

# 天体観測用の新しい光学材料

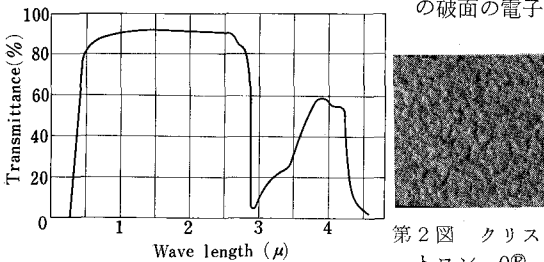
泉 谷 徹 郎\*

天体観測用の反射鏡材料としては、古くからバイレックスが使われてきたが、最近ではさらに膨張係数の小さい石英ガラスが使われるようになった。しかし石英ガラスも室温付近では  $5.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  程度の膨張係数を有し、かつまた大型のものの製造が困難であることの原因から必ずしも満足な材料ではなく、より低膨張で大型のものの製造が可能な材料の開発が要望されていた。また最近の宇宙科学の進歩は大口徑、長焦点で高精度のレンズを必要とし、これに伴って均質性のよい大型の光学ガラスの開発が要望されていた。これらの要望に基づいて、反射鏡用の新しい材料として超低膨張結晶化ガラスが、また天体あるいは人工衛星観測用の光学ガラスとして大型で均質性のよいものの製造法が開発された。

## 1. 超低膨張結晶化ガラス

超低膨張結晶化ガラスは、特別な組成のガラスを熱処理することにより結晶化させて造られた新しい材料で、Cer-vit<sup>®</sup>、クリストロン-0<sup>®</sup>、Zerodur<sup>®</sup>などが代表的なものである。これらはいずれも微細な  $\beta$ -石英固溶体から構成されている多結晶体であり、膨張係数は石英ガラスよりも小さく幾分か着色を帯びてはいるが透明な材料である。第1図はクリストロン-0<sup>®</sup>の分光透過率曲線を示したもので可視域と近赤外の光をよく透過する。可視域の光を透過することは、材料の不均質性を検査するために重要な特徴である。超低膨張結晶化ガラスの膨張係数が著しく小さいのは、 $\beta$ -石英固溶体の構造が $\beta$ -石英の構造に類似しており、 $\beta$ -石英固溶体が負の膨張係数を持っているためである。

第2図はふっ化水素酸で侵食したクリストロン-0<sup>®</sup>の破面の電子



第1図 クリストロンの-0<sup>®</sup>分光透過率曲線

第2図 クリストロンの破面の電子顕微鏡写真。

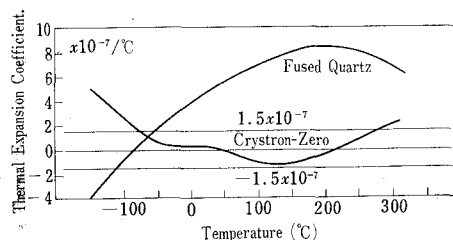
顕微鏡写真を示したもので、直径  $20 \sim 40 \mu\text{m}$  の結晶粒子が多数存在することがわかる。超低膨張結晶化ガラスが多結晶体であるにもかかわらず透明なのは、結晶粒子が光の波長よりも著しく小さいことによると考えられる。

第1表はクリストロン-0<sup>®</sup>の性質を石英ガラスと比較して示したもので、クリストロン-0<sup>®</sup>は石英ガラスよりも熱伝導率、比熱、硬度、ヤング率が大きく、反射鏡用材料としてすぐれた性質を持っている。第3図はクリストロン-0<sup>®</sup>と石英ガラスの膨張係数を比較したもので、クリストロン-0<sup>®</sup>の膨張係数は  $-50^{\circ}\text{C}$  から  $250^{\circ}\text{C}$  の範囲で  $0 \pm 1.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  であり、特に室温付近で

第1表 クリストロンと石英ガラスの特性比較

特 性	クリストロン-0 <sup>®</sup>	石英ガラス
熱的性質		
熱膨張係数 ( $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ) ( $-50^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ )	0 $\pm$ 1.5	5.5
比熱 (cal/g/ $^{\circ}\text{C}$ )	0.218	0.18
熱伝導率 (cal/cm/sec/ $^{\circ}\text{C}$ )	0.0034	0.0033
熱拡散率 (cm <sup>2</sup> /sec)	0.0061	0.0082
最高使用温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	800	900
機械的性質		
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.52	2.20
硬 度 (kg/mm <sup>2</sup> )		
スープ荷重 200 g	659	500
マイクロピッカース荷重 200 g	806	—
曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	1800	600
ヤング率 (kg/cm <sup>2</sup> )	$9.19 \times 10^5$	$7.38 \times 10^5$
剛性率 (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.73 \times 10^5$	$3.02 \times 10^5$
体積弾性率 (kg/cm <sup>2</sup> )	$5.65 \times 10^5$	$3.73 \times 10^5$
ポアソン比	0.23	0.14
光学的性質		
屈折率 ( $n_a$ )	1.539	1.458
分散 ( $n_a - 1/n_F - n_C$ )	57.9	67.8
光弾性定数 ( $\mu\mu/\text{cm}/\text{kg}/\text{cm}^2$ )	2.95	3.40
化学的耐久性		
H <sub>2</sub> O(90 $^{\circ}\text{C}$ ・24 hrs) 重量減	0.00	
5% HCl(90 $^{\circ}\text{C}$ ・24 hrs) 重量減	0.00	
5% NaOH(90 $^{\circ}\text{C}$ ・24 hrs) 重量減	0.17	

