



# 石英ガラス

## 耐圧設計

溶融石英は、内圧を受ける用途に使用されるので、各寸法の管が耐えうる最大圧力を知っておく必要があります。室温での概算値は、以下の公式により得られます。

### 透明溶融石英管破断公式

$$\text{公式：} S = \frac{pr}{t}$$

S=環状応力(Pa)

p=作用圧力(Pa)

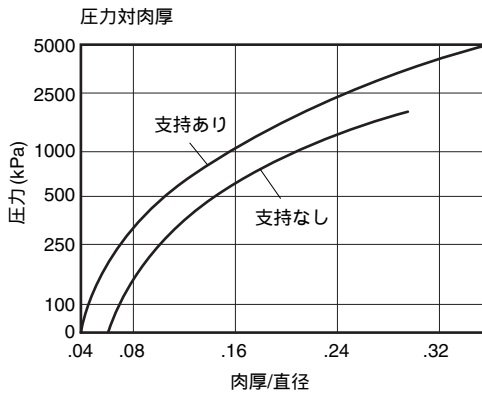
r=管内半径(mm)

t=肉厚(mm)

この公式は、内圧が $7 \times 10^5 \text{ Pa}$ (100psi)を超える場合には適用できません。

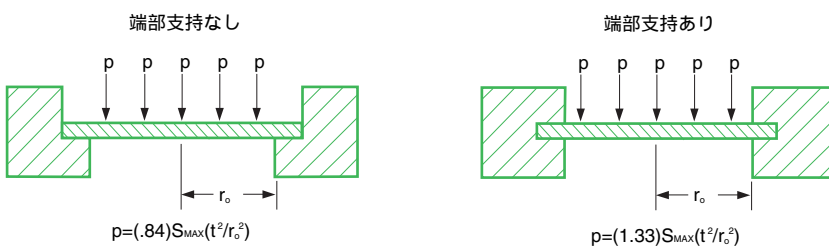
### 透明溶融石英円板及び平板の破断公式

応力を受ける溶融石英円板、平板、透視窓の各種用途に関しても、圧力差を計算する必要があります。



支持あり及びなしでの最高圧力：肉厚/直径の比率肉厚と円板直径に、特定圧力に対する横軸の係数をかけることによって求められる。  
資料：モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ

以下の公式は、周囲の支持の有無にかかわらず、円形の部品を室温で使用する場合に適用できます。



p=圧力差(Pa)

$r_0$ =支持されていない円板の半径(mm)(平板の場合は、幅)

$S_{max}$ =最大応力(約7:1の安全係数) $7.0 \times 10^6$  (Pa)

t=円板の厚み(mm)

しかし、次のような条件がこれらの部品の強度に影響を与えるため、この公式を使用するには、考慮に入れる必要があります。

- a.表面は十分に研磨され、損傷のないこと
- b.圧力器具にサンプルを締め付ける方法
- c.使用されるガスケット材
- d.表面上及び表裏間の温度勾配
- e.加圧の増加率
- f.サンプル自体の温度

# 石英ガラス

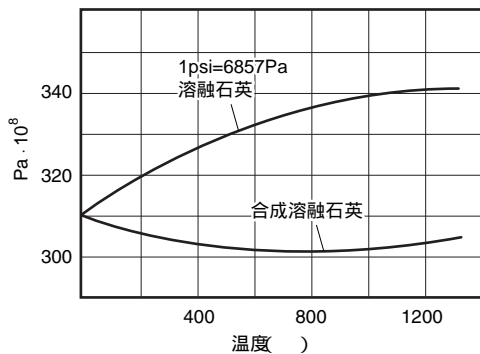
## 物理特性

熔融石英の物理特性は、他のガラスとほとんど同じです。圧縮に対して非常に強く、設計圧縮強度は $1.1 \times 10^9 \text{Pa}$ (160,000psi)を上回ります。いかなるガラスでも、表面にキズがあると本来の強度が著しく減少し、引張り強度も大きな影響を受けます。表面の状態がよい場合、熔融石英の設計引張り強度は $4.8 \times 10^7 \text{Pa}$ (7000psi)を超えます。実際には、 $0.68 \times 10^7 \text{Pa}$ (1,000psi)の設計応力を一般的にお薦めします。下の表に、標準的な物理特性データを示してあります。

