

# シリカガラス I — 製造方法と性質 —

葛生 伸

福井大学名誉教授 〒910-8507 福井市文京3-9-1 福井大学教育学部STELLAプログラム

## Vitreous Silica I — Production Methods and Properties

Nobu KUZUU

University of Fukui, 3-7-15 Bunkyo, Fukui-shi, Fukui, 910-8507, Japan

キーワード：シリカガラス，製造方法，熱的性質，光学的性質

### 1 はじめに

シリカガラスは，組成式が $\text{SiO}_2$ で表される非晶質物質である。金属不純物が少なく，ガス加工（ガラス細工などの酸水素火炎による加工）や研磨がしやすいこと，紫外線から近赤外線までの光を通すこと，熱膨張が少ないことなど，さまざまな特長を持っている。このような特性を活かしたさまざまな用途がある。シリカガラスは，優れた特性を持っているが，厳しい特性を要求されることも多い。そのため，製造方法や製造条件によるわずかな特性の違いが重要になる。それぞれの用途に対応するため，さまざまな製造方法が存在している。同じタイプの製造方法でも製造条件の違いさまざまなグレードの製品が存在している。

シリカガラスに関して，2回に分けて解説する。第一回目は，シリカガラスの種類，製造方法と用途，主な性質を述べる。第二回目は実際に製品に関わってきた経験をもとに，製品開発に関わりながら行ってきた研究を紹介する。

### 2 シリカガラスの種類と用途

#### 2.1 シリカガラスの種類

シリカガラスは大きく分けてシリカの粉末を熔融してつくる熔融シリカガラスと，液体原料を用いて合成する合成

シリカガラスに分類される（Fig. 1）<sup>1,2)</sup>。

熔融シリカガラスは，さらに原料と熔融方法によって分類される<sup>2)</sup>。原料によって天然の石英粉を原料にした天然粉熔融石英ガラスとゾル・ゲル法などで合成した合成シリカ粉を用いた合成粉熔融シリカガラスに分類される。それぞれ，熔融の手段として，酸水素などの火炎を用いた火炎熔融法と電気を用いた電気熔融法に分類される。

合成シリカガラスは，気相中でシリカを合成して堆積することにより製造する気相法と液相中で合成する液相法に分類される。気相合成法には，ケイ素の化合物を酸水素などの火炎中で，直接堆積ガラス化する直接法，シリカの多孔質体を合成した後加熱ガラス化するスート法，ケイ素化合物をプラズマ炎中で熱酸化するプラズマ法などがある。液相中で合成する方法として，ゾル・ゲル法がある。ゾル・ゲル法で合成したシリカ粉が合成粉熔融シリカガラスの原料として用いられていることもある。

シリカガラスは，後述するように，製造方法によって性質が異なる。そのため，用途に応じて使い分けられている。

#### 2.2 シリカガラスの用途

シリカガラスの主な用途をTable 1に示す。商業的に生産されるシリカガラスの多くは半導体製造工程で用いられ

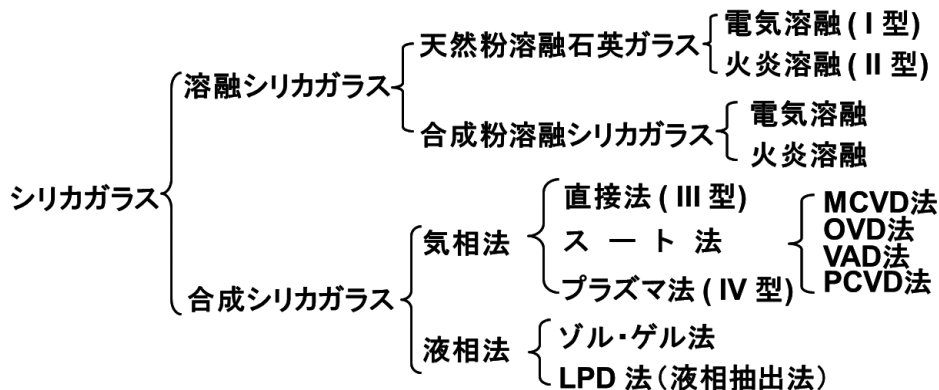


Fig. 1 シリカガラスの分類<sup>1)</sup>。

Table 1 シリカガラスの特徴と用途の関係

性 質	具体的な性質	用 途
高 純 度	金属成分が極端に少ない ( $\leq 1$ ppm)	半導体製造装置の構造材料
耐 熱 性	高温でも変形しにくく、膨張係数が小さい	半導体製造装置の構造材料
耐 光 性	紫外線領域の光が透過し照射による劣化が少ない	フォトマスク 露光装置の光学材料
ガス加工性	酸水素火炎などでの加工性に優れている	半導体製造装置の構造材料
研磨加工性	研磨加工しやすい	フォトマスク 露光装置の光学材料

