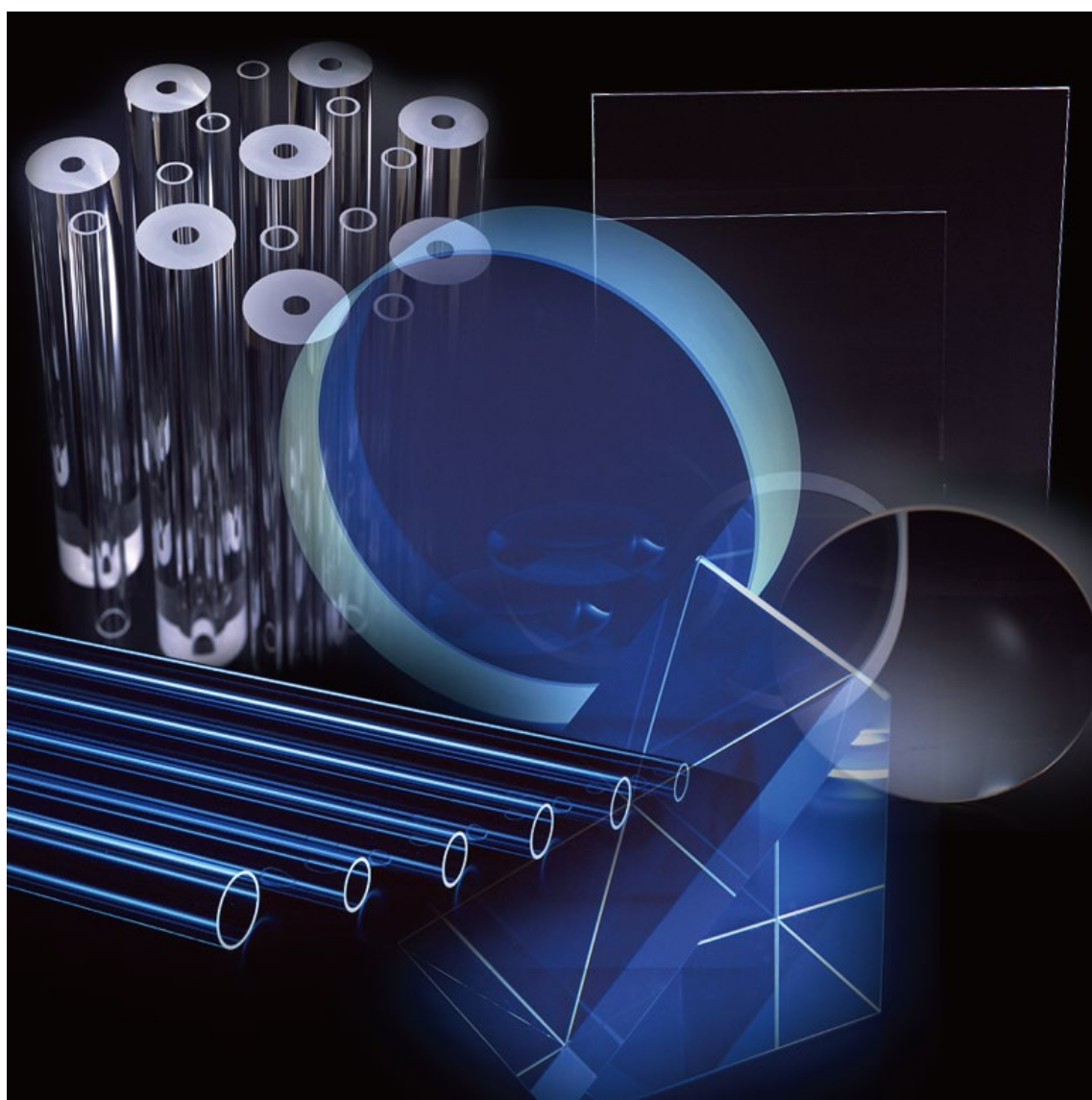


石英ガラス技術ガイド 2

石英ガラスの光学的特性

石英ガラスは光透過度などの光学的性質に極めて優れており、また耐熱性、耐放射線性に優れた、極めて純粋な光学材料です。半導体露光装置のレンズ材や、分光用プリズム・レンズ・窓・セル、各種レーザーの窓・レンズ・ミラーなど様々な高級光学用途に使用されます。「石英ガラス技術ガイド 2」では、信越石英がラインナップする光学用石英ガラスを中心に、その光学的特性について紹介します。