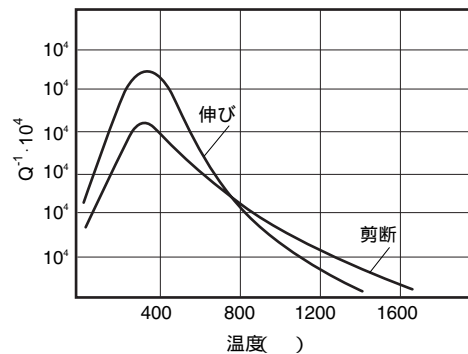
214透明熔融石英の標準的な物理的特性

特性	標準値	特性	標準値	
比重	$2.2 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	誘電率(20 1Mz)	3.75	
硬度	5.5-6.5(モーース)	耐電圧	$5 \times 10^7 \text{V/m}$	
設計引張り強度	570KHN <sub>100</sub>	損失係数	$4 \times 10^{-4}$ 以下	
設計圧縮強度	$4.8 \times 10^7 \text{Pa(N/m}^2\text{)}$ (7000psi)	散逸係数	$1 \times 10^{-4}$ 以下	
体積弾性率	$1.1 \times 10^9 \text{Pa}$ ( $5.3 \times 10^6 \text{psi}$ )	屈折率	1.4585	
剛性率	$3.1 \times 10^{10} \text{Pa}$ ( $4.5 \times 10^6 \text{psi}$ )	収縮性(nu値)	67.56	
ヤング率	$7.2 \times 10^{10} \text{Pa}$ ( $10.5 \times 10^6 \text{psi}$ )	音速(横波)	$3.75 \times 10^3 \text{m/s}$	
ポアソン比	0.17	音速(縦波)	$5.90 \times 10^3 \text{m/s}$	
熱膨張率(20 ~ 320 )	$5.5 \times 10^{-7}/$	音波減衰率	11dB/mMHz以下	
熱伝導率(20 )	1.4W/m ·	透過率(700 ) cm <sup>2</sup> mm/cm <sup>2</sup> sec.cm of Hg	ヘリウム	$210 \times 10^{-10}$
比熱(20 )	670J/kg ·		水素	$21 \times 10^{-10}$
軟化点	1683		重水素	$17 \times 10^{-10}$
徐冷点	1215		ネオン	$9.5 \times 10^{-10}$
歪点	1120			
固有抵抗(350 )	$7 \times 10^7 \text{ cm}$			

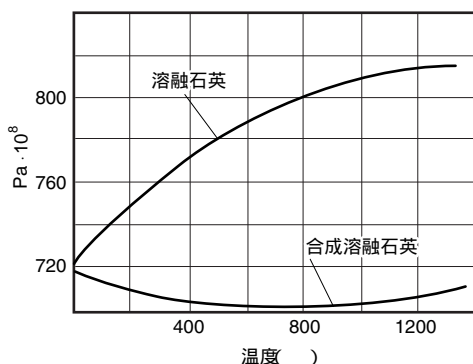
剛性率



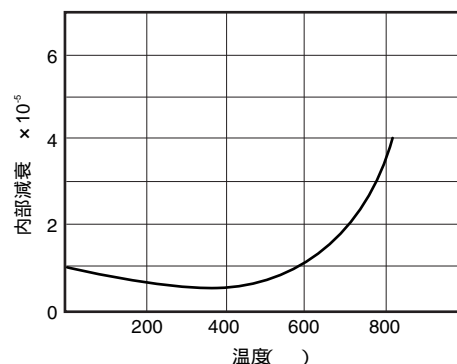
合成熔融石英に対する伸び・剪断による内部摩擦値



ヤング率



内部減衰率



# 石英ガラス

## 熱特性

熔融石英の最も重要な特性のひとつは、熱膨張率が極めて低いことで、 $5.5 \times 10^{-7}$  / (20 ~ 320 )です。この係数は、銅の値の34分の1、ポウケイ酸ガラスのそれの7分の1にすぎません。このため、熔融石英は特に、光学板、鏡、炉の窓の他、温度変化への感応を最小限にとどめなければならない精密な光学的用途に使用されます。これに関する他の特性は、非常に高い耐熱衝撃性です。例えば、熔融石英の薄片を1500 以上に急激に熱し、水に入れても壊れません。

