들은 기둥형태의 미세결정구조로 성장한다.(높은 운동에너지를 갖는 이온 충돌에너지가 기둥형태의 성장을 방해하지 못한다면). 하지만 후자 물질들은 안경용 플라스틱 같은 저온용 기판에서는 성공적으로 사용될 수 있다.

비정형의 박막을 만드는 또다른 접근방법은 초기물질 조성을 적합한 첨가물을 섞어 혼합물이나 합금 형태로 만들어 수정하는 것이다. 새로운 물질은 순수 물질에서 야기되는 저밀도, 불균일성, 재현성 문제등을 극복할 수 있다.

일반적으로 쓰이는 파장대별 산화물을 Figure 1.에서 볼 수 있다. 다층 광학 코팅에서 요구되는 고굴절률과 저굴절률의 실제값은 증착공정과 이러한 값들로부터 출발한다.

표에서의 넓은 범위는 광학설계자들의 모든 욕구를 거의 충족시킨다.

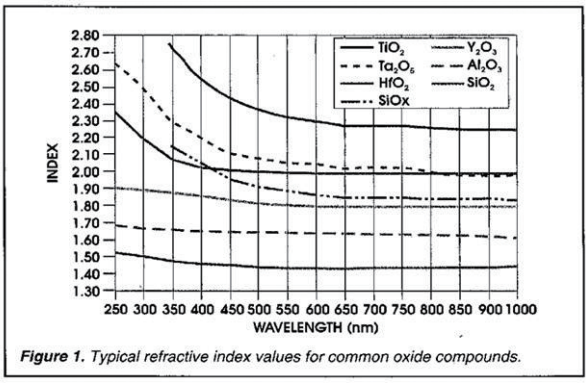


Figure 1. Typical refractive index values for common oxide compounds.

3. 불화물

불화물은 광학코팅용 증착물질 중 가장낮은 굴절률을 보인다. 불화물은 가장 투과도가 높고 300nm이하의 UV에서 10um이상의 IR에 이르기까지 투과성을 나타낸다. 가장 일반적인 용도는 AR코팅에서 저굴절률 외부막이고 IR대역에서는 ZnS나 ZnSe와 함께 다층 박막코팅에 쓰인다.

대부분의 불화물은 1,000℃이하 온도에서 증착되므로 열저항식을 사용하는 저렴한 공정에도 쓰인다. 두 물질의 증착조건이 매우 다르므로 불화물은 산화물 층과 조화를 이루어 사용된다. 불화물은 1E-06 torr근처 압력에서 증착된다. 결합이

강력하므로, 일반적인 공정하에서는 분해는 일어나지 않는다. 50℃정도의 기판온도에서 안정적인 증착을 얻기위해 이온빔 보조증착을 종종 사용하기도 한다. 하지만 지나치게 높은 이온 에너지는 불소손실을 야기해 주입산소로 대체되어 불순한 막에서 광학적 흡수와 수분흡수를 일으킬 수 있다. 불화물용 스퍼터링 공정은 개발중이다.
IAD를 사용하여 추가에너지를 제공하지 않으면, 높은 충진밀도를 얻는데 가장 중요한 요소는 기판온도이며, 최소 250℃이상이어야 한다. 200℃이하에서는 충진밀도가 단일물의 70%정도밖에 되지 않으며, 습기에 노출시 박막성질이 변할 수 있다. 충진밀도가 낮으면 굴절률과 층간 응력값이 불안정하다. 기둥미세구조의 치밀하지 않은 형태는 물을 흡수하여 굴절률을 증가시킬 수 있다. 불화물 층들은 일반적으로 장력(張力)을 받는다. 내부면에 물이 흡수되면 기둥내부의 약한 기계적인 에너지가 수정될 수 있고, 박막이 금이 생길정도로 약화되어 고착력을 잃을 수 있다.

불화물이 산화물을 포함하기 때문에 기본적으로 불화물 증착은 산화물보다 더 빠른게 증착된다. 40Å/s 에 근접하는 증착속도(물질과 형태가 의존적)가 박막 성장동안 잔류가스가 막에 포함되는것을 줄이는데 이상적이다. 압력은 1E-06torr 이하이어야 한다. 대부분의 불화물들은 녹아서 튀어오를 가능성이 줄어든다. 전자빔을 사용하면, 표면이 녹기전까지 부분적으로 과열되는 것을 막기위해 표면 구석구석을 훑어주어야 한다. 서서히 조절해주면, 모든 불화물에서 나타날 수 있는 일반적인 문제인 흡수된 물이 빠져나올 수 있다. 여러 깊이의 흡습대역은 2.8에서 3.2um와 6.0에서 7.4um대역에서 불화물 박막의 스펙트럼이 나타날 수 있다. 높은 기판온도, 높은 증착률, 낮은 주변압과 이온빔보조증착(IAD)는 대역의 깊이를 줄일 수 있다.
새로운 불화물질들이 개발되어 이러한 광학적, 기계적 문제들을 점차 줄어들고 있다. 그러한 물질들로는 CERAC의 IRX와 IRB가 있고, 비정형, 고밀도, 저응력을 갖는 IR박막층용으로 특별히 개발되었다. IR 응용제품들은 1에서 2um의 박막두께를 갖는다. 이러한 비 방사선 물질들은 주로 ThF4가 사용되었던 용도에서 사용된다. 대체품들은 , UV(300nm)에서 최소 11um에 걸쳐 사용될 수 있다.

이러한 세가지 물질에 YF3까지 포함한 각 물질들의 광학적, 기계적 성질을 Table.2에서 비교하였다. 높은 레이져 에너지 단계(10.6um)을 제외하곤, 대체물질들이 개선된 경향을 보인다. IRX는 습기침투와 용해, 고온의 스트레스 방지용으로 응용할 수도 있다. 박막층으로는 습기에 민감하거나 부드러운 물질을 보호하는 용도로 쓰일 수 있다.

표 2. ThF4와 대체물질들간의 비교

성질		ThF4	YF3	IRB	IRX
1/4파장(QW)에 대한 10.6um에서 흡수(%)		0.06	0.12	0.43	0.80
12um에서 투과율 손실(%) 13um에서 투과율 손실(%)		<2 ~4	6 <10	<3 ~4	<10 <15
10-12um에서 굴절률		1.35	1.35-1.30	1.35-1.30	1.43-1.40
내구성	내용해성	약간 용해	불용성	약간 용해	불용성
	내흡습성	다소 영향받음	낮게 영향받음	다소 영향받음	영향없음
	내마모성	부드러움	상대적으로 단단함	부드러움	가장 단단함
고착력과 응력 두께범위(um)		~2.5(ZnS)	2(ZnS)	>2.5(ZnS & Ge)	1.5(ZnS), 2(Ge)
Scatter(산란)		보통	낮음	낮음	매우낮음

증착경향	증착온도(℃)	900	900	700	1000
	기판온도(℃)	175	175-200	200-225	150-225
	녹는경향	승화	녹음	녹음	녹음

4. 적외선 물질

적외선 물질들은 일반적으로 반도체(Ge, Si, CdTe), 화합물, 황화물, 셀렌화물, 불화물(표.1 참조)들이다. 그들의 굴절률은 언급한대로 감소한다. 실리콘은 전자빔으로 증착되야 하지만, 다른 물질들은 저항열로 증착가능하다. 황화물, 센렌화물과 텔루화물은 녹지않고 튈 가능성이 크다. 그러므로 baffled box를 권장한다.

황화물, 셀렌화물과 같은 중금속 화합물들은 다른 조건들이 이상적인 상황에서는, 열을 받으면 분해되어 기판위에서 안정한 화학양론적으로 재구성된다. 기판온도는 150℃정도가 적절하다. 기판온도가 지나치게 높으면 기판위에서의 재구성을 방해하여 더 높은 증기압을 가진 원자가 부족해지므로, 광학적 흡수를 야기할 수 있다. 같은이유로, 증착속도는 낮아야한다.

산소는 적외선물질과는 관련이 없기 때문에, 증착은 1E-06torr근처에서 이루어져야 한다. 후막에서 스트레스가 높은 상태에서 산소 부분압(1E-05torr)이 막의 스트레스를 높일 수 있는 경우에는 예외이다. 화합물 반도체는 기둥처럼 성장하기 때문에 가스와 물이 미세구조로 들어가서 불안정성을 야기할 수 있다.

Ge,ZnSe 등의 기판은 결합이 약하기 때문에 유기용제로 표면을 세정하고 표면의 수분을 제거해야 한다. 고밀도의 접착력 있는 박막 성장 촉진제로 결합층이 사용되기도 한다. 이런 핵형성 촉진제는 금속산화물이나 기판물질의 신선층이 될 수 있다.

5. 금속코팅

금속은 거울 코팅, 반도체에서의 전자추적, 박막 저항기, 중성 밀도 필터에서 사용된다. 가장 일반적인 거울코팅은 SiO(~1500Å)의 λ/2층으로 보호된 불투명 Al(~1000Å)층이다. 이런 1차면 Al 거울은 가시광선 영역에서 88%정도를 반사한다. UV대역에서 사용하려면, 유전체 보호층이 비흡수성이어야 한다. MgF2, SiO2 와 기타 산화물들이 사용된다. 95% 이상의 반사율을 갖고 근적외선이나 원적외선에서 사용되는 거울코팅은 보호층 은이나 금 등으로 이루어져 있다. 크롬을 제외하고는 금속층은 마찰이나 다른 환경적인 상호작용으로부터 보호되어야 한다. 거울코팅의 품질검사 기준으로는 MIL-M-13508기준이 적용된다.

기판온도가 ~100℃이하로 유지되면, 산란이 낮은 거울이 만들어질 수 있다. 고온의 기판 상에 금속을 코팅하면 뭉쳐서 턱을 형성하여 산란이나 스트레스가 그곳에 집중되어 부착실패를 가져올 수 있다. 접착층이나 보호층이 기판과 반사금속간에 필요할 때가 있다. 100에서 200Å에 이르는 크롬, 니켈-크롬이나 기타 산소 활성적인 금속층은 특히 아산화물 결합층과 유리기판사이에서 강력한 화학결합이 만들어지는 유리기판위에 사용된다. 금과 은은 티타늄이나 크롬등의 금속결합층이 필요하다. 금속의 표면이 산화되면 화학적결합을 증대시킨다.

금속과 금속합금은 쉽게 스퍼터 증착되는데, 스퍼터는 전자 추적을 광식각법으로(Photolighograhically) 패턴을 뜨는 반도체 생산에서 거의 독점적으로 사용된다. 박막 저항기는 금속과 유전체(도자기), 금속합금을 혼합해서 만들어진다.

6. 특별용도 물질

박막은 전자, 기계, 화학용에 사용된다. 투명 전도성 코팅은 액정디스플레이(LCD) 패널, 터치패널 접점, 열 제어 코팅, 전자기와 RF 간섭보호, 정전기방지층, 김서림방지층 등을 만드는데 사용된다. ITO는 가장 일반적인 투명전도층이며, 통상 비저

항이 10Ω/sq 정도로 증착된다. 전기적,광학적 성질은 박막 구성비에 상당히 의존적이며 산소분압, 증착속도, 기판온도 같은 증착공정변수에도 의존적이다. ITO를 가장 재현성있게 구현하는 공정은 스퍼터 증착이다.
전류의 영향하에서 빛의 강도나 색채를 조절하는 투광조절(Electrochromic) 코팅이나 명암을 조절하는 Photochromic 코팅들은 많은용도로 사용된다. 이런 층들은 투과율 상태가 이온들의 흐름에 의해 외부적으로 조절된다.
빛의 흡수가 높고 반사율이 낮은(dark mirror)코팅들은 디스플레이와 표유광선 제어용으로 사용된다. SiO/Cr 혼합물은 고체 용액상태로 증착되어 흡수층으로 고체화 된다.

7. 마찰학적 용도

박막층들은 표면의 내마모성, 내마찰성을 증가시키기위해 사용된다. 코팅은 아주 큰 경도, 접착력, 결합력, 윤활성을 가져야한다. 일부에서는 이런 성질들이 고온이나 침식성 조건에서도 유지되어야 한다. 많은 후보 재료 중 일부가 아래에서 논의되었다.
광학면용 물질들은 혼합산화물(투명성)과 탄화물/질화물/보론화물 화합물(선택적 반사성)을 포함한다. 화학적으로 증착된 다이아몬드와 유사 다이아몬드 박막은 높은 경도값을 나타내지만, 고온(산소존재하에서 250℃)에서는 내성이 없다. ZrO2, Y2O3, Nb2O5, Si3N4 와 기타 화합물 및 혼합물들을스퍼터링이나 전자빔 증착을 하면, Vickers 경도기준으로 1200을 넘는다. ITO, MgO, Al2O3 와 BeO 도 표면의 내마모성을 개선시킨다.
2,500℃이상에서는 TiC, VC, ZrC, TiN, BN, B4C, LaB6, TiB2 와 기타물질들이 사용된다. 스퍼터링, 반응성 증착, CVD, plasma spray 등을 사용하면 수 마이크론 두께의 Vickers 경도 2700이상이 달성된다. 위에 기술된 물질층들은 극한조건 하에서 접착력을 증가시키도록 변환되어야 한다. 다른종류의 반사색상의 장식용 코팅들은TiZrN(golden), ZrN(yellow-green), TiO2+Cr2O3(red), Al2O3+V2O3(blue) 등에서 얻어진다. 스퍼터링의 주변 분위기 비율이 색상을 조절한다.

8. 레이저 제품용 코팅

고강도의 레이저 에너지 조절은 의학, 범위측정, 군사장비와 에너지 생산 등에 요구된다. AR, 높은 반사기, 광분배기와 광조합기용으로 고안된 코팅은 가동시간동안 높은 영향력에 반복적으로 노출되어도 견뎌야 한다. 코팅은 레이저 장비와 물질간의 약한 결합이다. 증착과 테스트 기술은 지난 20년간의 레이저 제품에 대해 많은 노력들의 주제가 되어 왔다.
흡수가 일어나면 코팅표면의 레이저 유도 손상문턱수를 감소시킬 수 있다. 손상은 패여서 생기는 표면 산란의 증가에서부터 엄청난 실패에 이르기까지 다양하게 나올 수 있다. 손상 메커니즘은 연속파(Continuous Wave:CW) 대 펄스화된 작동에 따라 다르다. CW 방사나 백만분의 1초 단위의 펄스는 열을 발생시켜, 부가적인 용융과 박막 흡수가 생기는 필름의 주름을 발생시킬 수 있다.
10억분의 1초 영역의 펄스는 튐이나 스트레스에 의한 미세한 금과 같은 결함과 합쳐져서 표면 발진을 일으킨다. 레이저 제품용 코팅재료는 튐, 수분함량,불순물 함량 등을 낮추어 제작된다. 각기 다른 스펙트럼 영역에서 레이저 제품용도에 적합하다고 알려진 유전체들을 표.3에 정리하였다.

표 3. 레이저코팅용 물질

파장 대역(nm)	저굴절률 물질	고굴절률 물질
UV(250-400)	CaF2, SiO2, MgF2	HfO2,Sc2O3,Al2O3
VIS(400-700)	SiO2, NdF3	TiO2, Ta2O5, HfO2, ZrO2
Near-IR(700-1200)	SiO2	TiO2,Ta2O5,HfO2
IR(3000-11,000)	ThF4, CaF2, YF3,CeF3(IRX)	ZnS, ZnSe

재료준비와 증착기술은 손상저항을 얻기위해서는(높은 에너지 문턱수) 중요하다. 스퍼터링은 많은 경우에 전자빔 방식에 비해 미립자 발생량이 적다는 장점이 있다. 본래 갖을 수 있는 높은 충진밀도 때문에 물의 흡수가 잘 일어나지 않고, 물 흡수대역에 근접하는 레이져 파장을 고려하게 한다. 박막성장의 성질, 스트레스 정도, 미세구조 형태도 손상저항을 결정한다. 손상이 발생하는 지점은 미세하게 튀거나, 함수, 오염물, 긁힘, 미세한 금, 빈공간 등이 있는 지점이다. 기판표면은 매우 매끄러워야하고 연마물질과 기타 오염물들이 잔류하지 않아야한다. 일반적으로 비정형 층은 밀도가 높고, 균일하기 때문에 다결정구조보다 더 높은 손상문턱수를 갖는다.

물질혼합성

다층박막 조합은 열적,화학적 상호작용과 증착공정을 고려해야 한다. 접촉면 결합과 스트레스 정도는 내구성, 안정성, 광학적 성능에 영향을 준다. 다른 물질들 층간에 화학결합이 이루어지지 않으면, 마찰, 흡수, 열적변화 등의 외부에서 가해지면 코팅은 변하거나 실패하기 쉽다. 재료나 증착기술을 적절히 선택하면, 인장응력과 압축응력을 조화시킬 수 있다.
고굴절률/저굴절률 물질의 혼성조합은 아래와 표.1에서 나타내었다.
SiO2는 Al2O3, Y2O3, TiO2, Ta2O5, Nb2O5 와 조합을 이루고 기타 조함은 다음과 같다. MgF2/ZnS, SiO/Ge, CeF3/ZnS, ZnS/Ge, CeF3/ZnSe, ThF4/ZnS.

스퍼터링 증착물질

스퍼터 증착은 다른 형태의 증착기술에 비해 좀더 일관성 있게 변수를 제어하고 종종 자동화된다. 금속(단독이거나 합금)과 산화물들은 스퍼터링에 적합하다. 저에너지의 증착기술에 비해 커다란 충진밀도, 강한결합, 낮은 기판온도를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 스러터링 속도를 증가시키도록 개발되어 전자빔과 같은 속도 혹은 능가하는 속도를 보유했다.
초기물질과 원하는 박막재료에 따라 많은 종류의 스퍼터링 공정이 있다. 산화물은 반응성 스퍼터링(Reactive sputtering)에 의해 만들어진다. 금속산화물은 AC방법으로 스퍼터 된다.

자료표

광학코팅용으로 가장 일반적으로 사용되는 물질에 대한 자료표는 1999 Photonics Handbook로 출간되었다. 추천하는 증착조건과 생산된 박막층의 성질등이 포함되 있다. 광학코팅경험, 출간된 서적과 연구자료들로부터 얻어졌다. 제범과 공정변수들이 코팅장비에 따라 매번 다르기 때문에 성능자료는 참고자료로만 쓰일 수 있다.

광학용 진공증착재료

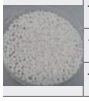
PHOTO	CAT. NO.	SUBSTANCE	FORMULA	Producr Form	Purity	Refractive Index	Transmission Range	Evaporation Temperature	Application
	TS1100	Aluminium Oxide	Al2O3	1-2.5mm pcs	99.99%	1.62/550nm	200-5000nm	2000-2200℃	A.R.coatings Multilayers
	TS1110			2.5-5mm pcs	99.99%				
	TS1120			10mmDia x 3mmTh, 1g	99.99%				
	TS3800	Aluminium Fluoride	AlF3	1-3mm pcs	99.9%	1.35/500nm	200-8000nm	800-1000℃	U.V.coating
	TS3000	Barium Fluoride	BaF2	1-2.5mm pcs	99.99%	1.4/10600nm	220-11000nm	1280℃	U.V.-FAR ultilayers Multilayers A.R. coating
	TS1700	Calcium Fluoride	CaF2	1-4mmpcs	99.95%	1.23-1.42/550nm	150-12000nm	1280-1400℃	A.R.coatings
	T21200	Cerium Fluoride	CeF3	0.7-3.5mm pcs	99.99%	1.63/500nm	300-5000nm	1429℃	A.R.coatings Multilayers
	TS1210			3-5.5mm pcs	99.99%				
	TS1220			5-10mm pcs	99.99%				
	TS1300	Cerium Oxide	CeO2	10mmDia x 3mmTh, 2g	99.99%	2.35/500nm	400-16000nm	1950℃	A.R.coatings
	TS1310			2-5mm pcs	99.99%				
	TS1320			20mmDia x 5mmTh	99.99%				
	TS4100	Chromium	Cr	1-3mm pcs	99.99%			1430℃	
	TS4105			3-6mm pcs	99.99%				
	TS4110			4-8mm pcs	99.99%				
	TS4120			200mesh	99.99%				
	TS1400	Cryolite	NaAlF6	0.7-3.5mm pcs	99.9%	1.33/500nm	250-14000nm	1000℃	A.R.coatings
	TS1420			3-6mm pcs	99.9%				
	TS4200	Gadolinium Oxide	Gd2O3	1-5mm pcs		1.8/550nm	320-15000nm	2200℃	A.R.coatings
	TS3300	Germanium	Ge	Block	99.99%	4.4/2000nm	1700-23000nm	1300-1500℃	I.R.coatings
	TS1500	Hafnium	HfO2	8mmDia x 5mmTh, 2g	99.99%	1.95/500nm	230-7000nm	2500℃	U.V.- NIR Multilayers
	TS1503			granules	99.99%				
	TS1520			20mmDia x 8mmTh	99.99%				
	TS1600	I.T.O (In2O3/SnO2) (wt%)	(86/14)	10mmDia x 5mmTh, 2g	99.99%	2.0/500nm	400-800nm	1450℃	Conductive transparent coatings
	TS1610		(90/10)	10mmDia x 5mmTh, 2g	99.99%				
	TS1615		(90/10)	7mmDia x 5mmTh	99.99%				
	TS1620		(95/5)	10mmDia x 5mmTh, 2g	99.99%				
	TS1630		(95/5)	1-4mm pcs	99.99%				
	TS1650		(90/10)	1-4mm pcs	99.99%				
	TS3100	Lanthanum Fluoride	LaF3	0.7-3.5mm pcs	99.99%	1.58/500nm	220-14000nm	1450℃	A.R.coatings
	TS3900	Lead Fluoride	PbF3	1-5mm pcs		1.76/470nm	220-9000nm	700-1000℃	U.V.coatings
	TS3910			Powder					
	TS1800	Magnesium Fluoride	MgF2	0.4-1mm pcs	99.99%	1.38/550nm	130-7000nm	1300 -1600℃	A.R.coatings Multilayers
	TS1810			1-2.5mm pcs	99.99%				
	TS1820			2.5-5mm pcs	99.99%				
	TS1850			3-8mm pcs	99.99%				
	TS1900	Magnesium Oxide	MgO	10mmDia x 3mmTh, 0.5g	99.99%	1.7/500nm	200-8000nm	2000℃	Multilayers
	TS1910			22mmDia x 10mmTh	99.99%				
	TS1920			2-4mm pcs	99.99%				

PHOTO	CAT. NO.	SUBSTANCE	FORMULA	Producr Form	Purity	Refractive Index	Transmission Range	Evaporation Temperature	Application
	TS3700	Praseodymium Fluoride	PrF3	1-5mm pcs	99.9%	1.51/632.8nm	220-15000nm	1400-1600℃	I.R. ultilayers(10.6u) A.R.coating
	TS2100	Scandium Oxide	Sc2O3	10mmDia x 3mmTh	99.99%	1.89/500nm	250-5000nm	2430℃	U.V. Multilayers
	TS2110			25mmDia x 10mmTh	99.99%				
	TS2000	TSH1 ZrO2/TiO2 (90/10wt%)		10mmDia x 3mmTh, 1g	99.9%	2.1/500nm	400-7000mn	2300℃	A.R.coatings
	TS2002			1-3mmpcs(JBH1)	99.9%				
	TS2010			15mmDia x 8mmTh, 6g	99.9%				
	TS2011			18mmDia x 8mmTh	99.9%				
	TS2060	TSPISA ZrO2/Ta2O5 (70/30wt%)		10mmDia x 4mmTh	99.99%				
	TS2080	TiO2/Ta2O5 (70/30wt%)		10mmDia x 4mmTh	99.99%				
	TS3200	Silicon	Si	Block	99.99%	3.4/3000nm	1000-9000nm	1500℃	I.R.coatings
	TS2300	Silicon Monoxide	SiO	0.3-2.5mm pcs	99.97%	1.55/550nm	600-8000nm	1200-1600℃	A.R.coatings Protective films
	TS2301			2.5-5mm pcs	99.97%				
	TS2320			5-10mm pcs	99.97%				
	TS2330			200mesh	99.97%				
	TS2340			10-15mm pcs	99.97%				
	TS2345			15-20mm pcs	99.97%				
	TS2350			<0.3mm pcs	99.97%				
	TS2355			<2mm pcs	99.97%				
	TS2200	Silicon Oxide	SiO2	1.5-3mm pcs	99.99%	1.45/500nm	200-2000nm	1600 -2200℃	Multilayers
	TS2201			<1mm	99.99%				
	TS2205			1-5mm pcs	99.99%				
	TS2210			5-8mm pcs	99.99%				
	TS2232			Disc	99.99%				
	TS2400	Tantalum Oxide	Ta2O5	10mmDia x 3mmTh, 1g	99.99%	2.1/500nm	400-7000nm	1950℃	A.R.coatings
	TS2420			6mmDia x 3mmTh, 0.5g	99.99%				
	TS2430			1-5mm pcs	99.99%				
	TS2500	Titanium Monoxide	TiO	10mmDia x 5mmTh, 2g	99.9%	2.35/500nm	400-12000nm	1700-2000℃	Multilayers Beam-splitters
	TS2501			8mmDia x 4mmTh	99.9%				
	TS2510			0.5-3mm pcs	99.9%				
	TS2600	Titanium Oxide	TiO2	15mmDia x 5mmTh, 2.5g	99.9%	2.35/500nm	400-12000nm	2200℃	A.R.coatings Multilayers
	TS2610			18mmDia x 6mmTh, 5g	99.9%				
	TS2620			10mmDia x 3mmTh, 1g	99.9%				
	TS2630			3mmDia x 3mmTh	99.9%				
	TS2670			1-4mmpcs, 99.9%	99.9%				
	TS2900	Titanium(III) Oxide	Ti2O3	10mmDia x 8mmTh, 2g	99.99%	2.35/500nm	400-12000nm	1800-2000℃	A.R.coatings Multilayers
	TS2910			2-4mm pcs	99.99%				
	TS2920			0.7-3.5mm pcs	99.99%				
	TS4400	Titanium(V) Oxide	Ti3O5	2-6mm pcs	99.9%	2.35/500nm	400-12000nm	1750-2000℃	Multilayers Beam-splitters
	TS4405			1-3mm pcs, 99.9%	99.9%				
	TS4410			8mmDia x 6mmTh	99.9%				

PHOTO	CAT. NO.	SUBSTANCE	FORMULA	Producr Form	Purity	Refractive Index	Transmission Range	Evaporation Temperature	Application
	TS3600	Yttrium Fluoride	YF3	1-5mm pcs	99.9%	1.49/632.8nm	200-15000nm	1100℃	I.R. ultilayers(10.6u) A.R.coating
	TS2700	Yttrium Oxide	Y2O3	10mmDia x 3mmTh, 1g	99.99%	1.87/550nm	400-8000nm	2500℃	A.R.coatings Multilayers
	TS2710			2-5mm pcs	99.99%				
	TS2800	Zirconium Oxide	ZrO2	10mmDia x 3mmTh, 1g	99.9%	2.05/500nm	250-7000nm	2500℃	A.R.coatings Multilayers
	TS2810			15mmDia x 7.5mmTh, 6g	99.9%				
	TS2811			18mmDia x 8mmTh, Black	99.9%				
	TS2813			22mmDia x 10mmTh	99.9%				
	TS2815			18mmDia x 12mmTh, Black	99.9%				
	TS2816			18mmDia x 12mmTh, White	99.9%				
	TS2820			2-4mmpcs, Black	99.9%				
	TS2823			1-3mmpcs, White	99.9%				
	TS2826			18mmDia x 8mmTh, White	99.9%				
	TS2831			24mmDia x 10mmTh	99.9%				
	TS2832			24mmDia x 14mmTh	99.9%				
	TS2840			27mmDia x 10mmTh	99.9%				
	TS2841			27mmDia x 13mmTh	99.9%				
	TS2850			30mmDia x 10mmTh	99.9%				
	TS2890			35mmDia x 15mmTh	99.9%				
	TS3400	Zinc Selenide	ZnSe	Block	99.99%	2.58/550nm	600-15000nm	600-900℃	I.R.coatings
	TS3500	Zinc Sulfide	ZnS	2-5mm pcs	99.99%	2.4/1200nm	400-14000nm	1100℃	Multilayers
	TS3502			5-9mm pcs	99.99%				
	TS3504			12-16mm pcs	99.99%				
	TS3510			Block	99.99%				
	TS3530			10mmDia x 3mmTh	99.99%				
	TS3540			10mmDia x 6mmTh	99.99%				
	TS3550			5mmdia x 5mmTh	99.99%				
	TS3580			5-20mm pcs	99.99%				
	TS4000	WIRE	Al	1mmDia				1280℃	
	TS4010			0.5mmDia					
	TS4020			4-5mmDia					
	TS4500		Ni/Cr	(80/20wt%) 1mmDia					
	TS5000		W	1mmDia					
	TS5010			0.8mmDia					
	TS4600	PLATE	Mo	0.1-0.3mm					
	TS4900		W	0.1-0.3mm					

Technical Information for Hydrophobic coating





내지문 코팅약품 (AF : Anti Fingerprint) -EZ Clean Series

• EZ Clean Series

1. 특징

내구성을 가지는 코팅층은 지문 및 먼지와 같은 일상생활의 오염물로부터 자유롭고, 표면의 안정성을 부여 한다.

2. 적용분야

터치 스크린 디스플레이, 평면 디스플레이, 렌즈 electronic (touch) applications, etc.

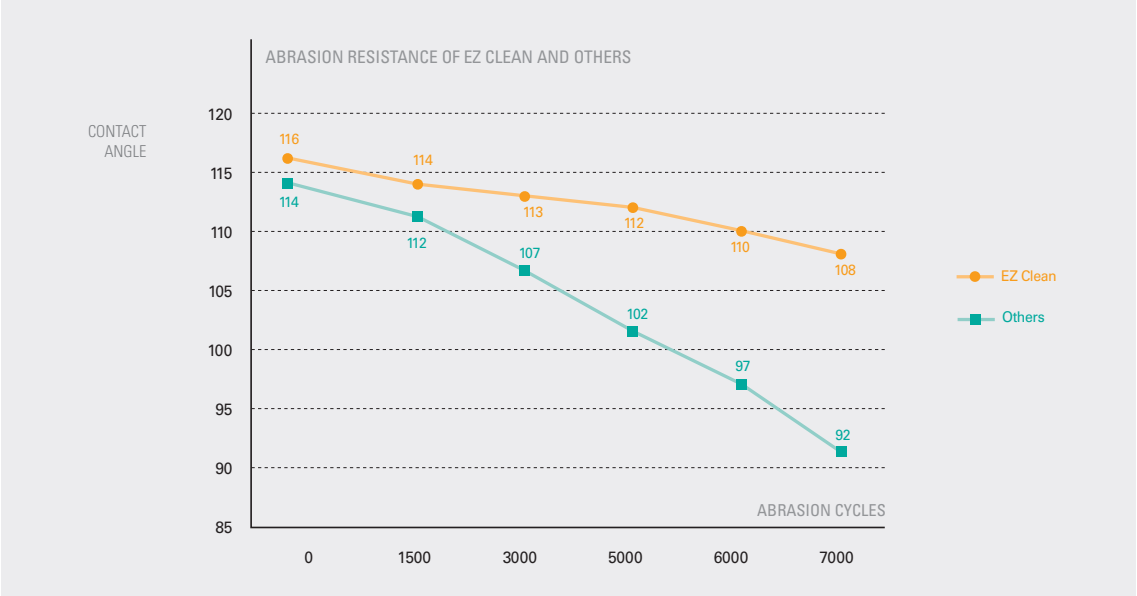
3. 장점

저마찰성, 낮은 표면에너지(마찰계수), 높은 접촉각, 뛰어난 내마모성과 우수한 발수성 및 발유성은 증착 물질의 표면에 내지문성과 방오성 및 우수한 세정용이성을 부여한다.

4. 속성

뛰어난 발수성과 발유성은 표면을 미끄럽게 하여 어떠한 오염물질도 부착하기 어려운 연잎효과(lotus leaf effect)를 보여준다.

• 내마모 테스트 비교



•Specification of AF Coating Film

Test	Spec.	Info.
초기 접촉각	110°~120°	KRUSS사 (DSA100)
두께	≥200Å	-
동마찰계수	≤0.03	0.10이하 (S사 기준)/Labthink
내마모 테스트	-2° ~ -3°	500g ×1500 cycles, RPM40
내약품 테스트	-2° ~ -3°	Methyl Alcohol
염수 분무 테스트	-3° ~ -4°	NaCl 5%, 72hours
자외선 테스트	-2° ~ -3°	72hours
항온, 항습 테스트	-2° ~ -3°	60°C / 95%

•A major Features of EZ Clean Series

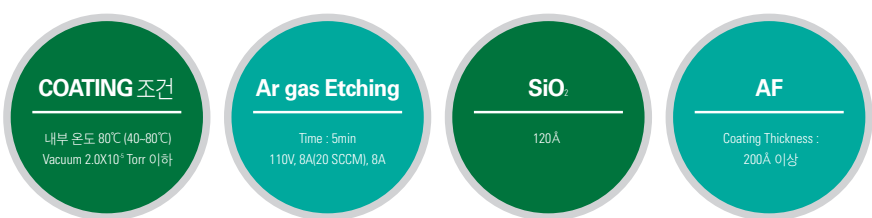
Contact Angle	Water	Ethylene Glycol	Hexadecane
Static θs	117°	100°	70°
Advancing θa	120°	100°	71°
Receding θr	117°	90°	69°
Sliding angle	11°	17°	10°





EZ Clean의 가장 중요한 특징은 낮은 기울기와 낮은 접촉각의 이력현상(θa-θr)이 표면의 매끄러움을 향상시키고, 항상 깨끗하게 유지될 수 있게 한다.
ex)코팅된 유리는 유성매직도 제거 가능

•AF Coating product (Application Note) for Thermal type



Aluminum Oxide, Al2O3 for optical coating

응용분야

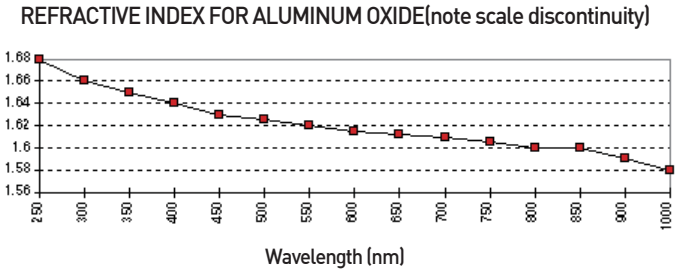
Al2O3는 UV(<300nm)에서 IR(~5um)범위 내에서 코팅용으로 사용되며 중 굴절률과 낮은 흡수율을 지닌 물질이다. Al2O3는 보편적으로 near-UV laser AR과 유전체 미러 디자인에 사용된다. Al2O3는 UV 레이저 용도용으로 레이저 손상 문턱값(LDT)을 가진 다층막 구조 형성을 위해 SiO2막과 함께 결합하여 사용된다.

박막특성

완전히 산화된 Al2O3막은 300nm이하에서 최소 5um범위까지는 흡수가 일어나지 않는다. 증착 중에 약간의 분해로 인해 산소 손실이 발생한다. Al2O3는 유리, 대부분 종류의 산화물들, 일부 중합체, 알루미늄과 은 같은 금속들에 대해 흡착력이 좋다. 박막들은 결정질의 미세구조와 낮은 충진 밀도로 성장하고 습한 공기 중에 노출되었을 때 나타나는 굴절률의 변화가 나타난다. 수분 흡수가 완료되면 균일한 형상에 도달하는 일련의 변색들이 나타나는 것으로 알 수 있다. 낮은 에너지 증착, 낮은 기판 온도 혹은 과도한 주변 압력 증착 상태 하에서는 이 불안정한 효과가 더욱 커진다. 고에너지 증착 기술과 높은 기판 온도가 미세구조의 충진 밀도를 증가시켜 공극부피(void volume)를 감소시켜주기 때문에 굴절률은 이 두 가지 변수에 따라 반응한다, 대기 중에서 증착 후에 구우면 굴절률을 높일 수 있다.

굴절률

굴절률은 산화 정도, 기판 온도와 만들어진 막의 밀도에 따라 변화된다. 예를 들어, 300℃ 기판위에서 550nm에서 굴절률 1.63을 나타내며 기타 대략적인 값들은 아래 그래프에서 점으로 표시하였다. SiO2를 이용한 증착보다 Al2O3를 이용한 증착에서 더 적은 분리가 발생하기 때문에 Al2O3의 흡수가 낮은 막을 얻기 위해서는 주변에 그다지 많은 산소가 필요하지 않다.



물질경향

전자빔을 상부 표면에 천천히 훑은 후 뜨거워서 흰색이 될 때까지 가열 후 녹이는 것이 가장 바람직한 필수 조건이다. 구멍이 생기는 것을 피하고 색이 어두워지면 다시 충진해야 한다.

증착변수

증착 온도	~2100°C
물질 용기	E-beam용 liner 필요 없음. 전자빔은 swept되어야만 한다.
증착 속도	2-5Å/sec.
산소의 부분압력	1 x 10-5 Torr.
기판 온도	200°C 에서 300°C

고체 Al2O3물질의 물리적 특징

분자 무게	101.96
녹는점	2020°C
색	투명한 것부터 흰색까지(품목설명참조)
결정 밀도	3.97g/cc

Aluminum Fluoride, AlF3 for Optical Coating

개요

불화물은 자외선영역에서 적외선 중간 영역까지 사용되는 코팅이다. AlF3는 가장 낮은 굴절 지수를 보여주기 때문에 반사 방지(AR) 코팅의 필수적인 화합물이다. 불화물 박막은 화합물 및 증착방법과 매개 변수에 따라, 깊이를 변화로 적외선 영역 2.8-3.2 μm의 및 6.0-7.4 μm의에 흡수대를 보여준다. 높은 기판 온도, E-beam 과 이온빔보조증착은 흡수의 깊이를 줄여주는 방법이다.

AlF3는 이전에 저굴절률이 요구되었을 때 사용되던 코팅 재료로 잘 알려진 물질이다. AlF3는 물에 의해 영향을 받지 않고 좋은 기계적 내구성을 가진다.

응용분야

AlF3는 엑시머 레이저에서 거울용 위한 코팅재료로써 사용된다. 엑시머 레이저 기술은 의학에서 혈관형성술 과 반도체 공정에서 석판인쇄에 적용된다.

물리적 특성

AlF3는 흑연도가니에서 E-beam으로 실험 증착되었다. AlF3는 5~15분가량 표면 일부를 탈수하고 녹여 밀도 높은 표면을 만들기 위해 전처리되었다. AlF3는 낮은 E-beam 파워로 10-6Torr에서 부드럽게 증착된다. 휘발성 증기나 수증기가 발생되지 않으면서도 진공압력이 계속 낮아진다. 높은 밀도와 내수성, 견고함을 위해 증착속도는 10-20 Å/sec.이고, 기판 온도는 250℃ 이상이어야 한다.

박막특성

AlF3 코팅은 다른 불화물과 비교해 저굴절률을 갖는다. 400 nm정도에 파장대역에서 ~ 2 %의 투과율 손실은 E-beam 증착에서 분해에 의한 불소 내용의 부분적인 결핍에 기인한다. 이 소모는 IAD같은 높은 에너지과정에 의해 악화된다. 결핍효과는 저항 가열 증발(Thermal)을 사용하면 최소화된다. 증착된 박막층은 ~1500nm 두께이기 때문에 이 두께의 1/10 밖에 요구되지 않는 자외선에서는 이런 결핍효과를 감지할 수 없다. 고에너지 제품용으로는 바람직한 것보다 약간 높을 수도 있는 10um 영역에서는 흡수를 일으키더라도 AlF3는 IR 영역에서 사용할 수 있는 가능성이 있다. AlF3 박막은 내구성과 접착력이 우수한 것으로 입증되었다. 자외선 영역에서 AlF3는 250 nm 아래의 파장에서 고에너지 레이저 코팅용으로 가능성을 연구 중이다.

증착 막두께	1480nm
투명도(적외선, 가시광선)	매우 투명
수분흡수	없음
내습성	우수
지우개 (내마모) 테스트	Ge과 ZnS에서 모두 우수
접합력 테스트	Ge, ZnS, 유리 모두 우수

흡수	0 at 0.25-1um <1% at 8um 2% at 9um 4% at 10um 8% at 11um
굴절률	1.36 at 600nm 1.34 at 800nm 1.34 at 1000nm 1.32 at 4000nm 1.31 at 8000nm 1.30 at 10,000nm 1.31 at 12,000nm

AZO : Transparent Conductive Coating

with IR Transmission

개요 및 응용분야

AZO (Aluminum-doped Zinc Oxide)의 박막은 투명하고 전기가 통한다. 그들은 가시광선영역에서는 좋은 투과성과 12um정도의 긴 IR파장에서는 쓸만한 투과성을 가지고 있다.

그 반대로 TCO물질로 잘 알려진 ITO는 2um보다 긴 IR영역에서는 반사가 된다. Ge 위에 120nm 두께로 증착을 하면 <10% 투과손실이 생긴다.

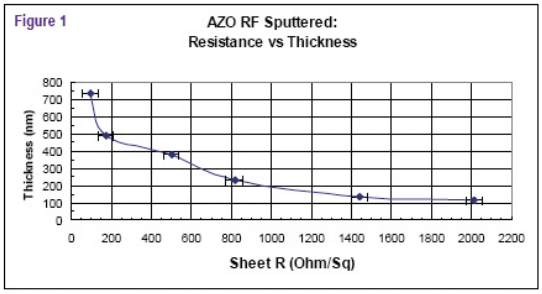
전체면저항(적어도 50ohm/sq에서 Mohm/sq)은 AZO를 가지고 증착두께와 다른 변수를 달리함으로써 얻을 수있다. 열이 없은 기판인 폴리머와 온도가 민감한 기판에서는 AZO로 코팅하는 것이 이상적이다. 에칭으로 하는 패턴작업에서도 ITO보다 더 쉽다.

AZO는 ITO를 위한 모든 응용분야에서 TCO(tranparent conducting oxide) 물질로서 가장 이상적인 대체물이다. 전형적인 응용분야로는 태양전지용 투명전극, flat panel display, LCD 전극, 전자기 코팅(electromagnetic Compatibility coatings), 다른 투명 접촉전극, 방전기(static discharge dissipation),그리고 IR window 등이다. 그리고 ITO와 다른 TCO물질에 비해 AZO물질은 비용을 절감을 가능케 한다.

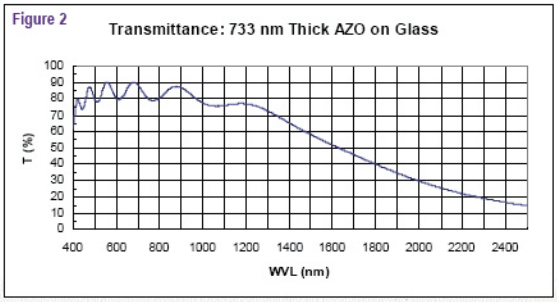
박막특성

AZO는 ZnO에 2~4% Al으로 구성된 타겟으로 스퍼터링함으로 증착된다. 전기적 전도성(부피저항이나 면저항은 측정함으로써 알수 있다.)은 증착특성과 두께와 관련이 있다. 그림1의 곡선은 면저항이 대기중 유리기판에 RF 스퍼터링으로 인해 증착된 박막두께와 관련이 있음을 알려준다. ~500nm두께이상은 저항을 급속히 감소시킨다.

그림2는 유리에 스퍼터된 733nm두께(100ohm/sq)의 투과성을 보여준다. 흡수는 500nm구간에서 시작된다. 그리고 박막은 ~1000nm까지 높은 투과성을 가진다. 굴절률의 이질성이 없는 것은 당연하다.



Sheet resistance of AZO coatings on glass vs. physical thickness.



Transmittance of 733 nm thick AZO deposition on glass.

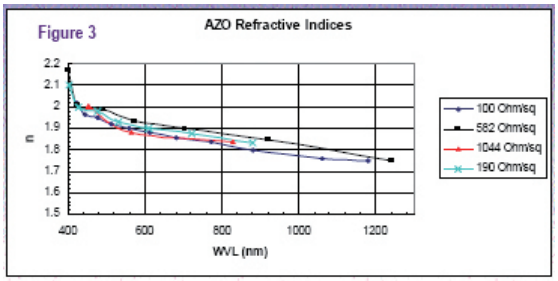
밑에 보여주는 표는 박막의 광특성(굴절율과 빛소멸)을 보여준다. 모든 증착은 열을 받지 않은 기판에 하였다. 굴절율은 ITO와 비슷하나 가시영역에서는 빛산란이 더 적다.

가시영역 적외선 그리고 자외선 영역에서 매우 낮은 흡수을 나타낸다. 굴절율과 소멸율 이 두 특성은 두께(면저항)에는 조금정도의 의존성이 있으나 별 차이는 없다..

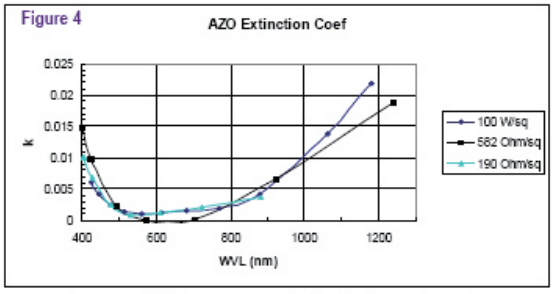
아래의 표는 733nm의 AZO층 광변수를 보여준다. 그들은 다른 공정변수와도 조금은 다른 결과를 가져오기 때문에 공정변수의 정도는 고려되어야 한다.