\* 保谷硝子  
T. Izumidani: New Optical Materials for Astronomical Observation.



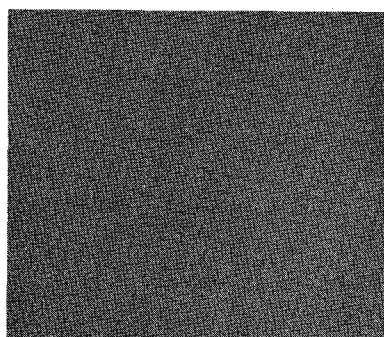
第3図 クリストロン-0®と石英ガラスの膨張係数はほぼ零で石英ガラスよりも著しく低膨張である。また同一製品で位置による膨張係数の変化は  $\pm 0.8 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  以内である。

反射鏡の材料としては研磨面の精度も重要である。超低膨張結晶化ガラスの加工性は一般によく、光学ガラスと同程度の面精度に研磨できると言われている。第4図は光学ガラスと同じ方法で同時に研磨されたクリストロン-0®と石英ガラスの研磨面の電子顕微鏡写真を示したものであり、いずれの研磨面も平滑で傷の存在は認められない。

超低膨張結晶化ガラスの残留歪は一般に小さい。これ



Crystron-zero  
0.5  $\mu$



Fused Quartz  
0.5  $\mu$

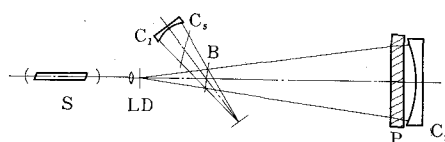
第4図 クリストロン-0®と石英ガラスの研磨面の電子顕微鏡写真

は超低膨張結晶化ガラスが、原料を高温で溶融し均質にしたガラスから作られるためである。クリストロン-0®では、残留歪は脈理のない部分で  $15 \text{ m}\mu/\text{cm}$  以下であり、また  $100 \text{ m}\mu/\text{cm}$  以上の残留歪の原因となる脈理は含まれていない。

## 2. 高精度光学ガラス

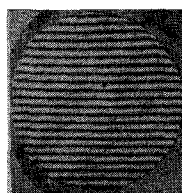
通常の方法で製造された光学ガラスの屈折率の変動は、比較的小さいブロックの中では  $10^{-5}$  程度であるが大型のブロックになると  $10^{-4}$  程度になる。したがって屈折率の変動が  $10^{-5}$  以下の大型の光学ガラスブロックは従来の方法では造ることが難しい。屈折率の変動が  $10^{-6}$  程度である大型の光学ガラスブロックを造るために、新しい観点に立った製造方法が最近当社によって開発された。このように均質度の高いガラスを造るには、溶融過程において組成的に均一化することはもちろん、溶融されたガラスを冷却する際に熱履歴の差による屈折率の変動が生じないように注意深く徐冷することが必要である。このように注意深く造られた高精度光学ガラスの品質は、次に述べる方法により保証される。

i) 脈理。ガラスの脈理は組成の変動によるもので、周囲との屈折率の差は一般に  $10^{-4}$  以上である。したがって高精度光学ガラスでは脈理の存在は許容されない。高精度光学ガラスの製造のために新しく開発された溶融装置には、脈理が完全に除かれるように特別な工夫がなされているが、なおガラスブロックの相対する2面を研磨しシュリーレン法により脈理のないことが確かめられている。

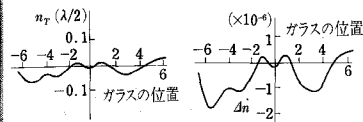


S:レーザー光源 L:拡散レンズ D:拡散板 B:ビームスプリッター  
C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>:凹面鏡 C<sub>2</sub>:コンペンセーター P:試料

第5図 高精度光学ガラスの均質度測定用の干渉計



第6図 高精度光学ガラスブロックの干渉像



第7図 高精度光学ガラスブロック内の屈折率縞のふれ

第8図 高精度光学ガラスブロック内の屈折率の分布

(240 頁へつづく)