熔融石英の実験的徐冷速度

$$\text{両面から冷却：冷却速度( /分)} = 4274.7 \times \frac{\text{残留応力(Pa)}}{(\text{肉厚mm})^2}$$

$$\text{片面からの冷却：冷却速度( /分)} = 4274.7 \times \frac{\text{残留応力(Pa)}}{(2 \times \text{肉厚mm})^2}$$

用途にもよりますが、残留応力または設計は、 $1.7 \times 10^7 \sim 20.4 \times 10^7 \text{Pa}$ (25 ~ 300psi)の範囲です。一般的には、肉厚が25mm以下の場合、100 /時の速さで冷却することができます。

## 温度の影響

熔融石英は室温では固体ですが、高温ではガラスのような状態になります。結晶質のように明確な融点はありませんが、かなり広い温度範囲にわたって軟化します。この固体からプラスチック状への移行を変態領域と呼び、温度上昇に伴う粘土の連続的变化で識別されます。

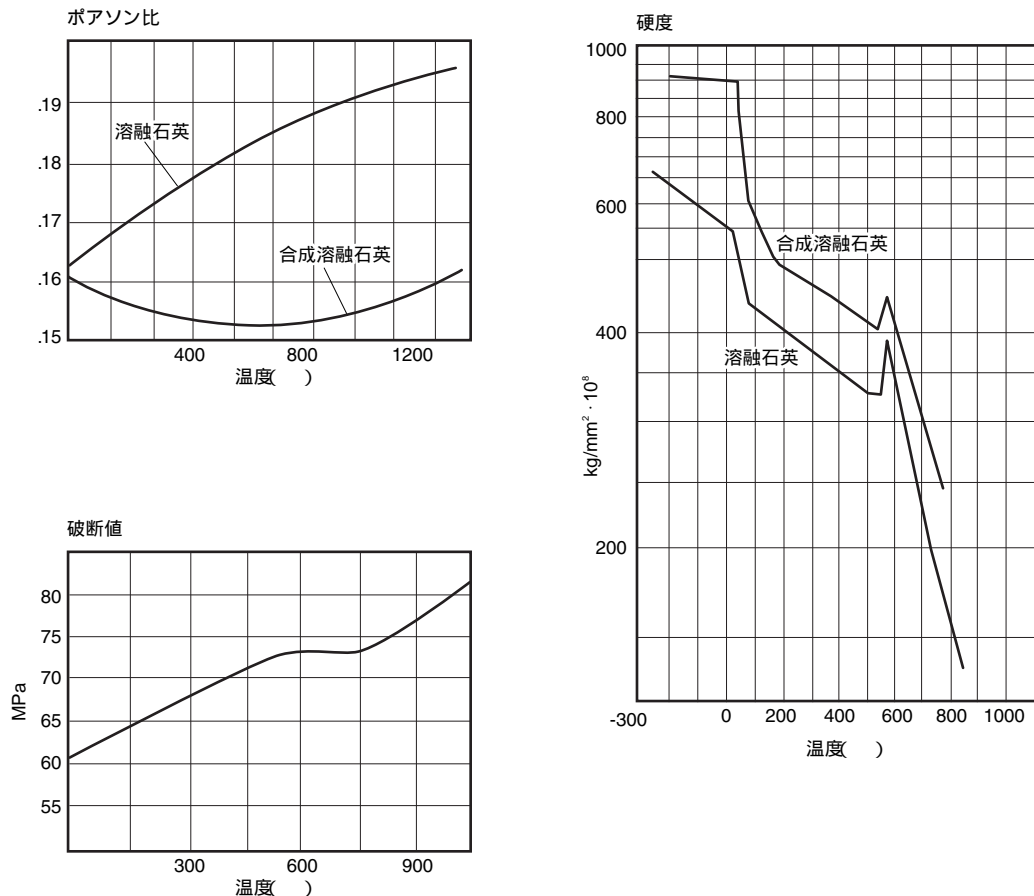
## 粘度

粘度とは、物質が剪断応力を受けたときの流動抵抗の尺度です。「流動性」の範囲は非常に広いので、粘度尺度は通常対数表示されます。粘度を表すガラス用語には、歪点、徐冷点、軟化点があり、それぞれ以下のように定義されます。