WVL (nm)	n	k
423	2.02	0.006
444	1.98	0.003
477	1.95	0.002
512	1.92	0.001
558	1.90	0.001
613	1.88	0.001
681	1.86	0.001
770	1.84	0.002
879	1.80	0.004
1061	1.76	0.014
1179	1.75	0.018
1200	1.75	0.020
1300	1.74	0.031
1500	1.72	0.080
1800	1.68	0.180
2200	1.60	0.300
2500	1.50	0.400

Optical constants for the 733 nm thick deposit on glass.



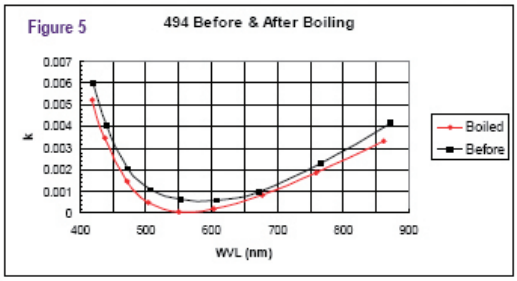
Refractive indices of the several thicknesses of AZO coatings whose resistances are shown above



Extinction coefficients corresponding to the depositions shown above.

내구성

유리기판 또는 Ge기판에 AZO을 증착하면 2.5lb힘으로 20회 긁었을 때도 흠집과 벗겨짐이 없다.(MIL-STD C-48497) 이 결과는 박막이 ITO에 비해 단단하고 접착성이 좋다는 것을 말한다.그리고 D.I water에 20분동안 데웠을 때 박막의 내구성은 변치 않는다, 다만, 굴절률(~3%)과 소멸계수가 줄어든다. 면저항은 ~300nm이내일 경우 증가한다. 이 변화는 박막 특성이 증착온도보다 높은 온도에서 안정하지 않다는 것을 알려준다. 이를 미루어 짐작하면 높은 온도는 AZO층의 산화를 증가시킨다고 생각할 수 있다.



Reduction in extinction coefficient after film is boiled in water.

증착방법

AZO박막은 열증착방법이 아닌 RF or DC 스퍼터로만 증착할 수 있다. 이 테스트는 RF스퍼터로만 행해졌음을 알린다.

Cerium oxide, CeO2 for Optical Coating

응용분야

Cerium Dioxide는 가시광선영역에서의 높을 굴절률과 10um이상의 적외선 파장대역에서 투명한 코팅 물질이다.
E-beam으로(가급적이면 IAD) 증착되어진다.
층이 두꺼워도 fused slica, silicon, Ge 기판 등에서 낮은 스트레스와 좋은 접착력을 보인다. 그러나 성장미세구조가 뚜렷하게 원주형이어서 박막은 부드러우며 다공성이다. 이런 성장 특성 때문에 복굴절 필름과 광촉매용으로 사용가능 한 필름을 포함한 구조 층의 성장이 가능하다.

박막특성

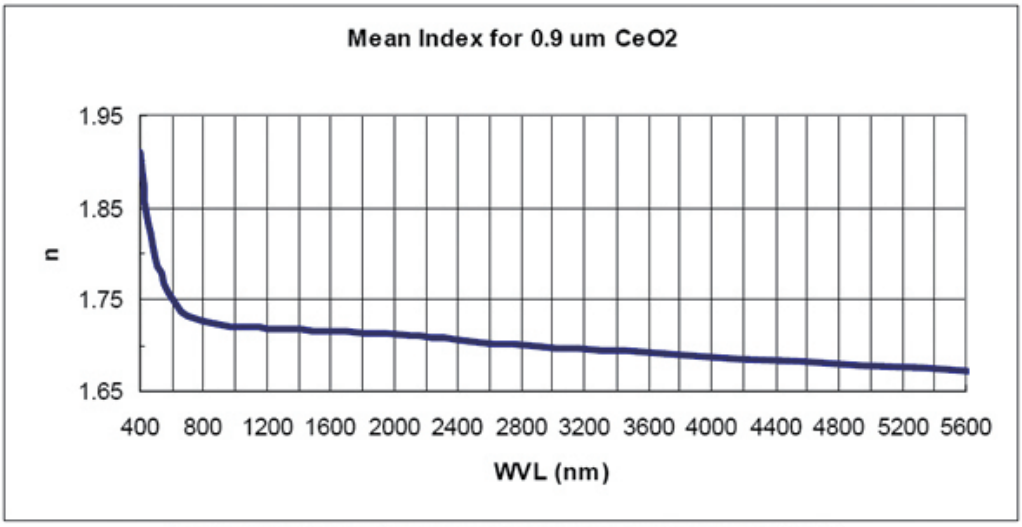
충분히 산화된 CeO2 박막층은 500nm이상부터 최소 12um의 적외선 영역에서 흡수가 일어나지 않는다.
유리와 대부분의 산화 화합물들과의 접착력이 좋다
박막은 굴절률에서 큰 불균일성을 보인다. 기판근처에서의 굴절률이 가장 높고 막의 윗부분으로 가면 10%이상 감소할 수 있다. (파장에 따라 다르다.)
두꺼운 층에서의 박막은 입자가 큰 원주형의 구조로 성장하기 때문에 거친 표면을 갖고 있다. 이러한 박막은 쉽게 마모된다. 예를 들면 중간 정도의 마모시험인 MIL-STD C-48497에서도 손상된다. 박막의 위쪽부분은 옷감으로도 윤을 낼 수 있다. 그러나 제품에 따라 다르지만 Y2O3나 SiO2 코팅으로 내구성이 향상될 수 있다.
두꺼운 박막층에 얇은 Y2O3막을 덧붙이거나 다층구조의 경우 SiO2 막과 교대로 증착함으로써 거칠기를 줄일 수 있다.
CeO2층은 끓는 물이나 강산에서 불용성이다.

굴절률

원주형성장은 기판에서 멀어지며 높아질수록 직경이 작아지면서 점점 가늘어지고 공극부피가 증가하고 충진밀도가 감소되면서 두께에 따라 굴절율이 감소한다.
고전류 밀도에서 높은 이온에너지(keV)는 이 저밀도의 효과를 감소시키고 높은 굴절률를 발생시킨다.
Cerac은 높아진 충진밀도 증진시키기 위해 유리형성 산화물의 혼합을 기본으로 한 특별한 조성을 공급할 수 있다.
아래의 굴절률 곡선은 IAD(~200eV)를 사용하여 200도의 가판온도에서 증착된 900nm 두께의 박막에 대한 결과이다. 곡선은 유리와 Ge기만의 자료가 혼합되어있다.

물질경향

물질은 승화되며 e-beam으로 증착되는 것이 가장 좋다. 증착은 부드럽고 증착속도는 안정적이다. Beam sweep을 해야하고 전력과 속도는 알갱이들이 튀는 것을 줄이기 위해 조절돼야만 한다. 증착하면 소량의 손실이 발생하지만 이 손실은 반응성 증착 동안에 산소의 분압이 더해지면서 회복된다.



Refractive indices for a thick layer of Cerium Dioxide deposited by e-beam on substrates at 200 C.

증착 변수

Evaporation temperature	~1600° C
Source Container	Tantalum or graphite liner for E-beam
Rate	2-5 Å/sec.
Partial pressure of oxygen	~5 x 10-5 Torr
Substrate temperature	200°C to 400°C.

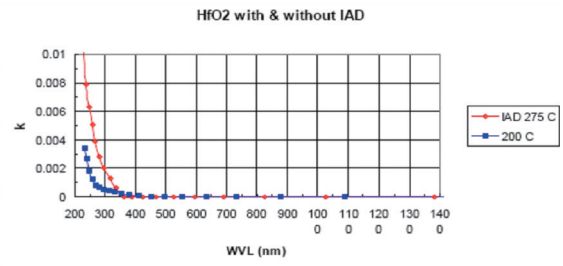
고체 CeO2의 물리적 특성

Molecullar Weight	172 g/mol
Melting Point	>2600°C
Color	흰색
Crystal Density	7.1g/cc

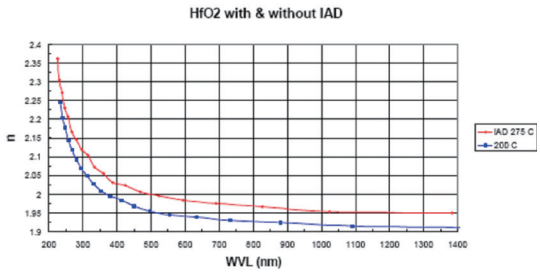
Hafnium oxide, HfO2 for optical coating

응용분야

HfO2 는 높은 굴절률, 낮은 흡수율의 물질로 근자외선(~250nm)부터 적외선 (~10um)영역 코팅을 위해 사용된다.
경도가 좋은 고밀도 박막층들은 e-beam 이나 sputtering으로 증착 될 수 있다.
근 자외선 AR(무반사코팅) 과 유전체 미러 디자인에 일반적으로 사용된다. Hafnia는 고굴절률 물질이라서 SiO2 층과 함께 사용되어 높은 레이저 손상 문턱값(LDT) 코팅을 만드는데 쓰인다.
강하고, 긁히지 않고, 조밀하고, 접착력이 큰 코팅은 상대적으로 낮은 온도 조건에서는 IAD로 증착 된다. HfO2의 내마모성 때문에 금속 거울 표면이 보호된다.



Extinction coefficient for above Hafnia depositions.



Refractive indices for Hafnia with- & without-IAD

박막특성

완전히 산화된 Hafnia 필름은 300nm이하에서 최소한 10um까지 흡수가 일어나지 않는다. 증착은 일정양의 산소손실과 분리를 유발하므로 reactive 증착을 하는 동안에는 반드시 부분적인 산소압력이 공급되어 회복되어야 한다.
HfO2는 유리, 대부분 종류의 산화물들, 일부 중합체, 알루미늄과 은같은 금속들에 대해 흡착력이 뛰어나다. 낮은온도 기판같은 저에너지증착의 조건이나 과도한 주변압력 조건하에서 필름은 낮은 충진 밀도를 갖는 다공성의 결정성의 미세구조로 자라며 습한 공기에 노출되면 굴절률 변화가 나타날 수 있다. 그래서 미세구조의 충전밀도를 증가시켜 공극부피를 감소시키는 IAD나 Sputtering이나 높은 온도기판 같은 고 에너지증착기술이 추천된다. 증착 후 공기 중에서 구워줌으로써 e-beam 증착의 굴절률을 높여 줄 수 있다. 물질이 소모되면서 층의 두께나 층수가 증가 되면서 굴절률이 어느 정도 불균질해질 수 있다. 과도한 back ground(주변) 압력을 방지하고 증착을 하는 동안 충분한 산소를 공급함으로써 이러한 굴절률의 불 균질성을 감소될 수 있다. IAD는 흔히 균질성을 증가시켜 준다.
미립자와 결합하면 레이저 손상 문턱값(LDT)을 감소시키고, 빛의 산란을 증가시키는 중요한 응용제품에서, HfO2 금속을 산화분위기에서 반응적으로 증착하는 방법은 추천되어 미립자가 결합하지 않는 박막을 생산한다.

굴절률

굴절률은 산화정도와 만들어진 박막의 밀도에 의해 결정된다. 이 특성들은 기판 온도와 증착 에너지에 의해 결정된다. 두 굴절률 커브는 두 개의 높은 기판온도에서의 IAD를 사용한 조건과 사용하지 않는 조건을 보여준다. IAD를 사용하면 ~2.5%의 굴절률이 증가한다. 감광계수가 증가하는 것은 IAD가 작용했다는 증거이다. IAD 없이는 250nm의 파장까지도 흡수율이 매우 낮다.

물질경향

저출력의 e-beam으로 천천히 훑어서 금속 tablet이나 조각에 구멍이 나지 않도록 골고루 녹이는 사전 작업이 추천된다. 상당한 산소의 감소가 나타나면 녹은 물질이 검게 변한다. 대안으로 미리 녹여진 콘(Cone)을 사용할 수 있다. 증착 온도 바로 직전까지 천천히 힘을 증가 시키는 동안에 out gassing과 받아들일만한 수준 정도로 시료가 튀는 것이 감소하도록 하려면 압력과 도가니를 관찰한 후에, 녹은 Pocket에 남은 웅덩이를 Tablet이나 piece로 보충할 수 있다. 반드시 연속 증착을 위해 녹아서 평평한 표면을 유지해야 한다.

증착변수

증착 온도	~2500°C
물질 용기	No liner for E-beam
증착 속도	5Å/ sec
산소의 부분압력	5-10 x 10-5 Torr
기판 온도	~50°C to 300°C
Z-Ratio for crystal monitoring	1

고체 HfO2물질의 물리적 특성

분자 무게	210.49g / mol
녹는점	2812°C
색	White or black
결정 밀도	9.68g / cc

ITO : Tin-doped Indium Oxide for Optical Coating

응용분야

인듐-주석 산화물, ITO는 투명한 전도성의 박막을 만드는데 사용되며 전자빔 증착이나 스퍼터링에 의해서 증착된다. 중합체 기판상의 롤 또는 웹코팅은 마그네트론 스퍼터링 혹은 다른 스퍼터링 기술을 사용한다.
보편적으로 ITO 코팅된 기판은 터치 패널 접점, LCD전극, 전기착색 디스플레이, 에너지 보존 건축용 유리, 비행기와 자동차의 김서림 방지용 유리, 전구의 효율성을 증가시키는 열 반사 코팅, 가스 센서, 정전기 방지용 유리 코팅과 유리위에 입히는 내마모 보호층등으로 사용된다.

박막 특징

ITO막의 광학적, 전기적 특성은 증착 변수와 사용하는 증착 물질의 초기 구성비에 의해 크게 결정된다. 증착된 박막층은 실행하기 위해서 charge carrier(전하 전달체)가 전도성을 띌 만큼 고밀도를 가져야 한다. 여기서 전하 전달체는 자유 전자와 산소 정공들이고 지나치게 많으면 흡수가 일어난다. 높은 전도성(즉, 낮은 면 저항)은 가시 영역대에서 높은 투과성으로 균형을 잡는다. 가시광선 영역에서 80%이상의 투과도로 면 저항을 10ohms/sq.이하로 낮출 수 있다. 90%에 근접한 투과도를 얻기 위해서, 면 저항은 100ohms/sq.이상이여야 한다.1um이상의 플라즈마 파장이 발생하기 때문에 ITO막은 장파장 대역에서는 금속처럼 행동한다. 더 긴 파장에서 층은 반사하게 되고, IR반사는 막의 면 저항과 관련된다. 즉 80%이상의 IR반사를 얻기 위해서 면 저항이 30ohms/sq.이하여야 한다.

굴절률

가시영역내에서 투명한 막의 굴절률은 1.95에 근접하고 증착 변수에 크게 의존하지 않으며 전도성 응용분야에서 굴절률은 두 번째 관심사일뿐더러 소멸 계수는 전도성에 따라 다양하다.

물질경향

증착 변수들은 박막 특성을 최적화하는데 있어 상호 의존적이다.증착 변수들 중 산소의 부분압, 기판 온도, 증착률과 물질 조성 등이 중요하다. 몇 가지 공정들은 잔류 금속 원소들을 산화시키고 전도도를 향상시키기 위해 대기 중에서 300-500℃로 증착 후 굽는 공정(post deposition baking)을 요한다. 스퍼터링 공정에서 높은 에너지 플라즈마는 높은 기판 온도로 대용할 수 있다.

전자빔 증착 변수

증착하는 동안 초기 물질이 환원되기 때문에(산소를 잃는다) 느린 속도로 상대적으로 높은 압력에서 반응성 증착(Reactive evaporation)을 사용하면 최상의 결과를 얻을 수 있다. 낮은 파워의 전자빔을 서서히 훑어서 점차적으로 균일하게 물질의 표면을 녹여서 전자빔에 의해 구멍이 뚫리는 것을 피하는 것이 필수이다. 아래의 증착 온도까지 파워를 서서히 올리는 동안 Outgassing과 Spitting을 최소화하기 위해서 압력과 도가니를 모니터하라.

증착 변수

증착 온도	~600°C
산소 부분 압력 Near 5 x 10-5 Torr. Range	Near 5 x 10-5 Torr.Range
증착 속도	~2Å/sec.
기판 온도	Near 300°C

높은 IR 반사력을 위해서 막 두께가 1000-2000Å 범위 내에 있어야 하지만 두께와 전도성과는 별 연관이 없다. 증착 시스템의 세부적인 구조는 결과에 영향을 주기 때문에 기록된 변수들은 염두에 두어야하는 지침이 된다. 투과도를 조정하거나 최소 면 저항을 얻기 위해서 대기 중에서 굽는 작업이 필요할 수도 있다.

고체 ITO물질의 물리적 특성

분자 무게	조성에 따라 다양
녹는점	~1900°C
색깔	Light yellow to gray, 산화 정도에 따라 다름
결정 밀도	~7.14g / cc

스퍼터 증착

고밀도, 많은 양의 산소를 함유한 당사 ITO타겟들은 박막 화학양론의 조절이 가능하며 거의 구울 필요가 없다. DC혹은 반응하는 RF 마그네트론 기술들이 증착하는데 종종 사용된다. 이온화된 아르곤은 소량의 산소가 혼합되어 있는 스퍼터링 가스이며 산화된 타겟들은 다른 타겟들보다 낮은 산소 부분 압력을 필요로 한다. 스퍼터 증착 변수들은 가스 조성, 공급비, 파워의 밀도, 바이어스 전압, 구조, 플라즈마의 흐름과 기판 온도 등이 있다. 고밀도 산화물 타겟의 반응 스퍼터링은 박막 화학양론의 조절이 가능하기 때문에 가장 성공적인 방법이다. 증착물의 환원을 방지하기 위해 산소를 포함하는 것이 보편적으로 필요하다.(예시: 농도는 1-3 x 10-5 Torr 산소와 1 x 10-2 Torr 아르곤이다.) PET같은 중합체 기판 위에서의 스퍼터링 하려면 다음의 변수들에 대한 주의해야 한다. 기판 표면은 물과 다른 표면 오염균이 없어야 한다. 중합물 코팅을 위한 낮은 기판 온도는 마그네트론 스퍼터링에 적합하다. 롤 또는 웹코팅 시스템 하에서 높은 증착 속도에 도달할 수 있다. 흡착된 가스와 부분적으로 반응된 층들을 제거하기 위한 타겟 표면의 전 스퍼터링(Presputtering) 공정이 성공을 위해 필요하다. 소량의 수소를 첨가하면 낮은 기판 온도에서 낮은 면 저항에 도달하는데 이롭다고 알려져 있다.

Figure1은 RF 스퍼터된 타겟에서 기판 온도하에서의 캐리어 농도와 저항과의 의존성을 보여준다. 더 높은 온도에서 더 많은 산소의 결손이 발생하기 때문에 캐리어 농도는 대체적으로 증가한다. 보편적으로, 저항은 투과와 관련이 있고 저항과 투과도는 박막의 산화 정도와 관련이 있다.

스퍼터된 막의 응용

산소를 많이 포함한 고밀도 타겟과 ITO 덩어리들은 LCD, 터치 패널과 다른 높은 부피 생산 요소들에 사용되는 중합물 기판처럼 낮은 온도 적용에 대해 물질을 적합하게 만든다.

Lanthanum Titanate, LaTiO3

Optical Coating Material for Visible to Mid-wave IR Coatings

응용분야

LaTiO3는 UV(350nm)에서 IR(>4um)범위 내에서 코팅용으로 사용되는 고굴절률과 낮은 흡수율을 가진 물질이다. 최소 250℃이상으로 가열된 기판위에 IAD(이온보조증착)로 증착된 LaTiO3는 최소 5.5um 의 중파장 IR대역에서 흡수율이 매우 낮다(k ~0.001). 박막에서는 ~8um대역까지 사용할 수 있다. IAD같은 강한 공정을 사용하여 증착하면 수분흡수가 일어나지 않는다. LaTiO3를 고굴절률 재료로 생각하고 SiO2와 함께 사용하거나 저굴절률 재료로 생각하고 Ge과 함께 사용하면 굴절률은 2(+/-0.1)근처에 낮은 분산도로 1에서 7um 대역에 남아있다.

다층코팅과 무반사 코팅을 하기위하여 전자빔증착을 하면 고밀도, 강한 막을 얻을 수 있다.

LaTiO3는 굴절률이 유사한 즉Ta2O5 ,ZrO2를 대신하여 SiO2층과 혼합하여 높은 굴절률 차이를 잇는 다층구조형성을 위해서 결합하여 사용된다. TiO2를 뛰어넘는 주목할 만한 장점은 900nm 대역이상에서 흡수가 크게 감소된다는 점과 증착이 아주 용이하다는 것이다. 또한 금속면이나 유리 표면에 증착되면, 단단하고. 스크래치에 강하고 적은 응력과 접합력이 높다.

박막 특징

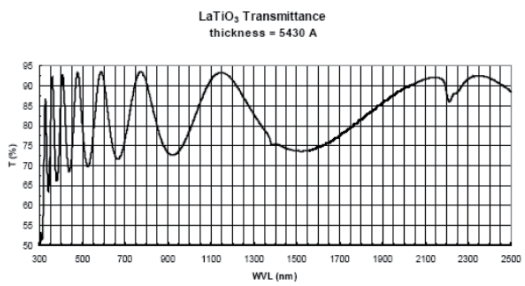
완전히 산화된 LaTiO3층은 400nm(k<0.002 at 325nm) 에서 적어도 4um까지의 파장대에서 흡수가 일어나지 않는다. 증착하는 동안 산소손실이 발생하고 증착하는 동안 산소의 부분 압력이 요구된다. IAD를 이용한 증착의 결과로 낮은 증착온도의 기판에서 흡수가 일어나지 않는다.

1um의 두께에서의 응력이 없는 층들은 Si, fused silica, 유리, 다른 산화물등에서 아주 좋은 접착력을 보여준다.

이러한 코팅된 것들은 스크래치에 강하고 끓는 물에 녹지 않는다.

LaTiO3 는 전통적인 TiO2 방식보다 낮은 기판온도로 ~2의 굴절률을 만들 수 있다. 게다가 400nm이하의 파장대에서 TiXOY 계열 위의 La의 영향은 TiO2보다 높은 투과율을 보인다. 마지막으로 기존의 TiO2 공정이 높은 점멸계수(IAD를 사용하지 않더라도) (Ta2O5와 함께)와 고층을 형성하여 응력을 최소화하기위해 싸워야하는 반면, LaTiO3은 더 안정적인 굴절률, IAD 가능성과 재충진의 용이성이 돋보인다.

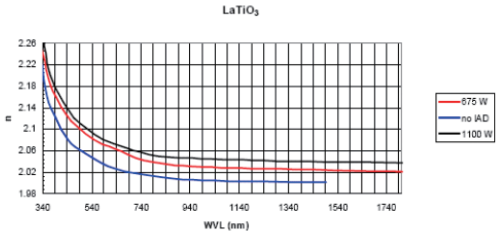
아래에서 제시된 투과율 곡선은 fused silica위로 543nm의 두께층에서 우수한 굴절률 균일성을 보여준다. Half wave(Tmax)값의 불일치로 인해 보이는 불균일성은 ZrO2나 Nb2O5 ,HfO2와 같은 내화성 산화물의 코팅에서 혼합 결정상으로 나타나는 것을 보여준다.



Transmission of a 543 nm thick deposit on fused silica with IAD and temperature 200 C. (Absorption dips are in the substrate).

굴절률(Refractive Index)

굴절률은 산화의 정도와 만들어진 막의 밀도에 달려있다. 산화물을 증착하는 과정에서 IAD는 굴절률을 더 높여주고 결정질의 성장을 방해한다. 그리하여 충진밀도가 높아지게 된다.
LaTiO3와 함께하면 막성장은 밀도가 더 높아지고 IAD로하면 오직 작은 입자를 가진다.
유사하게 IAD를 하지 않아도 습기에 대한 안정성은 높다.



Refractive indices for e-beam deposited Lanthanum Titanate, with and without IAD (two powers) on fused silica substrates at 200 C.

전형적인 굴절률은IAD의 보조 유무에 따른 그래프를 보여준다.
IAD 보조시 굴절률은 0.06정도 상승한다.

형상 및 가능한 사이즈

LaTiO3는 Premeleted 형상이 가능하고 . 콘(cones) 모양이나 rod 혹은 알갱이 등으로 e-beam용 pocket 사이즈에 적당하다.

증착 변수

증착 온도	~2000°C
증착 용기	Tantalum or Graphite for E-beam.
증착 속도	3-5Å/sec.
산소의 부분압력	1 x 10-4 Torr.
기판 온도	175°C 에서 300°C

고체 LaTiO3 물질의 물리적 특징

분자 무게	234.78g/mol
녹는점	>2000°C
색깔	검정
결정 밀도	6.3g/cc

Magnesium Fluoride, MgF2 for Optical Coating

개 요

굴절률이 낮은 MgF2는 무반사코팅과 다층 코팅에 수년간 사용되었습니다. 불용성이고 뜨거운 기판에 증착되면 단단합니다. 당사 마그네슘 불화물은 깨끗하고 완전하게 증발하며, 가스배출이나 튐(Spitting) 없이 기판에 단단하고 균일하게 코팅이 됩니다.

제조공정

마그네슘 불화물 진공증착 물질은 보통 마그네슘 금속이나 기타 비싼 원료물질로 제조합니다. 당사제품은 저렴하고 즉시 사용할 수 있는 원료를 완전히 건조한 흰색 MgF2로 분말 전환하여 제조하는 공정을 개발했습니다. 그 분말을 다시 진공상태에서 물이나 휘발성 물질이 없는 맑고 투명한 Ingot로 녹여 만듭니다. Ingot는 진공 코팅을 위한 다양한 입자 크기로 깨끗하게 분쇄합니다.

증발한계 변수

증착용기	Graphite, Ta, Mo or Al2O3
증발온도	~950°C
기판온도	150-250°C
증발압력	10-5 to 10-6 Torr

당사의 진공융융 MgF2 과립은 전자빔 또는 저항열기에 의해 증발할 수 있습니다. Graphite 또는 Tantalum 용기를 권장합니다. 저항식 증착을 하려면 윗부분이 개방된 Boat 모양의 큰 Heater가 사용됩니다. 전자빔을 조사할 경우, 전력은 천천히 증가 시켜야 하고, 골고루 열을 받도록 해야 합니다. MgF2 과립을 미리 조정하는 것은 완전히 녹는데 도움이 됩니다. 셔터는 전체가 빨갛게 달구어 질 때 까지 닫혀 있어야 합니다. 당사 MgF2 코팅재료를 미리 준비하는 동안이나 증발시키는 동안 배출가스는 나오지 않습니다.

압력은 최저 10-6 Torr 범위에 있어야 합니다. 완전하게 녹을 때, 이 물질은 20Å/sec의 완만한 비율로, 튐 없이 증발할 수 있습니다. 유리 또는 ZnS 기판위에서 높은 필름 경도와 밀도를 얻으려면 기판의 온도는 최소한 250°C 이상이어야 합니다. 작업이 까다로운 경우에는 접합 시작 층에 얇은 이트륨 산화물 Y2O3를 바르면 핵형성과 접착을 촉진할 수 있습니다. 150°C 정도까지 내려가는 기판 상에서 박막은 성장하여 고착할 것입니다. 저온 증착에는 백열 방전 청소(Glow discharge cleaning)를 추천합니다. 홀더와 반응이 시작되면 재사용될 수 있습니다.

MgF2 필름의 특성

1um두께까지 MgF2 층 두께를 제한하는 요인은 내부 응력입니다. 이 응력을 줄이고 두께를 늘리려면 MgF2에 BaF2를 첨가하면 됩니다.

전자빔증착을 사용하여 높은 온도의 기판(250~300℃)에 증착되는 MgF2 필름은 기계적으로는 단단하지만 전체적인 밀도의 80% 까지만 올라갑니다. 미세 구조의 공극은 공기 중에 노출되면 습기를 머금게 되어 박막의 평균 굴절률을 높입니다. 흡수대역은 자외선 스펙트럼에서 3~6um 두께에서 보입니다. MgF2를 포함한 다층 기판은 증착시스템이 대기 상태를 만나면 파장 변화가 있을 것입니다. 박막이 성장하는 동안에 고에너지 이온으로 충돌되는 필름은 무정형 구조로 형성되기 때문에, 더 높은 조밀도를 이룹니다. 이렇게 해서 더 높은 굴절률을 가진, 환경에 안정적인 필름을 생산합니다. 그러나 지나치게 높은 이온 에너지는 불소 함량을 고갈시키고 UV의 흡수를 일으킬 수 있습니다.

투과영역 (박막두께 <1μmTh)	1200Å (UV) to ~8 μm (IR)
흡수	8um 이하에서 천천히 시작하고 700nm 대역에서 10um 정도두께에서는 2%를 초과
기판에 대한 흡착력	
기판에 대한 흡착력	Glass, Sapphire, Zinc Sulfide 에서 양호
굴절률	1.390 at 300 nm 1.380 at 400 nm 1.375 at 450 nm 1.370 at 500 nm 1.365 at 600 nm 1.360 at 700 nm 1.350 at 1000 nm 1.340 at 1500 nm

Praseodymium Oxide, Pr2O3 for Optical Coating

개요

Pr2O3는 가시광선 전역에서 투명한 중굴절률 박막층을 만든다.
박막은 불용성이며, 경도가 높다.

박막특성

- Pr2O3 film을 증착온도까지 올리기 위해서는 E-beam source가 필요하다.
  기판온도 150℃이하에서 비정질 막으로 쌓이며, 300℃ 이상에서는 결정질이 된다.

투과범위	400nm to 3um
굴절률	1.75-1.8 at 400nm 1.75-1.70 at 500-700nm

고제 Pr2O3물질의 물리적특성

분자량	329.81
녹는점	2200℃
색	옅은 녹색
결정밀도	7.07g/cc

증착변수

전자빔 물질용기	Graphite, Tungsten
압력	~5x10-5 Torr.
증착속도	2Å/sec.
기판온도	200-250℃

증착공정

물질을 건조한 대기상태로 보관하며, 수분 흡착을 줄이기 위하여 가급적 열을 가해야 한다.
Spitting(튐)과 Outgassing이 잦아들어 1Å/sec으로 떨어질 때까지(대략 15분이하소요)
낮은 파워로 서서히 훑어서 가열(Sweeping)시키는 전처리를 한다.
지속적으로 Sweeping을 유지하여, 구멍이 뚫리는 현상(Burrowing)을 방지하여야 한다.

응용분야

Pr2O3는 중굴절률과 높은 경도의 박막을 나타내므로, 광대역 가시광선영역 AR코팅에서 중간층으로 적합하다.

Overview

Scandium oxide는 자외선영역 중 225nm정도의 짧은 파장 영역에서 투명하고 고굴절 박막을 생성한다. 박막은 불용성이며 단단하다.

박막특성

Sc2O3 박막은 증착온도에 도달하기 위해 e-beam source를 사용하여 녹인다. 비정질 박막은 150도 이하의 기판온도에서 증착가능하다.

투과영역	~250nm to >5um
굴절률	1.95 at 300nm 1.90 at 400nm 1.85 at 500-700nm

물질적 특성

분자량	137.91
녹는점	2300℃
색	흰색
결정밀도	3.86g/cc

증착변수(한계)

증착용기	Graphite
증발압력	~5x10-5Torr
증착속도	<5Å/sec.
기판온도	200-250℃

증착방법

물질은 건조한 상태에 두지만 수분 흡착을 줄이기 위해 가열하면 더 좋다.
spitting과 outgassing이 1A/sec정도로 진정될 때까지 낮은 power sweep로 전처리한다.(약 15분)
승화에 의해 증착된다. 천공을 막기 위해 계속 sweeping 한다.

응용분야

굴절율이 높고, 투명하고, 막이 단단하기 때문에 Sc2O3는 UV, AR, and bandpass 코팅의 고굴절 부품을 만드는데 적합하다. 248nm 과 351nm 내에서 AR, Beamsplitters, Bandpass Filter coating시 사용할 경우, SiO2나 MgF2과의 혼합하면 높은 손상역치를 갖는다고 알려져 있다.

Silicon Dioxide, SiO2 for Optical Coating

응용제품

SiO2는 낮은 굴절률과 낮은 흡수율을 가진 물질로 UV(350nm)에서 IR(>4um)범위 내에서 고굴절률 물질과 혼합하여 코팅용으로 사용된다. 보통 적용되는 것은 UV laser optics용 AR, 완전유전체미러, Beam 분할기, 대역여과기(Band Pass Filters)와 편광기 등에 이용된다. SiO2는 고 굴절률 물질(HfO2 , ZrO2 , Ta2O5등)과 혼합하여 특화된 UV LASER 응용 제품용 레이저 손상 문턱값(LDT)을 갖는 다층 구조를 만든다.

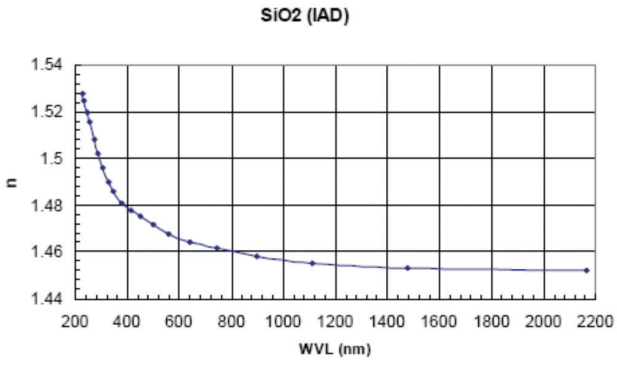
박막특성

완전히 산화된 SiO2층은 250nm에서 적어도 5 um까지의 파장대에서 흡수가 일어나지 않는다. 박막층들은 비정질이며 부드럽다. 높은 기계적인 압축 응력 때문에 단층(single layer)두께가 제한을 받는다. SiO2 조각으로 증착을 시작할 때 약하게 분리가 될 수 있고 산소의 손실을 볼 수도 있지만, 언제나 흡수율이 낮은 막들을 얻기 위해 산소의 주변압력을 올릴 필요는 없다. 유리, 대부분의 산화물, 일부 고분자 물질들에 대한 접착력은 좋은 편이다. 막은 다공성 구조로 고르게 성장하고 상대적으로 높은 충진밀도로 인해 공기 중의 습기에 의해 노출되더라도 굴절률의 변화가 최소가 된다. 2.9um와 6.2um근처에서 수분흡수대역이 완벽한 충진밀도보다 적게 나타난다. IAD나 스퍼터증착 같은 고에너지 증착기술과 고온 기판을 사용하면 굴절율이 최대이고, 수분대역흡수는 최소화된다.

낮은 흡수율 SiO2막은 반응성 산소 분위기에서 SiO를 산화시켜 만들어질 수 있다. 증착은 Baffled box를 이용하여 진행되었고 그러므로 마이크로 미립자의 발생 가능성을 제거할 수 있다. 대안으로 SiO의 큰 조각의 표면으로부터 증착을 하게될 때 낮은 파워의 E-BEAM으로도 가능하다. 막들은 증착할 때 낮은 광학적 흡수를 하게된다. 그러나 미립자의 방출 가능성은 존재한다.

굴절률

굴절률은 산화의 정도와 기판 온도, 증착에너지에 달려있다. 아래그래프는 전형적인 값을 나타낸다. 곡선은 fused sillica의 값보다 약간 높게 된다.



Index dispersion curve for silicon dioxide deposited using IAD on a 200 substrate.

재료특성

적합한 사이즈의 조각 윗표면을 녹이기 위해 전자빔의 천천히 날리는 것으로 미리 구성되어 있는 것이 필수조건으로 요구된다. 고속 대면적 sweeping을 사용하면 구멍이 뚫리는 것을 방지해준다. 검은색이 되었을 때 교체한다. 교체하는 대신에 baffled box에서 SiO로 시작하여 ~1-2 E-04 Torr(저압기체의 압력)정도의 높은 반응산소 환경을 공급한다.

증착 변수

증착 온도	~1200°C
물질 용기	No liner for E-beam
압력	~1 x 10-5 Torr.
증착 속도	2Å/sec.
기판 온도	200-300°C
Quartz crystal monitor Z-ratio	1

고체 SiO2물질의 물리적 특성

분자량	145.9
녹는점	1387°C
색	흰색
결정 밀도	4.01g/cc

Silicon Monoxide, SiO for Optical Coating

실리콘 일산화물 SiO는 비결정질의 고체이며 X선 회절 패턴의 특성이 없습니다. SiO는 갈색 분말이거나 압축 형태 또는 검은색의 알갱이 형태이거나 덩어리 형태입니다. 상온에서 안정적이나 400 - 800℃의 온도에서는 X선이 실리콘과 석영의 불균일한 제품의 흔적을 보여줍니다. SiO는 높은 증착률과 낮은 비용의 저항가열 코팅 시스템을 이용한 증착의 용이함 때문에 아주 매력적인 코팅제입니다. SiO는 또한 탁월한 환경 안정성으로 주목받고 있습니다.

광학적응용

SiO 코팅은 반사경, 투광 조명등, 거울, 보석 그리고 기타 다른 제품의 광학적 용도에 사용됩니다. SiO 코팅은 근적외선 범위에서의 반사광을 줄이거나 간섭층 역할을 할 수 있습니다. SiO는 또한 반사 코팅용으로 ZnS 와 다른 물질과 함께 사용하면 이상적입니다. 대기 중의 산소(Si203)와 결합된 SiO 막은 가시광 범위 내에서 분사되는 빛의 무반사 코팅 또는 간섭 코팅에 사용됩니다.

전자적응용

SiO 박막은 알루미늄 표면 거울, 렌즈 그리고 회절격자에 증착되어 부식과 마모를 방지합니다.

적용경험

SiO의 새로운 용도에 대한 발견은 계속 진행 중입니다. 따라서 새로운 형태 또는 SiO의 순도에 대한 요구 또한 변화하고 있는 중입니다.

제조과정

실리콘 일산화물은 일반적으로 순수한 실리콘과 순수한 석영이 높은 온도의 진공상태에서 반응할 때 형성되는 증기의 응축에 의해 생성됩니다. 최종 SiO 제품의 순도는 시작되는 물질과 사용되는 반응공정에 의해서 결정됩니다. 수집기의 온도에 따라서, 최종 SiO는 경량의, 암갈색의 다공성 조각에서 고밀도의 검정색 유리모양 물질까지가 그 범위가 됩니다.

증착 변수

SiO 박막은 통상적으로 2 x 10-6 Torr에서 기판 온도 100℃ 부터 150℃사이에서 증발됨으로써 생성됩니다. Baffle boats를 저항 가열하는 것이 가장 일반적인 증착 방법으로 사용됩니다. 그러나 E-beam 증착도 사용될 수 있으며, 특히, 작은 알갱이 모양의 pellet과 함께 사용될 수 있습니다. 증착 속도 또는 산소 압력의 변경으로 다양한 SixOy 의 화학량론을 만들어 낼 수 있습니다. 증착된 SixOy 의 광학적 특성 범위는 SiO 와 SiO2의 사이에 있습니다.

증착 변수

다양한 함량의 용융 SiO/Cr 화합물이 초소형 저항기에 사용된다. 증착중에 SiO와 Cr이 분리 방지 기술 때문에 일관적인 박막 제작이 가능하다. 또한 SiO/Cr 스퍼터링 타겟을 사용할 수 도 있습니다.

고체 SiO물질의 물리적 특성

분자 무게	44.09
녹는점	승화됨
결정 구조	비결정질
용해성	물에서 녹지 않는다, 희석된 플루오르화 산에서 용해된다
밀도	2.13 to 2.18g/cm3 (추정치)
파우더의 덩어리	Approx.0.9g/cm3
증착 온도	1100 ~ 1400°C
투명 대역	0.45 ~ 7 microns
굴절률	Wavelength(Microns)
1.9	0.05
1.85	1.0
1.83	4.0
1.6	7.0

Tantalum Oxide, Ta2O5 for Optical Coating

개요

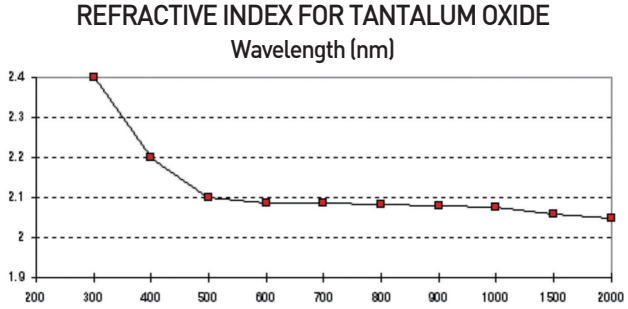
Ta2O5는 UV(350nm)에서 IR(~8um)범위 내에서 코팅용으로 사용되는 고굴절률과 낮은 흡수력을 지닌 물질이다. 전자빔 증착 혹은 스퍼터링을 사용하면 고밀도 박막층을 얻을 수 있다. UV에서 IR 무반사와 다층 필터 디자인이 전형적인 사용의 예이다. Ta2O5는 높은 굴절률 차이를 잇는 다층 구조 형성을 위해서 SiO2층과 결합하여 사용된다. IR 레이저와 대역 코팅에 대한 TiO2층보다 특출한 장점은 900nm이상 대역에서는 흡수가 발생하지 않는다는 것이다. 이것이 Ta2O5가 Nd:YAG 레이저 용도에 적합한 이유이다.

박막특성

완전히 산화된 Ta2O5막들은 400nm 이하에서 최소 8um 범위 이상 대역에서는 흡수가 일어나지 않는다. 증착하는 동안 어느 정도의 분리와 산소 손실이 발생하므로 증착하는 동안 산소의 부분 압력이 요구된다. 유리와 대부분의 다른 산화물들과의 접착력은 뛰어나다. 막들은 보편적으로 결정질의 미세 구조와 함께 성장한다. 저에너지 저항열 증착, 낮은 기판 온도 혹은 과도한 외부 압력과 같은 몇몇의 증착 조건 하에서 막들은 낮은 충진 밀도로 성장하며, 습한 공기 중에 노출되었을 때 굴절률의 변화가 나타난다. 스퍼터링, 이온 보조 혹은 기판 온도를 올려서 증착하면 습한 공기를 진공으로 빼내고 순환시켜 매우 안정된 막들의 생산함으로써 스펙트럼의 변화를 제거한다. 고에너지 증착 기술과 기판 온도가 미세구조의 충진밀도를 증가시켜 공극부피(void volume)를 감소시켜주기 때문에 굴절률은 두 가지 변수에 따라 반응한다. 대기 중에서 증착 후에 구우면 전자빔과 저항열 증착의 굴절률을 높일 수 있다.

굴절률

굴절률은 산화 정도와 만들어진 막의 밀도에 따라 변화된다. 대략적인 값들은 아래 그래프에서 점으로 표시하였다.



물질경향

초기 물질은 알약 혹은 소결된 조각 형태이다. 낮은 파워의 전자빔을 서서히 훑고 점차적이고 균일하게 물질의 표면을 녹여서 전자빔에 의해 구멍이 뚫리는 것을 피하는 것이 필수이다. 아래의 증착 온도 바로 전까지 파워를 서서히 올리는 동안 Outgassing과 Spitting을 최소화하기 위해서 압력과 도가니를 모니터하라.

증착 변수

증착 온도	~2000°C
증착 용기	E-beam용 Tantalum liner 혹은 Graphite liner
증착 속도	2-5Å/sec.
산소의 부분압력	2-5 x 10-5 Torr.
기판 온도	175°C 에서 300°C

고체 Ta2O5물질의 물리적 특징

분자량	441.89
녹는점	1872°C
색	흰색
결정 밀도	8.2g/cc

응용제품

300nm의 파장 하에서의 굴절률이 2보다 크기 때문에 Ta2O5는 UV 레이저 사용에 쓰이는 SiO2(n=1.48)과 함께 다층 막용도로 사용할 수 있다. 증착하면 단단하고 내마모성이며 접착력이 강한 코팅을 얻을 수 있다. 막들은 또한 박막 콘덴서에서 유전체로 사용되며 낮은 누설 전압 특성을 요구하는 큰 규모의 집적회로에서 gate 절연체로 사용된다.

Thorium Fluoride, ThF4 for Optical Coating

개 요

ThF4는 UV(자외선)에서 IR(적외선)범위 내에서 투명도를 가지는 저 굴절률 물질로 선호된다. 증착된 박막은 내구성이 좋으며 화학적으로 안정하고, 두께가 2um일 때까지 낮은 스트레스를 나타낸다. ThF4는 8에서 12um범위 내에서 높은 파워 CO2 레이저 코팅을 포함한 AR 코팅용으로 보편적으로 사용된다. ThF4는 자연 방사성 물질이며 취급 시와 폐기물 처리 시 국가 혹은 연방 정부 법규에 따라야만 한다. ThF4 사용 시 특별한 예방 조치가 필요함에도 ThF4는 여전히 8-12um 범위 내에서 가장 좋은 코팅 물질이다.

증착제안

최소 1000nm두께의 막들은 약 250nm에서 11um미만의 범위 내에서 투명도를 가진다. 가시광선 대역에서(550nm) 굴절률은 1.50이고 10um에서 굴절률은 1.35이다. 기판 온도와 증착 속도가 낮으면 IR(적외선)에서 3um에서 6um에 근접한 범위에서 수분 흡수 대역이 나타날 수 있다.