石英ガラス技術ガイド **2**

石英ガラスの光学的特性

目次

1. 光学用石英ガラスの特性一覧	P3
2. 紫外線・赤外線透過率	P4
3. 屈折率と分散	P5
4. 屈折率の温度係数	P6
5. 光弾性応力定数	P6
6. ベルデ定数	P6
7. 均一性	P7
8. 複屈折	P8
9. 泡	P8
10. 光学用石英ガラスの洗浄	P8
問い合わせ先	P8

1. 光学用石英ガラスの特性一覧

合成石英ガラス「SUPRASIL-Pシリーズ」

SUPRASIL-Pシリーズは、ヘレウス社より導入した光学用石英ガラスの製造技術と信越グループの持つ卓越した合成技術をベースにして国内で開発した光学用石英ガラスです。半導体製造プロセスに用いられるi線から最先端のArFまで各世代の露光装置やFPD並びにプリント基板プロセス用の露光装置など幅広い用途に対応する製品群をラインナップしております。脈理の有無や光透過率、レーザー耐性などの特徴により、7つのグレードをご用意しています。

無水合成石英ガラス「SUPRASIL-F300」

光通信用途で要求される良好な近赤外透過性を有するSUPRASIL-F300をベースに弊社グループ独自の製造技術により光学特性の調

■表1 光学用石英ガラスの品種と特性一覧表

分類	品種名	グレード*1	脈理*1	サイズ (mm)	均質性(Δn)*2		最大複屈折*3 (nm/cm)	泡等級*4	蛍光*5	エキシマレーザー 耐性
					通常	特別				
合成石英ガラス	SUPRASIL-P248C	3D	A	< 200	2×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶	2	0	なし	KrF(248nm)*6
				< 300	3×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶	3			
	SUPRASIL-P700	3D	A	< 200	1×10 ⁻⁶	0.5×10 ⁻⁶	2	0	なし	ArF(193nm)*7
				< 300	2×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶	2			
	SUPRASIL-P710C	3D	A	< 600	5×10 ⁻⁶	—	8	0	なし	—
		1D	A	< 750	8×10 ⁻⁶	—	10			
	SUPRASIL-P20	1D	A	< 150 < 400	20×10 ⁻⁶ 20×10 ⁻⁶	— —	8 10	0	なし	KrF(248nm)*6
	SUPRASIL-P310C	1D	A	< 150 < 400	5×10 ⁻⁶ 10×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶ 4×10 ⁻⁶	8 10	0	なし	KrF(248nm)*6
SUPRASIL-P210	1D	A	< 150 < 300	5×10 ⁻⁶ 10×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁶ 2×10 ⁻⁶	8 10	0	なし	ArF(193nm)*7	
SUPRASIL-P30	—	B-C	—	—	—	—	0	なし	—	
SUPRASIL-F300	3D	A	< 200 < 300	4×10 ⁻⁶ 6×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶ 4×10 ⁻⁶	8 10	0	薄青色	—	
	1D	A	< 150 < 400	5×10 ⁻⁶ 10×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶ 4×10 ⁻⁶	8 10	0		—	

*1 「3D」は3方向脈理フリー、「1D」は1方向脈理フリーです。米軍規格MIL-G-174によります。主要面を通しての評価です。(規格値ではありません)
 *2 外径90%有効径での値です。周縁部はこの値を超えることがあります。
 *3 大きな製品では周縁から径の20%の範囲でわずかに大きな値になります。
 *4 DIN58927に準拠します。
 *5 253.7nmにて励起。石英ガラスは、290nm以上の波長で励起されることはほとんどありません。
 *6 KrF(λ=248nm)、100mJ/cm²/パルスを1.8×10⁷/パルス照射後に透過率低下が0.1%/cm(P20は0.2%/cm以下)です。
 *7 ArF(λ=193nm)、20mJ/cm²/パルスを6×10⁶/パルス照射後に透過率低下が1%/cm以下です。