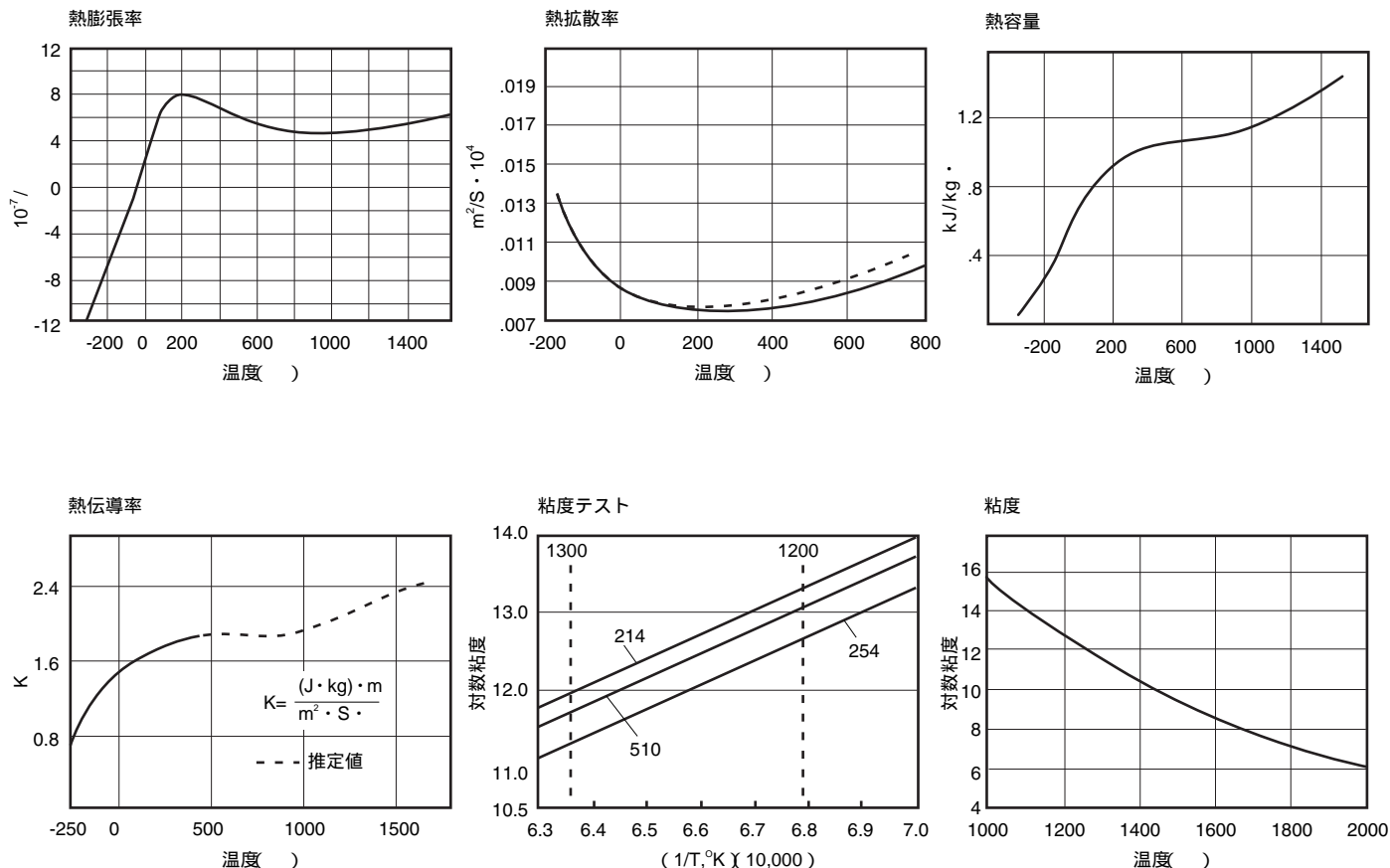
歪点：内部応力が4時間で実質的に解消される温度。これは $10^{14.5}$ ポアズの粘度に相当します。(1ポアズ = 1ダイン/cm<sup>2</sup>秒)

徐冷点：内部応力が15分で実質的に解消される温度。これは $10^{13.2}$ ポアズの粘度に相当します。

軟化点：ガラスが自重で変形する温度。これは約 $10^{7.6}$ ポアズの粘度に相当します。熔融石英の軟化点は、測定条件により1500 ~ 1670 まで、様々な報告があります