광학특성

굴절률은 산화 정도와 만들어진 막의 밀도에 따라 변화된다. 대략적인 값들은 아래 그래프에서 점으로 표시하였다.

다층 박막의 응용

ThF4는 다층 AR코팅, 대역 여파기(bandpass filter)와 이색성 필터에 구성 요소로서 사용된다. ThF4의 낮은 장력 스트레스와 좋은 점착력 때문에 ThF4는 ZnS, ZnSe, MgF2와 다른 flouride 혼합물들과 사용될 수 있다. 증착된 코팅물질의 미세 구조는 비결정질이고 막들은 상대적으로 부드럽다.

ThOF2(Thorium Oxyfluoride) 특징

ThOF2는 ThF4와 함께 매우 특징 있는 혼합물이다. 그러나 ThOF2는 화학량 적으로 증착하지 않으며 완성된 모든 박막들이 ThF4이다.

생산 공정, 물질 증명과 순도

많은 주의를 요하는 단계를 거쳐 ThF4 분말을 화학적으로 준비하여 완전한 무수의 덩어리들을 만들기 위해서 화학 작용을 일으키지 않거나 flouride에 기초한 챔버 분위기에서 녹인다. ThF4가 명백하다는 물질 증명은 패턴이 JCPDS Card No. 23-1426과 상응하다는 X-ray 회절 분석에 의해서 만들어진다. 아래 표는 ThF4의 전형적인 분광기 분석 결과를 나타낸다.

물질	PPM	물질	PPM
Ce	n.d.	Sm	1.7
Dy	0.9	Tb	0.6
Er	7.0	Tm	n.d.
Eu	0.2	Yb	tr.
Gd	0.6	Cu	2.0
Ho	0.9	Fe	3.0
La	1.7	Mg	2.0
Lu	n.d.	Pb	3.0
Nd	2.6	Si	5.0
Pr	n.d.	Zn	5.0

방사성과 안정성

ThF4와 ThOF2는 자연 방사 토륨(thorium)을 포함하는 혼합물이다. 이 방사화학물들은 주로 알파 입자들의 형태인 이온화한 방사능을 내뿜는다. 토륨과 thorium daughter라 불리는 토륨이 자연 붕괴된 물질들은 또한 약간의 베타 입자들과 감마 방사능도 내뿜는다. 10 CFR 40.22로 한정된 NRC(Nuclear Regulatory Commission, 원자력 규제 위원회) 라이센스의 인증 하에서 이런 토륨 혼합물은 특별 취급 절차 혹은 구체적인 방사능 안전 모니터링 프로그램 없이 사용 가능하다. 일반적으로 허가된 양만큼의 토륨 혼합물을 취급할 때 방사능 외부 노출의 위험이 낮다. 그러나 사람들에게 있어 방사능 노출은 무리 없이 달성 가능한 한 낮게 유지 되야 한다. 모든 알파 방사체들의 흡입 혹은 섭취는 반드시 피해야 한다. 필터 마스크의 사용은 공기 중으로 운반되는 미립자에 방사능이 존재할 가능성이 있을 때 필요하다.

물리적 데이터

토륨의 자연 핵분열 속도	1.11x10-7쿼리/gram (SI unit: 4100 베크렐/gram)
토륨의 물리적 반감기	1.39x1010years
Primary Daughter, Pb-212의 물리적 반감기	10.64 hours
최대 허용되는 체내 축적량	0.01 microcuries, 0.002uCi for lungs
대기 중에서 최대 허용되는 토륨의 농도	Restricted Areas 6 x 10-11 uCi/ml
대기 중에서 최대 허용되는 Lead-212의 농도	Restricted Areas 2 x 10-8 uCi/ml Unrestricted Areas 6 x 10-10 uCi/ml
외부 방사능 노출한계(비제한 구역)	2 millirems in 1 hous 100 millirems in 7 days 500 millirems per year
토륨으로부터 나오는 방사능 노출의 추정치	1lb. Of ThF4 in a 1 pint fiber can of about 0.1" wall thickness gives a reading of about 0.5mr/hr at 3 feet distance.
References	Title 10 Code of Federal Regulations, Parts 20 and 40 National Council on Radiation Protection, Report No.65

YBC DFM® : ThF4 대체하는 비방사성 물질

개요

YBC DFM, 진정한 ThF4 대체품

YBC DFM은 근적외선에서 적외선까지의 스펙트럼에서 투명한 저굴절률 물질들의 범주 안에서 많이 선택되어진다. YBC DFM은 AR, 통과 주파수 대역, 이색 필터를 포함하는 2,000-14,000nm의 AR 기술 안에서의 다층 코팅에 사용되는 것이 추천된다. 또한 CO2 레이저 코팅기술에도 적합하다.

박막의 특성

YBC제품군은 DFM(Direct Fluorination Method) 등급이기 때문에 outgassing현상이 나타나지 않아 일반적인 속도로 증착을 할 수 있다. YBC의 다층증착코팅은 비정질 미세구조이고, 막은 상대적으로 부드럽다. 게다가, 막은 매우 내구성이 있고, 화학적으로 안정적이며, 우수한 기판 접착력이 있다.

증착법

YBC는 일반적으로 1250~1500도 안에서 물리적 E-beam 진공증착방식을 사용해 증착한다. 몰리브덴, 탄탈륨, 플레티늄으로 된 보트를 사용해야 한다. 기판의 온도는 250도가 적합하며, 증발챔버(evaporating chamber)의 압력은 10(-5) 밀리바보다 작아야 1.5nm/sec.의 성공률을 얻을 수 있다.

제품의 특성

YBC375

- AR, 통과 주파수 대역, 이색 필터를 포함하는 2,000-14,000nm의 AR 기술 안에서의 다층 코팅에 사용되는 것이 추천된다.

그것들은 또한 CO2 레이저 코팅기술에도 적합하다. 이 물질에 대한 화학적기술은 Ge와 ZnSe 기판에 쉽게 증착시키고, YBC-375를 CO2 레이저 전자부품에 적합하게 만들기 위해 중점적으로 다루어져 왔다.



YBC375
대부분의 적외선 기술과
CO2 레이저 기술에 적합하다.

YBC905

- AR, 통과 주파수 대역, 이색 필터를 포함하는 2,000-14,000nm의 AR 기술 안에서의 다층 코팅에 사용되는 것이 추천된다. 그것들은 또한 CO2 레이저 코팅기술에도 적합하다. 이 물질에 대한 화학적기술은 CO@ 레이저 기술의 활용에서 고급코팅을 구성하는 것을 중점적으로 다루어져 왔다. 하지만, 고품질의 증착을 하기에는 YBC375를 이용하는 것보다 매우 어려우며, 스펙트럼의 범위 내에서 흡수대를 형성하기 때문에 습도가 높은 환경이나, 3.6과 5.6 micron range 범위내의 응용에서 사용될 수 없다.



YBC905
대부분의 적외선 기술과
CO2 레이저 기술에 적합하다.
높은 내구성 코팅이 가능하나
습기찬 환경에서 사용될 수 없다.

YBC907

- AR, 통과 주파수 대역, 이색 필터를 포함하는 2,000-14,000nm의 AR 기술 안에서의 다층 코팅에 사용되는 것이 추천된다. 그것들은 또한 CO2 레이저 코팅기술에도 적합하다. 이 물질에 대한 화학적기술은 방사성 Thorium Fluoride에서 좋은 결과를 도출하고, YBC907을 CO2레이저부품막에 대해 우수성을 가짐으로써, 근적외선/적외선 응용기술에서 극도로 낮은 흡수율을 형성하도록 중점적으로 다루어져 왔다.



YBC907
적외선, CO2 레이저 기술에서
월등하게 흡수율이 낮다.
방사성 Thorium Fluoride에서
좋은 결과를 내지만
약한 독성이 있다.

Titanium Dioxide, TiO2 for Optical Coating

개 요

Titanium dioxide(TiO2)는 수년 동안 광학 코팅용으로 사용되었다. TiO2는 두 가지 뛰어난 성질을 가지고 있다. 하나는 가장 높은 굴절률을 가진 물질이라는 것이고 다른 하나는 다른 산화물과 결합해서도 강하고 안정적이라는 것이다. 예를 들어, SiO2막과 함께 사용 시 TiO2는 뛰어난 내구성과 아주 낮은 압력을 나타내는 50층을 초과하는 다층 결합으로 나타난다. 티타늄과 산소는 굉장히 많은 수의 안정된 상으로 나타나지만 가장 일반적인 결합은 TiO, TiO2, Ti2O3 그리고 Ti3O5로 볼 수 있다. 이 화학량론 모두는 증착 가능하고 계속해서 산화하여 최종적으로 나타나는 안정적인 상이자 다층막에 오래 견디는 보호 코팅을 생기게 하여 레이저 미러, 광선 절삭기와 냉·온 반사 거울용으로 사용되는 TiO2에 도달한다.

증착특성

산화티타늄에 이 물질의 녹는점보다 높은 열을 가하면 산화 티타늄은 아산화물로 분해되고 산소를 잃는다. 그러므로 증착하기 전에 균일한 산화티타늄 덩어리를 준비하는 것이 좋다. 이 물질은 아래와 같은 조건에 부합되게 진행되어야 한다. Swept빔을 사용하여 낮은 파워에서 녹여서 만들어진 물질을 균일한 덩어리로 만들어라. 산소가 이 공정 동안 점진적으로 변화하여 이 물질은 검은색이고 산소가 불충분한 용해물이 된다. 기체제거를 멈춘 후에 증착 온도에서 이 용해물이 생성될 수 있다. 이 증착물은 화학량적인 무색의 TiO2막을 형상하기 위해서 제공된 산소(5 x 10-5 to 2 x 10-4 Torr)의 부분 압력과 반응하여 재결합된다. 이 막은 매우 높은 온도나 높은 에너지(이온 보조)가 증착 동안 사용되지 않는 한 정방정계로서 산출되는 이산화티타늄 결정 형태가 된다.

Ti3O5사용에 대한 장점

TiO, Ti2O3나 TiO2는 증착될 때마다, 증발 기체는 증착을 계속할 수 있도록 변화하는 다양한 Ti와 O의 결합으로 구성될 수 있다. 그러므로 증착된 막의 굴절률은 대부분의 Ti-O결합 물질들이 다르게 증착되므로 일정하지 않다. 그러나 만약 Ti3O5로 증착을 시작하면, 증발 기체 내에서의 티타늄 종류는 TiO뿐이고 증발 기체 내에 있는 다른 산소는 일정하게 유지된다.

도가니 추천

모든 종류의 산화 티타늄은 저항열 혹은 전자빔에 의해 증착될 수 있다. 만약 텅스텐 도가니와 사용된다면 용기와 물질 사이에 약간의 반응이 발생한다. 탄탈 도가니 사용을 강력 추천한다. 전자빔 증착에 관해서는 탄탈 도가니 혹은 수랭식 동 도가니가 최상의 선택이다.

증착 변수와 막의 굴절률

Best Heat Source	전자빔		
도가니	수랭식 동		
압력	2 x 10-4 Torr	2 x 10-4 Torr	2 x 10-4 Torr
기판 온도	최소 250°C		
응축비율	~10nm/min.		
제공되는 산소의 부분 압력	2 x 10-5 to 2 x 10-4 Torr		
증착된 막의 굴절률	2.4 at 450nm	2.4 at 450nm	2.4 at 450nm
	2.35 at 500nm	2.35 at 500nm	2.35 at 500nm
	2.26 at 700nm	2.26 at 700nm	2.26 at 700nm
	2.20 at 1000-1200nm	2.20 at 1000-1200nm	2.20 at 1000-1200nm

산화 티타늄의 특성들

Formula	색깔	녹는점, °C	밀도, g/cc
TiO	금색	1750	4.9
TiO2	흰색	1640 d.	4.2 rutile, 3.8 anatase
Ti2O3	자주색	2130 d.	4.6
Ti3O5	검정색	1760	4.6

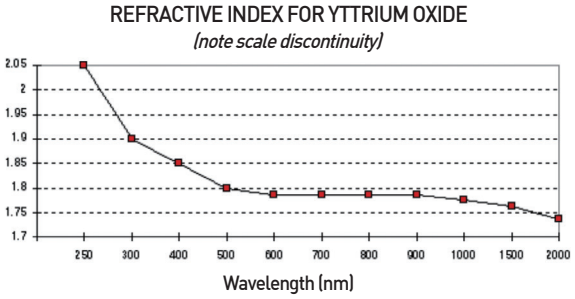
Yttrium Oxide, Y2O3 for Optical Coating

개 요

이트륨 산화물 Y2O3는 근자외선(300nm)부터 적외선(12um)영역까지의 코팅에 사용되는 중간 굴절률의 저흡수성 물질이다. 전자빔이나 스퍼터링으로 밀도가 높은 층이 증착된다. 전형적인 용도는 알루미늄과 은유리 코팅을 보호하고 광대역 가시광선 영역에서 중간층으로 사용되며 유전체 거울 디자인용이다. Y2O3은 SiO2과 함께 결합하여 높은 굴절률 대비 구조를 형성하는데 사용될 수 있으며 TiO2와 Ta2O5와 같은 더 높은 굴절률의 물질과 결합하여 사용될 수도 있습니다.

박막의 특성

Y2O3 박막은 300nm에서 최소 11um 범위에 걸쳐서 비흡수성이다.
낮은 에너지 저항열 증착 또는 과도한 주변 압력과 같은 증발 조건하에서, 박막의 충분한 공극부피를 포함하여 성장하게 되며, (충진밀도<0.9) 습한 공기로 빠져나오면 굴절률 변화를 나타낸다. 이 사실은 2.9 μm (O-H 확장)과 6.9 μm (O-H-O 진동) 사이에서 자체적으로 흡수가 발생한다는 사실을 증명하는 것입니다.
[1] 스퍼터링이나, 이온 보조, 또는 아주 높은 기판 온도에서 증착이 이루어 질 때, 흡수대역은 거의 나타나지 않는다. 굴절률은 또한 고 에너지 증착 기술에 따라 달라지지만 기판 온도에 따른 다른 산화물들의 변화보다는 더 적게 반응한다. 굴절률은 50°C에서 거의 300°C까지의 기판 온도 범위 1%이내에서 일정하게 유지된다.
[2] 공기 중에서 증착 후 굽는 과정(Post-deposition baking)은 전자빔과 저항가열에 의한 증착의 굴절률을 증가시킬 수 있다. Glass, Ge, Si, ZnS와 ZnSe, 그리고 Al, silver와 같은 금속에 대한 고착이 탁월하다. 어떤 경우에는, 아주 얇은 산화이트륨 막이 비산화물 기판에서의 다층 코팅용인 고착 활성제로서 그 역할을 수행 할 수 있다. 막의 두께를 높이는 과정에서 굴절률이 불안정하게 나타날 수 있다. 그 현상은 증착하는 동안 충분한 산소를 다시 공급함으로써 줄일 수 있다. 박막은 일반적으로 비결정질의 미세구조를 생성한다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이, 거기에는 진공챔버 내부에 공기가 들어가 수증기를 흡수하여 공극 부피가 생길 수 있다.



굴절률

굴절률은 조건에 따라 변하며, IAD와 마그네트론 스퍼터링이 1.90 이상의 굴절률을 생성하는 동안, 반응열과 전자빔 증착은 파장 500 nm에서 1.80 ~ 1.88의 굴절률을 생성한다. 열에 의한 증착으로 얻은 굴절률이 각각 1.7 와 1.42일 때, 2 μm 파장 이상에서 마그네트론 스퍼터링으로 얻은 굴절률은 덩어리형태의 굴절률과 근사하며 1.87 @ 2 μm와 1.72 @ 9 μm이다. 대략적인 수치는 아래에 묘사되어 있다.

물질경향

시작하는 물질의 형태는 정제 모양 또는 소결된 조각들의 형태 둘 중의 하나이다. 낮은 전력에서 수 분 동안의 사전 준비 작업을 추천한다. 전자빔은 표면 전체에 비춰져야 코팅물질이 승화된다.

증착 변수

증착 온도	~ 2400° C.
용기	저항가열식 증착에는 증발용 두꺼운 W Boat. W은 반응할 것이므로 1회 증착마다 교체해야 함. E-beam용은 Graphite Liner 추천
증착 속도	1-2 Å/sec.
산소의 부분 압력	5-8 x 10-5 Torr
기판 온도	50°C to 300°C.

고체 Y2O3의 물리적 특성

분자의 질량	225.81
녹는점	2410°C
색상	White
밀도	5.01 g/cc

응용분야

파장 300 nm 이하에서 굴절률은 1.9에 가깝기 때문에, Y2O3은 SiO2(n = 1.48)과 UV Laser 용도의 다층에 사용될 수 있다. 가시 광선영역에서 이것은 유리에 3겹의 광대역 무반사 코팅 시 필요한 중간 굴절률 값을 충족시킨다. 은과 알루미늄 거울의 환경 보호적인 측면은 근자외선부터 원적외선에 걸쳐 증명되었다. Y2O3은 18 μm이하 음극선 대역을 나타내지 않는다. 그래서 실리콘 옥사이드와 알루미나에서 보이는 큰 투사각에서의 반사손실을 일으키지 않는다.

Ytterbium Fluoride, YbF3 for Optical Coating

개요

Ytterbium Fluoride, YbF3는 원적외선 범위에서 좋은 투과도를 가지는 저굴절률 박막층을 형성한다. YbF3는 IR분야에서 ThF4의 가장 훌륭한 대용품이며, 박막은 불용성과 낮은 스트레스를 보여준다. 또한 고굴절률 재료인 ZnS, ZnSe 그리고 Ge 등의 다른 불화물들과 섞여 다층막을 형성한다. 일반적으로 3-11um 파장대에서 AR, 장파장, 단파장 그리고 필터코팅에 사용된다. Ytterbium Fluoride 코팅은 중간 IR범위에서 낮은 흡수대역을 형성하는 특별한 이점이 있다.

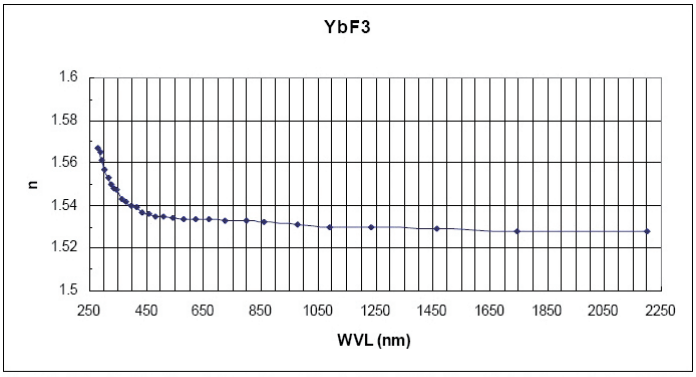


Figure 1. Refractive index dispersion curve for wavelengths UV to SWIR. (glass substrate temperature was 160° C).

박막특성

- 2um이상의 두께에서 200℃ 또는 그 이상의 온도에서 ZnS, ZnSe, Glass 그리고 Ge과 밀착하여 부착된다. Ge 기판 2um 정도의 두께에서 고박막 스트레스는 미소균열 때문에 흩뿌려진다. 50-150Å의 HfO2, Y2O3 또는 Al2O3와 같은 OXIDE로 이루어진 접합 보조층은 종종 접착과 스트레스 절감에 도움을 준다. YbF3는 불용성이므로 뜨거운 기판을 사용할 때, 습기찬 조건에 적합하다. Ytterbium Fluoride 박막은 수분 흡수대역의 깊이가 2.8-3.2um과 5.6-7.3um를 갖은 YF3와 같이 다른 Flourides보다 작은 깊이를 가지고 있다. 또한 200℃의 기판온도에서 더 줄일 수 있다. ZnS 또는 ZnSe 박막층과 함께 다층막을 형성할 때, 낮은 접착계수를 피하기 위하여 반드시 ~160℃까지 낮추어야 한다. YbF3 박막의 굴절률의 특징은 Figure 1과 2에 서 보이는 것처럼 UV에 가까울수록 IR 단파장을 나타낸다. IR 장파장의 특성은 Figure 3에서 나타낸다. 이는 다른 Flourides 화합물들과 비교하여 낮은 수분 흡수율 때문이다. YbF3는 가시 파장에서 ~7um 까지의 코팅에서 훌륭한 특성을 가지고 있다.

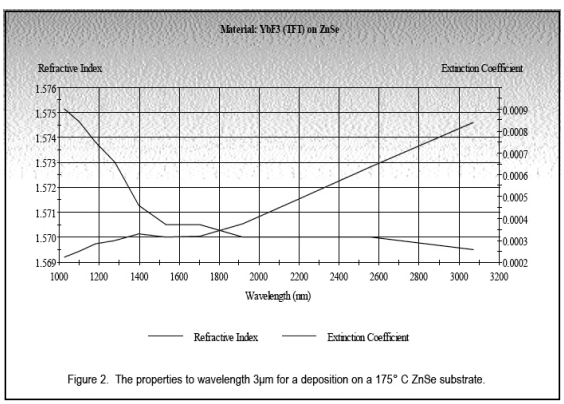


Figure 2. The properties to wavelength 3μm for a deposition on a 175° C ZnSe substrate.

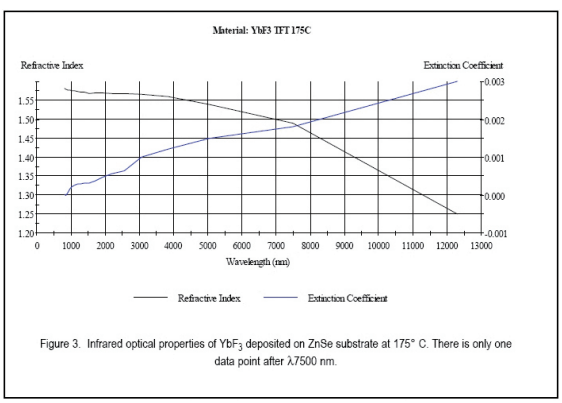


Figure 3. Infrared optical properties of YbF_3 deposited on ZnSe substrate at 175° C. There is only one data point after λ7500 nm.

증착과정

-YbF3 박막은 전자빔 증발 또는 저항열을 이용한 용해된 전하로부터 축적되어 진다. 분리를 막기 위하여 낮은 빔 파워를 추천한다. 박막 밀도와 굴절률은 기판온도와 함께 올라간다. Outgassing, Spitting(튐), 압력폭발이 없으면 부드럽게 용해와 증발이 진행된다. 전자빔 증착은 1Å/sec의 속도에 도달하여(~15분) Outgassing과 Spitting이 진정될 때 까지 낮은 파워로 훑어야 한다. 또한 균일하게 녹이기 위하여 셔터를 열기 전에 점차적으로 파워를 올려야 한다.
저항열 증착은 ThF4 공정과 유사하게 구멍이 뚫린 덮개가 있는 Baffle box를 이용하여 증착온도에 도달할 때까지 점차적으로 채우고 가열한다.

증착변수

증착 온도	~ 900℃
물질 용기	Alumina, Tantalum, Molybdenum
증착 속도	10-15 Å/sec.
산소의 부분 압력	~1 x 10^{-5} Torr
기판 온도	175°C to 200°C.

물질의 물리학적 특성

분자의 질량	230
녹는점	1157℃
색상	White
밀도	8.17 g/cc

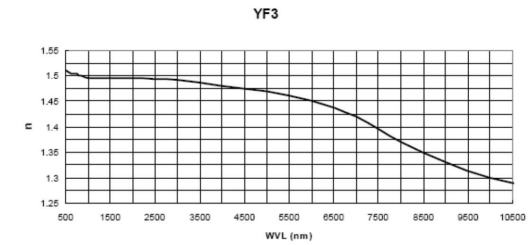
Yttrium Fluoride, YF3 for Optical Coating

개 요

YF3는 UV(자외선)에서 적외선(10um)범위 내에서 좋은 투과도를 가지는 저굴절률 박막층을 형성한다. 많은 IR(적외선) 응용 분야에서 ThF4의 가장 훌륭한 대용인 YF3로 이루어진 박막은 불용성이고 낮은 스트레스를 나타낸다. 다른 불화물 제품들과 쓰여서 다층막을 만들고 더 높은 굴절률 재료인 ZnS와 ZnSe층들과 쓰여서 10um이상 파장에서 AR과 필터코팅 용도로 쓰인다. 10.6um에서 흡수가 낮지만 가장 높은 레이저 손상 문턱값(LDT)을 요구하지 않는 레이저 응용 분야에서는 제약이 있다.

박막의 특성

YF3 박막은 저항열 혹은 전자빔에 의해 녹아서 증착된다. 막의 밀도와 굴절률은 기판 온도와 함께 증가한다. 2um 이상의 두께는 ZnS, 유리, Ge 기판을 250℃까지 가열하면 붙을 것이다. YF3는 불용성이서 뜨거운 기판을 사용할 때, 습기 찬 조건에 적합하다. 물 흡수 대역이 깊이가 2-5%정도가 2.8-3.2um대역에 존재하고, 더 차가운 기판에서는 5.6-7um에 존재한다. ZnS나 ZnSe와 조화를 이루어 다층막에서 사용되면, 그런 물질들이 고온에서 보이는 낮은 접착계수를 피하기 위해 기판온도는 ~175℃까지 낮추어야 한다. 낮은 산란을 나타내는 비결정질 박막은 150℃ 기판 온도 하에서 증착되나 점착력과 굴절률과는 절충되어 나타난다. ~250℃이상에서 박막은 결정질로 변하고 더 단단해지나 눈에 띄게 많이 산란이 일어나고 높은 스트레스를 받게 된다.



The refractive index characteristic of a YF_3 film with high packing density. The intrinsic absorption at the long-wave edge is as follows: ~1% at 10 µm; ~3% at 11 µm; and ~5% at 12 µm.

투과도의 범위 <250nm to>12um	
굴절률	1.52 at 400-700um
	1.50 at 1-5um
	1.37 at 8um
	1.3 at 10um

증착 변수

증착 온도	~900°C
물질 용기	Alumina, Tantalum, Molybdenum
압력	~1 x 10-5 Torr.
증착 속도	15Å/sec.
기판 온도	200-250°C(박막특성 참조)

증착 순서

전자빔증착 : 1Å/sec의 속도에 도달하여(~15분) Spitting과 Outgassing이 진정될 때까지 낮은 파워로 훑는 것이 필수이다. 물질이 녹으면 셔터를 열기 전에 균일하게 녹이기 위하여 점차적으로 파워를 올려라.

저항열증착 : 구멍이 뚫린 덮개가 있는 baffled box를 사용하여(ThF4 공정과 유사) 채우고 증착온도에 도달할 때까지 점차적으로 가열한다.

고체 YF3물질의 물리적 특징

분자량	145.9
녹는점	1387°C
색	흰색
결정 밀도	4.01g/cc

Zinc Sulfide, ZnS for Optical Coating

광학적 응용

ZnS박막은 400nm에서 14um 범위에서 투명하고 불화물(저굴절물질)과 적절히 사용해서 beam splitter, 대역 광학필터, 다른 코팅들을 만든다. 2um 이상 IR대역에서는 저굴절률 물질로 Ge과 짝을 이뤄서 다층 설계에 사용된다. 6um 이상의 파장대역에서는 대부분의 IR 코팅은 고굴절 산화물이 아닌 ZnS를 사용하는데, ZnS가 Ge에 비해서 투명하고 굴절율 차이가 크게 구현되기 때문이다. ZnS는 증착하기 쉽고 수um 두께에서 조차도 굴절률과 기계적 강도가 낮게 나타난다. 접합력 문제가 나타날 수 있으므로 산화물과 조합하는 것은 권장하지 않는다.

전기광학적 응용

고밀도 박막은 높은 유전상수를 나타내지만, 적절히 불순물이 첨가되면, 전자발광표시장치용 인광물질들이 만들어질 수 있다. 이러한 인광물질들을 사용하여 두꺼운 막으로 만들어 전기광학 응용제품으로 전환하는 작업들이 발전하고 있다. ZnS 막은 일부 반도체 소자들을 보호하거나 무반사코팅하기위해서 사용되었다.

박막성질

박막들은 성장기둥의 크기와 (충진밀도를 포함하는) 공극부피가 기판온도에 따라 변하고 수직으로 미세한 구조로 성장한다. ZnS 층들은 상대적으로 부드럽고, 물에 불용성이지만 약간 흡습성이다. 비슷하게 충진밀도가 낮은 산화막들과 달리, 습하거나 건조한 대기상태에서도 굴절률같은 광학적성질이 거의 변화가 없다. 충돌하는 전자같은 전하를 띤 입자를 도입하면 더 단단하고 안정적인 정육면체 결정구조 성장을 촉진할 것이다. 아래 수치들은 350nm에서 14,000nm사이에 서의 굴절률을 보여준다. 500nm이하에서 고분산율은 광대역 설계에서 사용에 제약이 있지만, IR파장대역에서 낮은 분산율은 장점이다.

증착요인

ZnS 는 전자빔으로 증착될 수 있지만, 저항열 증착도 광학작업에서는 널리 사용된다. 증착온도는 800°C이하여서 좀더 부드러운 열정 기술을 사용하여 화학양론 비율을 얻기가 수월하다. 온도가 150-175°C 사이이고 핵형성이 시작되면, ZnS 는 증착용기에서 분해되고 기판위에서 재결합이 일어난다.), 더 높은 온도에서는 도달하는 흡착원자가 더 낮은 응축속도(점착계수)를 나타내서 결과적으로 뜨거운 기판사이에서 크고 두꺼운 결함들을 경험할 수 있다. 기판 표면을 철저히 세척하는 것은 코팅접합력을 높이는데 필수적이다. 전형적인 저항열 증착용기는 Ta 이나 Mo로 만들어진 baffled box 형태들이다. 증착용기를 서서히 가열하며 올리는 것이 완벽한 구성적인 재결합을 방해하는 요소들을 분산시키는 것을 최소화할 수 있다. 전형적인 증착속도는 10-5Torr 진공도에서 10-15Å/sec.이다.

고체 ZnS물질의 물리적 특성

분자량 97.44
녹는점 승화성
겉보기 외관-반투명 노란색
박막코팅시 투과율 대역- 0.4-14 μm (400-14,000 nm)

박막코팅시 굴절률

2.5 at 400 nm
2.35 at 600 nm
2.25 at 1000 nm
2.15at5000-12,000nm
경도 약354 Knoop (Moh 4.5)
열전도도 (cal/sec/sec/cm2/℃/cm) 0.037 at 54℃ 0.026 at 174℃
열팽창계수(length/length/℃) 6.9 x 10-6 (25 to 200℃)
물용해성 근본적으로 불용성, 고체조각형태에서는 수분침투가 없음
유전상수 8 at 9.0 GHz

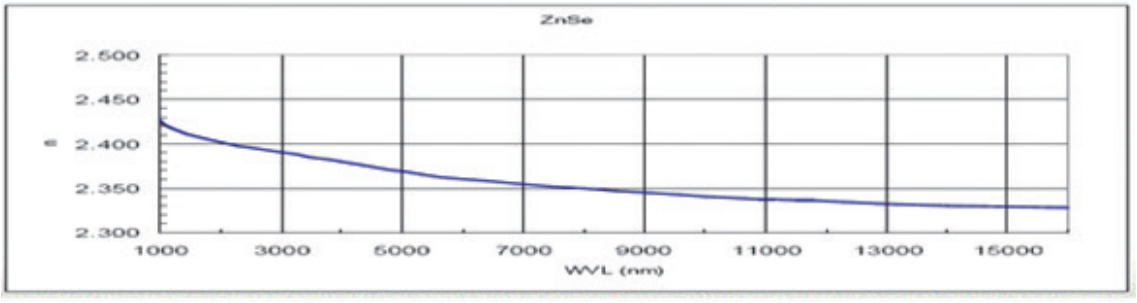
Zinc Selenide, ZnSe for Optical Coating

응용분야

ZnSe는 ~500um과 14um사이의 대역에서 투명하다. ZnSe는 2um의 이상 파장의 적외선 대역에서 Beam splitter, 대역통과필터 및 기타 코팅을 구축하기 위해 저굴절 불소 화합물과 연계하여 사용하는 고굴절 구성요소(n~2.4)이다.
저굴절 재료는 YF3, YbF3, IRX와 ThF4를 포함한다. 이것은 일반적으로 다층박막에서 Ge(n=4)와 함께 사용되는 저굴절 구성요소이다. ZnSe는 증착이 쉽고 몇 um 두께에서도 낮은 광학흡수와 낮은 기계적 스트레스를 보인다. 화학적으로 다른 재료 사이에서 접착력 문제가 일어날 수 있기 때문에 산화물과의 조합은 추천되지 않는다.

박막특성

기판온도에 따라 바뀌는 고유 기둥 미세 구조의 기둥 크기와 공극부피(충진밀도를 결정하는) 에 따라서 박막이 성장한다.
ZnSe 박막은 비교적 부드럽고 물에 용해되지 않는다.
비슷하게 낮은 충진 밀도의 산화물 박막과 달리, 매우 건조하든 수분이 많든 상관없이 굴절률 같은 광학적 특성이 거의 변화가 없다.
차트는 1000nm과 16,000nm 파장 사이에서의 굴절률 값의 변화를 보여준다.
IR 대역에서 굴절률의 분산률이 낮은 것은 장점이지만, NIR 대역 실제에서는 사용에 제한을 받는다.



굴절률

굴절률은 산화정도와 박막 밀도에 따라 다르다. 산화화합물의 증착과정은 굴절률과 일반적으로 굴절률을 증가시키고 결정체의 성장을 막기 위해 IAD를 포함한다. 그래서 더 높은 충진 밀도를 생산한다.
Lanthanum Titanate(La2Ti2O7) 의 박막은 매우 조밀해서 IAD를 사용해도 굴절이 향상되는 비율은 극미량이다. 그래서 IAD를 사용하지 않아도 습기에 대한 안정성은 높다. 일반적 굴절률 지수는 IAD를 사용한 박막, 사용하지 않는 박막의 것으로 구분하여 나타낸다. IAD를 사용하면 굴절률이 0.06까지 증가한다.

증착변수

ZnSe가 E-beam에 의 해 증착될 수 있는 반면, 열에 의한 저항 증착은 일반적으로 광학작업에서 사용된다.
승화온도는 800-900℃여서 더 안정된 저항 가열식 기술을 사용하면 화학양론 구성을 얻기 더 쉽다. 추천되는 기판 온도는 160~175℃이다. 더 높은 온도에서 도달하는 원자는 더 낮은 밀도를 보이며, 뜨거운 기판과 크리스탈 두께 측정기 사이에서 두께 문제의 결과를 보인다. 기판 표면을 깨끗하게 하는 것도 좋은 접착율을 위해 필수적이다. Ge이나 다른 기판들 위해서는 종종 매우 얇은 HfO2, Y2O3, 불화물을 접착활성제로 사용해야 한다. 일반적 열에 의한 저항 증착 소스는 Ta 나 Mo 재질의 칸막이가 된 상자 형태로 만들어진다. 완전한 구성의 재결합을 방해하는 성분분상을 최소화 하기위해 부드러운 저항가열방식이 제안된다. 일반적인 증착률은 압력 10-5Torr 아래에서 10-15Å이다.

재료의 물리학적 특성

승화성 증착물질
외관 -반투명 노란색
밀도(25℃ 기준)- 5.4 g/cc
수용해성-불용성
고체덩어리내에는 수분이 관통하지 않음

Zirconium Oxide, ZrO2 for Optical Coating

응용분야

지르코늄 산화물 ZrO2는 근자외선(<300nm)에서 적외선(~8um)까지의 영역에서 고굴절, 낮은 흡수성을 가진 유용한 물질이다. 뛰어난 강도를 가진 코팅층은 E-beam 증착 또는 스퍼터로 증착된다. 응용분야로는 높은 레이저 손상 문턱값(LDT)을 요구하는 근자외선, 레이저 AR 및 유전체거울설계등이 있다. 지르코니아는 낮은 기계적 스트레스를 가진 높은 굴절대조다층박막을 형성하기 위해 SiO2와 함께 잘 이용한다. 경도, 내마모성, 좋은 부착성을 가진 코팅은 IAD이나 스퍼터링같은 낮은 온도 기술로 증착한다. 그리고 부분적으로는 침식으로부터 금속거울을 보호하기위해 적용한다.

박막의 특성

완전히 산화된 지르코니아 박막은 ~250에서 10um까지 파장영역에서 낮은 흡수율을 보인다. ~250nm이상에서 소멸계수는 0.001이하이다. 450nm에서 1500nm까지 굴절산란은 작아서 광대역코팅에서 유리하다. 증착동안 산소의 분압을 공급하더라도 어느 정도의 분해와 산소손실을 야기한다. 유리기판, 대부분의 산화물, 폴리머 그리고 알루미늄 과 실버 같은 메탈 등에 접착력이 뛰어나다. 박막은 결정미세구조로 성장한다. 저에너지 저항열 증착, 낮은 기판온도, 또는 과도한 주변 압력등과 같은 특정 증착조건 아래에서의 박막은 심각한 공극부피를 가진다(충진밀도 0.8 이하의). 습기가 있는 대기에 노출될 때도 굴절률이 변화가 있다. 또한 2.9um(O-H stretching)과 6.9um(O-H-O Vibration)에서 흡수영역이 나타날 수 있다. 증착이 스퍼터링, IAD,높은 기판온도에서 진행되었을 때 굴절변화와 수분흡수대역이 없어질 수 있다.

고에너지 증착기술을 사용하고 기판온도를 올려주면, 미세구조의 충진밀도를 증가시킴으로써 공극부피를 줄이기 때문에, 굴절률이 높게 나온다. 대기상태에서 증착 후 굽는 과정을 하면 전자빔과 저항가열증착의해 만든 굴절률을 증가시킬 수 있다. 굴절율의 불균일성은 다층박막설계에서 증착물질이 소진되면서, 증착층수와 증착두께가 증가함으로써 나타날 수도 있다. 이는 증착하는 동안 충분한 산소공급에 의해 줄일 수는 있으나 진공에서 대기로 노출될 때 수증기를 흡수할 수 있는 공극을 만들 수 있다.

지르코니아는 외부산화물을 첨가함으로써 대표적인 특성인 굴절률의 불균일성을 줄일 수 있는 산화물 중에 하나이다. TiO2, SiO2, MgO와 다른 물질들의 첨가물은 결정성장경향을 변화시킬 수 있다.



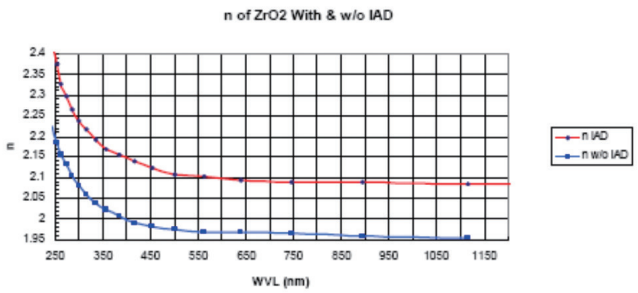


Figure 1. ZrO_2 deposited on substrates at 200°C with- and without-IAD.

굴절률

굴절률은 산화정도와 제작된 박막밀도에 의해 결정된다. 이 두 변수는 기판온도와 IAD 에너지에 의해 영향을 받는다. IAD는 충진밀도와 굴절률을 상당히 증가시키지만, 아래의 표에 볼 수 있듯이, 고에너지 레이저코팅의 문제인 흡수를 증가시킬 수 있다.

물질경향

초기물질형태는 tablet이나 소결된 조각 상태이다. 추천하는 선결조건은 낮은 파워 전자빔으로 급속히 태우고 물질 표면을 균일하게 열을 가해주는 것이다. 그리고 증착온도 아래로 파워를 천천히 증가시킬 동안 압력과 수용할 수 있을 정도로 outgassing과 spitting(튀는 현상)을 낮추는 도가니를 검토해야 한다. Tablet이나 조각물질은 연속증착을 위해 추가로 채워 쓸 수 있다.

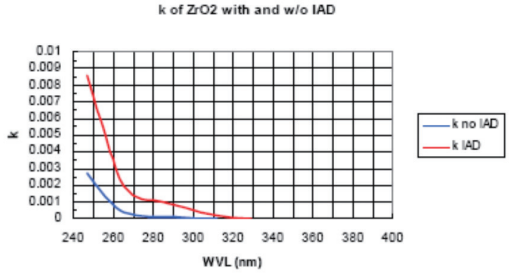


Figure 2. As in figure 1, but showing the extinction coefficients. UV extinction coefficients are higher with the addition of IAD.

증착변수

증착 온도	~2200°C
증착 용기	E-beam에는 흑연도가니. E-beam에서는 약간 태워야 한다.(should be swept.) 저항가열증착에서 쓰는 두꺼운 텅스텐 보트를 사용한다. 텅스텐은 반응하기 때문에 반드시 한번 사용 후 교체해야한다.
증착 속도	1~2A/sec
산소의 부분압력	8~10X10-5 Torr
기판 온도	150C to 300C

고체상의 물리적 특성

분자량	223.22
녹는점	2715C
색	흰색 또는 검정
결정 밀도	5.6g/cc

산화 혼합물

순수 증착물질로는 실현될 수 없는 굴절률 대역이 몇가지 존재한다. 예를 들어, 1.63(Al2O3)와 1.85(Y2O3) 사이에 굴절률을 나타내는 물질은 존재하지 않는다. 또한 글라스 상에서 3층의 AR 코팅에 요한 대역인 2.1근처를 나타내는 순수 증착물질은 존재하지 않는다. 또한 물질이 가진 불편함에 기인하는 문제도 있다. ZrO2 와 HfO2는 녹지 기 때문에 증착과정 중 일정한 코팅면을 갖기 힘들어 불균질한 코팅두께 분포나 두께 재현성이 저하되는 문제를 안고 있다. 이온빔 도움이 없이 사용되는 전통적인 전자빔 증착법을 사용하면 Ta2O5의 경우는 투명박막을 만들기 위해 증착 후 굽는 과정(Postbaking)이 필요하다. 산화혼합물을 사용하면 상기문제들뿐만 아니라, 입자구조, 밀도, 박막강도등도 개선할 수 있다.

현재 통용되는 산화혼합물을 하기 table 에 정리하였다.

Substance	Supplier (Trade name)	Refractive Index At ~550nm	Transmittance Range[㎛]	Evaporation
SiO2/Al2O3	Umicore(Lima)	1.48-1.50	0.20-7	EB, 1600℃
	Merck(L5)			
Al2O3/Pr6O11	Merck(M1)	1.7-1.9	0.38-9	EB, 2100-2200℃
	Umicore(Paso)			
	TASCO(TSM1)			
Al2O3/La2O3	Merck(M2)	1.7-1.8	0.21-10	EB, ~2100℃
	Merck(M3)			
ZrO2/Ta2O5	Umicore(Pisa)	2.05	0.35-10	EB, 2100℃
	TASCO(TS2060)			
ZrO2/TiO2	MATERION	2.1	0.40-7	EB, 2200-2400℃
	Merck(H1)			
	Optron(OH-5)			
	TASCO(TSH1)			
ZrO2/MgO	MATERION2.1	2.1	0.35-10	EB, ~2100℃
ZrO2/Al2O3	Optron	1.68-1.75	0.35-10	EB, 1850-2200℃
	(OM-4, OM-6)			
TiO2/ Pr6O11	Merck(H2)	2.1	0.40-7	EB, 2200-2400℃
	Umicore(Ida)			
	TASCO(TSH2)			
TiO2/Al2O3	Umicore(Dralo)	2.2	0.40-7	EB, 1700-1800℃
TiO2/La2O3	Merck(H4)	2.1-2.2	0.40-7	EB2200-2300℃
	TASCO(TSH4)			

산화혼합물 상세정보

하기에 서술되는 모든 재료에는 전자빔 증착법을 권장한다. 산화 부분압은 SiO2/Al2O3를 제외하고는 약 2x10-4mbar, 증착률은 0.2에서 0.8nm/s, 기판온도는 30에서 300℃이다.

1) SiO2/Al2O3

SiO2 와 Al2O3 혼합물은 SiO2 상에서 강도를 낮추어 화학적 안정성을 강화시킨다.

2) Al2O3/Pr6O11(TSM1)

증착 전에 완전히 녹는다. 증착 시 일정한 증착면을 형성한다. 새로운 물질 충진이 가능하다. 글라스와 플라스틱 기판 상에서 내구성 있는 박막을 형성한다.

3) Al2O3/La2O3(TSM2/M3)

증착 전에 부분적으로 녹는다. 재충진 가능. 글라스와 플라스틱 기판 상에서 내구성 있는 박막형성. AR 코팅 외에도 다층코팅, 빔스플리터, 폴러라이저 등에 활용할 수 있다.

4) ZrO2/Ta2O5(TS2060)

순수한 ZrO2박막에 비해 균등한 굴절률을 나타낸다. 추가로 ZrO2가 Ta2O5의 산화를 촉진한다.

5) ZrO2/TiO2(TSH1)

굴절률 2.1 대역의 균질막을 형성한다. tablet 이나 disk 위에 녹은 박막층을 형성한다. 편평한 표면층을 만들기 위해서 전자빔의 전압분포를 주의 깊게 조절해야 한다. 재충진 곤란. 증착률은 0.2에서 1nm/s. 투과율 대역에서 극미한 흡수 발생하며, 글라스나 플라스틱 기판에 단단하고 내구성 있는 박막형성. 주 적용분야는 AR코팅이다.