2. 紫外線・赤外線透過率

透明石英ガラスは、通常のガラス類(けい酸塩ガラス類)と比較して、光透過率が全波長にわたって非常に高いという特長があります。

■ 透過率と内部透過率の定義

透過率Dは測定される光透過率で、必ず外表面での反射損失を含んでいます。

$$D = (1 - R) / (1 + R) \times 10^{-kd}$$

この反射損失があるため、透過率Dは100%に達することはありません。

内部透過率Tは、反射損失を除いた透過率です。

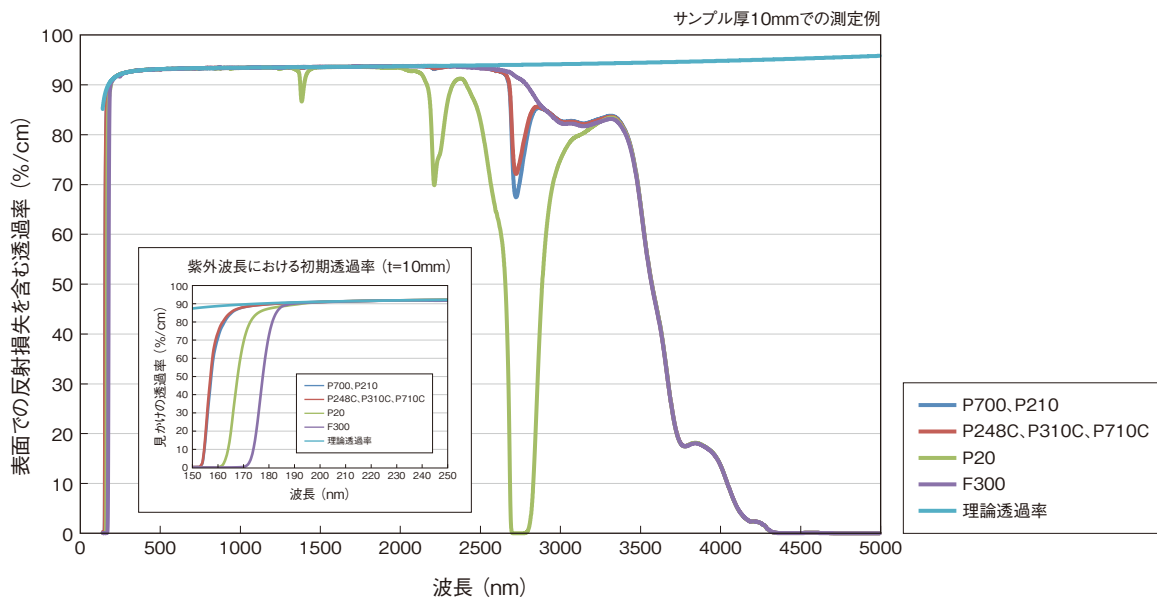
$$T = 10^{-kd}$$

R = 垂直入射光線の一表面における反射損失

k = 吸収係数

d = 厚さ

■ 図1 SUPRASIL-Pシリーズの光透過率



3. 屈折率と分散

他の光学ガラスと比較するために、屈折率とともに

$$\text{アッベ数 } Y_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad \text{と} \quad \text{部分分散: } n_F - n_C$$

を表2に示しました。

合成石英ガラスSUPRASIL-Pシリーズの屈折率は透明石英ガラスの屈折率とは多少異なります。

■表2

	SUPRASIL-P	透明石英ガラス
n_d (He, 587.56nm)	1.45858	1.4586
n_F (H, 486.13nm)	1.46324	1.4632
n_C (H, 656.27nm)	1.45649	1.4565
$Y_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$	67.9±0.5	67.8±0.5
$n_F - n_C$	0.00677	0.0067