# 石英ガラス



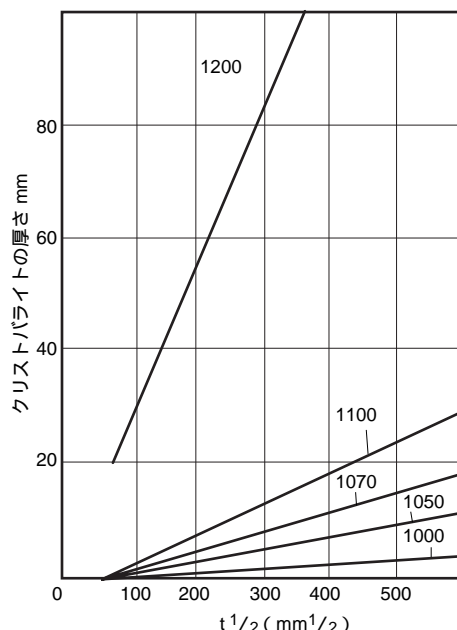
## 失透

失透や粒子発生は、熔融石英の高温での性能に限界を設ける要因です。失透には、核形成と結晶成長という二段階の過程があります。一般に、熔融石英の失透速度が遅いのはクリストバライト相の核形成が表面だけで起こることと、結晶相の成長速度が遅いという2つの理由によります。熔融石英の核形成は、一般に、アルカリ元素や他の金属によって表面が汚染されることから始まります。モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズの石英のような不定比(non-stoichiometric)な熔融石英では、この不均一に発生する核形成の速度が、化学量論的(stoichiometric)な石英材料に比較して遅いことが知られています。

## クリストバライト成長

核形成場所からのクリストバライト成長速度は、ある種の環境的要因と素材の特徴によります。温度と石英の粘度が最も重要な要因ですが、酸素と水蒸気分圧も、結晶成長速度を左右します。熔融石英の失透速度は、水酸基(OH-)含有量が増加するにつれて、粘度が下がるにつれて、そして温度が上昇するにつれて、速くなります。したがって、モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズが生産する高粘度・低水酸基の熔融石英は、耐失透性に優れているのです。型クリストバライトへの転移は、一般に1000以下では起こりません。このような転移は、型クリストバライトから型クリストバライトの転移温度(-250)へ温度サイクルを受ける場合、熔融石英の本来の構造を損なう恐れがあります。この転移には、大きな比容積の変化が伴うため、スポーリングや、場合によっては物理的破壊が起こります。