6) TiO2/Pr6O11(TSH2)

증착 전에 녹는다. 증착시 고른 증착면을 형성하며, 재충진 가능하다. 보트 증착 가능. 증착률은 0.2에서 1nm/s. 400nm 이하의 근자외선 대역에서 안정적인 굴절율과 흡수율 나타내며, 450nm 근처에서는 약하게 흡수가 발생한다. 주 적용분야는 글라스나 플라스틱 렌즈 상에 AR 코팅이다.

7) TiO2/Al2O3

Al2O3를 첨가하면 강도를 낮추어 굴절률을 낮춘다.

8) TiO2/La2O3

증착 전에 녹는다. 재충진 가능, 투과율 대역에서 안정적인 굴절률 및 낮은 흡수율 나타낸다. 주 적용분야는 글라스 상의 AR 코팅이며, 기판온도는 250-300℃이다. 낮은 기판온도에서는 플라스틱 기판 상에 코팅도 가능하다.

9) Ta2O5/Al2O3

조성비를 다르게 하여 중간정도의 굴절률인 1.66에서 1.9 사이에서, 투과율은 0.35_7㎛3에서 증착이 가능하다. 주 적용분야는 글라스 기판상의 AR코팅하여 다양한 굴절률 나타낸다.

10) ZrO2/Al2O3

조성비를 다르게 하여 중간정도의 굴절률인 1.63에서 1.75사이에서 증착이 가능하다. 박막의 굴절률은 혼합물의 조성비에 따라 다양하지만 1850℃에서 2200℃에 이르는 증착온도에 따라서도 독립적이다. 주 적용분야는 다양한 굴절률은 갖는 글라스사의 AR코팅이다.



산화물, 산화질화물, 질화물, 탄화물 박막의 적용범위

1) AR 코팅

산화물은 대부분의 AR코팅에서 고,중 굴절률을 나타내는데 사용된다. 여기에 사용되는 산화물은 Titanium Oxide, Zirconium Oxide, Yttrium Oxide, Aluminum Oxide와 Pisa, Ida, Dralo, H1, H2, H4, OH-5, Paso, M1, M2, M3, OM-4, OM-6 등과 같이 상표등록된 산화혼합물 등이다. 고 굴절률을 내는 대체품으로는 Silicon Nitride 등이 있다. SiO2, Lima, Substance L5 는 안정성(유기안경렌즈 등에 쓰이는 낮은 기판온도 때문에 부드럽다)이나 특별한 증착법(대면적 코팅에는 sputtering 이나 dipping을 사용할 경우)에 맞지 기 때문에 MgF2를 사용할 수 없는 저 굴절률의 AR코팅에 사용된다.

2) 다층막 시스템

산화물은 cold light mirror, 열반사 터, 색 분배기, DWDM 터와 같은 narrow band 간섭 터, 레이저코팅 등과 같은 다층막 코팅에 널리 사용된다. 일반적으로 SiO2는 저 굴절률을 나타내는 물질이다. TiO2-SiO2 다층막은 두 물질 사이에 굴절률 차이가 크기 때문에 넓은 반사율 대역을 형성하므로 많은 분야의 대량생산에 적용된다. TiO2는 정확성, 열적안정성, 광학적 손실이 커서 다층막코팅에서는 Ta2O5로 대체되는 경우가 많다. Hafnium Oxide와 같이 Tatalum Oxide는 자외선 대역에서 쓰이는 좋은 고 굴절률 재료이다.

3) 투명전도코팅(Transparent Conductive Coating)

산화박막의 더 중요한 적용분야는 디스플레이나 transparent heated window에서 투명전도코팅에 사용되는 것이다. 투명전도코팅에는 ITO, Al-doped ZnO, F-doped SnO2등을 사용한다.

4) 전자착색디스플레이 박막(Films for Electrochromic Displays)

전자착색디스플레이 박막에는 W 이나 Nickel Oxide 등을 사용한다.

Aluminum(알루미늄)

1. 유래

1825년 덴마크 화학자 한스 크리스니안 외른스테드에 의해 발견되었으며, 알루미늄은 라틴어인 Alumen(Alum)에서 유래되었다.

2. 원석

보크사이트(Bauxite), 빙정석(Cryolite)

3. 기본특성

가볍고 강하며, 철만큼은 아니지만 가격이 저렴하다. 철보다 더 빨리 공기에 반응하여 커런덤(Corundum)이라 불리는 보호막이 형성된다.

4. 응용분야

알루미늄캔, 주방기구, 두랄루민 등 강화 합금재료, 항공기, 선박, 차량, 섬광파우더나 로켓연료혼합물의 기본적인 재료

높은 반사율을 이용한 반사층코팅(망원경, 반사경, OLED, 우주산업, 광학산업, LED)

5. 부존량

산소, 실리콘과 함께 지구의 지각을 이루는 주구성 원소 중 하나이다.

13	Al

전자배치
[Ne]3s2 3p2

녹는점	원자량
660.32	26.982
끓는점	밀도
2519	2.702

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Aluminum Metal	2-10mm	99.99	7429-90-5	해당없음
	Al	Pieces			
2	Aluminum Metal	3mmDia.x 3mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
3	Aluminum Metal	3mmDia.x 3mmL.	99.99	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets(Melted)			
4	Alumium Metal	3mmDia.x 6mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
5	Aluminum Metal	3.9mmDia.x 2.5mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
6	Aluminum Metal	6mmDia.x 6mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
7	Aluminum Metal	6mmDia.x 6mmL.	99.99	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets(Melted)			
8	Alumium Metal	0.25"Dia. x 0.25"L.	99.995	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
9	Aluminum Metal	9.5mmDia.x 3.2mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Tablets			
10	Alumium Metal	10mmDia. x 8mmL.	99.999	7429-90-5	해당없음
	Al	Pellets			
11	Aluminum Metal	From 1mmDia.	99.99	7429-90-5	해당없음
	Al	Wire			
12	Aluminum Metal	From 0.1mmTh.		7429-90-5	해당없음
	Al	Sheet			
13	Aluminum Antimonide	~6mm	99.99	25152-52-7	
	AlSb	Pieces			
14	Aluminum-Copper Alloy	6mmDia.x 6mm L.	99.999	7429-90-5	
	Al:Cu(98:2wt%)	Pellets (melted)		7440-50-8	
15	Aluminum Fluoride	3-6mm	99.5	7784-18-1	
	AlF3	Pieces (highly dense press.sinterd)			
16	Aluminum Lithium Alloy	1-4mm	99.99	7429-90-5	
	Al/Li (99.3:0.7wt%)	Pieces		7439-93-2	
17	Aluminum Magnesium Alloy	3-6mm	99.99	7429-90-5	
	AlMg	Pieces		7439-95-4	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
18	Aluminum Nitride	1-4mm	99.5	24304-00-5	
	AlN	Pieces			
19	Aluminum Nitride	3-6 m	99.9	24304-00-5	
	AlN	Pieces			
20	Aluminum Oxide	1-2.5 m	99.99	1344-28-1	
	Al2O3	Pieces			
21	Aluminum Oxide	1-3mm	99.8	1344-28-1	
	Al2O3(mostly alpha phase)	Pieces (highly sintered, opaque)			
22	Aluminum Oxide	1.5-3mm	99.99	1344-28-1	
	Al2O3(mostly alpha phase)	Pieces (clear, single-crystal sapphire)			
23	Aluminum Oxide	2-12mm	99.99	1344-28-1	
	Al2O3(mostly alpha phase)	Pieces (clear, single-crystal sapphire)			
24	Aluminum Oxide	3-12mm	99.8	1344-28-1	
	Al2O3(mostly alpha phase)	Pieces (highly sintered, opaque)			
25	Aluminum Oxide	10mmDia x 10mmL	99.99	1344-28-1	
	Al2O3	Pellets			
26	Aluminum Oxide	11-12mmDia x 4-5mmL	99.99	1344-28-1	
	Al2O3	Tablets			
27	Aluminum Oxide	18-20mmDia x 4-5mmL	99.99	1344-28-1	
	Al2O3	Tablets			
28	Aluminum Selenide	3-12 mm	99.999	1302-82-5	
	Al2Se3	Pieces			
29	Aluminum Selenide	~6mm	99.5	1302-82-5	
	Al2Se3	Pieces			
30	Aluminum-Silicon	6mmDia x 6mmL	99.999	7429-90-5	
	Al:Si(99:1wt%)	Pellets (melted)		7440-21-3	
31	Aluminum Sulfide	~6mm	98	1302-81-4	
	Al2S3	Pieces			
32	Aluminum Telluride	~6mm	99.9	12043-29-7	해당없음
	Al2Te3	Pieces			

Antimony(안티모니)

1. 유래

안티모니와 이의 화합물은 고대부터 사용되어 왔으며, 중세에는 연금술사들이 안티모니에 많은 관심을 가졌다. 휘안석을 아랍어로'al-ithmid'로 불렀는데, 이것이 11-12세기에 유럽으로 전해져 '안티모늄(antimonium)으로 불리게 되었다. 현재는 안티모니(antimony)가 원소의 영어 이름이며, 원소기호 Sb는 현대적 원소 기호를 제안한 베르셀리우스(Jons Hakob Berzelius, 1779~1848)가 안티모니의 라틴어 이름 'stibium'에서 따와 정하였다.

2. 원석

휘안석(Sb2S3), 복합황화물 광석에서 Sb2S3 또는 Sb2O3 를 회수 후 환원시켜 얻음.

3. 기본특성

은백색 광택의 무른 준금속, 층간의 결합이 약해서 경도가 약하고 쉽게 부서진다. 같은 족의 비소와 성질이 비슷하고 독성이 있으나 비소에 비해서는 독성이 훨씬 약하다.

4. 응용분야

난연제(주로 Sb2O3), 납 합금(납축전지극판, 탄환, 전력선 피복제, 내산성밸브). 주석 합금. PET 생산 촉매, 특수유리와 도자기 제조, 페인트 안료, 반도체용 기판 재료 등.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 0.2ppm (2x10-5%)이고 존재량이 대략 62번째인 비교적 희귀한 원소이다.

51	**Sb**

전자배치
[Kr]4d10 5s2 5p3

녹는점	원자량
630.6	121.760
끓는점	**밀도**
1590	6.697

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Antimony Sb	1-5mm Pieces	99.9999	7440-36-0	
2	Antimony Sb	1-5mm Shots	99.999	7440-36-0	
3	Antimony Sb	3mmDia approx. Pellets	99.999	7440-36-0	
4	Antimony Sb	3-20mm Pieces	99.9999	7440-36-0	
5	Antimony Arsenide Sb3As	5-50mm Chunks	99.999	12255-36-6	
6	Antimony Arsenide Sb3As	~6mm Pieces	99.999	12255-36-6	
7	Antimony Chloride SbCl3	Lumps	99.9	10025-91-9	
8	Antimony Chloride SbCl5	Liquid (m.p.2.8℃, b.p.79℃) (no organic matter present)	99.5	7647-18-9	
9	Antimony Oxide Sb2O3	3-12mm Pieces (sintered)	99.9	1309-64-4	
10	Antimony Selenide Sb2Se3	3-12mm Pieces (melted)	99.999	1315-05-5	
11	Antimony Selenide Sb2Se3	3-6mm Pieces	99.9	1315-05-5	
12	Antimony Sulfide Sb2S3	3-12mm Pieces	99.999	1345-04-6	
13	Antimony Sulfide Sb2S3	3-12mm Pieces (sintered)	99.9	1345-04-6	
14	Antimony Telluride Sb2Te3	3-12mm Pieces (fused)	99.999	1327-50-0	
15	Antimony Telluride Sb2Te3	3-12mm Pieces	99.99	1327-50-0	

Arsenic(비소)

1. 유래

비소는 비상(砒霜)을 구성하는 원소이다. 비상은 삼산화 비소로, 예로부터 동서양 모두에서 사람을 독살하는 데 자주 사용된 독성이 아주 큰 물질이다. 비소(Arsenic)는 노란 웅황(orpiment)을 의미하는 그리스어 arsenikon에서 유래되었다.

2. 원석

비소는 주로 구리 생산의 부산물로 얻어진거나, FeAs2나 FeSAs의 야금에서도 얻을 수 있음.

3. 기본특성

비소는 금속과 비금속의 중간 성질을 가지는 준금속 원소로, 회색, 노란색, 검정색의 3가지 동소체가 있음. 비소(회색 비소, α-As)는 실온 부근에서의 밀도가 5.727g/cm3이고, 열을 잘 통하며(열 전도도: 50.2 W·m-1·K-1), 전기 전도도는 은(Ag)의 약 40%(전기 비저항 333 nΩ·m)로 상당한 금속성을 보인다.

4. 응용분야

납 합금(전지, 탄환), 반도체 n-형첨가제, GaAs 등 화합물 반도체. 비소 화합물들은 목재 방부제, 살충제, 살균제, 제초제, 살서제 등으로 널리 사용되었으나 지금은 보다 안전한 물질로 대체되고 있다. 동물에 강한 독성, 1급 발암물질.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 1.8ppm 이고 존재량이 51번째로 풍부한 원소이지만, 현재 비소는 가급적이면 다른 원소로 대체되므로, 수요가 정체되어 있거나 약간 감소하고 있다.

33	As

전자배치
[Ar]3d10 4s2 4p3

승화점	원자량
615	74.922
삼중점	**밀도**
820	5.727

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Arsenic	3-12 mm	99.99999	7440-38-2	
	As	Pieces			
2	Arsenic	8-20mm	99.9999	7440-38-2	
	As	Pieces			
3	Arsenic	<15mm	99.999	7440-38-2	
	As	Pieces			
4	Arsenic acid	~12mm	99.999	7778-39-4	
	X-ray matches	Pieces	(Sb typ.100ppm)		
	H5As3O10[~3(As2O5)-5H2O]				
5	Arsenic acid	~12mm	99.9	7778-39-4	
	X-ray matches	Pieces			
	H5As3O10[~3(As2O5)-5H2O]				
6	Arsenic Bromide	Solid ingot in glass	99.9	7784-33-0	
	AsBr3	(m.p.32.8℃, b.p.221℃)			
7	Arsenic Oxide	~12mm	99.999	1303-28-2	
	As2O5	Pieces (sintered)	(Sb typ.100ppm)		
8	Arsenic Oxide	~12mm	99.9	1303-28-2	
	As2O5	Pieces (sintered)			
9	Arsenic Selenide	1-6mm	99.999	1303-36-2	
	As2Se3	Pieces (melted)			
10	Arsenic Selenide	1-6mm	99	1303-37-3	
	As2Se5	Pieces (melted)			
11	Arsenic Sulfide	3-12 mm	99.999	1303-33-9	
	As2S3	Granules			
12	Arsenic Sulfide	1-6mm	99.9	1303-33-9	
	As2S3	Pieces (fused)			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
13	Arsenic Telluride	3-12mm	99.999	12044-54-1	
	As2Te3	Pieces (melted)			
14	Arsenic Telluride	3-12 mm	99.999	12044-54-1	
	As2Te3	Granules			
15	Arsenic Telluride	3-12mm	99	12044-54-1	
	As2Te3	Pieces (melted)			

Barium(바륨)

1. 유래

바륨을 원소 상태로 처음으로 분리한 사람은 영국의 데이비(Humphry Davy, 1778~1829) 경 임. 그는 볼타전지를 사용하여 1808년에 용융 바륨 염을 전기분해시켜 원소 상태의 금속 바륨을 분리하였는데, 원소 이름을 바리타(baryta)에서 따오고 칼슘(calcium)에서와 같은 접미어 'ium'을 붙여 바륨(barium)으로 명명 함. 데이비는 소듐(Na), 포타슘(K), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca)도 전기분해 방법으로 분리·발견하였다.

2. 원석

중정석(barite, BaSO4), 위더라이트(witherite, BaCO3)

3. 기본특성

주기율표에서 베릴륨(Be), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 스트론튬(Sr), 라듐(Ra)과 함께 2족(2A족)인 알칼리 토금속 족에 속한다. 금속 바륨의 화학적 성질은 Ca이나 Sr과 비슷하며, 반응성은 알칼리 토금속 원소 중에서는 라듐(Ra) 다음으로 크다.

4. 응용분야

바륨은 대부분 황산바륨으로 사용되며, 다른 화합물이나 금속 형태로 사용되는 양은 많지 않다. Al-Si 합금 첨가제, 초전도체, 압전소자, 광학소자, 유리제조, 진공관 게터, 황산바륨(BaSO4)은 석유 시추액, 소화관 X-선 촬영 조영제, 백색 안료, 충전제 등

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 425ppm57-71 이고, 가장 흔하고 중요한 바륨 광석은 중정석(barite, BaSO4)인데, 이는 전세계에 널리 분포되어있다.

56	**Ba**

전자배치
[Xe]6s2

녹는점	원자량
727	137.33
끓는점	**밀도**
1897	3.59

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Barium Metal	~25mm	99.9	7440-39-3	
	Ba	Pieces (Chunks)	(Sr<0.7%)		
2	Barium Metal	~25mm	99.7	7440-39-3	
	Ba	Pieces (under mineral oil)	(Sr<1.8%)		
3	Barium Aluminide	~6mm	99.5	12672-79-6	해당없음
	BaAl4	Pieces	(Sr<0.5%)		
4	Barium Antimonide	~6mm	99.5	55576-04-0	해당없음
	Ba3Sb2	Pieces	(Sr<0.5%)		
5	Barium Arsenide	~6mm	99.5	12255-50-4	
	Ba3As2	Pieces	(Sr<0.6%)		
6	Barium Fluoride	1-4mm	99.95	7787-32-8	
	BaF2	Pieces			
7	Barium Fluoride	3-6mm	99.99	7787-32-8	
	BaF2	Pieces			
8	Barium Fluoride	3-6mm	99.9	7787-32-8	
	BaF2	Pieces (melted)	(Sr<400ppm)		
9	Barium Fluoride (DFM)	3-12mm	99.995	7787-32-8	
	BaF2	Pieces			
10	Barium Fluoride	18 mm dia x 12 mm th.	99.995	7787-32-8	
	BaF2	Pellets			
11	Barium Hafnium Oxide	3-6mm	99.95	1304-28-5	
	BaHfO3	Pieces		12055-23-1	
12	Barium Iodide		99.995	13718-50-8	
	BaI2	granules	(Sr<10ppm)		
13	Barium Silicide	~6mm	98	1304-40-1	해당없음
	BaSi2	Pieces	(Sr<0.6%)		

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
14	Barium Titanate	3-12mm	99.95	12047-27-7	
	BaTiO3	Pieces			
15	Barium Titanate	3-12mm	99.9	12047-27-7	
	BaTiO3	pieces (sintered)	(Sr＜1000ppm)		
16	Barium Zirconate	1-4mm	99.99	12009-21-1	
	BaZrO3	Granules			

Bismuth(비스무트)

1. 유래

비스무트는 우리말로 '창연(蒼鉛)'이라 부르기도 하는데, 이는 '푸른 납'이란 뜻이다. 1400년경부터 알려졌으나, 납과 성질이 비슷하여 가끔 혼동되었는데 1753년에 조프루아(Geoffroy)가 이들 원소가 서로 다른 점을 분명히 제시 함. 융해하는 금속이라는 뜻의 아랍어 'wiss majaht'에서 유래 혹은 광석이 아름다운 광맥을 이루어 광부들이 사용하는 오래된 관용어인 'wiesmatte'에서 유래 되었다.

2. 원석 납/아연, 구리, 주석, 몰리브데넘, 텅스텐 생산의 부산물.

3. 기본특성

주기율표에서 바로 앞에 있는 납, 탈륨, 수은, 그리고 바로 위에 있는 안티모니와 비소가 독성이 큰 반면, 비스무트는 독성이 거의 없음. 비스무트는 금속으로는 드물게 아름다운 색을 띠는데, 이는 표면에 생긴 산화물 피막에서 일어나는 빛의 간섭에 의한 것. 금속 중에서 반자기성과 전기 저항이 가장 큼. 비교적 무르고, 부서지기 쉬운 노란색 또는 분홍색을 띠는 은백색 금속인데, 이들 노란색 또는 분홍색은 표면에 생성된 얇은 산화물 피막에서 나오는 빛의 간섭에 따른다.

4. 응용분야

최근에는 독성으로 인해 사용이 제한되고 있는 납을 대체하여 식수 공급 설비, 페인트 안료, 낚시 추, 사냥용 산탄, X-선 차단제 등에 요긴하게 사용된다. 저융점 합금, 무연땜납, 반도체 열전재료, 원자로 냉각재, 고체 전해질, 고온 초전도체 등. 각종화합물이 의약품, 화장품, 안료, 촉매등으로 사용됨.

5. 부존량

존재량이 대략 70번째로 지각에 약 0.048ppm(4.8x10-6%)의 비율로 존재하는 비교적 희귀한 원소이다.

83	Bi

전자배치
[Xe]4f14 5d10 6s2 6p3

녹는점	원자량
271.5	208.980
끓는점	**밀도**
1564	9.78

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Bismuth Metal Bi	1-6mm Shots	99.999	7440-69-9	
2	Bismuth Metal Bi	1-12mm Pieces	99.999	7440-69-9	
3	Bismuth Metal Bi	3mmDia x 3mmL Pellets	99.999	7440-69-9	
4	Bismuth Antimonide BiSb	3-6mm Pieces	99.99	12323-19-2	
5	Bismuth Oxide Bi2O3	3-12mm Pieces (sintered)	99.9	1304-76-3	
6	Bismuth Selenide Bi2Se3	1-6mm Pieces (melted)	99.999	12068-69-8	
7	Bismuth Sulfide Bi2S3	3-6mm Granules	99.999	1345-07-9	
8	Bismuth Telluride Bi2Te3	1-6mm Pieces (melted)	99.999	1304-82-1	
9	Bismuth Telluride Bi2Te3	3-12mm Pieces	99.999	1304-82-1	

Boron(붕소)

1. 유래

티베트 서부 사막에서 생산된 붕사는 중국에서 오래 전부터 도자기 유약의 재료로 사용됨. 1808년 프랑스의 뤼삭과 테나르,영국의 데이비에 의해 확인되었으며, 붕사의 아랍어인 'buraq' 에서 유래 됨. 데이비는 붕소를 보라슘(boracium)이라 불렀는데, 뒤에 베르셀리우스가 탄소(carbon)와 성질이 비슷하다는 이유로 'boron'이라 명명하였다.

2. 원석

붕사(Na2B4O7) 와 울레사이트(ulexite) 에서 분리.

3. 기본특성

붕소는 갈색-검은색 준금속으로 탄소와 비슷하게 공유결합으로 연결된 여러 형태의 안정한 분자망을 만들 수 있음. 결정성 붕소는 모스 경도가 약 9.5로, 다이아몬드 다음으로 단단 함. 붕소는 녹는점이 2,092oC로 비금속 중에서는 탄소 다음으로 높고, 밀도가 낮으며, 전기 전도도가 아주 낮은 단단한 내화물이다.

4. 응용분야

핵반응 조절제, 응급 핵반응 중지제, 그리고 핵연료 재충전을 위한 가동 정지제, 화합물들이 세제 첨가제, 화장품, 유리섬유 첨가제,연마제(BN), 도자기 유약과내열 유리 재료, p형 반도체 첨가제, 눈 세정제, 수영장 물 정화제, 살충제 등에 쓰임. 원자로 중성자흡수제, 고온 초전도 자석으로 사용.

5. 부존량

지각에서의 존재 비는 약 0.001%로 비교적 흔하지 않은 원소이다.

5	**B**

전자배치
[He]2s2 2p1

녹는점	원자량
2076	10.811
끓는점	밀도
3927	2.08

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Boron	3-6mm	99.99	7440-42-8	
	B	Granules			
2	Boron	3-8mm	99.5	7440-42-8	
	B	Pieces (crystalline)			
3	Boron	6-12mm	99	7440-42-8	
	B	Granules			
4	Boron Carbide	2-6mm	99.5	12069-32-8	
	B4C	Granules			
5	Boron Iodide	Needles or Crystals	99.9	13517-10-7	
	BI3	(m.p.48℃-50℃)			
6	Boron Nitride	3-12mm	99.5	10043-11-5	
	BN	Granules			
7	Boron Oxide	~12mm	99.9995	1303-86-2	
	B2O3	Pieces			

Cadmium(카드뮴)

1. 유래

독일 괴팅겐 대학 교수인 슈트로마이어에 의해, 카드뮴은 같은 족의 아연이나 수은에 비해 훨씬 늦은 1817년에 발견되었으며, 자신이 발견한 새로운 원소를 칼라민(calamine) 카드뮴은 광석의 라틴어 이름 'cadmia'에서 유래되었다.

2. 원석

대부분의 아연 광석에는 카드뮴이 불순물로 0.2~0.4% 들어있으며, 일부 황화물 아연 광석에는 카드뮴이 1.4%나 포함되어 있기도 하다. 따라서 대부분의 카드뮴은 아연 제련의 부산물로 얻음.

3. 기본특성

푸른색을 띠는 은백색 금속으로, 칼로 자를 수 있을 정도로 무르며 연성과 전성이 좋다.

4. 응용분야

주로 Ni-Cd 2차 전지. 원자로 제어봉.과거에는 강철 도금, 안료, 플라스틱안정제, 인광체 등의 재료로 오랫동안 요긴하게 사용. 새로운 기술과 대체품의 개발, 그리고 환경 오염 규제로 소비제품에서의 카드뮴 수요는 점차 줄어들고 있지만, 전력 저장 목적의 산업용 니켈-카드뮴 전지의 중요성은 더해지고 있음. 화합물인 CdS, CdSe, CdTe, 칼코겐화합물, HgCdTe, ZnCdTe, 등은 화합물반도체, 양자점 등으로 사용 확대가 예상 됨.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 0.1~0.5ppm(1~5x10-5%)로, 비교적 희귀한 원소이다.

48 **Cd**

전자배치
[Kr]4d105s2

녹는점	원자량
321.07	112.414
끓는점	**밀도**
767	8.65

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Cadmium Metal Cd	1-3mm Pellets (Shots)	99.999	7440-43-9	
2	Cadmium Metal Cd	3mm shot	99.999	7440-43-9	
3	Cadmium Metal Cd	3-20mm Granules	99.999	7440-43-9	
4	Cadmium Antimonide Cd3Sb2	~6mm pieces	99.999	12014-29-8	
5	Cadmium Antimonide CdSb	3-6mm Granules	99.999	12014-29-8	
6	Cadmium Arsenide Cd3As2	~6mm Pieces	99.999	12006-15-4	
7	Cadmium Arsenide Cd3As2	3-50mm Lump	99	12006-15-4	
8	Cadmium Fluoride CdF2	3-6mm Pieces (melted)	99.9	7790-79-6	
9	Cadmium Phosphide Cd3P2	3-6mm Granules	99.999	12014-28-7	
10	Cadmium Selenide CdSe	<6mm Granules	99.999	1306-24-7	
11	Cadmium Selenide CdSe	3-12mm Granules	99.999	1306-24-7	
12	Cadmium Selenide CdSe	3-12mm Pieces (sintered)	99.995	1306-24-7	
13	Cadmium Stannate Cd2SnO4	3-6mm Granules	99.99	12185-56-7	
14	Cadmium Sulfide CdS	3-6mm Pieces (highly dense,pressure sintered)	99.99	1306-23-6	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
15	Cadmium Sulfide	3-12mm	99.999	1306-23-6	
	CdS	Granules			
16	Cadmium Telluride		99.99999	1306-25-8	
	CdTe	Pieces			
17	Cadmium Telluride	3-6mm	99.999	1306-25-8	
	CdTe	pieces (melted)			
18	Cadmium Zinc Telluride (CZT)	3-6mm	99.999	7440-43-9	
	CdZnTe	Granules		7440-66-6	
				13494-80-9	

Calcium(칼슘)

1. 유래

1807년에 소듐과 포타슘을 원소 상태로 처음으로 분리한 영국의 데이비(Humphry Davy, 1778~1829) 경이, 1808년에 칼슘아말감에서 수은을 증발시켜 금속 칼슘을 얻음. 석회를 뜻하는 라틴어 calx를 따서 명명. 데이비는 같은 해에 마그네슘(Mg), 붕소(B), 바륨(Ba)도 원소 상태로 분리·발견하였다.

2. 원석

석회석(limestone), 대리석(marble) 등

3. 기본특성

칼슘은 무르고 은회색을 띠며, 다른 알칼리 토금속들과 마찬가지로 반응성이 커서 자연상태에서 원소 그 자체로는 존재하지 않고 화합물로만 존재한다.

4. 응용분야

금속 제련에서 산소, 인, 규소, 황, 망가니즈(Mn)와 같은 불순물을 제거하기 위한 용제, 폐수처리제, 중화제, 구제역 방제, 살균,소독,탈취제, 화합물들이 아주 다양한 용도로 사용됨.식이 보조제. 뼈와 치아의 구성 성분.여러 세포 기능과 과정에 관여

5. 부존량

칼슘은 지각 무게의 약 3.6%를 차지하는 5번째로 풍부한 원소이고, 금속으로는 알루미늄과 철 다음으로 많다.

20	Ca

전자배치
[Ar]4s2

녹는점	원자량
842	40.078
끓는점	밀도
1484	1.55

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Calcium Metal	0.2-2 mm	99.9	7440-70-2	
	Ca	Pieces			
2	Calcium Metal	3-12 mm	99.5	7440-70-2	
	Ca	Granules			
3	Calcium Fluoride	1-4 mm	99.99	7789-75-5	
	CaF2	Pieces	(Mg<20ppm)		
4	Calcium Fluoride	3-6mm	99.95	7789-75-5	
	CaF2	Pieces(melted)	(Mg < 500ppm)		
5	Calcium Nitride	~12mm	99	12013-82-0	
	Ca3N2	Pieces	(Mg < 0.5%)		
6	Calcium Oxide	3-6 mm	99.95	1305-78-8	
	CaO	Granules			
7	Calcium Silicate	3-12mm	99	10101-39-0	
	CaSiO3	Pieces(fused)	(Mg < 0.5%)		
8	Calcium Silicide	~3mm	99.5	12013-55-7	
	CaSi	Pieces	(C < 1%, Mg < 0.3%)		
9	Calcium Silicide	~3mm	99.5	12013-56-8	
	CaSi2	Pieces	(C < 1%, Mg < 0.25%)		

Carbon(탄소)

1. 유래

탄소의 동소체인 목탄(숯)과 검댕은 고대로부터 알려져 옴. 목탄은 연료로 사용되었을 뿐만 아니라, 금속 산화물에서 산소를 떼어내는데도 사용됨. 1789년 프랑스의 라부아지에는 처음으로 탄소를 원소로 기록하고, 목탄을 뜻하는 라틴어 'carbo'에서 유래되었다.

2. 원석

흑연은 1896년에 실리카와 코크스(coke)를 약 2,500oC에서 반응시켜 합성 흑연을 만드는 방법이 에치슨(A. Acheson, 1856~1931)에 의해 발명. 다이아몬드는 고온고압 공정 또는 화학증기 증착법으로 가공 및 생산 됨.

3. 기본특성

동소체에 따라 성질이 다르게 나타남. 예로, 흑연은 검은색이나 다이아몬드는 투명하고, 흑연은 모스 경도가 1 이하로 무르나, 다이아몬드는 10으로 가장 경도가 높은 물질. 흑연은 좋은 전기 도체이나 다이아몬드는 부도체이고, 흑연보다는 다이아몬드가 열을 월등히 잘 전달 한다.

4. 응용분야

흑연은 윤활제와 전극, 다이아몬드는보석과 연마제. 동소체와 형태에 따라철광석 환원제, 흡착제, 고무 충전제, 복합재료 등. 최근에 인공적으로 만들어진 탄소 동소체인 풀러렌과 그래핀은 각종 나노 크기의 전자 장치와 부품의 재료로 이용될 것이 기대되며, 이에 대한 연구가 활발하게 진행.

5. 부존량

지각에서 15번째로 풍부한 원소이며, 우주에서는 수소(H), 헬륨(He), 산소(O) 다음으로 큰 질량을 차지한다.

6	C

전자배치
[He]2s2 2p2

승화점	원자량
3640	12.0107
삼중점	**밀도**
4300	2.267

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Graphite	1-4mm	99.999	7440-44-0	
	C	Pieces			
2	Graphite	3-15mm	99.999	7440-44-0	
	C	Pieces			

Cerium(세륨)

1. 유래

세륨은 1839년에 모산데르에 의해 처음 발견되었으며, 스웨덴의 베르셀리우스는 이 새로운 산화물의 이름을 2년 전인 1801년에 발견된 소행성의 이름인 세레스(ceres)를 따서 세리아(ceria)로, 그리고 이 산화물의 성분 금속 원소의 이름을 세륨(cerium)으로 명명 한다.

2. 원석

모나자이트(monazite), 희토류광(bastnäsite)에서 주로 분리·생산되며, 희토류 금속은 산화 및 이온교환방법으로 희토류 금속과 분리 됨.

3. 기본특성

연성이 있는 무른 은백색 금속으로 희토류 금속 중 가장 풍부하며, 화학 반응성은 란타넘족 원소 중 유로퓸(Eu) 다음으로 반응성이 큼. 공기 중에서 실온에서는 느리게 표면이 산화되지만, 약 160℃에서는 격렬히 반응하여 산화세륨이 되면서 빛과 열을 내어 놓는다.

4. 응용분야

유리나 도자기 노란색 착색제, 자동차배기가스 정화 촉매, 화학 촉매, 유리연마제, 발화합금, 형광체, 레이저, 화학시약 등

5. 부존량

세륨은 희토류 원소의 하나이나, 희귀한 원소는 아님. 지각에서 존재비가 약 46ppm (0.0046%)로 대략 26번째로 풍부한 원소이다.

58	Ce

전자배치
[Xe]4f15d16s2

녹는점	원자량
795	140.116
끓는점	밀도
3443	6.770

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Cerium Metal	6mmDia x 6 mmL	99.95	7440-45-1	
	Ce	Pellets			
2	Cerium Metal	~12mm	99.9	7440-45-1	
	Ce	Pieces(under mineral oil)	(REO basis)		
3	Cerium Carbide	~6mm	99.5	12012-32-7	해당없음
	CeC2	Pieces			
4	Cerium Fluoride	3-6 mm	99.95	7758-88-5	
	CeF3	Pieces			
5	Cerium Fluoride	3-12 mm	99.99	7758-88-5	
	CeF3	Pieces, Chunks (DFM)			
6	Cerium Fluoride	6-12 mm	99.995	7758-88-5	
	CeF3	Pieces, Chunks (DFM)			
7	Cerium Oxide	3-6mm	99.9	1306-38-3	
	CeO2	Pieces (fused)			
8	Cerium Oxide	3-12 mm	99.95	1306-38-3	
	CeO2	Granules			
9	Cerium Oxide	~10-12mmDia x 4-5mmTh	99.9	1306-38-3	
	CeO2	Tablets (sintered)			
10	Cerium Silicide	3-15 mm	99.9	12014-85-6	
	CeSi2	Granules			
11	Cerium Silicide	~6mm	99.9	12014-85-6	
	CeSi2	Pieces			

Cesium (세슘)

1. 유래

1860년 독일의 구스타프 키르히호프와 로버트 분젠이 발광 스펙트럼으로 리튬을 제거한 광천수의 잔류물에서 청색 영역의 미지의 휘선을 나타내는 새 원소를 발견하여, 라틴어로 푸른 하늘색을 뜻하는 'caesius'에서 유래되었다.

2. 원석

폴루사이트((Cs,Na)2Al2Si4O12) 광석에서 추출되는데, 광석을 분쇄한 후, 이를 산 처리, 알칼리 분해, 또는 직접 환원시켜 세슘 화합물이나 금속 세슘을 얻음.

3. 기본특성

핵 분열생성물인 137Cs(반감기 30. 17년)는 가장 위험한 방사능 오염 물질로 반응성이 매우 크고 무른 은백색 금속. 특히 루비듐과 비슷하나 반응성이 더욱 크며 공기 중에서 산소와 반응하여 자발적으로 발화하고, 물과도 격력하게 반응 한다.

4. 응용분야

석유 시추액, 원자시계, 광전지, 광전자장치, 진공관 게터, 화학 촉매 촉진제, 신틸레이터 형광체, 방사선 계측기.

5. 부존량

지각에서의 존재 비는 대략 3 ppm (0.0003%)으로 대략 45번째로 풍부한 원소이다.

55

Cs

전자배치
[Xe] 6s1

녹는점	원자량
28.5	132.905
끓는점	**밀도**
671	1.93

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Cesium Metal		99.98	7440-46-2	
	Cs	Solid ingot (sealed in glass)			

Chromium (크로뮴)

1. 유래

1797년 프랑스 화학자 보클랭이 홍연석을 염산으로 처리한 산화크로뮴을 숯(탄소)과 가열하여 금속 Chromium을 처음으로 확인하였으며, 색을 뜻하는 그리스어 'chroma'에서 유래되었다.

2. 원석

크로뮴철석(FeCr2O4)에서 페로크로뮴과 금속 크로뮴 두가지 형태로 분리 및 환원 생산 됨.

3. 기본특성

단단하나 잘 부서지는 청백색 광택이 나는 금속으로 실온에서 반강자성 배열을 하는 유일한 고체 원소. 비교적 반응성이 큰 금속으로, 천연 상태에서는 원소 상태로 존재하지 않으며, 공기 중에서 산소와 반응하여 아주 조밀하고 얇은 산화물 보호피막을 만들기 때문에, 공기 중에서 녹 슬지 않는다.

4. 응용분야

자동차 부품, 주방 기구, 가구 부품 등의 부식 방지와 장식용 크로뮴 도금으로 많이 사용되며, 스테인리스강 생산 및 안료, 산화제, 매염제, 내화물등으로 사용.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 100ppm(약 0.010%)으로, 대략 21번째로 풍부한 원소이다.

24 **Cr**

전자배치
[Ar] 3d4 4s1

녹는점	원자량
1907	51.996
끓는점	밀도
2671	7.19

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Chromium Metal	0.15-2mm	99.99	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
2	Chromium Metal	1-3 mm	99.95	7440-47-3	
	Cr	Granules or Shots(electrolytic)			
3	Chromium Metal	1.5-3mm	99.2	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
4	Chromium Metal	1-6mm	99.998	7440-47-3	
	Cr	Pieces	(O2<400ppm)		
5	Chromium Metal	1-12 mm	99.99	7440-47-3	
	Cr	Granules or Flakes (melted)			
6	Chromium Metal	2-4.7mm	99.99	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
7	Chromium Metal	3mmDia x 3mmL	99.99	7440-47-3	
	Cr	Pellets			
8	Chromium Metal	3-6mm	99.99	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
9	Chromium Metal	3-12mm	99.2	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
10	Chromium Metal	6mmDia x 6mmL	99.95	7440-47-3	
	Cr	Pellets			
11	Chromium Metal	~25mm	99.99	7440-47-3	
	Cr	Pieces			
12	Chromium Boride	3-6 mm	99.5	12007-16-8	
	CrB2	Granules			
13	Chromium Bromide		99	10031-25-1	
	CrBr3	Flakes			
14	Chromium Chloride		99.9	10025-73-7	
	CrCl3	Flakes			
15	Chromium Nitride	1-3mm	99.5	12053-27-9	
	CrN	Granules			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
16	Chromium Oxide	1-4mm	99.9	1308-38-9	
	Cr2O3	Pieces			
17	Chromium-silicon Monoxide	1-3mm	99.9	56488-64-3	
	Cr:SiO(70:30wt%)	Pieces (sintered)			
18	Chromium-silicon Monoxide	1-4mm	99.95	56488-64-3	
	Cr:SiO(70:30wt%)	Granules			
19	Chromium-silicon Monoxide	3-6mm	99.95	56488-64-3	
	Cr:SiO(70:30wt%)	Granules			
20	Chromium-silicon Monoxide	1-3mm	99.9	70320-14-8	
	Cr:SiO(60:40wt%)	Pieces (sintered)			
21	Chromium-silicon Monoxide	1-3mm	99.9	37264-20-3	
	Cr:SiO(50:50wt%)	Pieces (sintered)			

Cobalt(코발트)

1. 유래

1735년 스웨덴 화학자 브란트가 '도깨비 광석'에서 분리해 내어 발견. 16세기 독일에서 은 광석과 비슷하게 생긴 광석을 채굴했으나, 유독한 증기가 나와 도깨비 광석이라 칭하였고, 이를 뜻하는 독일어 kobold를 따서 이름을 지었다.

2. 원석

스말타이트(smaltite), 구리광석, 납광석

3. 기본특성

가볍고 강하며, 철만큼은 아니지만 가격이 저렴하다. 연성과 전성을 가지고 있으며, 실온에서 강자성을 띠고있는 원소. 철보다 더 빨리 공기에 반응하여 커럼덤이라 불리는 보호막을 형성한다.

4. 응용분야

자성 재료, 자석 합금, 고강도 고온용 합금, 내마모성 합금, 리튬 이온전지 양극, 유리와 도자기 청색 착색제, 안료.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 29ppm(0.0029%)로, 30번째로 풍부한 원소이다.

27 **Co**

전자배치
[Ar] 3d7 4s2

녹는점	원자량
1495	58.933
끓는점	밀도
2927	8.90

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Cobalt Metal	3-6mm	99.9	7440-48-4	
	Co	Granules			
2	Cobalt Metal	3mm x 6mm x 6mmL	99.99	7440-48-4	
	Co	Squares			
3	Cobalt Metal	5mm x 5mm x 5mm (+/-2mm)	99.95	7440-48-4	
	Co	Cube pcs			
4	Cobalt Metal	6mmDia x 6mmL	99.99	7440-48-4	
	Co	Pellets			
5	Cobalt Metal	6mmDia x 6mmL (melted)	99.95	7440-48-4	
	Co	Pellets	(Ni<400ppm)		
6	Cobalt Metal	10mm x 6mm x 6mmL	99.99	7440-48-4	
	Co	Squares			
7	Cobalt Metal	On request	99.99	7440-48-4	
	Co	Wire			
8	Cobalt Alloy	3-6mm	99.99	7440-48-4	
	CoSb	Granules	(Ni<1000 ppm)	7440-36-0	
9	Cobalt Arsenide	3-6mm	99.995	27016-73-5	
	CoAs	Granules			
10	Cobalt Iron alloy	3-6mm	99.95	7440-48-4	
	CoFe	Granules		7439-89-6	
11	Cobalt Oxide	1-4mm	99.9	1308-06-1	
	Co3O4	Granules			
12	Cobalt-Palladium alloy (50:50)	1-4mm	99.95	7440-48-4	
	CoPd	Granules		7440-05-3	
13	Cobalt-Samarium alloy (80:20)	3-12mm	99.95	7440-48-4	
	CoSm	Pieces		7440-19-9	
14	Cobalt Selenide	3-12mm	99.9	1307-99-9	
	CoSe	Pieces			
15	Cobalt Selenide	<6mm	99.5	1307-99-9	
	CoSe	Pieces	(Ni<700ppm)		
16	Cobalt Telluride	<6mm	99.5	12017-13-9	자료없음
	CoTe	Pieces	(Ni<500ppm)		

Copper(구리)

1. 유래

약 7000년 전부터 구리를 광석으로부터 최초로 제련했으며, 약 5000년 전부터 주석과 섞어 청동을 만들었다. 라틴어 Cuprum[키프러스(Cyprus)섬]에서 유래되어 이름을 지었다.

2. 원석

황동석(Chalcopyrite), 디줄레아이트(Djuleite), 공작석, 남동석

3. 기본특성

붉은 색의 광택이 남. 비교적 무르고 전성과 연성이 풍부해 가공이 쉬움. 은(Ag) 다음으로 열과 전기의 전도율이 높다.

4. 응용분야

약 60%는 전자석, 변압기, 전동기의 코일을 포함한 전기 도선에 사용. 송수관, 지붕, 자동차 라디에이터 등 기계 장치의 부품, 열 교환기, 주방 기구, 주화 등을 만드는데 사용. 배의 밑바닥 처리와 살균제로 사용.

5. 부존량

약 70ppm(0.007%)으로, 대략 25번째로 풍부한 원소이다.