■表3 光学用石英ガラスの屈折率

波長 (nm)	SUPRASIL-P	波長 (nm)	SUPRASIL-P
184.9	1.57518	632.8	1.45714
193.4	1.56036	656.3	1.45649
206.2	1.54281	706.5	1.45526
214.4	1.53386	780.0	1.45379
228.8	1.52129	852.1	1.45259
248.3	1.50852	1014.0	1.45036
253.7	1.50565	1128.6	1.44899
289.4	1.49112	1529.6	1.44440
334.1	1.47989	1813.1	1.44084
365.0	1.47466	1970.1	1.43867
404.7	1.46974	2058.1	1.43737
435.8	1.46681	2325.4	1.43309
486.1	1.46324	Vd	67.9±0.5
587.6	1.45858		

- ・ 25°C、1,013hPaにおける値です。
- ・ 屈折率の測定誤差は±3×10⁻⁵です。
- ・ F300の屈折率は上記の値より約2×10⁻⁴高くなります。
- ・ 詳細値については、お問い合わせください。

4. 屈折率の温度係数

表4は、ある特定波長における屈折率の温度係数を示したのですが、この数値は相対温度係数 β であり、次の式で表されます。

$$\beta = \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

実際には石英の膨張も結果として光路長を長くするので、温度係数は線膨張係数にも依存します。

■表4 屈折率の温度係数

(単位:K⁻⁶)

波長 nm	合成石英ガラス	
	0~20℃	20~40℃
237.8	14.6	14.9
365.0	11.0	11.2
546.1	9.9	10.1
587.6	9.8	10.0
643.8	9.6	9.8

測定精度:±0.5×10⁻⁶

5. 光弾性応力定数

$$\text{合成石英ガラス } 3.47 \pm 0.05 \frac{\text{nm/cm}}{\text{kg/cm}^2}$$

6. ベルデ定数

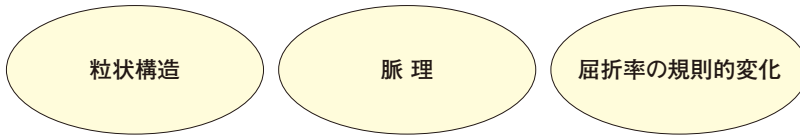
磁場内におかれた等方性透明物体中を磁場に平行に入射した直線偏光の偏光面は角度 α だけ回転します。

$$\text{SUPRASIL: } \alpha = 0.129 \pm 0.004 \frac{\text{分(角度)}}{\text{アンペア}} \quad (25^\circ\text{C、波長 } \lambda = 253.7\text{nm})$$

400℃においても25℃の場合と変わりません。

7. 均一性

透明石英ガラスの不均一性には次の3つの型があります。



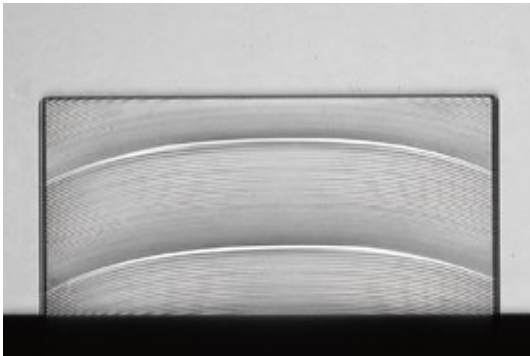
粒状構造と脈理は投影写真によって写し出すことができます。微細な脈理や屈折率の規則的变化は、干渉計によるか、またはフォーコー (Foucault) の方法によらなければ確認できません。図2に典型的な脈理の投影写真を、図3に脈理フリーの超高品質石英ガラス材料の投影写真を示します。

弊社の光学用合成石英ガラスは全く粒状構造を持ちません。SUPRASIL-P20やP310Cなど1方向脈理フリー製品は使用する方向(光軸方向)に条痕(Streaks)がありません。より高級な光学用材料SUPRASIL-P248CやP700など3方向脈理フリー製品は全方向に条痕がありません。