## クリストバライトの厚さ/時間



204熔融石英。214での同質の現象が見られます。

# 石英ガラス

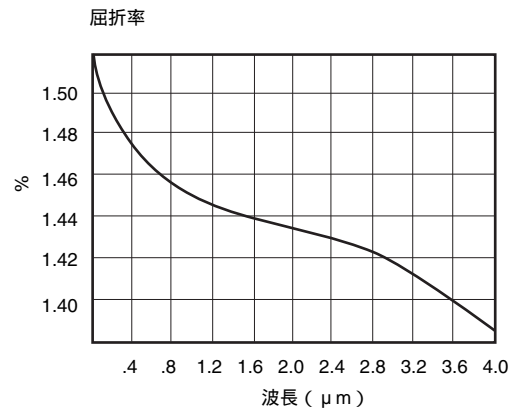
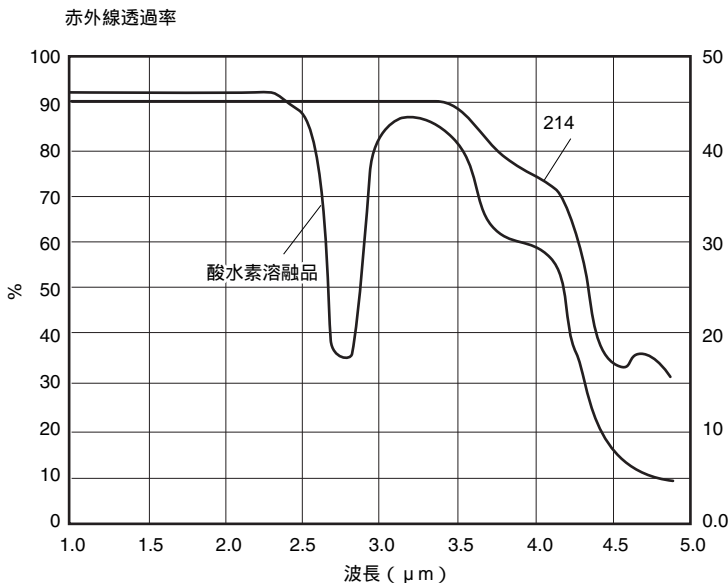
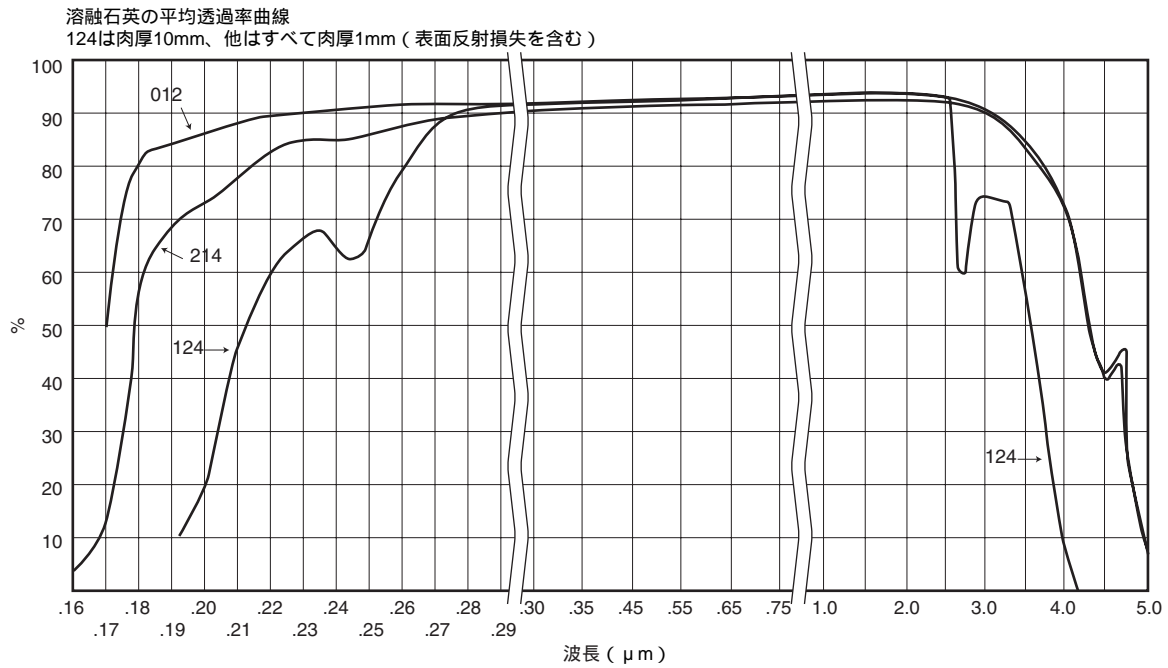
## 光学的特性

光学的透過性は、種々のガラス状シリカを区別する手段となっていますが、これは、透明度が素材の純度と製造方法を反映しているからです。特定の指標は、UV(紫外線)遮断と紫外線吸収245nmと2.73μmでの吸収帯の有無です。厚さ10mmのサンプルのUV遮断域は155~175nmで純粋熔融石英にとってこの遮断値は、材質の純度を反映するものです。遷移金属不純物の存在によって、遮断値はより長い波長の方へと移動します。例えば、219熔融石英管にチタンを添加するなど、望ましい場合にはUVの吸収を増加させるために意図的な添加が行われます。245nmの吸収帯は、還元されたガラスの特徴であり、電気的熔融によって作られたものであることを示しています。ガラス状のシリカが、「湿式」工程、例えば酸水素溶融や合成法によって作られた場合、構造的に含まれている水酸基イオンの基本的振動帯が2.73μmで強く吸収します。

### UV遮断

透過曲線が示すように、214熔融石英管のUV遮断値(厚さ1mm)は160nm以下で、245nmでは微量の吸収を示し、水酸イオンによる吸収は識別できるほど吸収はありません。219熔融石英管は約100ppmのチタンを含有していますが、肉厚1mmのサンプルでは、230nm以下でUVを遮断します。肉厚1mmのサンプルでは、赤外線領域は、4.5~5.0μmです。下記グラフには214と124熔融石英の透過率を、両表面での反射による損失も含め、詳しく示しています。透過率は、肉厚1mmの214サンプルと、肉厚10mmの124サンプルのものです。124熔融石英は、赤外線放射の透過材として、非常に効率のよいものです。赤外線透過は、4μmまでで起こり、2.73μmの「水吸収帯」では僅かに吸収します。これ以外の肉厚における透過率は、以下の式で計算できます。