29 **Cu**

전자배치
[Ar] 3d10 4s1

녹는점	원자량
1084.62	63.546
끓는점	**밀도**
2562	8.94

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Copper Metal	2-6mm	99.999	7440-50-8	
	Cu	Shot			
2	Copper Metal	3-6mm	99.99	7440-50-8	
	Cu	Granules			
3	Copper Metal	3mmDia x 3mmL	99.9999	7440-50-8	
	Cu	Pellets			
4	Copper Metal	3mmDia x 3mmL	99.99	7440-50-8	
	Cu	Pellets (melted)			
5	Copper Metal	6mmDia x 6mmL	99.999	7440-50-8	
	Cu	Pellets			
6	Copper Metal	6mmDia.x 6mmL	99.99	7440-50-8	
	Cu	Pellets (melted)			
7	Copper Metal	On request	99.999	7440-50-8	
	Cu	Wire			
8	Cu Alloy (Bronze)	Ingot		7440-50-8	
	CuSn			7440-31-5	
9	Cu Alloy (Brass)	Ingot		7440-50-8	
	CuZn			7440-31-5	
10	Copper Aluminum Oxide	1-4mm	99.95	12250-93-0	해당없음
	CuAlO2	Granules			
11	Copper Aluminum Oxide	3-6mm	99.95	12250-93-0	해당없음
	CuAlO2	Granules			
12	Copper Boride	3-6mm	99.99	7440-50-8	
	(97.46/2.54 wt%)			7440-42-8	
	CuB	Granules			
13	Copper Boride	3-6mm	99.99	7440-50-8	
	(99.5:0.5wt%)			7440-42-8	
	CuB	Granules			
14	Copper Alloy	3-6mm	99.99	7440-50-8	
	CuGa(50/50at%)	Granules		7440-55-3	
15	Copper Alloy	3-12mm	99.99	7440-50-8	
	CuGa(70/30wt%)	Granules		7440-55-3	
16	Copper Alloy	3-12mm	99.99	7440-50-8	
	CuGa(75/25wt%)	Granules		7440-55-3	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
19	Copper Gallium Selenide CuGaSe2	3-6mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-55-3 7782-49-2	
20	Copper Gallium Telluride CuGaTe2	3-6 mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-55-3 13494-80-9	
21	Copper Germanide CuGe	3-6mm Granules	99.99	7440-50-8 7440-56-4	
22	Copper Germanium Selenide CuGeSe	3-6mm Granules	99.99	7440-50-8 7440-56-4 7782-49-2	
23	Copper Indium Selenide CuInSe2	<6mm Pieces	99.999	7440-50-8 7440-74-6 7782-49-2	
24	Copper Indium Sulfide CuInS2	3-6mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-74-6 7440-34-9	
25	Copper Indium Telluride CuInTe2	3-6mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-74-6 13494-80-9	
26	Cuprous Oxide CuO	3-12mm Granules	99.9	1317-38-0	
27	Copper Oxide Cu2O	3-12mm Granules	99.9	1317-39-1	
28	Copper Selenide Cu2Se	3-6mm Granules	99.999	20405-64-5	
29	Copper Selenide Cu2Se	<6mm Pieces	99.5	20405-64-5	
30	Copper Silicide Cu5Si	1-6mm Granules	99.99	12159-07-8	
31	Copper Silicide Cu5Si	<6mm Pieces	99.5	12159-07-8	
32	Copper Sulfate CuSO4-5H2O	1-3mm Granules	99.95	7758-99-8	
33	Copper Telluride Cu2Te	3-6mm Granules	99.999	12019-52-2	
34	Copper Telluride Cu2Te	<3mm Pieces	99.5	12019-52-2	
35	Copper Titanium Selenide CuTiSe2	3-6mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-32-6 7782-49-2	
36	Copper Titanium Telluride CuTiTe2	3-6mm Granules	99.999	7440-50-8 7440-32-6 7782-49-2	
37	Copper-Zirconium Alloy CuZr	1-4mm Granules		7440-50-8 7440-67-7	

Dysprosium(디스프로슘)

1. 유래

1886년 부아보드랑에 의해 발견된 희토류 원소의 하나로, '얻기 어려운'이란 뜻의 그리스어 'dysprositos'에서 유래되었다.

2. 원석

가돌리나이트(gadolinite)에서 얻은 이트리아(yttria), 세라이트(cerite)에서 얻은 세리아(ceria)

3. 기본특성

85K 이하의 온도에서는 강자성 상태, 85~179K에서는 반강자성 상태, 179K이상에서는 상자성 상태가 됩니다. 자화율(magnetic susceptibility)이 매우 큰 원소임. 실온에서는 화학반응성이 비교적 적으며, 공기에 노출되면 느리게 산화된다.

4. 응용분야

네오디뮴 자석(네오디뮴-철-붕소-자석)이 높은 온도에서도 자력을 잃지 않고, 보자력(coercivity)이 높아지도록 네오디뮴의 일부를 치환하는 용도. 하이브리드 자동차와 전기자동차의 전기모터, 풍력 발전기 터빈, 발전기 등. 중성자를 잘 흡수하므로, 원자로의 중성자 제어봉과 원자로용 강철 합금제로 사용.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 5.2ppm(0.00052%)이며, 중란타넘족 원소 중에서는 가장 존재량이 많다.

66 **Dy**

전자배치
[Xe]4f106s2

녹는점	원자량
1407	162.5
끓는점	밀도
2562	8.54

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Dysprosium Metal	3-12mm	99.95	7429-91-6	
	Dy	Granules(distilled)			
2	Dysprosium Metal	6-12mm	99.95	7429-91-6	
	Dy	Granules(distilled)			
3	Dysprosium Metal	<12mm	99.9	7429-91-6	
	Dy	Pieces	(Dy/TREM)		
		(TREM<0.1%,Ta<0.5%typ.)			
4	Dysprosium Fluoride	1-4mm	99.995	13569-80-7	
	DyF3	Granules			
5	Dysprosium Fluoride	3-6mm	99.995	13569-80-7	
	DyF3				
6	Dysprosium Fluoride	3-12mm	99.9	13569-80-7	
	DyF3	Pieces (melted)			
7	Dysprosium Fluoride	6-12mm	99.995	13569-80-7	
	DyF3	Granules(DFM)			
8	Dysprosium Iodide		99.99 (REO)	15474-63-2	
	DyI3(Crystalline)	anhydrous			
9	Dysprosium Iodide		99.9	15474-63-2	
	DyI3	Flakes			
10	Dysprosium Nickelide	<6mm	99.9	12175-27-8	
	DyNi3				
11	Dysprosium Oxide	3-12mm	99.9	1308-87-8	해당없음
	Dy2O3	Pieces (sintered)			
12	Dysprosium Oxide	3-6mm	99.9	1308-87-8	해당없음
	Dy2O3	Granules			

Erbium(어븀)

1. 유래

스웨덴의 광산 마을의 이름 '이테르비(Ytterby)의 일부를 따서 이름이 지어짐. 1843년에 모산데르에 의해 터븀과 함께 발견되었다.

2. 원석

가돌리나이트(gadolinite), 모나자이트(monazite), 희토류광(bastnasite), 제노타임(xenotime), 육세나이트(euxenite)

3. 기본특성

19K이하에서는 강자성, 19~80K에서는 반강자성, 80K이상에서는 상자성 상태를 가짐. 다른 희토류 원소에 비해 화학 반응성이 적으며, 실온에서는 물이나 공기 중의 산소와 아주 느리게 반응한다.

4. 응용분야

광통신 신호 증폭기, 의료용 레이저(수술, 피부 표피제거, 치과용), 유리, 도자기, 큐빅 지르코니아의 분홍색착색제, 원자로 중성자 제어봉

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 2.8ppm(.00028%)로 대략 45번째로 많은 원소이다.

68	Er

전자배치
[Xe]4f126s2

녹는점	원자량
1529	167.26
끓는점	**밀도**
2868	9.066

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Erbium Metal	3-6mm	99.95	7440-52-0	
	Er	Granules(distilled)			
2	Erbium Metal	<12mm	99.9	7440-52-0	
	Er		(Er/TREM)		
		(TREM<0.1%total;Ta<0.8%typ.)			
3	Erbium Fluoride (DFM)	3-12mm	99.995	13760-83-3	
	ErF3	Granules			
4	Erbium Fluoride	1-4mm	99.99	13760-83-3	
	ErF3	Granules			
5	Erbium Fluoride	3-6mm	99.9	13760-83-3	
	ErF3	Pieces (melted)			
6	Erbium Oxide	3-12mm	99.99	12061-16-4	
	Er2O3	Granules			
7	Erbium Oxide	3-12mm	99.95	12061-16-4	
	Er2O3	Granules			
8	Erbium Oxide	<3-12mm	99.9	12061-16-4	
	Er2O3	Pieces (sintered)			
9	Erbium Silicide	3-6mm	99.9	12434-16-1	자료없음
	ErSi2	Pieces			

Europium(유로퓸)

1. 유래

1901년에 프랑스 화학자 드마르세이에 의해 순순한 사마륨으로 여겨졌던 물질에서 처음으로 분리, 발견된 희토류 원소로, 유럽 대륙의 이름을 따서 원소 이름을 지었다.

2. 원석

희토류광(bastnasite), 모나자이트(monazite), 가돌리나이트(gadolinite), 제노타임(xenotime), 로파라이트(loparite)

3. 기본특성

연성이 있는 비교적 단단한 은색 금속. 희토류 금속 중 반응성이 가장 크다.

4. 응용분야

붉은색 형광체(삼파장 형광등, 컬러음극관, 유로화 위조 방지 등에 사용), 양자 메모리 칩, LCD 후방 조명, 형광유리 첨가제

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 1.8ppm(0.00018%)로, 란타넘족 원소 중에서도 매우 희귀한 원소 중 하나이다.

63

Eu

전자배치
[Xe]4f76s2

녹는점	원자량
826	151.97
끓는점	**밀도**
1529	5.264

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Europium Metal	3-12mm	99.99	7440-53-1	
	Eu	Chunks			
2	Europium Metal	<12mm	99.9	7440-53-1	
	Eu	Pieces	(Eu/TREM)		
3	Europium Fluoride	3-6mm	99.99	13765-25-8	
	EuF3	Granules(DFM)			
4	Europium Fluoride	3-6mm	99.9	13765-25-8	
	EuF3	Pieces (melted)			
5	Europium Oxide	3-6mm	99.99	1308-96-9	해당없음
	Eu2O3	Granules			
6	Europium Oxide	3-12mm	99.9	1308-96-9	해당없음
	Eu2O3	Pieces (sintered)			
7	Europium Silicide	<6mm	99.9	12434-24-1	자료없음
	EuSi2	Pieces			
8	Europium Silicide	3-6mm	99.5	12434-24-1	자료없음
	EuSi2	Granules			

Gadolinium(가돌리늄)

1. 유래

1880년에 스위스 화학자 드 마리낙에 의해 발견되었으며, 희토류 원소의 화학을 개척한 가돌린(J.Gadolin)의 이름을 따서 지음.원소 상태에서 강자성을 갖는 물질로는, 3가지 대표적 강자성 원소인 철, 코발트, 니켈을 제외하면, 가장 먼저 발견되었다.

2. 원석

희토류광(bastnasite), 모나자이트(monazite)

3. 기본특성

연성과 전성이 있는 은백색 금속. 중성자를 아주 잘 흡수. 건조한 공기 중에서는 비교적 안정하나, 습기가 있으면 쉽게 산화된다.

4. 응용분야

MRI 촬영 조영제, 원자로 중성자 흡수제 및 긴급 정지제, 마이크로파 발생소자, 광자기(MO) 디스크 재료, 녹색 형광체, 합금제.

5. 부존량

란타넘족 원소 중에서 존재량이 비교적 많은 원소 중의 하나로, 지각에서의 존재 비는 4.5~6.4ppm(0.00045~0.00064%)이다.

64	Gd

전자배치
[Xe]4f75s2

녹는점	원자량
1313	157.25
끓는점	밀도
3273	7.895

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Gadolinium Metal	3-6mm	99.95	7440-54-2	
	Gd	Granules(distilled)			
2	Gadolinium Metal	<12mm	99.9	7440-54-2	
	Gd	Pieces	(Gd/TREM)		
3	Gadolinium Fluoride	3-6mm	99.995	13765-26-9	
	GdF3	Granules (DFM)			
4	Gadolinium Fluoride	3-6mm	99.9	13765-26-9	
	GdF3	Pieces (melted)			
5	Gadolinium Fluoride	1-4mm	99.995	13765-26-9	
	GdF3	Granules			
6	Gadolinium Gallium Oxide	3-12mm	99.9	12024-36-1	자료없음
	Gd3Ga5O12 (GGG)	Pieces (melted)			
7	Gadolinium Oxide	3-6mm	99.995	12064-62-9	
	Gd2O3	Granules			
8	Gadolinium Oxide	3-12mm	99.99	12064-62-9	
	Gd2O3	Granules			
9	Gadolinium Oxide	3-12mm	99.9	12064-62-9	
	Gd2O3	Pieces (sintered)			
10	Gadolinium Silicide	<6mm	99.9	12134-75-7	자료없음
	GdSi2	Pieces			

Gallium(갈륨)

1. 유래

갈륨은 1869년에 멘델레예프(Dmitri Mendeleev,1834~1907)가 화학 원소의 주기율표를 제안했을 당시에는 아직 발견되지 않았지만, 멘델레예프가 에카-알루미늄으로 그 존재와 물리-화학적 성질을 예언했던 원소이며, 그가 예언했던 원소들 중에서 가장 먼저, 1875년에 프랑스 화학자 부아보드랑에 의해 처음으로 분리, 발견되어 그의 주기율표가 옳았음을 보여준 원소이다.

2. 원석

주로 보크사이트(Bauxite)같은 Al생산의 부산물로 얻어지며, 갈라이트(gallite), 저마나이트(germanite)에 있지만 희귀하여 갈륨생산에는 이용하지 않는다.

3. 기본특성

아주 무른 은색 금속. 액체 온도 범위가 매우 넓음. 액체 갈륨은 유리나 피부 표면에 잘 퍼지기 때문에 취급하기가 어렵다.

4. 응용분야

GaAs, GaN 등 화합물 반도체(LED, LED 레이저, 트랜지스터, 집적 회로), 고온 온도계 충전제, 저융점 합금, 중성미자 검출.

5. 부존량

자연상태에서 원소 자체로는 존재하지 않고 화합물로만 존재함. 지각에서의 존재 비는 약 17ppm(0.0017%)이며, 여러 황화물 광물들에 소량 들어 있다.

31

Ga

전자배치
[Ar]3d10 4s2 4p1

녹는점	원자량
29.7646	69.723
끓는점	**밀도**
2400	5.91

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Gallium Metal	1-3 mm	99.99999	7440-55-3	
	Ga	Granules			
2	Gallium Metal	3mm	99.999999	7440-55-3	
	Ga	Shot			
3	Gallium Metal	3mm	99.99999	7440-55-3	
	Ga	Shot			
4	Gallium Metal	3mm	99.9999	7440-55-3	
	Ga	Shot			
5	Gallium Metal	3mm	99.999	7440-55-3	
	Ga	Shot			
6	Gallium Metal	3mm	99.99	7440-55-3	
	Ga	Shot			
7	Gallium Metal	3mmDia x 3mmL	99.99999	7440-55-3	
	Ga	Pellets			
8	Gallium Antimonide	<6mm	99.99	12064-03-8	
	GaSb	Pieces			
9	Gallium Arsenide	3-12mm	99.999	1303-00-0	
	GaAs	Pieces			
10	Gallium Chloride	solid ingot in glass	99.999	13450-90-3	
	GaCl3	(m.p.77.9℃)			
11	Gallium Oxide	3-6mm	99.999	12024-21-4	해당없음
	Ga2O3	Granules			
12	Gallium Oxide	3-12mm	99.995	12024-21-4	해당없음
	Ga2O3	Pieces (sintered)			
13	Gallium Phosphide	<6mm	99.999	12063-98-8	
	GaP	Pieces			
14	Gallium Selenide	3-12mm	99.999	12024-24-7	
	Ga2Se3	Granules, melted lump			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
15	Gallium Selenide	3-12mm	99.99	12024-24-7	
	Ga2Se3	Granules, melted lump			
16	Gallium Selenide	<6mm	99.999	12024-24-7	
	Ga2Se3	Pieces			
17	Gallium Sulfide	3-6mm	99.999	12024-10-1	자료없음
	GaS	Granules			
18	Gallium Sulfide	<6mm	99.999	12024-10-1	자료없음
	GaS	Granules			
19	Gallium Sulfide	<6mm	99.95	12024-10-1	자료없음
	GaS	Pieces			
20	Gallium Telluride	3-6mm	99.999	12024-14-5	
	GaTe	Pieces			
21	Gallium Telluride	<6mm	99.999	12024-14-5	
	GaTe	Pieces			
22	Gallium Telluride	<6mm	99.999	12024-14-5	
	GaTe	Pieces			
23	Gallium Telluride	<6mm	99.999	12024-27-0	자료없음
		Pieces			

Germanium(저마늄)

1. 유래

1869년에 멘델레예프가 에카-규소로 존재와 성질을 예언하였는데, 1886년에 빙클러에 의해 실제로 분리되었으며, 자신의 모국인 독일의 라틴어 이름 'Germania'을 따서 이름을 지었다.

2. 원석

아기로다이트(argyrodite), 저마나이트(germanite), 브리아타이트(briartite), 레니어라이트(renierite)

3. 기본특성

단단한 회백색 준금속이며, 순수한 상태에서는 반도체이고 Si과 비슷하나, 화학반응성과 전기양성도가 Si보다 약간 작다.

4. 응용분야

광섬유 첨가제, 적외선 광학 재료, 고분자 중합 촉매, 적외선 광학, 공학렌즈, 열 감지 장치, 야간 투시경, 고속집적 회로.

5. 부존량

저마늄은 자연 상태에서 원소 자체로는 발견되지 않고 화합물로만 존재한다. 지각에서의 존재 비는 약 1.6 ppm (0.00016%)로 존재 량이 53번째인, 비교적 희귀한 원소이다.

32	Ge

전자배치
[Ar]3d10 4s2 4p2

녹는점	원자량
938	72.61
끓는점	**밀도**
2833	5.32

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Germanium	3-6mm	>99.999	7440-56-4	
	Ge	Pieces			
2	Germanium	1-4 mm	99.999	7440-56-4	
	Ge	Granules			
3	Germanium Antimonide	3-6 mm	99.999	12299-73-9	
	GeSb	Granules			
4	Germanium Arsenide	3-12 mm	99.99	12271-72-6	
	GeAs	Granules, crystalline			
5	Germanium Bromide	Solid Ingot In Glass	99.999	13450-92-5	
	GeBr4	(m.p.26.1℃, b.p.186.5℃)			
6	Germanium Chloride	Liquid	99.9999	10038-98-9	
	GeCl4	(m.p.-49.5℃, b.p.83.1℃)			
7	Germanium Fluoride	In Disposable Metal	99.99	10038-98-9	
	GeF4	Cylinders Under Pressure			
		(m.p.-15℃, sub.p.-35℃)			
8	Germanium Oxide	3-6mm	99.99	1310-53-8	
	GeO2	Granules			
9	Germanium Oxide	3-12mm	99.999	1310-53-8	
	GeO2	Pieces (sintered)			
10	Germanium Oxide	3-20mm	99.99	1310-53-8	
	GeO2	Granules			
11	Germanium Selenide	<6mm	99.999	12065-10-0	
	GeSe	Pieces			
12	Germanium Selenide	<6mm	99.99	12065-10-0	
	GeSe	Pieces			
13	Germanium Selenide	<6mm	99.999	12065-11-1	
	GeSe2	Pieces			
14	Germanium Sulfide	3-6mm	99.999	12025-34-2	
	GeS2	Pieces			
15	Germanium Sulfide	3-6mm	99.99	12025-34-2	
	GeS2	Pieces			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
16	"Germanium-Tin (90/10 at%) "	3-6mm	99.9	7440-56-4	
	GeSn	Pieces		7440-31-5	
17	Germanium Telluride	3-6mm	99.9999	12025-39-7	
	GeTe	Pieces			
18	Germanium Telluride	<6mm	99.999	12025-39-7	
	GeTe	Pieces			

Gold(금)

1. 유래

고대로부터 사용되어온 금은 구리 다음으로 인간이 가장 먼저 사용한 금속이라 여겨진다. 고대로부터 사람들이 가장 귀하게 여기고, 좋아하는 원소이다.금화가 사용되기 전부터 화폐로 사용되었음. 원소기호 Au는 라틴어 aurum(빛나는 새벽)으로부터 유래한 것이며, 이것은 헤브라이어의 빛을 뜻하는 or 및 적색을 뜻하는 aus로부터 연유되었다고 하며, 프랑스어에서도 or라고 쓴다. 영어의 gold는 산스크리트의 빛을 뜻하는 jvolita에서 연유했다고 하였다.

2. 원석

석영(Quartz, SiO2), 황화철(FeS)

3. 기본특성

황금빛 광택이 나는 대표적인 귀금속이며, 황금(黃金)이라고도 한다. 높은 밀도의 무른 노란색 귀금속이며, 금속 원소 중 연성과 전성이 가장 크다.

4. 응용분야

금은 좋은 전기 전도체이고 부식성이 없기 때문에 전자제품의 도선, 도선 연결 부품, 집적회로 등에 많이 사용된다. 전기전도도로만 따지면, 은과 구리가 금보다 약 30% 더 좋으나, 금은 공기 중에서 부식되지 않기 때문에 공기에 노출되는 부분에는 대부분 금을 사용한다. 귀금속, 전자 제품의 도선과 연결 부품, 도금, 의약품

5. 부존량

지각 암석에서는 0.004ppm, 바닷물에는 0.01~0.02ppm 존재.연간 생산된 금의 약 50%는 보석과 장신구로, 40%는 투자용으로 사용되며, 나머지 10%가 산업용으로 이용된다. 세계에서 금을 가장 많이 소비하는 나라는 인도인데, 연간 800톤을 주로 장신구 제조에 소비하고, 이중 400톤을 수입에 의존한다. 다음은 중국으로 약 400톤을 장신구 제조에 소비한다. 우리나라의 장신구용 금 소비량은 년간 20톤 미만이다.

79

Au

전자배치
[Xe]4f14 5d10 6s1

녹는점	원자량
1064	196.97
끓는점	**밀도**
2856	19.32

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Gold Metal	nominal 2-8mm	99.999	7440-57-5	해당없음
	Au	splatters			
2	Gold Metal	3mmDia x 3mmL	99.99	7440-57-5	해당없음
	Au	Pellets			
3	Gold Metal	3mmDia x 6mmL	99.99	7440-57-5	해당없음
	Au	Pellets			
4	Gold Metal	57mmDia x 0.1mmTh	99.99	7440-57-5	해당없음
	Au	Sheet	SEM coater용		
5	Gold Metal	On request	99.99	7440-57-5	해당없음
	Au	Sheet			
6	Gold Metal	On request	99.99	7440-57-5	해당없음
	Au	Wire			
7	Gold Germanide (88/12 wt%)	3-6mm	99.999	7440-57-5	
	Au/Ge	Granules		7440-56-4	

Hafnium(하프늄)

1. 유래

네덜란드 출신 물리학자 코스터와 헝가리 출신 화학자 헤베시가 1923년에 지르코늄 광석인 노르웨이산 지르콘에서 X-선 스펙트럼 분석을 통해 하프늄 원소 발견. 원소가 발견된 덴마크 코펜하겐의 라틴이름 하프니아(Hafnia)를 따서 명명하였다.

2. 원석

하프논(Hafnon), 알바이트(Alvite), 지르콘(Zircon)

3. 기본특성

은회색 금속으로, 중성자를 잘 흡수함. 공기 중에서 표면에 산화물 보호피막이 만들어져, 더 이상 잘 산화되지 않으며, 산과 알칼리에 의해서도 잘 부식되지 않음. 지르코늄(Zr)과 원자 크기 및 화학적 성질이 매우 비슷하다.

4. 응용분야

원자로 제어봉, 초 내열성 합금(로켓노즐, 터빈 날개 등), 화합물은 직접회로게이트, 절연체, 고온 세라믹 및 내화물에 사용되었다

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 5.3ppm(0.00053%)으로, 대략 45번째로 많은 원소이다.

72	Hf

전자배치
[Xe]4f14 5d26 s2

녹는점	원자량
2233	178.49
끓는점	밀도
4603	13.31

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Hafnium Metal	3-12mm	99.95	7440-58-6	
	Hf	Granules, turnings	(Zr<0.18%)		
2	Hafnium Metal	3-12mm	99.95	7440-58-6	
	Hf	Granules, turnings	(Zr<0.5%)		
3	Hafnium Metal	3-12mm	99.9	7440-58-6	
	Hf	Pieces			
4	Hafnium Metal	3mmDia x 3mmL	99.95	7440-58-6	
	Hf	Pellets	(Zr<0.2%)		
5	Hafnium Metal	3mmDia x 3mmL	99.95	7440-58-6	
	Hf	Pellets	(Zr<0.5%)		
6	Hafnium Metal	6mmDia x 6mmL	99.95	7440-58-6	
	Hf	Pellets	(Zr<0.5%)		
7	Hafnium Metal	27.5mmDia x 6.35mmL	99.97	7440-58-6	
	Hf	Pellets	(Zr<0.7%)		
8	Hafnium Carbide	3-12mm	99.9	12069-85-1	
	HfC	Granules			
9	Hafnium Fluoride	1-4mm	99.95	13709-52-9	
	HfF4	Pieces	(Zr<0.7%)		
10	Hafnium Fluoride	3-6mm	99.9	13709-52-9	
	HfF4	Pieces (highly dense)	(Zr< 0.02%)		
11	Hafnium Nitride	1-4mm	99.5	25817-87-2	
	HfN	Granules	(Zr<0.15%)		
12	Hafnium Oxide	1-3mm	99.9	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pieces (white, sintered)	(Zr< 0.5%)		
13	Hafnium Oxide	1-4mm	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Granules	(Zr<0.25%)		
14	Hafnium Oxide	1-4mm	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Granules	(Zr<0.5%)		
15	Hafnium Oxide	3-12mm	99.9	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pieces (white, sintered)	(Zr< 0.2%)		
16	Hafnium Oxide	8mmDia x 5mmL	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
17	Hafnium Oxide	10mmDia x 6-8mmL	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets, black	(Zr<0.5%)		
18	Hafnium Oxide	10mmDia x 10mmL	99.995	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets	(Zr<0.15%))		
19	Hafnium Oxide	10mmDia x 10mmL	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets, white	(Zr<0.2%)		
20	Hafnium Oxide	10-12mmDia x 4-5mmL	99.9	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Tablets	(Zr < 0.2%)		
		(3g/ea, white, sintered)			
21	Hafnium Oxide	17-18mmDia.x 5-6mmL	99.9	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Tablets	(Zr < 0.5%)		
		(10g/ea, white, sintered)			
22	Hafnium Oxide	18mmDia x 6mmL	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets, white	(Zr<0.25%)		
23	Hafnium Oxide	18mmDia x 6mmL	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets, white	(Zr<0.5wt%)		
24	Hafnium Oxide	18mmDia x 12mmL	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets	(Zr<0.2%)		
25	Hafnium Oxide	18mmDia x 12mmL	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2	Pellets	(Zr<0.3%)		
26	Hafnium oxide :Lanthanide oxide	1-4mm	99.99	12055-23-1	해당없음
	HfO2:La2O3	Pieces	(Zr<0.1%)	1312-81-8	
27	Hafnium oxide :Neodymium oxide	1-4mm	99.995	12055-23-1	해당없음
	HfO2:Nd2O3	Pieces	(Zr<0.5%)	1313-97-9	
29	Hafnium oxide :Scandium oxide	1-4mm	99.995	12055-23-1	해당없음
	HfO2:Sc2O3	Granules		12060-08-1	
30	Hafnium oxide :Titanium dioxide	10mmDia x 10mmL	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2:TiO2	Pellets		13463-67-7	
32	Hafnium Oxide :Yttrium Oxide	1-4mm	99.95	12055-23-1	해당없음
	HfO2:Y2O3	Pieces		1314-36-9	

Holmium(홀뮴)

1. 유래

1879년에 스웨덴의 클레베(Cleve)가 이트리아(이트륨 산화물)에 포함된 불순물에서 툴륨(Tm)과 함께 분리·발견하였으며, 스웨덴의 수도 스톡홀름(Stockholm)의 옛 라틴 이름 홀미아(Holmia)를따서 명명하였다.

2. 원석

제노타임(xenotime), 가돌리나이트(gadolinite), 육세나이트(euxenite), 퍼거소나이트(fergusonite) 등에 대략 1% 함량이며 대표적 희토류 광석인 모나자이트(monazite)와 희토류광((bastnäsite)에는 단지 0.001%~0.1%의 비율로 들어 있으나, 이들 광석에서 다른 희토류 원소들을 생산할 때 홀뮴을 부산물로 얻음.

3. 기본특성

홀뮴은 비교적 무른 은백색 금속으로 연성과 전성이 있다. 천연 원소 중 자기 모멘트(magnetic moment)가 가장 큼. 실온의 건조한 공기 중에서는 비교적 안정하나, 습기가 있거나 가열하면 쉽게 산화된다.

4. 응용분야

초강력자석. 마이크로파의료용 고체 레이저, 분광기 파장 보정필터, 유리와 큐빅 지르코니아 착색제, 원자로 제어봉 등.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 1.3ppm(0.00013%)

67	**Ho**

전자배치
[Xe]4f11 6s2

녹는점	원자량
1474	164.93
끓는점	**밀도**
2700	8.79

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Holmium Metal	3-6mm	99.95	7440-60-0	
	Ho	Granules, distilled			
2	Holmium Metal	3-12mm	99.95	7440-60-0	
	Ho	Granules, distilled			
3	Holmium Metal	<12mm	99.9	7440-60-0	
	Ho	Pieces	(Ho/TREM)		
		(TREM<0.1%;Ta<0.5%typ.)			
4	Holmium Fluoride	3-6mm	99.995	13760-78-6	
	HoF3	Pieces			
5	Holmium Fluoride	3-6mm	99.99	13760-78-6	
	HoF3	Pieces			
6	Holmium Fluoride	3-6mm	99.9	13760-78-6	
	HoF3	Pieces (melted)			
7	Holmium Iodide	Flakes	99.9	13813-41-7	
	HoI3				
8	Holmium Oxide	3-12mm	99.9	12055-62-8	해당없음
	Ho2O3	Pieces (sintered)			
9	Holmium Silicide	<6mm	99.9	12136-24-2	자료없음
	HoSi2	Pieces			
		(Ta < 0.4% typ.)			

Indium(인듐)

1. 유래

1863년 독일 화학자 라이히(Reich)와 리히터(Richter)가 분광기를 사용하여 처음 발견하였다.

2. 원석

아연(Zn), 철(Fe), 납(Pb), 구리(Cu)의 황화물 광석에 소량으로 들어 있음.

3. 기본특성

밝은 광택이 나는 은백색의 금속. 가장 무른 금속의 하나로, 아주 낮은 온도에서도 무르고 전성과 가공성이 좋음. 액체 인듐은 유리 표면에 잘 퍼져 거울 같은 면을 만든다.

4. 응용분야

LCD의 투명 전극(ITO), 저융점 합금, 화합물 반도체(LED와 레이저에 사용), 태양전지, 원자로중성자 제어봉

5. 부존량

지각에서 약 0.2ppm(0.000002%)의 비율로 존재하는 비교적 희귀한 원소이다.

49 **In**

전자배치
[Kr]4d10 5s2 5p1

녹는점	원자량
156.60	114.82
끓는점	밀도
2072	7.31

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Indium Metal	3mm	99.9999	7440-74-6	
	In	Shot			
2	Indium Metal	3mm	99.999	7440-74-6	
	In	Shot			
3	Indium Metal	3mm	99.99	7440-74-6	
	In	Shot			
4	Indium Metal	3mmDia x 3mmL	99.999	7440-74-6	
	In	Pellets			
5	Indium Metal	3mmDia x 3mmL	99.99	7440-74-6	
	In	Pellets			
6	Indium Metal	6mmDia x 6mmL	99.999	7440-74-6	
	In	Pellets			
7	Indium Metal	On request	99.99	7440-74-6	
	In	Foil			
8	Indium Metal	On request	99.99	7440-74-6	
	In	Ingots			
9	Indium Metal	On request	99.99	7440-74-6	
	In	Wire			
10	Indium Antimonide	<6mm	99.999	1312-41-0	
	InSb	Pieces (melted)			
11	Indium Antimonide	<6mm	99.99	1312-41-0	
	InSb	Granules			
12	Indium Arsenide	<6mm	99.999	1303-11-3	
	InAs	Pieces (melted)			
13	Indium Arsenide	<6mm	99.99	1303-11-3	
	InAs	Granules			
14	"Indium Bismuth compound"	3-6mm	99.999	7440-74-6	
	In(x)Bi(y)	Solid solution		7440-69-9	
15	Indium Fluoride	3-6mm	99.995	7783-52-0	
	InF3	Granules			
16	Indium-Gallium	3-6mm	99.99	1312-43-2	
	-Zinc Oxide (1:1:1)	Granules		12024-21-4	
	In2O3-Ga2O3-ZnO(IGZO)			1314-13-2	
17	Indium Oxide	3-6mm	99.995	1312-43-2	해당없음
	In2O3	Granules			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
18	Indium Oxide	3-6mm	99.99	1312-43-2	해당없음
	In2O3	Granules			
19	Indium Phosphide	<6mm	99.999	22398-80-7	
	InP	Pieces (melted)			
20	Indium Selenide	3-6mm	99.999	1312-42-1	
	InSe	Granules			
21	Indium Selenide	<6mm	99.999	12056-07-4	
	In2Se3	Pieces (melted)			
22	Indium Selenide	<6mm	99.99	12056-07-4	
	In2Se3	Granules			
23	Indium Telluride	3-6mm	99.999	12030-19-2	
	InTe	Granules			
24	Indium Telluride	<6mm	99.999	1312-45-4	
	In2Te3	Pieces			
25	Indium Tin (90:10wt%)	3-6mm	99.99	7440-74-6	
	InSn	Granules		7430-31-5	
26	Indium Tin (30:70wt%)	3-6mm	99.99		
	InSn	Granules			
27	Indium:tin oxide, ITO (10wt%, 5wt%)	3-6mm	99.99	50926-11-9	
	In2O3:SnO2	Granules(Green/Black)	Sintered		
28	Indium:tin oxide, ITO (10wt%, 5wt%)	On request	99.99	50926-11-9	
	In2O3:SnO2	Tablet(Green/Black)	Sintered		
29	Indium Oxide -Zinc Oxide (90:10wt%)	3-6mm	99.995	1312-43-2	해당없음
	In2O3-ZnO	Granules		1314-13-2	

Iridium(이리듐)

77

Ir

전자배치
[Xe]4f14 5d7 6s2

녹는점	원자량
2447	192.22
끓는점	밀도
4430	22.55

1. 유래

1803년에 오스뮴과 함께 발견되었다. 화합물들이 여러 가지 다양한 색깔을 띠므로, 그리스 신화에 나오는 무지개의 여신 '이리스(Iris)'를 따서 명명하였다.

2. 원석

로듐과 마찬가지로 이리듐은 특정한 광물 안에서도 발견되지만 원소 상태로도 발견된다. 로듐은 지각에서는 매우 희귀하지만 맨틀이나 핵에는 지각에서보다 더 많이 존재하고, 태양계 전체에는 그보다 더 많이 포함되어 있다. 이리듐은 운석에 많이 포함되어 있어서 계속 지구로 떨어지고 있다.

3. 기본특성

주기율표에서 9족(8B족)에 속하는 전이금속으로, 백금족 금속의 하나이다. 단단하나 연성이 적고 쉽게 부서져 가공하기가 어렵다. 덩어리는 은백색이나, 분말은 검정색이다. 또한 녹는점이 높고 부식성이 매우 낮다.

4. 응용분야

화합물 반도체 제조용 도가니, 백금경화 합금제, 점화 플러그, 클로로알칼리 공정 전극, 화학 촉매, 방적 돌기등. 192Ir(합성)은 방사선 비파괴 검사, 암의 근접 방사선 치료 화합물은 화학 촉매, 유기발광다이오드(OLED)의 형광체

5. 부존량

이리듐은 지각에 대략 0.1ppb(1x10-8%)의 비율로 존재하는 매우 희귀한 원소의 하나로, 존재비가 금의 약 1/40, 백금의 약 1/10이다. 안정한 천연 원소 중에서 이리듐보다 존재량이 적은 것은 레늄(Re), 루테늄(Ru), 로듐(Rh) 뿐인 것으로 여겨진다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Iridium Metal	1-4mm	99.999	7439-88-5	
	Ir	Granules			
2	Iridium Metal	1-4mm	99.99	7439-88-5	
	Ir	Granules			
3	Iridium Metal	3-6mm	99.999	7439-88-5	
	Ir	Granules			
4	Iridium Oxide	1-6mm	99.999	12030-49-8	
	IrO2	Granules			

Iron(철)

1. 유래

라틴어 'ferrum(철)'에서 온 것인데, 명칭의 유래는 정확하게 알 수 없다. 영어의 'iron'은 광석을 뜻하는 라틴어 'aes'로부터, 독일어의 'Eisen'은 철의 광택이 얼음과 유사하여 얼음을 뜻하는 'Eis'에서 유래된 것이라 알려져 있으나 명확하지 않다.

2. 원석

철과 규산 광물의 함량에 따라 철질운석, 함철석, 석질운석으로 분류하며 중요한 철광석으로는 적철석, 자철석, 갈철석, 황철석 등이 있다.

3. 기본특성

습한 공기에 의해 쉽게 산화되어 적갈색의 녹이 슨다. 순수한 철은 알루미늄보다도 무르나, 탄소가 첨가되면 단단해진다.

4. 응용분야

건축물의 골재, 기계, 선박, 각종 가정 용구, 자동차의 몸체와 엔진에 사용되는 등 산업전반과 생활용품에 널리 사용되고 있다.

5. 부존량

철은 지각에 약 5% 정도 함유되어 있으며, 금속 중에서는 알루미늄 다음으로 많이 존재한다. 원소 중에서는 산소(O), 규소(Si), 알루미늄(Al) 다음으로 많이 존재한다.

26	**Fe**

전자배치
[Ar]3d6 4s2

녹는점	원자량
1535	55.847
끓는점	**밀도**
2750	7.87

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Iron Metal	1-3mm	99.99	7439-89-6	해당없음
	Fe	Granules			
2	Iron Metal	3mmDia x 3mmL	99.95	7439-89-6	해당없음
	Fe	pellets (melted)			
3	Iron Metal	3-12 mm	99.995	7439-89-6	해당없음
	Fe	Granules			
4	Iron Metal	3-12mmpcs	99.95	7439-89-6	해당없음
	Fe				
5	Iron Metal	6 mmDia x 6 mmL	99.99	7439-89-6	해당없음
	Fe	Pellets			
	Iron Metal	On request	99.99	7439-89-6	해당없음
	Fe	Sheet			
	Iron Metal	On request	99.99	7439-89-6	해당없음
	Fe	Wire			
6	Iron Alloy	Ingot	99.9	7439-89-6	
	(Stainless Steel/SS)			7440-02-0	
	Fe/Ni/Cr			7440-47-3	
7	Iron Alloy(Invar36)	Ingot	99.9	7439-89-6	
	Fe/Ni			7440-02-0	
8	Iron Alloy(Invar42)	Ingot	99.9	7439-89-6	
	Fe/Ni			7440-02-0	
9	Iron Alloy(Kovar)	Ingot	99.9	7439-89-6	
	Fe/Ni/Co			7440-02-0	
				7440-48-4	
10	Iron Antimonide	3-6 mm	99.9	12022-93-4	자료없음
	FeSb2	Granules			
11	Iron Antimonide	<6mmpcs	99.5	12022-93-4	자료없음
	FeSb2				
12	Iron Antimonide	<6mmpcs	99.5	12022-92-3	자료없음
	FeSb(reacted product;X-ray unknown)				

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
13	Iron Arsenide	3-6 mm	99.9	12044-16-5	
	FeAs	Granules			
14	Iron Arsenide	<6mmpcs	99.5	12044-16-5	
	FeAs				
15	Iron Arsenide	<6mmpcs	99.5	12005-88-8	
	Fe2As				
16	Iron Arsenide	<6mmpcs	99.5	12006-21-2	
	FeAs2				
17	Iron Nickel Boron	3-6 mm pcs	99.95	7439-89-6	
	alloy	Granules		7440-02-0	
	FeNiB			7440-42-8	
18	Iron Oxide (Black)	1-4 mm	99.5	1345-25-1	
	FeO	Granules			
19	Iron Oxide	1-4 mm	99.9	1309-37-1	
	Fe2O3	Granules, (Red)			
20	Iron Oxide	3-12mm pcs(sintered)	99.9	1309-37-1	
	Fe2O3				
21	Iron Telluride	<6mmpcs	99.5	12125-63-2	자료없음
	FeTe				
22	Iron Telluride	<6mmpcs	99.5	12023-03-9	자료없음
	FeTe2				

Lanthanum(란타넘)

1. 유래

란타넘은 1839년에 스웨덴의 바스트나스(Bastnäs) 광산의 셀라이트 광석(celite: 세륨과 란타넘을 포함하는 규산염 광물)에서 스웨덴의 베르셀리우스 학생이었던 모산데르(Carl Gustav Mosander, 1797~1858)에 의해 처음 발견되었다.

2. 원석

모나자이트(monazite),희토류광(bastnäsite)

3. 기본특성

란타넘은 전성과 연성이 있는 은백색의 무른 금속이나, 공기 중에서는 쉽게 표면이 산화되어 회백색으로 흐려진다. 희토류 금속 중에서 반응성이 매우 큰 편에 속하는데, 할로겐 원소들과 쉽게 반응하고 가열하면 수소나 질소와도 반응한다.

4. 응용분야

니켈-수소화금속 전지(많은 하이브리드자동차에 사용), 발화 합금, 특수 유리, 탄소아크등, 수소 저장 합금, 강철 합금, 석유 분해 촉매, 의약품 등.

5. 부존량

란타넘은 지각에서의 존재비가 약 32ppm (0.0032%)로, 대략 28번째로 풍부한 원소인데, 희토류 금속 중에서는 세륨(Ce, 지각 존재비 46ppm) 다음으로 많이 존재한다. 이는 코발트(Co, 29ppm)보다 많은 양이고, 주석(2ppm)과 납(13ppm)을 합친 것보다도 많은 양이다.

57

La

전자배치
[Xe]5d1 6s2

녹는점	원자량
920	138.905
끓는점	밀도
3464	6.16

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Lanthanum Metal La	1-4 mm Granules(under oil)	99.95	7439-91-0	
2	Lanthanum Metal La	3-12 mm Granules(under oil)	99.95	7439-91-0	
3	Lanthanum Metal La	~12mm Pieces (under oil)	99.9 (La/TREM)	7439-91-0	
4	Lanthanum Alloy LaNi5	~12mm Pieces	99.9	12196-72-4	
5	Lanthanum Aluminum Oxide LaAlO3	1-4 mm Granules	99.9	12003-65-5	해당없음
6	Lanthanum Aluminum Oxide LaAlO3	3-6 mm Granules	99.9	12003-65-5	해당없음
7	Lanthanum Boride LaB6	3-6 mm Granules	99.5	12008-21-8	해당없음
8	Lanthanum Boride LaB6	4 mm x 50 mm th long Rod	99.5	12008-21-8	해당없음
9	Lanthanum Boride LaB6	6-12 mm Pieces, Chunks	99.5	12008-21-8	해당없음
11	Lanthanum Fluoride LaF3	3-6mm Pieces	99.9 (melted)	13709-38-1	
12	Lanthanum Fluoride LaF3	3-12 mm Pieces	99.99	13709-38-1	
13	Lanthanum Fluoride LaF3	3-12 mm Granules	99.95 (DFM)	13709-38-1	
14	Lanthanum Fluoride LaF3	~8mmDia. x 6-7mm Th. Tablets (~2g ea.,Vac.Sintered)	99.9	13709-38-1	
15	Lanthanum Oxide La2O3	1-4 mm Granules	99.95	1312-81-8	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
16	Lanthanum Oxide La2O3	3-12mm Pieces,	99.9 (Sintered)	1312-81-8	
17	Lanthanum Silicide LaSi2	~6mm Pieces	99.9	12056-90-5	
18	Lanthanum Titanate La2Ti2O7	1-4mm Pieces	99.9	12031-47-9	해당없음

Lead(납)

1. 유래

원자번호 82번의 원소인 납(lead)은 고대부터 인류가 알고 사용해온 7가지 금속 원소인 금, 은, 구리, 납, 주석, 철, 수은 중의 하나이다. 납의 영어 이름 'lead'는 앵글로 색슨어 'laedan'에서 온 것으로 여겨진다. 라틴어로는 납을 '무른 금속'이라는 뜻으로 'plumbum'이라 불렀는데, 원소 기호 Pb는 이에서 따왔으며, 영어 단어 plumbing(배관), plumber(배관공), plumb bob(추, 錘,) 등도 이에서 파생되었다.

2. 원석

방연석 광산

3. 기본특성

칼로 자를 수 있고 종이에 문지르면 흔적이 남을 정도로 매우 무르며, 전성과 연성이 커서 가공하기가 쉽고 내부식성이 크다.

4. 응용분야

납은 과거에는 수도관 등의 배관, 산탄, 활자 합금, 땜납, 식품 및 담배 포장재, 무게 추, 베어링 금속, 도자기 유약 착색제, 페인트 안료 등으로 널리 사용되었다. 그러나 이와 같은 전통적인 납의 사용은 납의 독성과 환경오염 때문에 지금은 대부분이 금지되거나 엄격한 규제를 받고 있으며 대체품이 개발되었다. 대신에 새로운 용도가 개발되어 납의 수요는 오히려 늘고 있는데, 지금은 주로 자동차용 납축전지에 쓰이며, X-선 장치와 원자로 방사선 차단제, 전선 피복제, 납 유리 제조 등에 사용된다. 또 땜납과 탄환에는 여전히 요긴하게 사용되고 있다. 더욱이, 여러 납 화합물들이 전자 재료로도 주목 받고 있다.

5. 부존량

지각에서 약 14ppm(1.4x10-3%)의 비율로 존재하는 대략 36번째로 풍부한 원소이다.