窓ガラス、レンズおよび簡単な光学素子用には、図2程度の材料で十分です。精密な光学機器用には、断面全体にわたって屈折率が一定であること、すなわち、粒状構造や脈理の全くないことが必要です。しかし、不均一性によって引き起こされる測定光線の波面のずれが、波長の $1/4$ 以下であれば、実用上は均一と見なすことができます。この要求をみたす屈折率の許容変動幅 Δn は、光路長に依存し、光路長1cmの場合には、 $\Delta n = 12.5 \times 10^{-6}$ であり、10cmでは、 $\Delta n = 1.25 \times 10^{-6}$ となります。

問題は製品のサイズが大きいくほど製造が困難になるにもかかわらず、均一性に対する要求がより厳しくなることです。そこで当社は、残存する不均一性に異方性を持たせ、測定光がこの不均一性の影響を受けないよう設計することによって、実用上問題のない製品を製造しております。

■ 図2 脈理の投影写真



■ 図3 脈理の全くない、均一な石英ガラス (SUPRASIL-P248CおよびINFRASIL 301)



8. 複屈折

光学部品中に残存する複屈折は、残留応力に起因し、部品の大きさや形と深い関係があります。表1中に、通常の寸法のものについての複屈折を示してあります。

通常、光学用合成石英ガラス製品は、歪みを抑えた状態にしてありますが、歪みのない石英ガラスでも切断や切削など機械加工によって歪み(加工歪み)が生ずることがあります。しかし、この加工歪みは研磨加工やふっ酸エッチングなどにより加工変質層を除去することにより、取り除くことができます。

9. 泡

信越石英は透明石英ガラスの泡の含有量をDIN58927、Feb.1970により等級0から8に分類しています。表1の各品種の泡等級は、個々の泡の断面積の総和を、体積100cm³当りに換算し、これをいくつかの試料について測定してその平均値をとっています。ただし直径0.08mm未満の泡は計算していません。

10. 光学用石英ガラスの洗浄

窓、セル、レンズ、プリズムなどの光学用部品は、表面が汚染されると反射損失や吸収損失が増加し、光透過性、特に紫外線透過性が低下します。アルカリ金属やアルカリ土類金属は拭いただけでは取り除けない損傷を表面に残しますので、特に注意しなければなりません。また、製品には指紋をつけないよう注意してください。

汗に含まれる特殊なアルカリ化合物は、室温でも短時間で石英ガラスの表面を汚します。このような汚れは直ちにアルコールで洗浄するか、少なくとも清潔な布で拭き取り、以後、決して素手で触れないようにしてください。

表面研磨した光学用石英ガラス製品は、一般に室温で使用されますので、失透の恐れはありません。しかし、光学部品の洗浄にあたっては、透過率を害したり、画像をゆがませたりしないよう注意する必要があります。たとえ低濃度でもふっ酸で洗浄することは好ましくありません。

■製品の問い合わせ

Shin-Etsu QUARTZ
A JOINT VENTURE WITH Heraeus

<https://www.sqp.co.jp/>

信越石英株式会社

本社

〒160-0023 東京都新宿区西新宿1-22-2 新宿サンエービル12階

営業部

TEL:03-3348-1913/1916 FAX:03-3348-4919

■東北営業所 〒994-0069 山形県天童市清池東2-4-1
TEL:023-655-5007 FAX:023-655-7252

■北陸営業所 〒915-0037 福井県越前市萱谷町3-1-4
TEL:0778-27-1700 FAX:0778-27-1766

〈上越駐在〉 〒942-0061 新潟県上越市春日新田1-15-42
TEL:025-544-5366 FAX:025-544-5379

■関西営業所 〒520-0044 滋賀県大津市京町3-2-10
TEL:077-524-5009 FAX:077-523-1515

■九州営業所 〒869-1233 熊本県菊池郡大津町大津字土井ノ内56-1
TEL:096-293-1072 FAX:096-293-5030