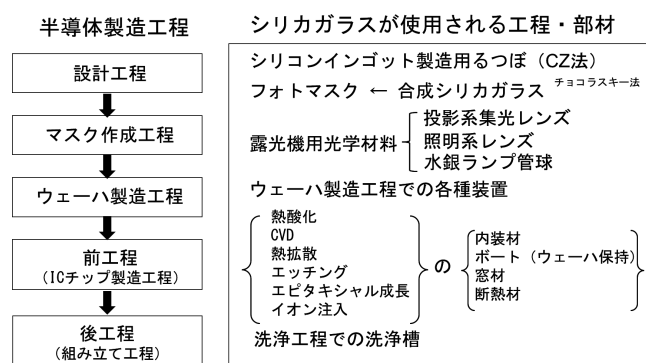


Fig. 2 半導体製造工程でシリカガラスが使用される工程と部材.

る半導体関係の用途は多岐にわたる (Fig. 2)<sup>3)</sup>。シリコンウェハー用のシリコン単結晶インゴットの製造には、シリカガラス製のつぼが使用される。シリコンウェハーに回路パターンを転写するためのフォトマスクや露光装置のレンズにもシリカガラスが用いられている。光源としては、高集積度のものには、エキシマレーザーが用いられる。エキシマレーザー用光学材料としてシリカガラスは欠かせないものである。水銀ランプも光源として用いられている。水銀ランプの管球もシリカガラス製である。使用量の多いのが、熱酸化、CVD、エピタキシャル成長などの装置の炉心管やシリコンウェハーを保持するポートなどの材料である。その他、洗浄槽にもシリカガラスが用いられている。

半導体以外の用途としては、光ファイバーの母材、ランプの管球、分光測定用の光学セルなどにも使用されている。その他、電気炉の炉心管、化学反応装置の内装材、電気ヒータの被覆などにも用いられている<sup>2,4)</sup>。

### 3 シリカガラスの製造方法

#### 3・1 熔融石英ガラスと合成シリカガラス

##### 3・1・1 熔融シリカガラス

##### (1) 熔融シリカガラスの原料

先に述べたように、熔融シリカガラスは、合成シリカ粉を原料とするものと、天然の石英粉を原料とするものに分けられる (Fig. 1)。天然石英粉としては、現在ではベグマタイトから、石英を浮遊選鉱によって選別したものが主流である。ただし、純度の関係から産地は限られている。1980年代頃までは、天然の水晶を粉碎、精製したものも使用されていた。しかし、半導体用途などの要求で、高純度の材料が求められるようになるとともに、生コスト面からも使用されなくなった。

2000年代のはじめころから、原料として、ゾル・ゲル法などで合成した合成粉末を原料とした熔融シリカガラスも市販されるようになった。これらも、基本的には、天然粉を原料とした、シリカガラスと同様の方法で製造されている<sup>5,6)</sup>。

##### (2) 電気熔融法

Figure 3に、電気熔融法の概略図を示す。つぼの中で、熔融する方法<sup>7)</sup> (Fig. 3(a))<sup>7)</sup>、アーク放電を用いて熔融する方法<sup>4)</sup>がある (Fig. 3(b))。シリカ粉末を電気炉で熔融して、直接ガラス管を製造する方法<sup>8)</sup>もある (Fig. 3(c))。シリコン単結晶インゴット製造用つぼはFig. 3(c)のように、型枠内で粉末をアーク放電によって熔融することで製造する<sup>9)</sup>。