82	**Pb**

전자배치
[Xe] 4f14 5d12 6s2 6p2

녹는점	원자량
327	207.20
끓는점	**밀도**
1750	11.34

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Lead Metal	1-2 mm	99.99	7439-92-1	
	Pb	Pieces			
2	Lead Metal	3mm	99.9999	7439-92-1	
	Pb	Shot			
3	Lead Metal	3mm	99.999	7439-92-1	
	Pb	Shot			
4	Lead Metal	3mm	99.9	7439-92-1	
	Pb	Shot			
5	Lead Chloride	0.8-3.4mm	99.999	7758-95-4	
	PbCl2	Pieces	melted		
6	Lead Chloride	1-2 mm	99.999	7758-95-4	
	PbCl2	Balls	Spherical		
7	Lead Fluoride	1-3 mm	99.99	7783-46-2	
	PbF2	Granules			
8	Lead Fluoride	1-3mm	99.9	7783-46-2	
	PbF2	Pieces	(Melted,clear to white)		
9	Lead Fluoride	3-6mm	99.9	7783-46-2	
	PbF2	Pieces	(Melted,clear to white)		
10	Lead Selenide	3-6 mm	99.999	12069-00-0	
	PbSe	Granules			
11	Lead Selenide	3-6 mm	99.99	12069-00-0	
	PbSe	Granules			
12	Lead Selenide	3-6mm	99	12069-00-0	
	PbSe	Pieces	(melted)		

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
13	Lead Sulfide	3-12 mm	99.999	1314-87-0	
	PbS	Granules			
14	Lead Telluride	1-3mm	99.999	1314-91-6	
	PbTe	Pieces	(melted,exact 1:1 composition)		
15	Lead Telluride	3-6 mm	99.999	1314-91-6	
	PbTe	Granules			
16	Lead Telluride	3-20 mm	99.99	1314-91-6	
	PbTe	Chunks			
17	Lead Telluride	5-15mm	99.999	1314-91-6	
	PbTe	Pieces			

Lithium(리튬)

1. 유래

리튬은 1817년 스웨덴의 25세 화학자 요한 아르프베드손(Johan Arfwedson)이 발견했다. 고체 광석에서 발견된 것을 나타내기 위해 암석의 그리스어 'lithos'에서 따와 리튬(lithium)이라 명명하였다.

2. 원석

리티아운모, 리티아휘석, 페탈석, 암블리고석 등

3. 기본특성

금속 중에서 가장 가볍고 고체 원소 중에서는 밀도가 가장 낮다. 다른 알칼리 금속과 마찬가지로, 물, 산소와 잘 반응하며 자연 상태에서는 화합물로만 존재한다.

4. 응용분야

리튬 및 리튬-이온 전지. 항공기 부품재료(Al, Mg와 합금). Li2O는 SiO2 융제.Li2CO3는 항우울제. 3H 제조. 1980년대부터 리튬은 리튬 전지의 양극 물질로 중요하게 사용되었다. 에너지 밀도가 높아 휴대용 전자 기기에 널리 사용되었다. 2000년대에 이르러서는 충전이 가능한 리튬 이온 2차 전지가 카메라, 노트북 PC, 휴대폰 등 많은 휴대용 전자 제품을 가볍게 하였고, 한번 충전으로 장시간계속 사용할 수 있게 되었다.

이제 머지 않은 장래에 리튬 이온 전지 또는 리튬을 사용하는 새로운 형식의 2차 전지가 전기 자동차에 대량으로 사용될 것이 확실시 된다.

5. 부존량

지각에서의 존재량은 무게 비로 단지 0.002~0.007%에 불과하지만, 현재 확인된 매장량은 약 40억 대의 전기 자동차에 충분한 양이며, 사용된 전지와 바닷물에서의 리튬 회수를 통해 미래의 리튬 수요를 충분히 충족시키리라 전망된다.

3	**Li**

전자배치
[He] 2s1

녹는점	원자량
180	6.94
끓는점	**밀도**
1345	0.53

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Lithium Metal Li	~2.5mm Granules (under argon)	99.5	7439-93-2	
2	Lithium Metal Li	6-20 mm Pieces, cut wire	99.9	7439-93-2	
3	Lithium Carbonate Li2CO3	1-6 mm Granules	99.9	554-13-2	
4	Lithium Fluoride LiF	1-6 mm Granules	99.995 Vac. Sintered	7789-24-4	
5	Lithium Fluoride LiF	3-8 mm Granules	99.95 Vac. Sintered	7789-24-4	
6	Lithium Fluoride LiF	3-6mm Pieces	99.9 Melted	7789-24-4	
7	Lithium Fluoride LiF	10 mm x 4 mm th. Pellets	99.99	7789-24-4	
8	Lithium Niobate LiNbO3	~12mm Pieces	99.99 Melted	12031-63-9	해당없음
9	Lithium Silicide LiSi2	<6 mm Granules	99.9	68848-64-6	

Lutetium(루테튬)

71 **Lu**

전자배치
[Xe]4f145d16s2

녹는점	원자량
1663	174.97
끓는점	밀도
3400	9.84

1. 유래

1907년에 프랑스, 오스트리아, 미국의 3명의 과학자들에 의해 각각 독립적으로 발견되었으며, 그 중 오스트리아인인 벨스바흐(Carl Auer von Welsbach, 1858~1929)는 당사의 희토류 제조사인 Treibacher社를 설립하였다. 원소 이름은 프랑스 파리의 옛 이름 루테시아(lutecia)를 따서 루테슘(lutecium)으로 명명되었다가 1949년에 지금 이름으로 스펠링이 변경되었다.

2. 원석

모나자이트(monazite), 희토류광(bastnasite), 제노타임(xenotime),
육세나이트(euxenite) 등

3. 기본특성

루테튬에는 '가장'이라는 수식어가 자주 따라 붙는다. 희토류 원소 중에서는 가장 단단하고 밀도와 녹는점이 높으며, 원자 크기와 이온 반경이 가장 작고, 광석에서 분리해 내기가 가장 어렵다. 또 핵 분열 생성물에서 얻는 프로메튬(Pm)을 제외하고는, 가장 희귀하다.

4. 응용분야

석유화학공업 촉매, 루테튬 알루미늄 가넷(LuAG)은 고굴절 유리로, 반도체 액침 노광(immersion lithography) 렌즈 재료로 유용하게 사용. 여러 전자 재료소량 첨가물. LuTaO4는 X-선 형광체, 177Lu(합성)는 방사선 암 치료제.

5. 부존량

루테튬은 희토류 원소 중에서 가장 희귀한 원소로, 지각에서의 존재비가 약 0.5ppm (0.00005%)이고 대략 60번째로 많은 원소이다. 이는 존재량으로만 보면 은(Ag)이나 수은(Hg)보다 풍부한 양이나, 아주 조금씩 널리 퍼져있어 순수한 형태로 얻기가 가장 어려운 희토류 원소이다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Lutetium Metal	3-12 mm	99.99	7439-94-3	
	Lu	Granules			
2	Lutetium Metal	<12 mm	99.9	7439-94-3	
	Lu	Pieces	(Lu/REM),Ta<1-3%		
3	Lutetium Fluoride	3-6 mm	99.99	13760-81-1	
	LuF3	Granules			
4	Lutetium Fluoride	3-6mm	99.9	13760-81-1	
	LuF3	Pieces	(Fused)		
5	Lutetium Oxide	3-12 mm	99.99	12032-20-1	해당없음
	Lu2O3	Granules			
6	Lutetium Oxide	3-12mm	99.9	12032-20-1	해당없음
	Lu2O3	Pieces	(Sintered)		
7	Lutetium Silicide	<6 mm	99.9	12032-13-2	자료없음
	LuSi2	Pieces	(Ta<3%)		

Magnesium(마그네슘)

1. 유래

그리스 테살리아(Thessaly) 지역의 마그네시아(Magnesia)에서 산출되는 마그네시아석에서 유래한다. 마그네슘이 원소라는 것은 1755년에 블랙(Joseph Black)에 의해 밝혀졌다. 이후 53년이 지난 1808년에 데이비경은 백금판 양극 위에 3:1 무게비로 섞은 마그네시아(산화마그네슘, MgO)와 산화수은(HgO) 혼합물을 올려놓고 백금선을 음극으로 하여 전기분해시켜 마그네슘/수은 아말감을 얻은 후 여기서 수은을 증발/제거하여 금속 마그네슘을 처음으로 분리하였다. 데이비는 같은 방법으로 금속 칼슘(Ca)도 분리하였다.

2. 원석

백운석(CaCO3·MgCO3)

3. 기본특성

화학 반응성이 큰 금속으로, 대부분의 비금속 원소는 물론 물, 암모니아, 산, 알코올, 유기할로겐 화합물 등과 잘 반응한다. 그러나 공기에 노출되면 투과성이 아주 적은 산화물 보호피막을 만들어 더 이상 반응하기 어렵게 된다. 따라서 큰 덩어리로는 반응하기 어려우나, 용융 상태, 가루, 얇은 막 상태에서는 쉽게 반응한다.

4. 응용분야

경량 알루미늄 합금, 그리냐르 시약(RMgX), 희생적 양극, 조명탄 등.화합물은 내화물, 식품 첨가제, 제산제와완화제 등. 300여종 효소의보조인자. 엽록소의 중심 원소. 금속 마그네슘은 금속 구조체를 만드는데 철과 알루미늄 다음으로 많이 쓰이는 금속이다. 합금에 첨가되는 금속의 종류와 양을 조절하면 가벼우면서도 기계적, 열적, 내부식성이 우수한 여러 가지 합금을 만들 수 있다.

5. 부존량

지각 무게의 약 2%를 차지하는 8번째로 풍부한 원소이며, 우주에서는 9번째로 많은 원소이다.

12	**Mg**

전자배치
[Ne] 3s2

녹는점	원자량
650	24.305
끓는점	**밀도**
1100	1.741

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Magnesium Metal	1-4 mm	99.97	7439-95-4	
	Mg	Granules			
2	Magnesium Metal	3 mm dia x 3 mm th	99.99	7439-95-4	
	Mg	Pellets			
3	Magnesium Metal	4 mm dia x 4 mm th.	99.99	7439-95-4	
	Mg	Pellets			
4	Magnesium Alloy	3-15 mm	99.99	7439-95-4	
	MgAg (90/10 wt%)	Granules		7440-22-4	
5	Magnesium Alloy	3-6 mm	99.99	7439-95-4	
	MgAg(91/9 wt%)	Granules		7440-22-4	
6	Magnesium	3-12 mm	99.99	12068-51-8	해당없음
	Aluminum Oxide				
	MgAl2O4	Granules			
7	Magnesium	3-12mm	99.9	12068-51-8	해당없음
	Aluminum Oxide		(Ca<25ppm)		
	MgAl2O4	Pieces	Fused		
	(spinel,equiv.to MgO-Al2O3)				
8	Magnesium Aluminum	3-12mm	99	53169-11-2	자료없음
	Zirconium Oxide	Pieces	(Ca<2000ppm)		
	MgO-Al2O3-ZrO2(spinel)		Sintered		
9	Magnesium Antimonide	~6mm	99.5	12057-75-9	
	Mg3Sb2	Pieces	(Ca<10ppm)		

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
10	Magnesium Arsenide	~6mm	99.5	12044-49-4	
	Mg3As2	Pieces	(Ca<500ppm)		
11	Magnesium Bismuth Compound	3-6 mm	99.99	12048-46-3	
	Mg3Bi2	Granules			
12	Magnesium Fluoride	0.8-3mm	99.9	7783-40-6	
	MgF2	Pieces Vacuum Melted	(Ca<1%)		
13	Magnesium Fluoride	0.8-3mm	99.9	7783-40-6	
	MgF2	Pieces Melted	(Ca<1%)		
14	Magnesium Fluoride	1-4mm	99.999	7783-40-6	
	MgF2	Pieces Vacuum Melted	(Ca<10ppm)		
15	Magnesium Fluoride	1-4 mm	99.99	7783-40-6	
	MgF2	Pieces			
16	Magnesium Fluoride	3-6mm	99.9	7783-40-6	
	MgF2	Pieces Melted	(Ca<1%)		
17	Magnesium Fluoride	5 mm	99.995	7783-40-6	
	MgF2	Spherical balls	(DFM)		
18	Magnesium Fluoride	3-6 mm	99.995	7783-40-6	
	Alloy			13709-42-7	
	MgF2/NdF3	Granules	(DFM)		
19	Magnesium fluoride	10 mm x 10 mm	99.99	7783-40-6	
	alloy			13709-42-7	
	MgF2/NdF3	Pellets			
20	Magnesium fluoride	1-4 mm	99.995	7783-40-6	
	alloy			7758-88-5	
	MgF2/CeF3	Pieces			
21	Magnesium Germanide	3-6 mm	99.99	1310-52-7	해당없음
	Mg2Ge	Granules			
22	Magnesium Oxide	1-3 mm	99.99	1309-48-4	
	MgO	Granules	Crystalline		
23	Magnesium Oxide	1-3mm	99.95	1309-48-4	
	MgO	Pieces Fused	(Ca<750ppm)		
24	Magnesium Oxide	3-6 mm	99.99	1309-48-4	
	MgO	Granules	Crystalline		
25	Magnesium Oxide	3-6 mm	99.95	1309-48-4	
	MgO	Granules	Crystalline		
26	Magnesium Oxide	3-6mm	99.95	1309-48-4	
	MgO	Pieces Fused	(Ca<750ppm)		
27	Magnesium Oxide	<6 mm	99.999	1309-48-4	
	MgO	Granules	Crystalline		
28	Magnesium Oxide	3-12mm	99.95	1309-48-4	
	MgO	Pieces Fused	(Ca<750ppm)		
29	Magnesium Oxide	18 mm dia x 12 mm	99.99	1309-48-4	
	MgO	Pellets			
30	Magnesium Plumbide	3-6 mm	99.99	12032-53-0	자료없음
	Mg2Pb	Granules			
31	Magnesium Silicide	3-12 mm	99.99	22831-39-6	
	Mg2Si	Granules			
32	Magnesium Silicide	3-12 mm	99.5	22831-39-6	
	Mg2Si	Granules			
33	Magnesium Stannide	3-6 mm	99.99	1313-08-2	
	Mg2Sn	Granules			

Manganese(망간)

25 **Mn**

전자배치
[Ar] 3d5 4s

녹는점	원자량
1245	54.94
끓는점	밀도
1962	7.47

1. 유래

연망가니즈석(이산화망가니즈, MnO2)은 널리 분포되어 있는 천연 안료로, 2~3만년 전의 석기시대부터 그림을 그리는 데 사용되었다. 1774년에 스웨덴 출신 독일 화학자 카를 빌헬름 셸레가 처음 제안, 망가니즈(manganese)는 그리스어 manganizo, 또는 마법이라는 뜻의 manganon에 유래되었다.

2. 원석

연망가니즈석(pyrolusite:MnO2)이며,갈망가니즈석(braunite:Mn7SiO12),경망가니즈석(psilomelane: MnO2·(Mn,Ca,Ba)O·nH2O) 등도 주요 광물이다. 흙에는 평균 40ppm (0.04%) 정도 들어 있고, 바닷물에는 단지 10ppm 정도 들어있으나 해저에는 무려 5000억 톤으로 추정되는 망가니즈 단괴가 있다.

3. 기본특성

단단하나 부서지기 쉬운 은색 금속이다. 비교적 반응성이 큰 원소로, 공기 중에서 덩어리로 있을 때는 느리게 산화되나 가루로 있을 때는 불이 붙게 된다. 물과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다. 제강에 꼭 필요한 원소이다.

4. 응용분야

공업적 제강용, 비철금속 합금 제조용, 페인트, 건조제, 건전지, 방부제, 방충제 등

5. 부존량

망간은 지각에서 무게로 약 1000ppm(약 0.1%) 정도로 존재하는 세 번째로 많이 포함된 전이금속이고 모든 원소 중에서는 12번째로 많다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Manganese Metal Mn	1-12 mm Chunks	99.9	7439-96-5	
2	Manganese Metal Mn	3-12mm Pieces	99.99	7439-96-5	
3	Manganese Metal Mn	3-12 mm Granules	99.5	7439-96-5	
4	Manganese Metal Mn	0.8-3mm Pieces	99.99	7439-96-5	
5	Manganese Aluminide MnAl3	<6mm Pieces	99.5	12253-13-3	해당없음
6	Manganese Antimonide MnSb	<6mm Pieces	99.5	12032-82-5	
7	Manganese Antimonide Mn2Sb	<6mm Pieces	99.5	12032-97-2	
8	Manganese Antimonide Mn2Sb	<10 mm Granules	99.95	12032-97-2	
9	Manganese Telluride MnTe2	3-6 mm Granules	99.99	12032-89-2	
10	Manganese Telluride MnTe(+possibly some MnTe2)	<6mm Granules	99.9	12032-89-2	
11	Manganese Telluride MnTe2	<6mm Granules	99.9	12032-89-2	

Mercury(수은)

1. 유래

고대부터 동서양에 모두 알려져 왔으며, 가장 매혹적인 원소의 하나로 인식되어 많은 관심을 끌었고 다양한 용도로 유용하게 사용되었다. 수은은 특히 연금술, 불사약과 연관되어 많은 관심을 끌었는데, 중국의 진시황제는 불로장생을 위해 수은이 든 약을 먹었으며, 수은 중독으로 인해 수명이 단축된 것으로 여겨진다. '물 상태의 은(watery silvetr)'을 뜻하는 라틴어 하이드라기룸(hydrargyrum)에서 유래한다.연금술사들은 수은이 '빠르게 흐르는 은'이라는 생각에서 가장 빨리 움직이는 행성인 수성의 이름을 따서 머큐리(mercury)라 명명하였다.

2. 원석

진사(辰砂, cinnabar 혹은 vermilion, HgS)

3. 기본특성

수은은 모든 전이 금속 중에서 원자번호와 원자량이 가장 크며 거의 대부분의 전이금속과 마찬가지로 은색 광택을 가지고 있다. 실온에서 액체인 유일한 금속이며 독성도 가지고 있다.

4. 응용분야

각종 산업용 화합물 합성. 각종 기구 및 기기에 이용. 온도계, 혈압계, 수은등, 형광등, 상처 소독제인 머큐로크롬, 수은전지, 치과용 아말감, 형광등, 소금물 전기분해 전극 등

5. 부존량

수은은 다른 원소와 결합하지 않은 원소 상태로 발견되지만 자연에 아주 소량만 존재한다. 그러나 자연적으로 만들어진 수은 화합물에서 수은을 얻어내는 것은 쉽다.

80	Hg

전자배치
[Xe] 4f14 5d10 6s2

녹는점	원자량
-39	200.59
끓는점	밀도
357	13.55

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Mercury Sulfide	3-12 mm	99.999	1344-48-5	
	HgS	Granules			
2	Mercury Selenide	3-6 mm	99.999	20601-83-6	
	HgSe	Granules			
3	Mercury Telluride	3-12 mm	99.999	12068-90-5	
	HgTe	Granules			

Molybdenum(몰리브데넘)

1. 유래

원석인 휘수연석이 흑연과 겉보기, 촉감, 성질이 비슷하다. 고대인들은 필기에 사용될 수 있는 검은 물질들을 '검은 납' 즉 흑연(graphite)라 불렀다. 몰리브데나이트를 이전에는 몰리브데나(molybdena)로 불렀는데, 이는 그리스어로 납을 뜻하는 몰리브도스(molybdos)에서 따온 것이다.

2. 원석

휘수연석(輝水鉛石)이라 부르는 몰리브데나이트(molybdenite: MoS2)

3. 기본특성

전성·연성이 있고, 주조(鑄造)·압연(壓延)도 가능. 녹는 점이 높고 극저온에서 상온·고온에 이르기까지 기계적으로 매우 강하다. 다른 금속에 첨가하면 경도가 커지고 내열성(耐熱性)·내식성(耐蝕性)이 커지는 특성이 있다.

4. 응용분야

촉매제, 합금강(合金鋼)·스테인리스강·공구강·주철·초합금(超合金), 고강도 강철합금

5. 부존량

지각에서의 존재 비는 텅스텐과 비슷한 약 1.2ppm(1.2x10-4%)으로, 54번째로 풍부한 원소이다. 바닷물에는 약 10ppb농도로 들어있고, 25번째로 많은 원소이다.

42	**Mo**

전자배치
[Kr] 4d5 5s1

녹는점	원자량
2620	95.94
끓는점	**밀도**
4640	10.22

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Molybdenum Metal	3mmDia. x 3mmL.	99.95	7439-98-7	
	Mo	Pellets	(melted)		
2	Molybdenum Metal	6mmDia. x 6mmTh.	99.98	7439-98-7	
	Mo	Pellets			
3	Molybdenum Metal	6mmDia. x 6mmL.	99.95	7439-98-7	
	Mo	Pellets	(melted)		
4	Molybdenum Metal	12mmDia. x 6mmL.	99.95	7439-98-7	
	Mo	Pellets			
5	Molybdenum Metal	On request	99.95	7439-98-7	
	Mo	Wire			
6	Molybdenum Metal	On request	99.95	7439-98-7	
	Mo	Sheet			
7	Molybdenum Oxide	1-6 mm	99.95	1313-27-5	
	MoO3	Granules, needles	outgassed		
8	Molybdenum Oxide	3-6 mm	99.95	1313-27-5	
	MoO3	Granules	vac. Sintered		

Neodymium(네오디뮴)

1. 유래

네오디뮴의 발견 과정은 원자번호 59번 프라세오디뮴의 경우와 같으며, 발견 연도와 발견자도 같다. 1885년에 오스트리아의 벨스바흐(Carl Auer von Welsbach, 1858~1929)는 란타넘의 '쌍둥이 원소'라는 뜻으로 명명된 디디뮴(didymium) 에서 새로운 두 원소를 분리·발견하였는데, 그 중 하나는 염의 용액이 녹색인 것에서 '녹색 쌍둥이'이란 뜻의 그리스어 'prasisos didymium'에서 따와 프라세오디뮴(praseodymium)이라 명명하였고, 다른 하나는 '새로운 디디뮴'이란 뜻의 그리스어 'neos didymium'에서 따와 네오디뮴(neodymium)으로 명명하였다. 아울러 당사의 희토류 제조사인 Treibacher社를 설립하였다.

2. 원석

모나자이트, 세르석, 모나즈석, 가돌린석 등

3. 기본특성

은백색의 무르고 전성이 있는 금속으로, 공기 중에서는 표면이 쉽게 산화되어 푸른색이 도는 회색을 띤다. 화학반응성이 아주 크며 화합물에서는 주로 +3의 산화상태를 갖는다.

4. 응용분야

영구자석, 고체상태 적외선 레이저, 적자색 유리, 촉매, 적층커패시터(MLCC) 재료 등

5. 부존량

지각에서의 존재비는 약 38ppm (0.0038%)으로, 대략 27번째로 풍부한 원소이다.

60 **Nd**

전자배치
[Xe]4f46s2

녹는점	원자량
1024	144.242
끓는점	밀도
3074	7.01

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Neodymium Metal	3-20 mm	99.99	7440-00-8	
	Nd	Granules	Packed in oil		
2	Neodymium Metal	3-20 mm	99.95	7440-00-8	
	Nd	Granules	Packed in oil		
3	Neodymium Metal	<12mm	99.9	7440-00-8	
	Nd	Pieces	(Nd/TREM)		
3	Neodymium Metal	on Request	99.9	7440-00-8	
	Nd	Wire			
4	Neodymium Metal	on Request	99.9	7440-00-8	
	Nd	Sheet			
5	Neodymium Fluoride	3-6 mm	99.995	13709-42-7	
	NdF3	Granules			
6	Neodymium Fluoride	tablets(~8-9mm dia.x	99.9	13709-42-7	
	NdF3	5-6mm Th.,~2g each)	Vac.Sintered		
7	Neodymium Oxide	3-12 mm	99.95	1313-97-9	
	Nd2O3	Granules			
8	Neodymium Oxide	3-12mm	99.9	1313-97-9	
	Nd2O3	Pieces	Sintered		
9	Neodymium Silicide	<6mm	99.9	12137-04-1	해당없음
	NdSi2				

Nickel(니켈)

1. 유래

인류의 니켈 사용은 기원전 약 3500년경으로 거슬러 올라간다. 현재의 시리아 지역에서 출토된 일부 청동기에 약 2%의 니켈이 포함되어 있는 것이 확인되었다. 중세 독일 광부들은 구리 광석과 비슷한 붉은색 물질이 들어있는 광석을 발견하였는데, 이것이 오늘날 니콜라이트(niccolite, 홍비니켈석)라고 불리는 광석으로 주성분은 비소화니켈(NiAs)이다. 광부들은 이 광석에서 구리를 얻고자 하였으나 성공하지 못하고 유독한 증기(산화비소: AsO3)가 나와 고생만 하였는데, 광부들은 이를 악마(귀신)의 훼방으로 여기고, 이 광석을 '악마의 구리'라는 뜻으로 'kupfernickel'이라 불렀다. 그 후 1751년에 스웨덴의 크론스테트(Axel Fredrik Cronstedt, 1722~1765) 남작이 스웨덴의 광석에서 흰색 금속을 불순한 상태로 분리하고, 이 금속이 '악마의 구리'의 금속 성분임을 확인하였다. 그는 이 새로운 금속 원소를 'kupfernickel'에서 구리(kupfer)를 빼고 니켈(nickel)이라 명명하였다.

2. 원석

니콜라이트(NiAs), 휘니켈석(NiS), 펜트란다이트(Ni,Fe)S, 황비니켈석(NiAsS)

3. 기본특성

니켈은 단단하고 금속 광택이 나는 은백색 금속이다. 연성과 전성이 크며, 철이나 코발트보다는 약하지만 강한 자석 성질을 갖는다. 화학 반응성은 비교적 작고 철보다 안정하며, 공기 중에서 산화물 보호 피막을 형성한다.

4. 응용분야

니켈의 가장 큰 용도는 크로뮴과 함께 철의 합금을 만들어 내부식성인 스테인리스 강을 만드는 것이며, 그 다음으로 모넬, 인코넬 등의 특수합금을 만드는데 사용된다. 부식방지용 도금, 촉매, NiCd전지 등

5. 부존량

약 100~200ppm(0.01~0.02%)로, 모든 원소 중에서는 22번째, 전이금속 중에서는 7번째로 풍부하다.

28	Ni

전자배치
[Ar] 3d84s2

녹는점	원자량
1455	58.6934
끓는점	밀도
2730	8.91

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Nickel Metal Ni	3mmDia.x 3mm Pellets Melted	99.995 (Co<1ppm)	7440-02-0	
2	Nickel Metal Ni	3mmDia.x 3mm Pellets Melted	99.97 (Co<15ppm)	7440-02-0	
3	Nickel Metal Ni	5-6 mm Spheres	99.98	7440-02-0	
4	Nickel Metal Ni	6mmDia.x 6mm Pellets Melted	99.995 (Co<1ppm)	7440-02-0	
5	Nickel Metal Ni	6mmDia.x 6mm Pellets Melted	99.97 (Co<15ppm)	7440-02-0	
6	Nickel Metal Ni	On request Wire	99.9	7440-02-0	
7	Nickel Metal Ni	On request Sheet	99.9	7440-02-0	
8	Nickel Metal Ni	6-12mm Dia. Balls	99.9 (Co<10ppm)	7440-02-0	
9	Nickel Alloy NiCr(90:10wt%)	3 mm dia x 3 mm th. Pellets	99.95	11106-97-1	
10	Nickel Alloy Ni:Cr(80:20wt%)	3-12mm Pieces Sintered	99.9 (Co<800ppm)	11106-97-1	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
11	Nickel Alloy	3-12mm	99.9	11106-97-1	
	Ni:Cr(70:30wt%)	Pieces Sintered	(Co<700ppm)		
12	Nickel Alloy	3-12mm	99.9	11106-97-1	
	Ni:Cr(60:40wt%)	Pieces Sintered	(Co<600ppm)		
13	Nickel Alloy	3-12mm	99.9	11106-97-1	
	Ni:Cr(50:50wt%)	Pieces Sintered	(Co<500ppm)		
14	Nickel Alloy	6 mm dia x 12 mm th.	99.95	11106-97-1	
	NiCr	Pellets			
15	Nickel Alloy	6mmDia.x 6mm	98	11106-97-1	
	Ni/Cr(80/20wt%)	Pellets Melted	(Co<0.5%)		
16	Nickel Alloy	6mmDia.x 12mm	99	61106-39-6	
	Ni min./Cr/Fe(72/14-17/6-10wt%)				
		Pellets	(Co<1000ppm)		
17	Nickel Alloy	6 mm x 6 mm th.	99.95	7440-02-0	
	NiFe(78:22 wt%)	Pellets		7439-89-6	
18	Nickel Alloy	6 mm x 6 mm th.	99.95	7440-02-0	
	NiFe	Pellets		7439-89-6	
19	Nickel Alloy	3-6 mm	99.99	7440-02-0	
	NiPd (50:50wt%)	Granules		7440-05-3	
20	Nickel Alloy	3-6 mm	99.99	7440-02-0	
	NiSi (65/35at%)	Granules		7440-21-3	
21	Nickel Alloy	1-4 mm	99.9	7440-02-0	
	Ni:Zr (50:50wt%)	Granules	(Co<0.1%)	7440-67-7	
22	Nickel Alloy	~6mm	99.5	7440-02-0	
	Ni:Z r(50:50wt%)	Pieces	(Co<500ppm)	7440-67-7	
23	Nickel Antimonide	~6mm	99.5	12035-52-8	
	NiSb	Pieces	(Co<200ppm)		
24	Nickel Antimonide	~6mm	99.5	12503-49-0	
	Ni3Sb	Pieces	(Co<600ppm)		
25	Nickel Arsenide	3-6 mm	99.9	27016-75-7	
	NiAs	Peces			
26	Nickel Arsenide	~6mm	99.5	27016-75-7	
	NiAs	pieces	(Co<500ppm)		
27	Nickel Arsenide	3-6 mm	99.995	12068-61-0	
	NiAs2	Granules			
28	Nickel Arsenide	6mm	99.5	12068-61-0	
	NiAs2	Pieces			
	(+possible other Ni-As phases)				
29	Nickel Bismuthide	~6mm	99.5	12688-64-1	
	NiBi	Pieces	(Co<300ppm)		
30	Nickel Oxide	3-12 mm	99.995	1313-99-1	
	NiO	Granules			
31	Nickel Oxide	3-12 mm	99.99	1313-99-1	
	NiO	Granules			
32	Nickel Oxide	3-12 mm	99.9	1313-99-1	
	NiO	Granules			
33	Nickel Selenide	~6mm	99.9	1314-05-2	
	NiSe	Pieces	(Co<500ppm)		
34	Nickel Selenide	3-6 mm	99.99	1314-05-2	
	NiSe (90/10 wt%)	Pieces			
35	Nickel Telluride	~6mm	99.9	12142-88-0	
	NiTe	Pieces	(Co<400ppm)		
	NiSe (90/10 wt%)	Pieces			

Niobium(나이오븀, 니오븀)

1. 유래

미국에서 채취해서 영국으로 보냈던 광석에서 1801년에 처음 발견되었고, 이에 따라 미국(America)을 일컫는 또 다른 이름인 컬럼비아(Columbia)을 따서 컬럼븀(columbium, 원소기호 Cb)으로 명명되었다. 컬럼븀은 거의 모든 광석에서 탄탈럼과 함께 존재하고 또 성질이 탄탈럼과 아주 비슷하므로, 탄탈루스의 딸인 니오베(Niobe)의 이름을 따서 나이오븀(niobium, 원소기호 Nb)으로 고쳐 명명하였다.

2. 원석

파이로클로르(황록석, pyrochlore: (Na,Ca)2Nb2O6(OH,F))

3. 기본특성

연성이 있는 내부식성 회색 금속. 원소 중 가장 높은 초전도 임계온도 (9.2K). 탄탈럼과 아주 유사하고, 광석에서 공존한다.

4. 응용분야

강철 합금. 고강도 내열성 초합금(superalloy), 제트엔진부품, 로켓 부품, 핵반응로, 항공기체, 화학반응기, 초전도 자석 합금, 콘덴서, 장신구 등

5. 부존량

나이오븀은 지각 무게의 약 20ppm(0.002%)를 차지하는 대략 33번째 풍부한 원소로, 질소(N), 갈륨(Ga), 리튬(Li)과 존재 비가 비슷하다. 같은 족의 바나듐보다는 존재량이 월등히 적으나, 탄탈럼(1.7ppm)보다는 10배 이상이나 풍부하다.

41	Nb

전자배치
[Kr] 4d45s1

녹는점	원자량
2468	92.906
끓는점	밀도
4758	8.57

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Niobium Metal	3 mm dia x 3 mm th.	99.95	7440-03-1	
	Nb	Pellets			
2	Niobium Metal	6 mm dia x 6 mm th.	99.95	7440-03-1	
	Nb	Pellets			
3	Niobium Metal	6mmDia.x6mm	99.9	7440-03-1	
	Nb	Pellets	Melted		
4	Niobium Metal	On request	99.95	7440-03-1	
	Nb	Wire			
5	Niobium Metal	On request	99.95	7440-03-1	
	Nb	Sheet			
6	Niobium Metal	6-20 mm	99.95	7440-03-1	
	Nb	Chunk	(Ta<50 ppm)		
7	Niobium Carbide	3-12 mm	99.5	12069-94-2	
	NbC	Granules			
8	Niobium Fluoride	1-4 mm	99.99	7783-68-8	
	NbF5	Granules			
9	Niobium Nitride	3-12 mm	99.5	24621-21-4	해당없음
	NbN	Granules			
10	Niobium Oxide	1-4 mm	99.95	12034-57-0	
	NbO	Granules, reduced			
11	Niobium Oxide	1-4 mm	99.995	1313-96-8	
	Nb2O5	Granules	Black		
12	Niobium Oxide	1-4 mm	99.99	1313-96-8	
	Nb2O5	Granules	Beige		
13	Niobium Oxide	3-12mm	99.95	1313-96-8	
	Nb2O5	Pieces	Sintered		
14	Niobium Oxide	10 mm dia x 10 mm th.	99.995	1313-96-8	
	Nb2O5	Pellets			

Palladium(팔라듐)

1. 유래

팔라듐은 1803년에 영국의 물리학자이자 화학자인 울러스턴(William Hyde Wollaston, 1766~1828)에 의해 남미산 백금 광석에서 로듐과 함께 처음으로 분리·발견되었다. 울러스턴은 자신이 얻은 새로운 금속 원소 두 개 중 하나는 이의 염인 Na3RhCl6·12H2O가 아름다운 장미색을 띠었기 때문에 그리스어로 장미를 뜻하는 'rhodon'을 따서 로듐(rhodium)이라 명명하였고, 다른 하나는 원소 발견 바로 직전인 1802년에 발견된 소행성 팔라스(Pallas)를 따서 팔라듐(Palladium)이라 명명하였다.

2. 원석

표사광상, 쿠퍼광, 폴라라이트

3. 기본특성

팔라듐은 루테늄(Ru)이나 로듐(Rh) 와 오스뮴(Os), 이리듐(Ir), 백금(Pt)을 합친 6가지 금속 원소들을 부르는 백금족 금속의 하나이다. 백금족 금속들은 보통 천연 합금 형태로 백금 광석에 함께 들어있는데, 산출량이 적으면서 다양한 분야에 이용되는 귀금속들이다. 백금족 금속 중에서 녹는점이 가장 낮고, 가장 가벼우며, 생산량이 가장 많은 금속이다.

4. 응용분야

자동차 촉매 변환기. 화학 촉매. 합금.장식용 도금, 치과 보철 재료, 적층세라믹 콘덴서(MLCC), 전극, 전기 접점. 또한 팔라듐은 수소를 잘 흡수하고 통과시키기 때문에 수소 정제에 이용되고 있어 미래의 수소 에너지 시대에 더욱 중요한 금속이 될 것으로 여겨진다.

5. 부존량

팔라듐은 지각에서의 존재비가 대략 0.001ppm로 추정되는데, 지각에서의 존재량이 적은 순위로 10위 안에 드는 원소이다.

46	**Pd**

전자배치
[Kr] 4d10

녹는점	원자량
1555	106.42
끓는점	**밀도**
2963	12.02

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Palladium Metal	3-6 mm	99.99	7440-05-3	해당없음
	Pd	Pieces			
2	Palladium Metal	3-6mm	99.95	7440-05-3	해당없음
	Pd	Pieces	(melted)		
3	Palladium Metal	On request	99.95	7440-05-3	해당없음
	Pd	Wire			
4	Palladium Metal	On request	99.95	7440-05-3	해당없음
	Pd	Sheet			

Phosphorus(인)

1. 유래

1669년 독일의 헤닝 브란트가 은을 금으로 바꾸는 액체를 만들려고 공기를 차단하고 오줌[尿]을 가열정제하는 과정에서 발견하였다. 어두운 곳에서 빛을 발하는 것은 모두 phosphorus라고 불려졌는데 그리스어로 phos는 빛, phorus는 운반자의 뜻을 지녔으며 그후 이것이 인의 명칭이 되었다.

2. 원석

주된 광물은 화학 일반식이 Ca5(PO4)3X (X= F, Cl 또는 OH)인 아파타이트(apatide)라고도 불리는 인회석이다.

3. 기본특성

인은 물리적·화학적 성질이 다른 여러 동소체가 있다. 그 중에서 크게 흰색인(노란색인), 붉은색인, 검은색인(보라색 인) 세 가지가 있다. 인화성이 커서 공기와 접촉하면 자연발화하여 초록빛의 인광을 내며 특이한 마늘 냄새가 난다. 진공상태에서 빛에 노출시키면 승화가 일어난다. 물에 녹지 않고 벤젠이나 클로로포름에 녹는다.

4. 응용분야

성냥 발화기, 합금 제조. 화합물은 비료, 살충제, 세제 첨가물, 식품첨가제 등. 모든 생명체의 필수 원소. DNA, RNA, ATP, 인지질 등의 구성 원소.

5. 부존량

지각 암석 무게의 약 0.11%를 차지하는 11번째로 풍부한 원소이다. 많은 광물에 주로 인산염의 형태로 들어있다.

15	P

전자배치
[Ne] 3s2 3p3

녹는점	원자량
44.2	30.974
끓는점	**밀도**
280.5	1.823

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Phosphorus	~6mm	99.999+	7723-14-0	
	P	pieces	red		

Platinum(백금)

1. 유래

18세기 초반에 스페인 사람들에 의해 중남미에서 발견되어 유럽으로 소개된 귀금속. 영어 이름 플래티넘(platinum)은 스페인어로 '작은 은'이란 뜻의 'platina'에서 나왔는데, 이는 은과 아주 비슷하지만 가공이 불가능한 금속으로 여겨져 붙여진 이름이다.

2. 원석

플라틴이리듐(platiniridium), 표사광상(placer deposit), 충적토(alluvial deposit) 등

3. 기본특성

아름답고 부식이 잘 되지 않는 최고의 귀금속으로, 밀도가 높고 광택이 나는 은백색을 띤다. 전성과 연성이 있으며, 쉽게 가공할 수 있고 100개 원자 두께 이하로 두들겨 펼 수 있음. 모스 경도(Mohs hardness)는 4.3으로 금(모스 경도 2.5)보다 단단함. 전기 전도도와 열 전도도는 금, 은의 약 1/4. 열 팽창계수는 금의 약 60% 정도이며, 소다 석회 유리(soda-lime glass: 일반 유리)와 거의 같아 유리에 영구적으로 접합시킬 수 있다. 결정은 면심입방(fcc) 구조이며, 상자기성을 띤다.

4. 응용분야

약 50%는 자동차 배기가스 정화장치인 촉매변환기에, 그리고 약 30%는 장신구에 사용. 이외에 화학공업 촉매, 과학 도구 및 장치, 전자 부품, 치과보철 재료, 전극, 센서, 하드 디스크 자성 기록층, 수소 연료전지, 항암제 등, 아주 다양한 용도에 사용된다.

5. 부존량

백금은 지각 무게의 약 1ppb(1x10-7%)를 차지하는 희귀 원소로, 존재비는 은(Ag)의 약 1/100, 금의 약 1/4. 그러나 백금족 원소 중에서는 팔라듐 다음으로 많이 존재한다.

78	**Pt**

전자배치
[Xe] 4f14 5d9 6s1

녹는점	원자량
1768	195.084
끓는점	**밀도**
3825	21.45

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Platinum Metal	3-6mm	99.95	7440-06-4	해당없음
	Pt	Pieces(melted)	(vac.dep.grade)		
2	Platinum Metal	On Request	99.95	7440-06-4	해당없음
	Pt	Wire			
3	Platinum Metal	57mmDia x 0.1mmTh	99.99	7440-06-4	해당없음
	Pt	Sheet	SEM coater용		
4	Platinum Metal	On Request	99.95	7440-06-4	해당없음
	Pt	Sheet			
5	Cobalt Platinum Alloy (50:50)	1-4 mm	99.99	7440-06-4	
	PtCo	Granules		7440-48-4	

Potassium(칼륨)

1. 유래

1807년 영국의 데이비(Humphry Davy: 1778~1829)가 포타쉬에서 수산화 포타슘(caustic potash: KOH)을 얻고, 용융 KOH를 전기분해시켜 금속 포타슘을 얻음. 새로 발견한 금속의 이름, potash에서 따와 포타슘(potassium)이라 명명하였다.

2. 원석

포타슘암염(sylvite:KCl), 실비나이트(sylvinite: KCl과 NaCl의 혼합염), 카널라이트(carnallite: KCl·MgCl2·6H2O), 랑베이나이트(lanbeinite: K2Mg2(SO4)3) 등

3. 기본특성

칼로 자를 수 있을 정도로 무르며 녹는점이 낮고 , 화학반응성이 아주 큰 은백색의 고체. 공기 중에서 쉽게 산화되고, 물과는많은 열과 수소 기체를 내면서 격렬히 반응하고 폭발하기도 한다.

4. 응용분야

가장 중요한 칼륨 화합물 세 가지는 염화칼륨(KCl), 질산칼륨(KNO3) 그리고 수산화칼륨(KOH)이다. 생산된 염화칼륨과 질산칼륨의 90% 이상은 비료 생산에 사용된다. Na-K 합금(원자로 냉각기 열 교환 액체), 산화제, 수분 제거제, 보조 산소 공급장치. 금속 칼륨은 유기화학 반응에 사용된다.

5. 부존량

칼륨은 지구상에서는 나트륨에 이어 다량으로 존재하며, 지각에 일곱 번째로 풍부한 원소이다.한다. 지각의 2.6%, 해수의 0.04%를 차지한다.

19	K

전자배치
[Ar] 4s1

녹는점	원자량
63.38	39.10
끓는점	밀도
760	0.86

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Potassium Metal	50x40x10mm	98	7440-09-7	
	K	Blocks, ~10g each,nominal size			
2	Potassium Metal	Ingot in glass	99.95	7440-09-7	
	K	(under argon)			
3	Potassium Fluoride	3-6 mm	99.95	7789-23-3	
	KF	Granules, Crystalline			

Praseodymium(프라세오디뮴)

1. 유래

프라세오디뮴의 발견 과정은 원자번호 60번 네오디뮴의 경우와 같으며, 발견 연도와 발견자도 같다. 1885년에 오스트리아의 벨스바흐(Carl Auer von Welsbach, 1858~1929)는 란타넘의 '쌍둥이 원소'라는 뜻으로 명명된 디디뮴(didymium) 에서 새로운 두 원소를 분리·발견하였는데, 그 중 하나는 염의 용액이 녹색인 것에서 '녹색 쌍둥이'이란 뜻의 그리스어 'prasisos didymium'에서 따와 프라세오디뮴(praseodymium)이라 명명하였고, 다른 하나는 '새로운 디디뮴'이란 뜻의 그리스어 'neos didymium'에서 따와 네오디뮴(neodymium)으로 명명하였다. 아울러 당사의 희토류 제조사인 Treibacher社를 설립하였다.

2. 원석 모나자이트(monazite), 희토류광(bastnäsite)

3. 기본특성

프라세오디뮴은 순수한 상태에서는 전성과 연성이 있는 은회색의 금속으로, 무르기는 하나 아연보다는 단단하다.

4. 응용분야

항공기 엔진용 고강도 마그네슘 합금, 유리 및 세라믹의 노랑 또는 녹색 착색제, 용접과 유리세공용 보안경 등.

5. 부존량

프라세오디뮴은 란타넘과 세륨(Ce)보다는 적지만, 비교적 존재량이 많은 희토류 원소의 하나이다. 지각에서의 존재비는 약 9.5ppm (0.00095%)로, 전체 원소 중 대략 39번째로 존재량이 많은데, 주석(Sn)의 약 4배나 된다.