$T=(1-R)^2e^{-kt}$ ここで、T=小数点で表される透過率、R=一面に対する表面反射損失、e=自然対数の底、k=吸収係数 $cm^{-1}$ 、t=厚みcm



石英ガラス

124 溶融石英、平均透過率  
厚さ10mm (表面反射損失を含む)

波長(μm)	平均透過率(%)	平均吸収係数(CM <sup>-1</sup> )
.225	65.0	.342
.230	67.4	.308
.240	62.6	.383
.250	69.5	.280
.270	89.0	.035
.300	91.2	.014
.350	91.9	.009
.450	92.5	.005
.550	92.3	.004
.650	92.9	.003
.750	92.8	.005
1.00	93.2	.002
1.50	93.4	.001
2.00	93.6	.001
2.50	93.2	.007
2.60	92.9	.011
2.73	59.3	.460
2.90	85.2	.099
3.00	83.3	.122
3.17	82.5	.132
3.32	83.6	.120
3.60	48.3	.671
3.80	17.2	1.704
3.88	17.5	1.687
4.14	1.7	4.017
4.27	1.5	4.135
4.31	0	

214 溶融石英、平均透過率  
厚さ1mm (表面反射損失を含む)

波長(μm)	平均透過率(%)	平均吸収係数(CM <sup>-1</sup> )
.160	4.6	4.6
.162	5.8	5.8
.164	7.4	7.4
.166	8.4	8.4
.168	10.9	10.9
.170	18.5	18.5
.175	43.6	43.6
.180	60.4	60.4
.185	66.1	66.1
.190	70.4	70.4
.200	71.3	71.3
.205	73.4	73.4
.210	76.1	76.1
.220	79.4	79.4
.230	85.3	85.3
.240	87.3	87.3
.245	86.5	86.5
.250	86.6	86.6
.260	87.7	87.7
.270	89.5	89.5
.280	90.2	90.2
.290	90.7	90.7
.300	90.9	90.9
.350	91.1	91.1
.450	92.2	92.2
.550	92.5	92.5
.650	92.7	92.7
.750	92.9	92.9
1.00	93.1	93.1
1.50	93.2	93.2
2.00	93.5	93.5
2.50	93.4	93.4
2.65	93.5	93.5
2.75	93.0	93.0
2.80	92.9	92.9
2.90	92.9	92.9
3.00	92.7	92.7
3.10	92.7	92.7
3.20	92.8	92.8
3.30	92.8	92.8
3.43	92.7	92.7
3.80	81.2	81.2
3.92	81.0	81.0
4.20	67.5	67.5
4.25	66.0	66.0
4.30	57.5	57.5
4.45	43.1	43.1
4.58	49.7	49.7
4.70	36.1	36.1

保管

スペースの許す限り、溶融石英は元の輸送容器にて保管して下さい。もしこれが不可能な場合には、少なくとも包装はそのままにしておいて下さい。石英管の場合は、使用時まで両端のカバーははずさないで下さい。これによって、両端の欠損を防ぎ、また石英管の純度と性能を損なうほこりや湿気から守ります。

洗浄

洗浄度が要求される用途では、次の手順をお薦めします。製品、特に石英管は、脱脂剤を加えた脱イオン水または蒸留水で洗います。そして溶融石英を7%(最大)の弗化水素アンモニア溶液に10分間以内、または10vol%(最大)の弗酸溶液中に5分以内漬けておきます。表面をエッチングすることによって、表面上のあらゆる汚れと一緒に、少量の溶融石英が除去されます。ほこりを引きつけ、後の加熱の際に失透をもたらす水滴跡をつけないために、溶融石英を脱イオン水または蒸留水で数回洗浄し、直ちに乾燥させます。さらに汚染の可能性を減らすために、溶融石英の取扱いは慎重におこなってください。常に清潔な手袋を使用することも大切です。半透明石英管を洗うことは避けてください。水や酸溶液は半透明石英管の多くの毛細管部分に侵入しやすいからです。このため、その部分を後で急速に高温まで加熱すると、石英管が破裂する可能性があります。

溶解速度