59	Pr

전자배치
[Ne]4f3 6s2

녹는점	원자량
935	140.907
끓는점	밀도
3130	6.77

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Praseodymium Metal	3-6 mm	99.95	7440-10-0	
	Pr	Granules(under oil)	(Pr/TREM)		
2	Praseodymium Metal	≤12mm	99.9	7440-10-0	
	Pr	Pieces(under oil)	(Pr/TREM)		
3	Praseodymium Nitrate Hexahydrate	Lump	99.99	15878-77-0	
	Pr(NO3)3 6H2O	Crystalline Aggregates			
4	Praseodymium Fluoride	≤0.1 mm	99.99	13709-46-1	
	PrF3				
5	Praseodymium Fluoride	3-6mm	99.9	13709-46-1	
	PrF3	Pieces Melted			
6	Praseodymium Fluoride	3-12 mm	99.995	13709-46-1	
	PrF3	Granules			
7	Praseodymium Fluoride	3-12 mm	99.99	자료없음	자료없음
	PrF6	Granules			
8	Praseodymium Oxide	1-4 mm	99.9	12037-29-5	
	Pr6O11	Granules			
9	Praseodymium Oxide	3-12 mm	99.95	12037-29-5	
	Pr6O11	Granules			
10	Praseodymium Oxide	3-12mm	99.9	12037-29-5	
	Pr6O11	Pieces	Sintered, Green		
11	Praseodymium Oxide	3-12mm pcs	99.9	12036-32-7	
	Pr2O3	Pieces	Sintered, Green		
12	Praseodymium Silicide	≤6mm	99.9	12066-83-0	
	PrSi2	Pieces			
13	Praseodymium Titanium Oxide	8 mm dia x 5 mm th.	99.99	자료없음	자료없음
	PrTiO3	Pellets			
14	Praseodymium Oxide Alloy	~10mmDia.x5mmTh	99.9	12037-29-5	
	Pr6O11-xTiO2	Tablets(~1.8g ea.,black O2 def.)	Sintered	13463-67-7	

Rhenium(레늄)

1. 유래

원자번호 75번 원소인 레늄(rhenium)은 멘델레예프가 드비-망가니즈(dvi-maganese, 주기율표에서 망가니즈(Mn)의 두 번째 아래에 있는 원소)로 예측한 원소인데, 1925년에 독일 과학자 노다크(Walter Noddack, 1893~1960), 타케(Ida Tacke, 1896~1978: 노다크의 부인임), 베르크(Otto Berg, 1873~1939)에 의해 분리·발견되었다. 백금 광석과 컬럼바이트(columbite)에서 75번 원소를 발견하고, 원소 이름을 독일 라인(Rhine)강의 라틴 이름 'Rhenus'를 따서 레늄(rhenium)으로 명명하였다. 자연에서 가장 늦게 발견된 원소이다.

2. 원석

자체 광석은 거의 없으며, 몰리브데넘 광석과 구리 광석에 몰리브데넘을 치환하여 미량 들어 있으며, 이들 광석의 제련 과정에서 부산물로 얻는다.

3. 기본특성

원소 중에서 탄소와 텅스텐 다음으로 녹는점이 높으며, 끓는점은 가장 높고, 밀도는 4번째로 큰 은백색의 특이한 금속 원소이다. 화학 반응성이 비교적 작으나, 여러 산화상태의 화합물들이 안정하게 존재한다. 내마모성, 내부식성이다.

4. 응용분야

항공기 제트 엔진과 가스터빈용 고온 초합금, 질량분석기 필라멘트, 고온 온도 센서.전기접점. 화학 촉매. 합성 방사성동위원소들은 암 치료.

5. 부존량

지각에 약 5x10-8%의 비율로 존재하는 아주 희귀한 원소로, 연간 전세계 생산량은 약 50톤에 불과하다.

75	**Re**

전자배치
[Xe] 4f14 5d5 6s2

녹는점	원자량
3186	186.207
끓는점	**밀도**
5596	21.02

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Rhenium Metal	3-6mm	99.99	7440-15-5	
	Re	Pieces			
2	Rhenium Metal	3-6 mm	99.95	7440-15-5	
	Re	Granules (vac. sintered)			
3	Rhenium Metal	8 mm dia x 4 mm th.	99.95	7440-15-5	
	Re	Pellets			
4	Rhenium Metal	On Request	99.99	7440-15-5	
	Re	Wire			
5	Rhenium Metal	On Request	99.99	7440-15-5	
	Re	Sheet			

Rhodium(로듐)

45 **Rh**

전자배치
[Kr] 4d8 5s1

녹는점	원자량
1964	102.9055
끓는점	밀도
3695	12.41

1. 유래

로듐은 1803년에 영국의 물리학자이자 화학자인 울러스턴(William Hyde Wollaston, 1766~1828)에 의해 남미산 백금 광석에서 팔라듐과 함께 처음으로 분리·발견되었다. 울러스턴은 자신이 얻은 새로운 금속 원소 두 개 중 하나는 이의 염인 Na3RhCl6·12H2O가 아름다운 장미색을 띠었기 때문에 그리스어로 장미를 뜻하는 'rhodon'을 따서 로듐(rhodium)이라 명명하였고, 다른 하나는 원소 발견 바로 직전인 1802년에 발견된 소행성 팔라스(Pallas)를 따서 팔라듐(Palladium)이라 명명하였다.

2. 원석

로다이트(rhodite, 금과 로듐 합금), 스페릴라이트(sperrylite, 백금 비소화물), 이리도스민(iridosmine, 이리듐-오스뮴 합금)

3. 기본특성

모스 경도 6.0으로 단단하고 잘 마모되지 않는 금속이며, 은백색의 광택이 난다. 백금족 금속 중 전기가 가장 잘 통하며, 전기 전도도는 금의 약 반이다. 금과 마찬가지로 연성과 전성이 좋아서 두들겨서 두께가 100nm(10-5cm) 정도인얇은 박으로 만들 수 있다.

4. 응용분야

자동차 배기가스 정화장치의 3원촉매변환기의 촉매, 화학 반응촉매, 장식용 도금, 반사판, 전기 접점, MLCC 전극, 치아보철 및 의료재료, 내마모성, 내열성 백금 및 팔라듐 합금, 고순도 수소제조, 수소연료전지 등.

5. 부존량

전세계 연간 로듐 생산량은 약 25톤이고, 광석 매장량은 약 3000톤으로 추정된다. 남아프리카 공화국이 전체의 약 80%를 생산하며, 나머지를 러시아, 캐나다 등이 생산한다. 2011년 평균가격은 토로이 온스(31.103g) 당 미화 2030$로, 귀금속 중에서 가장 비싸게 거래되었다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Rhodium Metal	1-4 mm	99.95	7440-16-6	
	Rh	Granules			

Rubidium(루비듐)

1. 유래

루비듐은 독일 화학자 분젠(Robert Bunsen, 1811~1899)과 키르히호프(Gustav Kirchhoff, 1824~1887)에 의해 1861년에 분광법으로 처음 발견되었다. 1860년에 이들 두 사람은 가열된 원소에서 나오는 빛을 프리즘으로 분산시켜 원소의 스펙트럼을 얻는 분광기(spectroscope)를 발명하고, 얼마 후에 이를 이용하여 세슘과 루비듐을 발견하였다. 이들은 광천수에서 푸른 스펙트럼 선을 내는 새로운 원소를 발견하고는 이를 라틴어로 푸른 하늘색을 뜻하는 'caesius'를 따서 세슘(cesium 혹은 caesium)이라 명명하였다. 세슘 발견 수개월 후, 그들은 인운모(lepidolite)에서 진한 붉은색의 스펙트럼 선을 내는 또 다른 새로운 원소를 발견하고는 이를 라틴어로 진한 붉은색을 뜻하는 'rubidus'를 따서 루비듐(rubidium)이라 명명하였다

2. 원석

루비듐은 비록 지각에 제법 많이 존재하기는 하나 루비듐이 주성분인 광물은 없으며, 보통은 다른 알칼리 금속 생산의 부산물로 얻음. 루비듐은 반응성이 아주 크기 때문에 천연 상태에서는 화합물로만 존재한다.

3. 기본특성

칼로 자를 수 있을 정도로 무르며 녹는점이 낮고, 화학반응성이 아주 큰 은백색의 고체이다. 공기 중에서 쉽게 산회되고, 물과는 많은 열과 수소 기체를 내면서 격렬히 반응하고 폭발하기도 한다.

4. 응용분야

루비듐은 세슘과 물리 및 화학적 성질이 매우 비슷해서, 이 둘은 가끔 함께 또는 호환적으로 사용될 수 있음. 원자시계, 빛의 검출기, 광 스위치, 게터, 의학적 영상장치, 광섬유 통신, 야간 투시 장치, 양전자 단층촬영(PET) 등

5. 부존량

지각의 90ppm정도로 니켈, 크롬, 아연이나 구리만큼 지각에 많이 존재하여, 16~22번째로 풍부한 원소이지만, 반응성이 매우 커서 재료로 응용되는 분야가 많지 않을 뿐이다. 전세계 루비듐 생산량은 연간 약 2~4톤으로 추정된다. 생산과 사용량이 매우 적어 국제적 기준 가격이 거의 형성되어 있지않다.

37 **Rb**

전자배치
[Kr]5s1

녹는점	원자량
39.31	85.47
끓는점	**밀도**
687.85	1.53

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Rubidium Metal		99.8	7440-17-7	
	Rb	Solid Ingot	(sealed in glass)		
2	Rubidium Bromide	1-3 mm	99.9	7789-39-1	해당없음
	RbBr	Crystalline Granules			
3	Rubidium Hydroxide	3-12 mm	99.9	1310-82-3	
	RbOH-xH2O	Pieces			

Ruthenium(루테늄)

1. 유래

러시아 화학자 클라우스(Karl Klaus 또는 Carl Ernst Claus, 1796~1844)는 1844년에 러시아산 백금 광석에서 제법 많은 양의 루테늄을 분리, 자신이 얻은 새로운 원소의 이름을 자신의 모국인 러시아의 라틴어명 루테니아(Ruthenia)를 따서 루테늄(Ruthenium)이라 명명하였다.

2. 원석

니켈, 구리, 백금족 금속 광석 처리의 부산물

3. 기본특성

주기율표의 중앙에 위치하는 전이금속으로, 백금족 금속의 하나이다. 모스 경도가 6.5인 단단한 금속으로, 은백색의 광택을 낸다. 그러나 분말은 검정색을 띈다. 백금처럼 보이나 백금보다 더 단단하고 잘 부서진다. 상자기성을 띠며, 철보다 열과 전기를 더 잘 통한다. 루테늄과 몰리브데넘 합금은 초전도 성질을 보인다.

4. 응용분야

전기 접점, 하드디스크 기억 용량 향상, 백금과 팔라듐 합금제. 장식용 및 내마모성 도금. 화합물은 촉매, 광감제, 박막 칩 저항 등.

5. 부존량

루테늄은 아주 희귀한 원소이다. 지각에서의 존재 비는 대략 0.0004ppm으로 추정되는데, 이는 지구상에 존재하는 원소 중에서 존재 량이 적은 순서로 대략 6번째에 해당된다. 루테늄보다 존재량이 적은 원소는 팔라듐, 이리듐, 로듐, 오스뮴, 레늄(Re)이다.

44	**Ru**

전자배치
[Kr] 4d7 5s1

녹는점	원자량
2334	101.07
끓는점	**밀도**
4150	12.45

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Ruthenium Metal	3-6 mm	99.99	7440-18-8	
	Ru	Granules (pressure sintered)			
2	Ruthenium Metal	3-6 mm	99.95	7440-18-8	
	Ru	Granules (Melted pieces)			
3	Ruthenium Metal	3-12 mm	99.95	7440-18-8	
	Ru	Granules (Dendrite)			
4	Ruthenium Metal	5 x 5 x 3 mm (cut sq. pcs)	99.95	7440-18-8	
	Ru	Granules, (pressure sintered)			
5	Ruthenium Oxide	3-12 mm	99.95	12036-10-1	
	RuO2	Granules			

Samarium(사마륨)

62 **Sm**

전자배치
[Xe]4f66s2

녹는점	원자량
1072	150.36
끓는점	**밀도**
1900	7.52

1. 유래

프랑스 화학자 부아보드랑(Paul Emile Lecoq de Boisbaudran, 1838~1912)은 1879년에 미국 노스 캐롤라이나(North Carolina) 광산에서 채취된 사마스카이트 광석에서 얻은 디디뮴(didymium)2)의 산화물 디디미아(didymia)에서 새로운 금속 화합물을 분리하고, 여기서 나오는 스펙트럼 선의 관찰을 통해 새로운 원소인 사마륨을 발견하였다.

2. 원석

사마스카이트(Samarskite), 모나자이트(Monazite), 희토류광(Bastanasite)

3. 기본특성

사마륨은 순수한 상태에서는 은색을 띠며, 굳기와 밀도는 아연(Zn)과 비슷한데, 희토류 원소들 중에서는 가장 단단하고 가장 부서지기 쉽다. 공기 중에서는 표면이 쉽게 산화되어 노란색을 띤다. 또한 사마륨을 철을 기반으로 하는 초전도체에 첨가하면 초전도 전이온도가 56K까지 올라간다. 다른 란타넘족 금속 원소와 마찬가지로, 화학 반응성이 크다. 화합물에서 가장 흔한 산화 상태는 +3이다. 여러 +2 상태의 화합물들도 알려져 있는데, 산화물, 칼로겐화물, 할로겐화물등이 있다.

4. 응용분야

코발트 합금 영구자석, 촉매, 시약, 방사성 의약품(153Sm) 등

5. 부존량

사마륨은 란타넘족 원소 중에서 세륨(Ce), 네오디뮴(Nd), 란타넘(La), 프라세오디뮴(Pr) 다음으로 지각에 많은 양이 존재한다. 지각에서의 존재비는 약 8ppm(0.0008%)으로, 대략 40번째로 풍부한 원소이다. 사마륨의 전세계 연간 생산량은 산화사마륨(III)(Sm2O3)으로 환산해서 약 700톤이며, 매장량은 약 200만 톤으로 추정된다. 다른 희토류 원소들과 마찬가지로, 중국에서 약 95%가 생산된다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Samarium Metal	1-3 mm	99.95	7440-19-9	
	Sm	Granules, distilled			
2	Samarium Metal	3-6 mm	99.95	7440-19-9	
	Sm	Granules, distilled			
3	Samarium Metal	≤12mm	99.9	7440-19-9	
	Sm	Pieces	(Sm/TREM)		
4	Samarium Metal	>50x50x0.5mm	99.9	7440-19-9	
	Sm	Foil			
5	Samarium Fluoride	3-6mm	99.9	13765-24-7	
	SmF3	Pieces (melted)			
6	Samarium Oxide	3-12 mm	99.99	12060-58-1	해당없음
	Sm2O3	Granules			

Scandium(스칸듐)

1. 유래

1879년에 스웨덴에서 광물 분석에 종사했던 닐손에 의해 처음 발견·확인되었다. 그는 육세나이트(euxenite) 광석에서 이 원소를 발견하였는데, 이 새로운 원소의 이름을 자신의 조국이 속한 지역이면서 또한 해당 광물이 있는 스칸디나비아(Scandinavia)에서 따서 스칸듐(scandium)으로 제안하였다. 닐손이 얻은 것은 순수한 금속 스칸듐이 아니고 스칸듐의 산화물이다. 금속 스칸듐은 1937년에 ScCl3, KCl, LiCl의 공융 혼합물(함께 녹는 혼합물, eutectic mixture) 을 700~800℃에서 전기분해시켜 처음으로 얻었으며, 제법 많은 양의 순수한 금속 스칸듐의 생산은 1960년에야 이루어졌다.

2. 원석

토르트바이타이트(thortveitite), 콜벡카이트(kolbeckite). 800여종 광물에 산재.

3. 기본특성

비교적 무르고 가벼운 금속(밀도, 2.986 g/cm3)으로 은백색을 띄고, 부식이 잘 되지 않으며 녹는점이 높은 경량 금속 재료이다. 가끔 희토류 원소의 하나로 분류된다.

4. 응용분야

항공기 부품, 운동 기구 등의 알루미늄합금, 레이저, 강한 백색광을 내는 방전램프, 루이스산 촉매.

5. 부존량

지각에서 약 25ppm(0.0025%) 농도로 존재하는데, 이는 코발트(Co)의 존재량과 비슷하다. 대부분의 희토류 광석과 우라늄 및 텅스텐 광석에 소량 들어있는데, 연간 생산량은 Sc2O3로 따져서 약 2톤에 불과하다.

21	Sc

전자배치
[Ar]3d14s2

녹는점	원자량
1541	44.956
끓는점	밀도
2836	2.98

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Scandium Metal	2-50 mm	99.999(Sc/TREM)	7440-20-2	
	Sc	Pieces	Distilled)		
2	Scandium Metal	3-12 mm	99.99(Sc/TREM)	7440-20-2	
	Sc	Pieces	Vac.Melted		
3	Scandium Metal	≤12mm	99.9	7440-20-2	
	Sc	Pieces	Distilled (no Ta)		
4	Scandium Fluoride	3-12mm	99.9	13709-47-2	
	ScF3	Pieces	Sintered		
5	Scandium Fluoride	10 mm dia x 10 mm th.	99.99	13709-47-2	
	ScF3	Pellets			
6	Scandium Oxide	1-4 mm	99.999	12060-08-1	
	Sc2O3	Granules			
7	Scandium Oxide	3-10 mm	99.998	12060-08-1	
	Sc2O3	Granules			
8	Scandium Oxide	3-12mm	99.99	12060-08-1	
	Sc2O3	Pieces	Sintered		

Selenium(셀레늄)

1. 유래

셀레늄은 1817년에 스웨덴 화학자 베르셀리우스(Jöns Jakob Berzelius, 1779~1848)와 간(Johan Gottlieb Gahn, 1745~1818)에 의해 처음으로 분리·발견되었다. 지구와 달이 같이 움직이듯이, 이전에 발견된 텔루륨(원소명은 라틴어에서 지구를 뜻하는 'tellus'에서 따옴)과 셀레늄이 보통 함께 산출되므로, 셀레늄은 그리스 신화의 달의 여신 'selene'을 따서 셀레늄(Selenium)이라 지어졌다.

2. 원석

구리 광석을 제련하는 과정에서 부산물로 생성되며, 황철석 등의 황화물 광석에서도 산출됨.

3. 기본특성

주기율표에서 산소(O), 황(S), 텔루륨(Te), 폴로늄(Po)과 함께 16족(6A족)인 산소족에 속하며, 칼코겐 원소의 하나이다. 구조가 다른 여러 동소체가 있으나, 가장 안정한 것은 회색의 '금속' 셀레늄이다. 셀레늄은 과량으로는 독성을 나타내나, 많은 동·식물에 필수적인 미량 무기 영양소이다. 세계보건기구(WHO)와 유엔식량농업기구(FAO)는 1978년에 Se를 필수 영양소로 인정하였다.

4. 응용분야

반도체의 재료로서 중요하며, 레이저 프린터와 복사기의 필수 재료. 광도계, 광전지, 광디스크에도 사용됨. 유리제조산업에서 유리 착색제 및 유리 탈색제로 이용되며 화학물질과 안료 제조에도 셀레늄이 많이 사용된다.

5. 부존량

지구상에 널리 분포하지만 그 양은 극히 적다.

34	Se

전자배치
[Ar] 3d104s24p4

녹는점	원자량
221	78.971
끓는점	**밀도**
685	4.81

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Selenium	3mm	99.999	7782-49-2	
	Se	Shots			
2	Selenium	3mm	99.999	7782-49-2	
	Se	Half round			
3	Selenium	10-25 mm	99.99	7782-49-2	
	Se	Flakes			

Silicon(규소, 실리콘)

1. 유래

1824년 스웨덴의 화학자 옌스 J. 베르셀리우스가 플루오린화규소를 금속칼륨으로 환원시켜서 홑원소로 분리. 스코틀랜드 화학자 토마스 톰슨이 라틴어로 규조토 분말을 의미하는 라틴어 silex로 부터 실리콘(silicon)이란 이름을 제안하였다.

2. 원석

자연계에는 유리상태로 산출되지 않고, 산화물·규산염 등으로 존재. 암석권의 주요 구성 성분.

3. 기본특성

밀도는 2.336g/cm3로 탄소족 원소 중에서는 가장 작다. 전기 저항은 순도에 따라 크게 다르고 온도가 높을수록 작아지는데, 실온에서의 비저항은 저마늄(Ge)과 비슷한 약 1000Ω·cm이다. 이는 다이아몬드의 1/1012 정도에 불과하나, 주석과 납에 비해서는 약 108 배가 큰 전형적인 반도체 성질을 보인다. 규소 단결정은 기계적 힘을 주면 전기 저항이 상당히 변하는데, 이는 압전효과에 의한 것이다.

4. 응용분야

반도체용 고순도 단결정재료. 유기규소화합물(Silicone : 규소-산소, 규소-탄소 화합물), 환원제·탈산제·합금 첨가원소로서 금속재료 부문에서 대량으로 사용됨. 철,알루미늄, 아연, 마그네슘과의 합금. 규소수소화물(Silane)

5. 부존량

산소에 이어 제2위로 많아 27.6%를 차지한다.

14	Si

전자배치
[Ne] 3s23p2

녹는점	원자량
1414	28.09
끓는점	밀도
3265	2.33

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Silicon	3-6 mm	99.999	7440-21-3	
	Si	Pieces			
2	Silicon	3-20mm	99.999	7440-21-3	
	Si	Chunks			
3	Silicon/Aluminum	10mmDia x 10mmTh	99.999	Si : 7440-21-3	
	SiAl	Pellets		Al : 7429-90-5	
4	Silicon Carbide	0.1-3mm	99.5	409-21-2	
	SiC	Granules			
5	Silicon Chloride		99.999	10026-04-7	
	SiCl4	liquid			
6	Silicon Monoxide	1-3mm	99.95	10097-28-6	해당없음
	SiO	Pieces			
7	Silicon Monoxide	3-6mm	99.95	10097-28-6	해당없음
	SiO	Pieces			
8	Silicon Dioxide	1-3mm	99.99	14808-60-7	
	SiO2	Granules			
9	Silicon Dioxide	3-6mm	99.99	14808-60-7	
	SiO2	Pieces			
10	Silicon Dioxide	5-12mm	99.99	14808-60-7	
	SiO2	Pieces			
11	Silicon Dioxide	10mmDia x 10 mmTh	99.995	14808-60-7	
	SiO2	Discs			
12	Silicon Dioxide	20mmDia x 8mmTh	99.99	14808-60-7	
	SiO2	Tablets			
13	Silicon Dioxide	On request	99.99	14808-60-7	
	SiO2	Ring			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
14	Silicon Nitride	1-4 mm	99.5	12033-89-5	
	Si3N4	Pieces			
15	Silicon Nitride	3-6 mm	99.9	12033-89-5	
	Si3N4	Granules			
16	Silicon Sulfide	Sublimed	99.5	13759-10-9	
	SiS2	(Fibrous clumps)			
17	Silicon Dioxide Alloy	1-3mm	99.99	SiO2 : 14808-60-7	
	SiO2/Al2O3	Granules	0.1wt$ or at%~	Al2O3 : 1344-28-1	
18	Silicon Dioxide Alloy	3-6 mm	99.99	SiO2 : 14808-60-7	
	SiO2/TiO2	Granules	10wt% or at%~	TiO2 : 13463-67-7	

Silver(은)

47

Ag

전자배치
[Kr]5s1 4d10

녹는점	원자량
961	107.87
끓는점	밀도
2162	10.5

1. 유래

은은 구리나 금처럼 천연에서 원소 상태로도 존재하여, 고대부터 널리 사용되어온 금속이다. 은의 영어 이름 'silver'는 앵글로-색슨어 'seolfor'에서 유래되었다. 그리고 원소기호 Ag는 은을 뜻하는 라틴어 'argentum'에서 나왔는데, 이 말은 그리스어로 '빛나는' 또는 '흰색'을 의미하는 'argos'에서 유래되었다.

2. 원석

가장 흔한 은 광석은 휘은석(輝銀石, argentite, Ag2S), 각은광(角銀鑛, cerargyrite 또는 'horn silver', AgCl), 담홍은석(淡紅銀石, proustite, Ag3AsS3), 농홍은석(農紅銀石, pyrargyrite, Ag3SbS3)이다. 바닷물에는 약 0.01ppm 농도로 녹아있는 것으로 추정된다. 은은 상업적으로는 주로 납-아연 광석, 구리 광석, 금 광석에서 이들 금속을 제련할 때 부산물로 얻어진다.

3. 기본특성

은은 흰색 광택이 나는 무른 금속으로 연성과 전성이 아주 우수하다. 그러나 금보다는 더 단단하고, 연성과 전성이 약간 작다. 실온에서 순수한 은은 모든 금속 중에서 전기전도도가 가장 높은데, 이는 금의 약 1.5배, 구리의 1.05배이다. 은은 또한 금속 중에서 열전도도가 가장 높은데, 비금속까지를 포함하면 다이아몬드와 초유동체인 He-II 다음으로 열전도도가 높다. 은은 또한 가시광선의 반사율이 80% 이상으로 매우 높은데, 파장이 500nm 이하인 가시광선은 알루미늄이 보다 잘 반사하고, 600nm 이상의 빛은 금이 보다 잘 반사한다. 반면에, 은은 자외선은 잘 반사하지 않는다. 결정은 면심입방구조(fcc)를 하며, 반자기성을 갖는다.

4. 응용분야

은은 전통적으로는 화폐(은화 및 은 합금 주화) 및 메달, 장신구와 식기, 사진 등에 사용되었으나 오늘날에는 산업적으로 보다 많은 양이 사용되는데, 전자제품이나 회로의 도체와 전기접점, 치아의 충치 충전용 아말감, 전지, 땜납(납이 포함되지 않을 수도 있다), 화학 반응 촉매, 도금, 물의 정제, 베어링의 경화제, 잉크, 거울과 광학기기의 반사판 등 아주 다양한 용도로 사용된다. 또 섬유, 목제, 상처 치료용 붕대 등의 항균처리에도 사용되며, 휴대폰 케이스에서 박테리아 번식을 줄이기 위해 사용되기도 한다.

5. 부존량

은은 지각에서의 존재비가 약 0.1ppm(1x10-5%)으로, 비교적 희귀한 원소이다. 은 광석으로 산출되기도 하지만, 보통 다른 금속 광석에 함께 들어있다. 2011년의 연간 총 생산량은 23,800톤으로 추정되며, 멕시코, 페루, 중국이 주요 생산국이다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Silver Metal	1-4 mm	99.9999	7440-22-4	해당없음
	Ag	shots			
2	Silver Metal	3mm shot	99.99	7440-22-4	해당없음
	Ag		(vac.dep.grade)		
3	Silver Metal	3 mm dia x 3 mm th.	99.999	7440-22-4	해당없음
	Ag	Pellets			
4	Silver Metal	3 mm dia x 10 mm th.	99.99	7440-22-4	해당없음
	Ag	Pellets			
5	Silver Alloy	1-4 mm	99.99	7440-22-4	해당없음
	AgAl(95:5wt%)	Granules		7429-90-5	
6	Silver Alloy	3-6 mm	99.0	7440-22-4	
	Ag/Ca(90:10 wt%)	Granules		7440-70-2	
7	Silver Alloy	3-6 mm	99.0	7440-22-4	
	Ag/Ca(80:20 wt%)	Granules		7440-70-2	
8	Silver Alloy	3-6 mm	99.0	7440-22-4	
	Ag/Ca(50:50wt%)	Granules		7440-70-2	
9	Silver Alloy	3-6 mm	99.99	7440-22-4	
	AgCr(95/5wt%)	Granules		7440-47-3	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
10	Silver Alloy AgCu(90:10wt%)	3-6 mm Granules	99.99	7440-22-4 7440-50-8	
11	Silver Alloy AgNi (99.45/0.55 wt%)	3-6 mm Granules	99.99	7440-22-4 7440-02-0	
12	Silver Alloy AgRe (30/70wt%)	3-6 mm Granules	99.99	7440-22-4 7440-15-5	
13	Silver Alloy AgRu (99.6/0.4w%)	3-6 mm Granules	99.99	7440-22-4 7440-18-8	
14	Silver Alloy AgSe (90/10 wt%)	3-6 mm Pieces	99.99	7440-22-4 7782-49-2	
15	Silver Epoxy EPOXY 	bonding cement&catalyst (instructions included with material)	(40g for 3"dia. 100g for 6"dia. 140g for 8"dia.)	7440-22-4	
16	Silver Fluoride AgF	3-6 mm Flakes	99.99	7775-41-9	
17	Silver Fluoride AgF	flakes	99.5	7775-41-9	
18	Silver Gallium Selenide AgGaSe2	3-6 mm Granules	99.999	1302-09-6 12024-11-2	
19	Silver Gallium Telluride AgGaTe2	3-6 mm Granules	99.999	12002-99-2 12024-14-5	
20	Silver Indium Selenide AgInSe2	3-6 mm Granules	99.999	1302-09-6 12056-07-4	
21	Silver Indium Sulfide AgInS2	3-6 mm Granules	99.999	21548-73-2 12030-24-9	
22	Silver Indium Telluride AgInTe2	3-6 mm Granules	99.999	12002-99-2 12030-19-2	
23	Silver Sulfide Ag2S	15-50 mm Granules, chunks	99.999	21548-73-2	
24	Silver Sulfide Ag2S	3-6 mm Granules	99.999	21548-73-2	
25	Silver Titanium Selenide AgTiSe2	-325 mesh	99.999	1302-09-6 12067-45-7	
26	Silver Titanium Selenide AgTiSe2	3-6 mm Granules	99.999	1302-09-6 12067-45-7	
27	Silver Titanium Telluride AgTiTe2	3-6 mm Granules	99.999	12002-99-2 12067-75-3	자료없음

Sodium(나트륨)

1. 유래

1807년 영국의 데이비(H. Davy, 1778~1829)에 의해 처음으로 원소 상태로 분리됨. 용융된 수산화소듐을 전기분해시켜 이 원소를 분리하고, 중세 유럽에서 두통 치료제로 사용되었던 라틴어로 'sodanum'을 따서 소듐(sodium)이라 명명하였다. 소듐의 다른 이름 나트륨(Natrium)과 원소기호 Na는 1814년에 베르셀리우스(J. J. Berzelius, 1779~1848)가 제안하여 만들어졌다. 그는 탄산소듐이 주성분인 천연 광석의 고대 이집트 이름인 natron의 라틴어 이름 natrium을 원소 이름으로 채택하고, 이의 처음 두 글자 Na를 원소기호로 하였다.

2. 원석

소금을 암모니아 등과 반응시키는 솔베이법으로 Na2CO3형태로 생산되고, 나머지는 트로나(trona, Na3H(CO3)2·2H2O)라는 천연 광물에서 얻음.

3. 기본특성

칼로 자를 수 있을 정도로 무르고, 은백색이며, 반응성이 아주 크다. 소듐은 공기 중의 산소와 빠르게 반응하여 산화물을 만들며, 물과는 격렬히 폭발적으로 반응한다. 반응성이 크기 때문에 액체 탄화수소(예로 석유)와 같은 비산화성 물질에 담아 보관한다.

4. 응용분야

금속 소듐은 환원제, 합금제, 고속증식로 냉각제, 전등 등. 화합물은 화공약품, 유리 제조, 식품 보존 및 제조, 동물 사료 첨가제 등으로 널리 사용. Na 이온은 생체 내 항상성 유지에 관여.

5. 부존량

지각에 2.3%, 해수에 1.1%, 암석에 있는 암염, 소금호수물의 염호에도 존재한다.

11	Na

전자배치
[Ne]3s1

녹는점	원자량
97.79	22.989
끓는점	밀도
883	0.968

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Sodium Metal	3-12mm	99.95	7440-23-5	
	Na	Pieces(in oil)			
2	Sodium Aluminum Fluoride	1-4mm	99.5	13775-53-6	
	Na3AlF6 (Cryolite)	Pieces	Melted		
3	Sodium Aluminum Fluoride	3-6 mm	99.95	13775-53-6	
	Na3AlF6 (Cryolite)	Pieces			
4	Sodium Aluminum Fluoride	Pieces	Melted	13775-53-6	
	Na3AlF6 (Cryolite)	Pieces(melted)	(vac.dep.grade)		
5	Sodium Aluminum Fluoride	10 mm dia x 8 mm th +/_ 1 mm	99.995	13775-53-6	
	Na3AlF6 (Cryolite)	Pellets			
6	Sodium Aluminum Fluoride	3-6 mm	99.95	12068-55-2	자료없음
	Na5Al3F14	Granules			
7	Sodium Aluminum Fluoride	10 mm dia x 10 mm	99.995	12068-55-2	자료없음
	Na5Al3F14	Pellets			
8	Sodium Fluoride	0.1-1 mm	99.95	7681-49-4	
	NaF	Granules			
9	Sodium Fluoride	3-6mm	99.9	7681-49-4	
	NaF	Pieces	Melted		
10	Sodium Fluoride	3-12 mm	99.99	7681-49-4	
	NaF	Granules			

Strontium(스트론튬)

38 **Sr**

전자배치
[Kr]5s2

녹는점	원자량
777	87.62
끓는점	밀도
1382	2.54

1. 유래

1790년 영국의 의사이면서 화학자인 크로퍼드(Adair Crawford, 1748~1795)는 스코틀랜드의 스트론티안(Strontian) 마을 인근의 납 광산에서 채취한 한 광석이 다른 광석과는 다른 성질을 보이는 것을 알아내고는 여기에 새로운 원소가 있을 것으로 결론지었다. 다음 해에 호프(Thomas Charles Hope, 1766~1844)가 이 광석의 불꽃이 칼슘의 주홍색이나 바륨의 황록색과는 달리 붉은색을낸다는사실로부터 크로퍼드의 새로운 원소 발견을 확인하였다. 그는 1793년에 이 새로운 광물을 채취한 마을의 이름을 따서 스트론티아나이트(strontianite)로, 그리고 이를 구워 얻은 산화물(SrO)을 스트론타이츠(strontites)라 명명하고, 스트론타이츠의 여러 성질들을 조사하여 발표하였다. 원소 자체는 데이비(Humphry Davy, 1778~1829)가 1808년에 염화 스트론튬(SrCl2)과 산화 수은(II)(HgO)의 혼합물을 전기분해시켜 얻었다. 그는 다른 알칼리 토금속 원소들의 이름과 보조를 맞추기 위해 이 새로운 원소 이름을 스트론튬(strontium)으로 정하였다.

2. 원석

스트론튬이 들어있는 주된 광석은 천청석(celestite, SrSO4)과 스트론티아나이트(strontianite, SrCO3)이며, 이들은 주로 퇴적 광상에 들어있다. 스트론튬은 금속 자체의 용도가 많지 않아, 주로 화합물 형태로 얻는다. 두 광석 중 매장량이 월등히 많은 천청석이 주로 사용되는데, 천청석에 들어있는 황산 스트론튬(SrSO4)을 그 상태로 얻어내는 것이 아주 어려워 광석에 있는 SrSO4를 SrCO3로 전환시켜 분리·정제한다.

3. 기본특성

많은 사람들은 원자번호 38번 원소인 스트론튬에 대해 '위험한 방사성 원소'라고 생각할 것이다. 그러나 천연 상태의 스트론튬은 방사성 원소가 아니며, 칼슘보다 반응성이 크기는 하나 크게 위험하지 않다. 스트론튬은 칼슘보다 무르며, 순수한 상태에서는 은백색을 띠나, 공기에 노출되면 표면에 얇은 산화물(SrO) 피막이 형성되어 노란색을 띤다. α-Sr, β-Sr, β'-Sr(Sr-II)의 3가지 동소체가 알려져 있으며, 전이 온도는 각각 235oC와 540oC이다. 결정은 면심입방구조(fcc)를 갖는다.

4. 응용분야

금속 스트론튬 자체는 진공관에 극미량 남아있는 공기를 제거하는 게터(getter)로 소량 사용되는 등, 일부 용도가 있기는 하나, 대부분은 화합물로 사용된다. 스트론튬이 진하고 밝은 붉은색 불꽃을 내기 때문에, 질산 스트론튬(Sr(NO3)2), SrCO3, SrSO4 등 여러 스트론튬 화합물들이 불꽃 놀이는 물론 야간 조명탄과 신호탄으로 이용된다. 페라이트 세라믹 자석 제조에도 쓰이며, 이외에 전기분해 방법에 의한 아연 생산, 안료와 충진제, 스트론튬 모합금(master alloy) 제조, 기타 용도에 사용된다.

5. 부존량

지각에서의 존재 비는 약 370ppm(0.037%)로, 15번째로 풍부한 원소인데, 존재 비는 황(S)이나 바륨(Ba)과 비슷하다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Strontium	1-12mm	99.9	7440-24-6	
	Sr	Pieces	Packed in oil		
2	Strontium copper oxide (SCO)	3-6 mm	99.9	1314-11-0	
	SrCu2O2	Granules		1317-39-1	
3	Strontium fluoride	3-6mm pcs	99.9	7783-48-4	해당없음
	SrF2	(melted)	(vac.dep.grade,Ba<500ppm)		
4	Strontium fluoride (DFM)	3-12 mm	99.99	7783-48-4	해당없음
	SrF2	Pieces			
5	Strontium fluoride (DFM)	8-10 mm	99.99	7783-48-4	해당없음
	SrF2	Pieces/pellets			
6	Strontium silicide	6mm pcs and smaller	99.5	12138-28-2	자료없음
	SrSi2		(Ba<0.7%)		

Sulfur(황)

1. 유래

고대로부터 유황으로 알려져 왔으며 황을 태워 그 연기로 소독하는 데 사용되었다고 한다. 그 후 의약과 화약으로 널리 이용되어 왔다. 영어의 sulfur 또는 sulphur는 산스크리트의 '불의 근원'을 뜻하는 Sulvere로부터 유래된 라틴어 Sulphurium이 어원이다.

2. 원석

19세기 말 까지는 주로 화산지역에서 존재하는 원소 상태의 황을 직접 채취. 20세기 전반에는 황 광상에 포함된 황을 뜨거운 수증기와 압축공기로 녹여 추출해내는 후라쉬(Frasch) 공정을 사용. 현재 생산되는 황의 대부분은 천연가스와 원유를 탈황시켜 얻는다.

3. 기본특성

칼코겐(chalcogen)의 일종이다. 실온의 공기 중에서는 비교적 안정하나, 반응성이 제법 큰 비금속 원소로서, 비활성 원소, 질소(N), 텔루륨(Te), 아이오딘(I), 이리듐(Ir), 백금(Pt), 금(Au) 등을 제외한 거의 모든 원소들과 직접 반응한다. 모든 황 동소체들은 아주 우수한 전기 절연체이고, 열 전도도가 낮다.

4. 응용분야

생산된 황의 약 92%는 황산으로 전환되어 비료, 기초 화학 약품, 납 축전지 등에 사용됨. 또한 황과 황 화합물들은 화학, 고무, 제지, 섬유, 금속, 식품 등 다양한 산업에서 중요하게 사용 됨. 비료의 주성분이며, 그밖에 화약, 성냥, 살충제, 살균제 등에도 쓰인다

5. 부존량

각 암석의 약 0.034%를 구성하는 지구에서 16번째로 풍부한 원소이다.

16	S

전자배치
[Ne] 3s2 3p4

녹는점	원자량
115.21	32.065
끓는점	**밀도**
444.6	2.702

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Sulfur	≤6mm	99.999	7704-34-9	
	S	Granules			

Tantalum(탄탈럼)

1. 유래

1802년에 스웨덴 화학자 에케베리(Anders Gustaf Ekeberg: 1767~1813)에 의해 발견되었으며, 이 산화물이 산과 반응(산을 흡수)하지 않으므로, 지옥의 물속에 들어있으면서도 물을 마시지 못하는 그리스 신화의 탄탈루스(Tantalus)를 연상하여 이를 이루는 금속원소를 탄탈럼(tantalum)이라 명명하였다.

2. 원석

탄탈라이트(tantalite), 컬럼바이트(columbite), 콜탄(coltan) 등의 광석에 나이오븀(Nb)과 함께 들어있다.

3. 기본특성

원자 및 이온의 크기와 화학적 성질들이 나이오븀과 아주 비슷하다. 광택이 나는 은회색을 띠고 밀도가 높으며, 순수한 금속은 무르고 연성이 좋다. 그러나 불순물이 들어가면 단단해지고 부서지기 쉬워진다. 녹는점이 3020℃로 모든 원소 중에서 5번째로 높으며, 열과 전기를 잘 통한다. 산화물 보호피막이 만들어져 내부식성이 아주 크고 대부분의 화학물질에 의해서도 잘 부식되지 않는다. 특히 산에 의해 침식되지 않는데, 150℃이하에서는 왕수(王水, aqua regia)에도 녹지 않는다.

4. 응용분야

탄탈럼 전해 콘덴서, 고출력 저항, 초합금(제트 엔진 부품, 원자로, 미사일부품, 인공 뼈, 수술 기구 및 임플란트, 화학 기구와 장치 등에 쓰임). 탄화탄탈럼(TaC)은 절삭 공구와 다이스제작에 사용. 한편, 산화물은 굴절율이 커서 카메라 렌즈 유리를 만드는데 사용된다.

5. 부존량

탄탈럼은 지각 무게의 약 1.7ppm(0.00017%)를 차지하는, 대략 50번째로 풍부한 원소.텅스텐(W)보다 약간 흔하고, 비소(As)보다 약간 덜 흔하며, 대부분의 희토류 원소들보다 희귀함

73	Ta

전자배치
[Xe]4f145d36s2

녹는점	원자량
3017	180.947
끓는점	밀도
5458	16.69

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Tantalum Metal	3 mm dia x 3 mm	99.95	7440-25-7	
	Ta	Pellets			
2	Tantalum Metal	3-12 mm	99.95	7440-25-7	
	Ta	Turnings			
3	Tantalum Metal	6mm dia.x6mm	99.95	7440-25-7	
	Ta	Pellets	Melted		
4	Tantalum Metal	>0.25mmDia.	99.95	7440-25-7	
	Ta	Wire(Annealed)			
5	Tantalum Metal	>0.1mmTh.	99.95	7440-25-7	
	Ta	Sheet(Annealed)			
6	Tantalum Carbide	3-12 mm	99.5	12070-06-3	
	TaC	Granules			
7	Tantalum Nitride	3-6 mm	99.95	12033-62-4	해당없음
	TaN	Granules			
8	Tantalum Nitride	5 x 5 x 5 mm	99.5	12033-62-4	해당없음
	TaN	Granules			
9	Tantalum Oxide	1-4 mm	99.995	1314-61-0	해당없음
	Ta2O5	Granules, creamy white			
10	Tantalum Oxide	1-4 mm	99.99	1314-61-0	해당없음
	Ta2O5	Granules, creamy white			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
11	Tantalum Oxide Ta2O5	1-4 mm Granules, dark gray	99.95	1314-61-0	해당없음
12	Tantalum Oxide Ta2O5	3-12mm Pieces(sintered)	99.95 (vac.dep.grade)	1314-61-0	해당없음
13	Tantalum Oxide Ta2O5	5 mm dia x 5 mm th. Pellets	99.995	1314-61-0	해당없음
14	Tantalum Oxide Ta2O5	8 mm dia x 5 mm th. Pellets	99.995	1314-61-0	해당없음
15	Tantalum Oxide Ta2O5	tablets(~8-9mm dia.x4-5mm th, ~3g each,sintered)	99.95 (vac.dep.grade)	1314-61-0	해당없음
16	Tantalum Oxide Ta2O5	10 mm dia x 10 mm th. Pellets	99.995	1314-61-0	해당없음
17	Tantalum Oxide Ta2O5	18mm dia x 12 mm th. Pellets	99.995	1314-61-0	해당없음
18	Tantalum Titanium oxide Ta2O5/TiO2	3-6mm Granules	99.99	1314-61-0 13463-67-7	

Tellurium(텔루륨)

1. 유래

텔루륨은 1782년에 트란실바니아(Transylvania, 현재의 북서부 루마니아)에서 헝가리 화학자 뮐러(Franz Joseph Müller von Reichenstein, 1740~1825 또는 1826)에 의해 발견되었다.

뮐러는 수년 후에 이 새로운 원소(텔루륨)의 시료를 독일 화학자 클라프로트(Martin Heinrich Klaproth, 1743~1817)에게 보냈으며, 그는 1798년에 이 원소 이름을 라틴어로 지구를 뜻하는 'tellus'를 따서 텔루륨(tellurium)으로 지었다.

2. 원석

대개 금이나 다른 금속과의 화합물로 발견되며, 주로 구리나 납 생산의 부산물로 얻는다. 구리 광석 1000톤을 처리하면 약 1kg의 텔루륨이 얻어지는데, 전세계 연간 생산량은 약 200톤에 불과하다.

3. 기본특성

주기율표에서 산소(O), 황(S), 셀레늄(Se), 폴로늄(Po)과 함께 16족(VIA족)인 산소족에 속하며, 칼코겐 원소의 하나이고, 금속과 비금속의 중간 성질을 보이는 준금속이다.

은회색의 금속성 광택을 띠며 겉보기는 주석과 비슷하고, 비교적 무르며 가루로 부서지기 쉽다. 열을 잘 통하지 않고, 전기는 약간 통한다.

텔루륨은 지구에서는 희귀하나 우주 전체에서는 지구에서보다 훨씬 흔하게 존재한다.

4. 응용분야

텔루륨은 특수 합금 제조에 주로 쓰이며, 화합물은 반도체와 전자 산업의 소재, 유리 착색제, 섬유 생산의 촉매, 고무 경화제 등 다양한 용도로 중요하게 사용된다. 텔루륨이 사용되는 전자 소자는 태양 전지판, 열전 발전 및 냉각 소자, 적외선 및 X-선 검출기, 반복해서 기록할 수 있는 광 디스크 등이다.

5. 부존량

지각에서의 존재비는 약 0.002ppm로, 존재량이 대략 73번째인 원소인데, 이는 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt)보다 희귀한 것이다.

52	Te

전자배치
[Kr]4d105s25p4

녹는점	원자량
449.51	127.6
끓는점	**밀도**
988	6.24

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Tellurium Te	1-3mm Pieces	99.999	13494-80-9	
2	Tellurium Te	1-4 mm Pieces	99.99	13494-80-9	
3	Tellurium Te	1-6mm Pieces	99.9999	13494-80-9	
4	Tellurium Te	3-12 mm Pieces	99.999	13494-80-9	
5	Tellurium Oxide TeO2	3-6 mm Granules	99.99	7446-07-3	
6	Tellurium Oxide TeO2	3-6 mm Granules	99.9	7446-07-3	

Terbium(터븀)

65 **Tb**

전자배치
[Xe]4f96s2

녹는점	원자량
1356	158.92
끓는점	밀도
3123	8.23

1. 유래

터븀은 1843년에 스웨덴 화학자 모산데르(Carl Gustaf Mosander, 1797~1858)에 의해 이트리아(yttria, 산화이트륨)에서 원자번호 68번 원소인 어븀과 함께 발견되었다. 터븀은 스웨덴의 스톡홀름 부근의 마을 이름 이테르비(Ytterby)를 따서 이름이 지어진 4가지 원소 중의 하나인데, 나머지 3 가지 원소는 이트륨(yttrium, Y), 어븀(에르븀, erbium, Er), 이터븀(이테르븀, ytterbium, Yb)이다. 이들 원소들은 모두 이테르비 마을의 채석장에서 발견된 광석 가돌리나이트(gadolinite)에서 분리된 이트리아(yttria)에서 발견되었다.

2. 원석

희토류 원소들과 마찬가지로 주로 모나자이트와 희토류광에서 얻는데, 이들 광석의 터븀 함량은 각각 0.03%와 0.02% 정도이다.

3. 기본특성

전성과 연성이 큰 은백색 금속으로, 칼로 자를 수 있을 정도로 무르다. 화학반응성이 아주 큰 편은 아니며, 다른 란타넘족 원소에 비해서는 공기 중에서 비교적 안정하다.

4. 응용분야

터븀의 주된 용도는 형광체이며, 이외에 연료전지, 자기 변형 합금, 네오디뮴 자석 합금제, 광-전자 재료 등에 사용된다. Tb3+ 화합물은 여러 생물 분자들의 형광 표지제로도 사용되며, 유로화 지폐의 위조 방지용 형광 인쇄에도 사용된다. 또한 연료전지에도 사용되며, 하이브리드 자동차나 풍력 발전에 사용되는 네오디뮴 자석에도 디스프로슘(Dy)과 함께 합금제로 첨가되기도 한다.

5. 부존량

지각에서의 존재비가 약 0.9ppm(0.00009%)으로, 란타넘족 원소 중에서 프로메튬(Pm), 툴륨(Tm), 루테튬(Lu) 다음으로 존재량이 적은 금속. 그래도 존재량 만으로만 보면, 은(Ag), 수은(Hg), 금(Au), 백금(Pt)보다는 월등히 많고 몰리브데넘(Mo)이나 텅스텐(W)과 비슷하다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Terbium Metal	1-4mm	99.95	7440-27-9	
	Tb	Granules			
2	Terbium Metal	2-12mm	99.95	7440-27-9	
	Tb	Granules			
3	Terbium Metal	≤12mm	99.9	7440-27-9	
	Tb	Pieces	(TREM>99.9, TB/TREO, Ta≤0.5% incl.) (REO basis)		
4	Terbium Fluoride	3-6 mm	99.995	13708-63-9	
	TbF3	Granules	TbF3/TREO		
5	Terbium Fluoride	3-12mm	99.9	13708-63-9	
	TbF3	Pieces	Melted		
6	Terbium Iodide		99.9	13813-40-6	
	TbI3	Flakes			
7	Terbium Oxide	3-12mm	99.9	12037-01-3	
	Tb4O7	Pieces	Sintered		
8	Terbium Silicide	≤6mm	99.9	12039-80-4	자료없음
	TbSi2	Pieces	(Ta≤0.5%)		

Thallium(탈륨)

81

Tl

전자배치
[Xe] 4f145d106s26p1

녹는점	원자량
304	204.38
끓는점	밀도
1473	11.85

1. 유래

1861년에, 영국 물리학자 크룩스 경(Sir William Crookes, 1832~1919)에 의해 황산 제조 공장에서 나오는 찌꺼기(연실잔사, 鉛室殘渣)에서 밝은 초록색 스펙트럼 선을 내는 원소로 처음 발견되었다. 그리스어로 '초록색 작은 가지'를 뜻하는 'thallos'를 따서 원소 이름이 지어졌다.

2. 원석

탈륨 광석으로는 크룩사이트(crookesite, TlCu7Se4), 로란다이트(lorandite, TlAsS2), 허친소나이트(hutchinsonite, (Tl,Pb)2As5S9) 등이 있으나, 이들은 희귀하다. 탈륨은 또한 해저 망가니즈 단괴에도 들어 있으며, 구리, 아연, 납 등의 중금속 황화물 광석에도 미량 들어 있다. 상업적으로는 구리, 아연, 납 제련의 부산물로 주로 얻으며, 황철광(pyrite, FeS2)에서 황산을 생산할 때 부산물로 얻기도 한다.

3. 기본특성

탈륨은 주기율표에서 바로 앞뒤에 있는 수은이나 납보다, 그리고 카드뮴보다도 독성이 큰 원소이다.

4. 응용분야

셀레늄(Se) 정류기의 반도체 물질, 감마선 검출기, 적외선 검출 및 투과 장비, 음향-광학 측정 장비의 빛 굴절용 필터 등에 사용되며, 유리의 굴절율과 밀도를 높이는데도 사용되고, 화학 촉매로도 사용된다. 한편, 탈륨의 수은과의 합금은 저온 온도계와 전기 스위치에 사용된다. 또한 방사성 동위원소 201Tl는 심장 질환을 진단하는 방사선 영상 촬영에 요긴하게 사용된다. 탈륨을 포함하는 고온 초전도체 물질은 앞으로 다양한 분야에 이용되리라 기대되고 있다.

5. 부존량

탈륨은 지각에 약 0.6ppm(6x10-5%)의 비율로 존재하며, 대략 59번째로 풍부한 원소이다. 대부분의 흙과 화강암에서 포타슘을 주체로 하는 광물과 함께 들어있는데, 경제성이 없어 여기서 탈륨을 얻지는 않는다.

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Thallium Metal	0.5mmDia.x100mmL.	99.999	7440-28-0	
	Tl	Ingot			

Thorium(토륨)

1. 유래

토륨은 스웨덴 화학자 베르셀리우스가 1828년에 발견하였다. 그는 1815년에 스웨덴의 파렌(Falun) 지역에서 새로운 광석을 발견하였는데, 그는 여기서 새로운 원소를 발견하였다고 결론짓고 이 원소 이름을 스칸디나비아 신화에 나오는 전쟁과 천둥의 신 토르(Thor)의 이름을 따서 토륨(thorium)으로 지었다.

2. 원석

대표적인 희토류 광석인 모나자이트에서 희토류 생산의 부산물로 주로 ThO2로 얻는데, 금속은 ThO2의 칼슘 환원

3. 기본특성

토륨은 모든 동위원소들이 방사성 붕괴를 하는 방사성 원소로, 납과 비슷하게 무르고 은백색을 띠는 금속이다. 악티늄족 원소 중에서는 녹는점과 끓는점이 가장 높으며 모든 원소 중에서 액체로 존재하는 온도 범위가 가장 넓다. 자연에 존재하는 토륨은 거의 모두가 232Th이다. 이 동위원소는 반감기(t1/2)가 140.5억년으로 매우 길어 태양계가 형성될 때 생성된 것이 아직도 지구 상에 존재한다.

4. 응용분야

토륨과 토륨 화합물은 가스등 맨틀, 항공기용 고온 합금제, 특수 광학 유리 재료, 화학 반응 촉매, 전극 재료 첨가제, 치약 성분, X-선 진단용 조영제 등으로 다양하게 사용최근에는 자연 방사능 성질에 따른 위험 때문에 이들 사용이 크게 줄어든 반면, 새로운 유형의 원자력 발전 연료로 많이 주목 받고 있다.

5. 부존량

토륨은 지각에 약 12ppm(1.2x10-3%)의 농도로 들어있는 대략 37번째로 풍부한 원소로, 존재량이 납과 비슷하고 우라늄보다는 4배가 많다.

90	Th

전자배치
[Rn]6d27s2

녹는점	원자량
1750	232.0377
끓는점	**밀도**
4790	11.72

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Thorium fluoride	1.7-3mm	99.99	13709-59-6	자료없음
	ThF4	Pieces(Melted)	(premium grade,for high energy lasers)		
2	Thorium fluoride	3-6mm	99.99	13709-59-6	자료없음
	ThF4	Pieces(Melted)	(premium grade,for high energy lasers)		
3	Thorium nitrate		99.8	13823-29-5	해당없음
	Th(NO3)4-xH2O	Granules			

Thulium(툴륨)

1. 유래

1879년에 스웨덴의 클레베(Cleve)가 이트리아(이트륨 산화물)에 포함된 불순물에서 홀뮴(Ho)과 함께 분리·발견한 원소. 스웨덴이 속한 스칸디나비아(Scandinavia)를 가리키는 옛 이름 툴레(Thule)를 따서 원소 이름이 지어짐. 한편, 스칸디나비아의 현재 이름을 딴 원소, 스칸듐(Sc)도 있는데, 툴륨과 스칸듐은 공교롭게도 같은 해에 같은 광석에서, 그러나 각각 다른 스웨덴 화학자에 의해 발견되었다.

2. 원석

가돌리나이트(gadolinite), 육세나이트(euxenite), 제노타임(xenotime), 모나자이트(monazite) 등의 희토류 광석에 조금씩 들어있는데, 대표적인 희토류 광석인 모나자이트에는 약 0.007%, 그리고 희토류광(bastnäsite)에는 이보다도 훨씬 적은 약 0.0008%의 비율로 들어있음

3. 기본특성

광택이 나는 은회색 금속으로, 칼로 자를 수 있을 정도로 무르고 연성과 전성이 있음

4. 응용분야

의료용 레이저, 휴대형 X-선 발생원, 유로화 지폐의 위조 방지용 푸른색 형광체 등으로 주로 쓰이며, 앞으로 차세대 광섬유 증폭기와 전자 재료 등으로도 요긴하게 사용되리라 예상된다.

5. 부존량

지각에서의 존재비는 약 0.5ppm(0.00005%)이며, 대략 61번째로 존재량이 많은 원소. 희토류 원소 중에서 자연에는 거의 존재하지 않는 프로메튬(Pm)을 제외하고는, 루테튬(Lu)과 함께 가장 희귀하고 값이 비싸다. 그러나 은(Ag)보다는 약 5배, 금보다는 약 200배나 많이 존재한다.

69	**Tm**

전자배치
[Xe]4f136s2

녹는점	원자량
1545	168.93
끓는점	**밀도**
1950	9.32

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Thulium metal	3-6 mm	99.95	7440-30-4	
	Tm	Granules			
2	Thulium metal	≤12mm	99.9	7440-30-4	
	Tm	Pieces	(Tm/TREM)		
			(TREM>99.9, Ta≤1% incl.)		
3	Thulium fluoride	3-6 mm	99.99	13760-79-7	
	TmF3	Pieces	(REO)		
4	Thulium fluoride	3-12mm	99.9	13760-79-7	
	TmF3	Pieces(sintered)	(vac.dep.grade)		
5	Thulium oxide	3-12mm	99.9	12036-44-1	
	Tm2O3	Pieces(sintered)	(vac.dep.grade)		
6	Thulium oxide	5mmDiax5mmTh	99.95	12036-44-1	
	Tm2O3	Pellets			

Tin(주석)

1. 유래

정확한 어원은 알려지지 않았으나, 에트루리아(Etruscan, 고대 이탈리아 문명) 신화에 나오는 신 'Tinia'에서 유래되었다는 설이 있다. 원소 기호 Sn은 주석의 라틴어 이름 'stannum'에서 따왔는데, 'stannum'은 처음에는 은과 납의 합금을 의미하였는데, 기원전 4세기경부터 주석을 가리키게 되었다.

2. 원석

주석석(cassiterite, SnO2)

3. 기본특성

은백색의 결정성 금속으로, 전성과 연성이 매우 좋다. 실온에서는 물이나 공기와 반응하지 않으나, 수증기와는 반응하여 수소 기체와 이산화주석(SnO2)이 되며, 가열하면 공기나 산소와도 반응하여 SnO2가 된다.

4. 응용분야

주석은 판유리 제조에도 사용되며, 주석 화합물들이 도자기의 유백제와 유리의 착색제로 널리 사용된다. 강철에 주석을 도금한 양철은 지붕재료, 난로의 연통, 각종 생활 용구, 식품 보존용 통을 만드는데 사용된다. 평판 TV나 컴퓨터 모니터에 사용되는 액정표시기(LCD)의 투명 전극도 주석 산화물과 인듐 산화물을 유리 위에 입혀 만든다.

5. 부존량

존재량이 대략 49번째인 비교적 희귀한 원소

50	Sn

전자배치
[Kr]4d105s25p2

녹는점	원자량
231.9	118.71
끓는점	**밀도**
2602	7.265

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Tin Metal	1-3mm	99.99999	7440-31-5	
	Sn	Pieces			
2	Tin Metal	1-3mm	99.999	7440-31-5	
	Sn	Pieces			
3	Tin Metal	1-3mm	99.99	7440-31-5	
	Sn	Shots			
4	Tin Metal	3mm	99.9999	7440-31-5	
	Sn	Shots			
5	Tin Metal	3mm	99.99	7440-31-5	
	Sn	Shots			
6	Tin Metal	10mm x 10mm x 1mmTh	99.99	7440-31-5	
	Sn	Chips			
7	Tin Metal	On request	99.99	7440-31-5	
	Sn	Sheet			
8	Tin Metal	On request	99.9	7440-31-5	
	Sn	Wire			
9	Tin Alloy	3-6 mm	99.99	Sn:7440-31-5	
	Sn/Ag(96.5/3.5wt%)	Granules		Ag:7440-22-4	
10	Tin Antimonide	6mm and smaller	99.999	28980-49-6	자료없음
	SnSb	Pieces			
11	Tin Oxid Alloy	3-6 mm	99.9	18282-10-5 1309-64-4	
	SnO2/Sb2O3	Granules			
12	Tin Arsenide	6mm pcs and smaller	99.999	39332-13-3	
	SnAs (X-ray may show Sn4As3)				
13	Tin Bromide	solid ingot in glass	99.999	7789-67-5	
	SnBr4	(m.p.31℃,b.p.202℃)			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
14	Tin Bromide SnBr4	solid ingot in glass (m.p.31℃,b.p.202℃)	99.5	7789-67-5	
15	Tin Oxide (Stannous, dark gray to black) SnO	3-12 mm Granules	99.95	21651-19-4	
16	Tin Oxide (Stannic, white to light blue) SnO2	0.5-1 mm (-20 mesh) Granules (Powder)	99.95	18282-10-5	자료없음
17	Tin Oxide (Stannic, white to light blue) SnO2	3-12 mm Granules	99.995	18282-10-5	자료없음
18	Tin Oxide (Stannic, white to light blue) SnO2	3-12 mm Granules	99.9	18282-10-5	자료없음
19	Tin Oxide SnO2	3-12mm Pieces	99.9 Sintered	18282-10-5	자료없음
20	Tin Selenide SnSe	1-6 mms Granules	99.99	1315-06-6	
21	Tin Selenide SnSe	3-12mm Pieces	99.999	1315-06-6	
22	Tin Selenide SnSe2	3-6 mm Granules	99.999	1315-06-6	
23	Tin Sulfide SnS	1-6 mm Granules	99.999	1314-95-0	
24	Tin Sulfide SnS	3-12 mm Granules	99.99	1314-95-0	
25	Tin Sulfide SnS2	3-12 mm Granules	99.99	1315-01-1	
26	Tin Telluride SnTe	1-6 mm Granules	99.999	12040-02-7	
27	Tin telluride SnTe	3-12mm Granules	99.99	12040-02-7	

Titanium(티타늄)

1. 유래

타이타늄은 티탄 또는 티타늄이라고도 불리는데1), 원소 이름은 1795년에 클라프로트가 그리스 신화에 등장하는 거대하고 강력한 신의 종족인 타이탄(titans)에서 따서 지었다.

2. 원석

금홍석(rutile, TiO2)

3. 기본특성

아주 단단하며, 가볍고, 녹는점이 높으며, 내부식성이 아주 큰 금속이다. 같은 강도로 강철보다 43%나 가볍고, 합금은 알루미늄 합금에 비해 2배나 강하다.

4. 응용분야

철, 알루미늄, 망가니즈, 구리 등 여러금속과의 합금(항공기, 미사일, 우주선, 화학 장치, 해양 장치, 의료 및 운동기구 등에 사용). TiO2는 흰색 안료와 광촉매

5. 부존량

지각 무게의 0.63%를 차지하는 9번째 풍부한 원소

22	Ti

전자배치
[Ar]3d24s2

녹는점	원자량
1668	47.867
끓는점	밀도
3287	4.506

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Titanium Metal	0.80-12.7mm	99.8	7440-32-6	
	Ti	Sponge			
2	Titanium Metal	3mm dia.x 3mm	99.995	7440-32-6	
	Ti	Pellets	Melted		
3	Titanium Metal	3 mm dia x 3 mm th.	99.95	7440-32-6	
	Ti	Pellets			
4	Titanium Metal	3mm dia.x 3mm	99.8	7440-32-6	
	Ti	Pellets	Melted		
5	Titanium Metal	6mm dia.x 6mm	99.995	7440-32-6	
	Ti	Pellets	Melted		
6	Titanium Metal	6 mm dia x 6 mm th.	99.95	7440-32-6	
	Ti	Pellets			
7	Titanium Metal	6mm dia.x 6mm	99.8	7440-32-6	
	Ti	Pellets	Melted		
8	Titanium Metal	On request	99.95	7440-32-6	
	Ti	Sheet			
9	Titanium Metal	On request	99.8	7440-32-6	
	Ti	Wire			
10	Titanium Aluminide	6mm pcs and smaller	99.5	39410-63-4	
	Ti3Al				
11	Titanium Aluminide	6mm pcs and smaller	99.5	12004-78-3	
	TiAl3				
12	Titanium Nitride	1-4 mm	99.5	25583-20-4	해당없음
	TiN	Granules			
13	Titanium Nitride	3-6 mm	99.5	25583-20-4	해당없음
	TiN	Granules			
14	Titanium Nitride	25 x 25 x 2 mm th	99.5	25583-20-4	해당없음
	TiN	Chips			
15	Titanium Oxide	~8-9mm dia.x6-7mmth.	99.9	12137-20-1	해당없음
	TiO	Tablets(~1.2g ea.)	Vac.Sintered, Golden color		
16	Titanium Monoxide	10 mm dia x 5 mm th.	99.95	12137-20-1	해당없음
	TiO	Pellets	Golden color		
17	Titanium Monoxide	16 mm dia x 16 mm th.	99.99	12137-20-1	해당없음
	TiO	Pellets	Golden color		

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
18	Titanium Monoxide	18 mm dia x 12 mm th.	99.95	12137-20-1	해당없음
	TiO	Pellets	Golden color		
19	Titanium Oxide	1-4 mm	99.95	13463-67-7	
	TiOx	Granules			
20	Titanium Oxide	3-6 mm	99.95	13463-67-7	
	TiO2		Anatase, White		
21	Titanium Oxide	3-6mm pcs	99.9	13463-67-7	
	TiO2(rutile form)		Sintered,, White		
22	Titanium Oxide	3-12 mm	99.95	13463-67-7	
	TiO2	Granules, rutile, black			
23	Titanium Oxide	9 mm dia x 6 mm th.	99.99	13463-67-7	
	TiO2	Pellets			
24	Titanium Oxide	~10-12mm dia.x4-5mmTh.	99.9	13463-67-7	
	TiO2(rutile form)	Tablets(~1.6g ea). O2 def.	Vac.Sinterd, Black		
25	Titanium Oxide	~10-12mm dia.x4-5mmTh.	99.9	13463-67-7	
	TiO2(rutile form)	Tablets(~1.6g ea).	Vac.Sinterd, sl.tan color		
26	Titanium Oxide	18 mm dia x 12 mm th.	99.99	13463-67-7	
	TiO2	Pellets			
27	Titanium Oxide	1-4 mm	99.99	1344-54-3	
	Ti2O3	Granules			
28	Titanium Oxide	~8-9mm dia.x6-7mmth.	99.9	1344-54-3	
	Ti2O3	Tablets(~1.2g ea.)	Sintered, Violet		
29	Titanium Oxide	9 mm dia x 6 mm th.	99.99	1344-54-3	
	Ti2O3	Pellets			
30	Titanium Oxide	0.5-2 mm	99.9	12065-65-5	
	Ti3O5	Granules			
31	Titanium Oxide	1-4mm pcs	99.9	12065-65-5	
	Ti3O5				
32	Titanium Oxide	<4 mm	99.99	12065-65-5	
	Ti3O5	Granules			
33	Titanium Oxide	9 mm dia x 7 mm th.	99.99	12065-65-5	
	Ti3O5	Pellets			
34	Titanium Oxide	~8-9mm dia.x7-9mmth.	99.9	12065-65-5	
	Ti3O5	Tablets(~1.2g ea.)	Vac.Sintered, Black		
35	Titanium Oxide	1-4 mm	99.99	107372-98-5	
	Ti4O7	Granules			

Tungsten(텅스텐)

74

W

전자배치
[Xe]4f145d46s2

녹는점	원자량
3422	183.84
끓는점	밀도
5550	19.25

1. 유래

1783년에 스페인의 엘야아르 형제에 의해 철망가니즈중석에서 산성 산화물을 얻고이 텅스텐산을 탄소로 환원시켜 처음으로 금속 텅스텐을 분리해냄. 텅스텐은 회중석을 일컫는 스웨덴어 무거운(tung) 돌(sten)에서 따왔고, 원소 기호 W는 철망가니즈중석에서 따온 텅스텐의 또 다른 이름 볼프람(wolfram)에서 나왔다.

2. 원석

회중석(scheelite, CaWO4), 철망가니즈중석(wolframite, (Fe,Mn)WO4) 등

3. 기본특성

대부분의 강철보다도 단단하나, 연성과 전성이 있고 여러 모양으로 가공할 수 있다. 불순물이 첨가되면 더욱 단단해지나 부서지기 쉽게 된다. 녹는점은 금속 원소 중에서는 가장 높으며, 모든 원소 중에서는 탄소다음으로 높다. 화학적으로 텅스텐은 비교적 반응성이 없는 금속으로, 실온에서는 산소, 산, 알칼리와 잘 반응하지 않으나, 400oC이상에서는 공기 중에서 산화된다. 습한 공기 중에서 산화되고, 고온에서는 물과 반응하여 산화물이 된다.

4. 응용분야

텅스텐의 50%이상은 탄화텅스텐으로 만들어 내마모성 연마제, 절단기, 칼, 각종 공작 기계, 석유 시추와 광산 및 토건용 착암기의 비트(bit) 등에 사용, 그 외 전기·전자, 기계, 공구, 무기 등의 재료, 장신구와 위조 금, 안료나 촉매 등으로 사용

5. 부존량

지각 1.3ppm

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Tungsten Metal	1-3mm	99.95	7440-33-7	
	W	Pieces(crushed ingot)	Crystalline		
2	Tungsten Metal	3-6mm	99.95	7440-33-7	
	W	Granules			
3	Tungsten Metal	3mmDia. x 6mmL.	99.95	7440-33-7	
	W	Pellets			
4	Tungsten Metal	5mm x 5mm x 1mm	99.95	7440-33-7	
	W	Pieces			
5	Tungsten Metal	6mmDia. x 6mmL.	99.95	7440-33-7	
	W	Pellets			
6	Tungsten Metal	12mmDia.x6mmL.	99.95	7440-33-7	
	W	Pellets(sintered)			
7	Tungsten Metal	On request	99.95	7440-33-7	
	W	Sheet			
8	Tungsten Metal	On request	99.95	7440-33-7	
	W	Wire			
9	Tungsten Alloy	6 x 6 x 6mm	99.95	W:7440-33-7	
	W/Ti(90/10wt%)	Chips		Ti:7440-32-6	
10	Tungsten Alloy	3-6mm	99.99	W:7440-33-7	
	W/Ti(90/10wt%)	Granules		Ti:7440-32-6	
11	Tungsten Alloy	3-12mm	99.9	W:7440-33-7	
	W/Ti(90/10wt%)	Pieces	Sintered	Ti:7440-32-6	
12	Tungsten Carbide	3-12mm	99.5	12070-12-1	
	WC	Granules			
13	Tungsten Oxide	1-4mm	99.98	1314-35-8	
	WO3	Granules			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
14	Tungsten Oxide	3-6mm	99.95	1314-35-8	
	WO3	Granules			
15	Tungsten Oxide	3-12mm	99.99	1314-35-8	
	WO3	Pieces	(Sintered,Yellow-green)		
16	Tungsten Oxide Alloy	10mmDia. x 10mmL.	99.95	WO3:1314-35-8	
	WO3/MoO3	Pellets		MoO31313-27-5	
17	Tungsten Oxide Alloy	3-6mm	99.9	WO3:1314-35-8	
	WO3/V2O5	Pieces		V2O5:1314-62-1	

Vanadium(바나듐)

23

V

전자배치
[Ar]3d34s2

녹는점	원자량
1910	50.941
끓는점	밀도
3410	6.11

1. 유래

1801년에 스페인 태생의 멕시코 광물학자 델리오(Andres M. del Rio, 1764~1849)에 의해 처음 발견. 바나듐 화합물들이 여러 밝은 색을 띠면서 아름다웠기 때문에 스칸디나비아의 미의 여신인 바나디스(Vanadis)의 이름을 따서 바나듐(vanadium)으로 명명하였다.

2. 원석

자철석(magnetite) 광석 등

3. 기본특성

은회색의 전이금속으로, 단단하나 연성(잡아 늘이기 쉬운 성질)과 전성(펴 늘일 수 있는 성질)이 있다. 원소 자체는 반응성이 커서 자연상태에서는 화합물로만 존재한다. 산화물 보호 피막을 만들기 때문에 공기 중에서 실온에서는 잘 산화되지 않으나, 가열하면 산화된다. 내부식성이 좋고 알칼리, 황산, 염산에 대해서도 안정하다. 녹는점과 끓는점이 높으며, 밀도는 철의 78% 정도이다. 이온이나 화합물들은 산화 상태에 따라 여러 가지 색깔을 띤다.

4. 응용분야

강철 합금(공구, 스프링, 제트 엔진등). V2O5는 황산제조 촉매 및 매염제.일부 해양 생물 효소 보조인자.화합물은 대체로 독성

5. 부존량

지각 약 0.02%

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Vanadium Metal	3-6 mm	99.9	7440-62-2	
	V	Granules			
2	Vanadium Metal	3-12mm	99.9	7440-62-2	
	V	Granules			
3	Vanadium Metal	<6mm	99.95	7440-62-2	
	V	Granules			
4	Vanadium Metal	3mmDia. x 27mmL	99.95	7440-62-2	
	V	Pellets			
5	Vanadium Metal	3mmDia. x 27mmL	99.5	7440-62-2	
	V	Pellets			
6	Vanadium Metal	turnings	99.7	7440-62-2	
	V				
7	Vanadium Carbide	3-12mm	99.5	12070-10-9	
	VC	Granules			
8	Vanadium Nitride	3-12mm	99.5	24646-85-3	
	VN	Granules			
9	Vanadium Oxide	3-15mm	99.95	1314-62-1	
	V2O5	Granules			
10	Vanadium Oxide	3-15mm	99.5	1314-62-1	
	V2O5	Granules			
11	Vanadyl Sulfate	crystalline lumps	99.9	27774-13-6	
	VOSO4xH2O(V=~18.5%)				

Ytterbium(이터븀)

1. 유래

1843년에 스웨덴 화학자 모산데르(Carl Gustaf Mosander, 1797~1858)에 의해 터비아(terbia, 터븀산화물)와 함께 분리·발견되어 이테르비 마을 이름을 따서 이테르비아(ytterbia)로 그리고 이를 이루는 금속 원소를 이터븀(ytterbium)이라 명명하였다.

2. 원석

모나자이트(monazite), 제노타임(xenotime), 육세나이트(euxenite)

3. 기본특성

엷은 노란색을 띠는 밝은 은색 광택이 나는 금속으로, 무르고 전성과 연성이 있다. 희토류 원소들 중에서 비교적 반응성이 크며, 공기 중에서 비교적 빠르게 산화되어 금속 광택이 흐려진다.

4. 응용분야

고출력 레이저, 강철 합금제, 휴대형X-선 방출원, 광섬유 증폭기, 화학 촉매 등

5. 부존량

지각에서 약 3ppm(0.0003%)으로 대략 43번째로 많은 원소이다.

70	Yb

전자배치
[Xe]4f146s2

녹는점	원자량
824	173.045
끓는점	**밀도**
1196	6.90

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Ytterbium metal Yb	1-4mm Granules(Distilled)	99.99 (Yb/TREM)	7440-64-4	
2	Ytterbium metal Yb	3-12mm Granules(Distilled)	99.99 (Yb/TREM)	7440-64-4	
3	Ytterbium metal Yb	12mm Pieces	99.9 (Yb/TREM)	7440-64-4	
4	Ytterbium fluoride YbF3	3-12mm Granules	99.995	13760-80-0	
5	Ytterbium fluoride YbF3	3-12mm Granules	99.99	13760-80-0	
6	Ytterbium fluoride YbF3	3-12mm Pieces	99.9 Melted	13760-80-0	
7	Ytterbium oxide Yb2O3	3-12mm GranulesC25	99.995	1314-37-0	해당없음
8	Ytterbium oxide Yb2O3	3-12mm Granules	99.98	1314-37-0	해당없음
9	Ytterbium oxide Yb2O3	3-12mm Pieces	99.9 Sintered	1314-37-0	해당없음
10	Ytterbium silicide YbSi2	6mm Pieces	99.9 (Ta<0.4%)	12039-89-3	자료없음

Yttrium(이트륨)

1. 유래

1788년 스웨덴의 스톡홀름 근교의 이테르비에서 발견된 광석으로부터 1794년에 핀란드의 J. 가돌린이 새로운 원소의 산화물을 추출하고 이것을 산지의 이름을 따서 이테르비아라고 명명하였다.

2. 원석

모나자이트(monazite), 제노타임(xenotime), 가돌리나이트(gadolinite)

3. 기본특성

은백색 전이 금속으로 전성과 연성이 거의 없다. 공기 중에서 덩어리로는 산화물(Y2O3) 보호피막을 만들어 비교적 안정하나, 고운 가루 상태에서는 쉽게 반응하고 높은 온도에서는 불이 붙을 수 있다.

4. 응용분야

금속 합금제. 화합물은 컬러 음극관적색 형광체, 고온 초전도체, 전자파필터, 합성 가넷, 레이저, 에틸렌 중합촉매 등

5. 부존량

지각에서의 존재 비는 약 31ppm(0.0031%)으로 대략 28번째로 풍부한 원소이다.

39	Y

전자배치
[Kr]4d15s2

녹는점	원자량
1526	88.90584
끓는점	밀도
2930	4.47

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Yttrium Metal	3-12mm	99.95	7440-65-5	
	Y	Granules	Distilled		
2	Yttrium Metal	6-12mm	99.99	7440-65-5	
	Y	Granules			
3	Yttrium Metal	12mm	99.9	7440-65-5	
	Y	Pieces	(all rare earths <0.1% total,Ta<1% typ.)		
4	Yttrium Aluminum Oxide	3-12mm	99.99	12005-21-9	해당없음
	Y3Al5O12(YAG)	Pieces	Melted		
6	Yttrium Chloride Hydrate	Lump	99.9	10025-94-2	해당없음
	YCl3-xH2O (x~6)	Wet Crystalline Aggregates			
7	Yttrium Fluoride-IR	3-6mm	99.995	13709-49-4	
	YF3	Granules			
8	Yttrium Fluoride	3-6mm	99.99	13709-49-4	
	YF3	Granules			
9	Yttrium Fluoride	3-12mm	99.9	13709-49-4	
	YF3	Pieces	Melted		
10	Yttrium Fluoride-IR	8-10mm	99.995	13709-49-4	
	YF3	Pieces			
11	Yttrium Fluoride-VUV	~10mmDia x ~10mmTh	99.998	13709-49-4	
	YF3	Pellets			
12	Yttrium Iodide		99.9	13470-38-7	
	YI3	Flakes			
13	Yttrium Nitride	10mmDia x 10mmTh	99.5	25764-13-0	자료없음
	YN	Pellets			
14	Yttrium Oxide	1-4mm	99.99	1314-36-9	
	Y2O3	Granules			
15	Yttrium Oxide	3-12mm	99.9	1314-36-9	
	Y2O3	Pieces	Sintered		
16	Yttrium Oxide	8-9mmDia x 4-5mmTh	99.9	1314-36-9	
	Y2O3	Tablets	Sintered		
17	Yttrium Oxide	10mmDia x 10mmTh	99.99	1314-36-9	
	Y2O3	Pellets			

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
18	Yttrium Oxide Scandium Oxide	1-10mm	99.95	1314-36-9	
	YScO3	Granules		12060-08-1	
19	Yttrium Silicide	6mm	99.9	12067-55-9	
	YSi2	Pieces	(Ta<0.7%)		
20	Yttrium Dititanate	10mmDia x 10mmTh	99.9	81030-20-8	
	Y2Ti2O7	Pellets			
21	Yttrium Fluoride Alloy	3-6mm	99.9	YF3:13709-49-4	
	YF3/BaF2(90/10wt%)	Pieces		BaF2:7787-32-8	
22	Yttrium Fluoride Alloy	1-3mm	99.9	YF3:13709-49-4	
	YF3/CaF2(95/5wt%)	Pieces		CaF2:7789-75-5	

Zinc(아연)

1. 유래

17세기경 인도에서 처음으로 금속아연이 만들어졌으며 중국을 거쳐 유럽에 전해졌다. 1746년 독일의 화학자 안드레아스 마그라프에 의해서 발견되었으며 아연(zinc)이란 이름은 독일어 zinke에서 유래하였다.

2. 원석

지각 속에 널리 분포하며 주요 광석은 섬아연석(ZnS)·능아연석·홍아연석 등이 있다.

3. 기본특성

청색이 도는 은백색 금속으로 상온에서는 부서지기 쉽다. 하지만 100℃-150℃에서는 전성(展性)·연성(延性)이 증가하여 철사나 얇은 판으로 만들 수 있다

공기 중에서의 내식성(耐蝕性)은 순도가 높을수록 좋다. 공기 속에서 고온으로 가열하면 녹색을 띤 백색광을 내면서 불타 산화물(ZnO)이 된다. 적열(赤熱) 상태에서는 물을 분해하여 수소를 발생시킨다.

4. 응용분야

아연도금철판(함석)으로 가장 많이 사용. 아연과 구리의 합금을 놋쇠(황동)라 하며 다이캐스팅합금·베어링합금·양은 등의 합금재료로 사용. 순수한 금속은 건전지·지붕널 등으로 사용한다.

5. 부존량

지각 76ppm

30 **Zn**

전자배치
[Ar] 3d104s2

녹는점	원자량
419.5	65.38
끓는점	**밀도**
907	7.13

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Zinc Metal Zn	1-3mm Pieces	99.9999	7440-66-6	해당없음
2	Zinc Metal Zn	1-3mm Pieces	99.999	7440-66-6	해당없음
3	Zinc Metal Zn	1-4 mm Granules	99.995	7440-66-6	해당없음
4	Zinc Metal Zn	1-5mm 1-4 mm	99.99	7440-66-6	해당없음
5	Zinc Metal Zn	5 mm dia x 1 mm th. Pellets	99.999	7440-66-6	해당없음
6	Zinc Metal Zn	5 mm dia x 1 mm th. Pellets	99.995	7440-66-6	해당없음
7	Zinc Metal Zn	On request Sheet	99.999	7440-66-6	해당없음
8	Zinc Metal Zn	On request Wire	99.995	7440-66-6	해당없음
9	Zinc Antimonide ZnSb(98:2)	3-6 mm Granules	99.999	12039-35-9	
10	Zinc Antimonide ZnSb	<6mm Pieces	99.5	12039-35-9	
11	Zinc Arsenide ZnAs2	3-6 mm Granules	99.999	12044-55-2	
12	Zinc Arsenide ZnAs2	<6mm Pieces	99.9999 (electronic doping grade)	12044-55-2	
13	Zinc Arsenide Zn3As2	3-6 mm Granules	99.99	12006-40-5	
14	Zinc Arsenide Zn3As2	<6mm Pieces	99.9999 (electronic doping grade)	12006-40-5	

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
15	Zinc Arsenide	<6mm	99.999	12006-40-5	
	Zn3As2	Pieces	(electronic doping grade)		
16	Zinc Manganese Telluride	3-6 mm	99.999		자료없음
	ZnMnTe	Granules			
17	Zinc Oxide	1-4 mm	99.995	1314-13-2	
	ZnO	Granules			
18	Zinc Oxide	3-12 mm	99.995	1314-13-2	
	ZnO	Granules			
19	Zinc Oxide	12 mm dia x 5 mm	99.99	1314-13-2	
	ZnO	Pellets			
20	Zinc Oxide	10 mm dia x 5 mm	99.99	1314-13-2	
	ZnO	Pellets			
21	Zinc Oxide	~10-12,mm dia.x4-5mmth.	99.9	1314-13-2	
	ZnO	Tablets (~2.3g ea.)	Sintered		
22	Zinc Oxide-Aluminium, AZO (98:2)	3-6 mm	99.995	37275-76-6	
	ZnO-Al	Granules			
23	Zinc Oxide-Alumina, AZO (98:2)	1-4 mm	99.995	37275-76-6	
	ZnO-Al2O3	Granules			
24	Zinc Oxide-Alumina, AZO (98:2)	3-6 mm	99.995	37275-76-6	
	ZnO-Al2O3	Granules			
25	Zinc Alloy	3-6 mm	99.99	Zn:7440-66-6	
	ZnPd(50:50wt%)	Granules		Pd:7440-05-3	
26	Zinc Phosphide	~3mm and smaller	99.9	1314-84-7	
	Zn3P2	Agglomerates	(electronic doping grade)		
27	Zinc Phosphide	3-6 mm	99.999	1314-84-7	
	Zn3P2	Granules			
28	Zinc Selenide	1-3mm pcs	99.999	1315-09-9	
	ZnSe		(CVD grade)		
29	Zinc Selenide	3-6 mm	99.9999	1315-09-9	
	ZnSe	Granules			
30	Zinc Selenide	3-6mm pcs	99.999	1315-09-9	
	ZnSe		(CVD grade)		
31	Zinc Selenide	6-12 mm	99.9999	1315-09-9	
	ZnSe	Granules			
32	Zinc Sulfide	10mm x 5mm	99.99	1314-98-3	
	ZnS	Pellets	Sintered		
33	Zinc Sulfide	8 mm x 8 mm x 8 mm th	99.99%	1314-98-3	
	ZnS	Cubes			
34	Zinc Sulfide	3-12mm	99.99	1314-98-3	
	ZnS	Pieces	(CVD grade)		
35	Zinc Sulfide	1-3mm	99.99	1314-98-3	
	ZnS	Pieces	(CVD grade)		
36	Zinc Sulfide	3-12mm	99.9	1314-98-3	
	ZnS	Pieces	Sintered		
37	Zinc Sulfide-Silicon dioxide (50:50)	1-4 mm	99.99	Zinc:1314-98-3	
	ZnS-SiO2	Granules		SiO2:14808-60-7	
38	Zinc Telluride	3-12mm	99.999	1315-11-3	자료없음
	ZnTe	Pieces	Melted		
39	Zinc Telluride	3-12 mm	99.99	1315-11-3	자료없음
	ZnTe	Granules			

Zirconium(지르코늄)

1. 유래

티타늄을 발견한 마르틴 클라프로트가 지르코늄 또한 발견했다. 1789년에 클라프로트는 지르콘 광석을 조사하여 알려지지 않은 금속 산화물을 얻어냈다. 지르콘에서 얻었으므로 그는 이 산화물을 '지르코니아'라 부르고, 금속 원소를 지르코늄이라고 명명하였다.

2. 원석

지르콘 $ZrSiO_4$, 바데라이트 ZrO_2 등이며, 이밖에 타이타늄·토륨·희토류원소 등의 광물 속에 부성분으로서 함유되어 있고, 화성암 속에도 널리 분포

3. 기본특성

주기율표 제4족에 속하는 금속원소. 천연에 풍부하고 공업적으로는 크롤법에 의해 제조하며 내식성이 매우 좋기 때문에 원자로의 재료로서 많이 이용한다.

4. 응용분야

합금(원자로 핵연료 피복제와 구조물, 화학공업 장치 등). ZrO_2는 내화물, 우주 항공 부품, 유사 다이아몬드, 세라믹 칼, 인공 치아 등

5. 부존량

지각 160ppm

40	Zr

전자배치
[Kr] 4d2 5s2

녹는점	원자량
1855	91.22
끓는점	**밀도**
4409	6.49

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
1	Zirconium Metal Zr	0.5 mm dia x 100 cm Wire	99.95	7440-67-7	
2	Zirconium Metal Zr	1-3mm Pieces	99.8 (Hf<200ppm)	7440-67-7	
3	Zirconium Metal Zr	1-4 mm Pieces	99.9 (Hf<0.5%)	7440-67-7	
4	Zirconium Metal Zr	3 mm dia x 3 mm th. Pellets	99.9 (excl.Hf, Hf<1.5%)	7440-67-7	
5	Zirconium Metal Zr	3mm dia.x3mm Pellets	99.8 Melted	7440-67-7	
6	Zirconium Metal Zr	3-6mm Pieces	99.8 (Hf<200ppm)	7440-67-7	
7	Zirconium Metal Zr	3-10mm Pieces	99.95 (excl.Hf, Hf<2%)	7440-67-7	
8	Zirconium Metal Zr	6 mm dia x 6 mm th. Pellets	99.9 (excl.Hf, Hf<0.3%)	7440-67-7	
9	Zirconium Metal Zr	3-6 mm Pieces	99.5 (excl.Hf, Hf<2%)	7440-67-7	
10	Zirconium Metal Zr	3-8 mm Pieces	99.5 (excl.Hf, Hf<2%)	7440-67-7	
11	Zirconium Metal Zr	On request Sheet	99.5 (excl.Hf, Hf<2%)	7440-67-7	
12	Zirconium Metal Zr	On request Wire	99.5 (excl.Hf, Hf<2%)	7440-67-7	
13	Zirconium Alumnide $ZrAl_3$	3-6 mm Granules	99.95	12004-83-0	
14	Zirconium Alumnide $ZrAl_3$	<6mm Pieces	99.5 (Hf<100ppm)	12004-83-0	
15	Zirconium Carbide ZrC	3-12 mm Granules	99.9 (Hf<0.1%)	12070-14-3	
16	Zirconium Fluoride ZrF_4	1-4 mm Granules	99.95	7783-64-4	자료없음

No.	Material Formula	Size Shape	Purity, % Remarks	CAS No.	GHS PICTOGRAMS
17	Zirconium Fluoride	3-6mm	99.9	7783-64-4	자료없음
	ZrF4	pieces(highly dense, pressure sintered)	(Hf<100ppm)		
18	Zirconium Oxide	1-4 mm	99.99	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Granules			
19	Zirconium Oxide	1-4 mm	99.95	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Granules			
20	Zirconium Oxide	3-12mm	99.7	1314-23-4	자료없음
	ZrO2(monoclinic)	Pieces	Sintered, White(Hf<75ppm)		
21	Zirconium Oxide	10 mm dia x 6 mm th.	99.99	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Pellets			
22	Zirconium Oxide	10 mm dia x 6 mm th.	99.95	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Pellets			
23	Zirconium Oxide	10 mm dia x 10 mm th.	99.95	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Pellets	Vac.Sintered, White		
24	Zirconium Oxide	18 mm x 12 mm th.	99.99	1314-23-4	자료없음
	ZrO2	Pellets			
25	Zirconium Oxide Alloy	1-4 mm	99.99	ZrO2:1314-23-4	자료없음
	ZrO2-HfO2-Ta2O5	Granules		HfO2:12055-23-1	
26	Zirconium Oxide Alloy	3-12mm	99.7	ZrO2:1314-23-4	자료없음
	ZrO2-xMgO(solid soiution)	Pieces	Sintered, White(Hf<75ppm)	MgO:1309-48-4	
27	Zirconium Oxide Alloy	1-4 mm	99.99	ZrO2:1314-23-4	자료없음
	ZrO2-Ta2O5	Granules		Ta2O5:1314-61-0	
28	Zirconium Oxide Alloy	~10-12mm dia.x4-5mmth.	99.7	ZrO2:1314-23-4	자료없음
	ZrO2-xTiO2	Tablets(~2g ea.)	(Hf<75ppm)	TiO2:13463-67-7	
29	Zirconium oxide-13 mol% Y2O3 (YSZ)	1-4mm	99.95	64417-98-7	자료없음
	ZrO2 - 13 mol% Y2O3	Pieces	Sintered, Black,O2 def.		
30	Zirconium oxide-8 mol% Y2O3 (YSZ)	1-4mm	99.95	64417-98-7	자료없음
	ZrO2 - 8 mol% Y2O3	Granules			
31	Zirconyl Nitrate		99.5	13826-6619	
	ZrO(NO3)2-xH2O	agglomerated lumps	(Hf<3%)		