##### (3) 火炎熔融法

火炎熔融シリカガラスには、円柱状のシリカガラスを生成するコラム法<sup>4)</sup>と (Fig. 3(e))、型枠を用いて大口径の

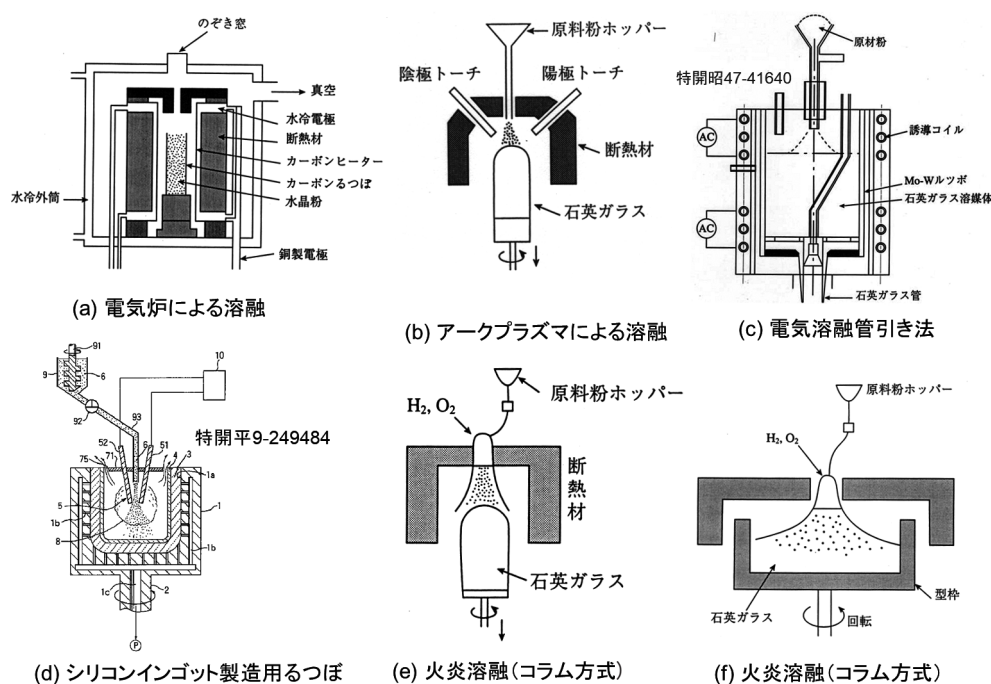


Fig. 3 溶融石英ガラスの製造方法. a) 電気炉による溶融<sup>7)</sup>, (b) アークプラズマによる溶<sup>4)</sup>, (c) 電気溶融管引き法<sup>8)</sup>, (d) シリコンインゴット製造用つぼ<sup>9)</sup>, (e) 火炎溶融 (コラム方式)<sup>4)</sup>, (f) 火炎溶融 (コラム方式)<sup>4)</sup>.

シリカガラスを形成するスラブ法<sup>4)</sup> (Fig. 3(f)) がある。

天然粉溶融石英ガラスは、透明のものが主であるが、発泡剤を加えて微小な気泡を発生させることで、白色の不透明溶融石英ガラスも製造されている<sup>10)</sup>。これは、熱放射による熱伝導を防ぐため、炉心管のフランジ材料として用いられる。

### 3・1・2 合成シリカガラス

気相合成法の一つにケイ素の化合物火炎中で加水分解して、シリカガラスを直接堆積ガラス化する直接法 (Fig. 4) と比較的低温でシリカの多孔質体を生成したのち脱水処理など熱処理をした上でガラス化するスート法 (Fig. 5) がある<sup>4)</sup>。直接法にもさまざまな方法がある。最初の特許は Corning 社による 1942 年のものである [Fig. 4(a)]<sup>11)</sup>。各社で実用化されたのは、基本特許が切れたあとであるので各社各様の方法が用いられている<sup>4) 12) 13)</sup>。その他にプラズマトーチを用いて熱酸化によってシリカガラスを製造するプラズマ法もある<sup>4)</sup>。

液相合成法としてゾル・ゲル法があげられる<sup>16)</sup>。ゾル・ゲル法でのシリカガラス製造に関して、多くの研究が報告された。しかし、ゲル体の乾燥時やガラス化時に割れるなどの問題があったため、バルクのシリカガラスとして製品化できなかった。先述のように、ゾル・ゲル法で合成した粉末を溶融シリカガラスの原料として用いている<sup>5) 6)</sup>。

### 3・2 シリカガラスの加工

シリカガラスは、ガラス塊 (インゴット) を生成したあ

と、製品にするために研磨加工や成型加工など様々な加工が行われる。これらの加工をする前に切断したり、表面を研削加工したりする。これらの加工は、ダイヤモンドツールでの機械的切断、レーザー加工など一般的加工法が用いられている。

機械的、熱的に加工するときに歪みが生じる、そのため、加工後の製品に対して除歪のための熱処理 (アニール) を行う。除歪のための熱処理はシリカガラスの種類によらず、1150℃で行うことが多い。さまざまな経験からこの温度を超えると、シリカガラスの網目構造を形成する共有結合の開裂と再結合が起こることがうかがわれる。ただし、熱処理に伴い、表面から水分子とシリカガラスの骨格を構成する  $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$  構造との反応で、水酸基の生成や水酸基同士が反応による水分子の生成がおきる<sup>17)</sup>。これに伴い、表面付近に歪みが生じることもある。

シリカガラス管はさまざまな用途に用いられる。一番低コストで大量生産できるのは、Fig. 3(c)に示すようなシリカの粉末を電気溶融して直接管を製造する方法である。火炎溶融石英ガラスや合成シリカガラスでは、ガラス生成と製管を同時にすることはできない。そこで、柱状のシリカガラスを管状に成型してから、管に加工する。Fig. 6にシリカガラス管の製造装置の一例を示す<sup>18)</sup>。この方法では、円筒内を加圧して、回転させながら管の形に加工するものである。細い管の場合、非接触で管を製造する場合もある。管を製造するにあたって、現在は円柱から円筒を成型加工

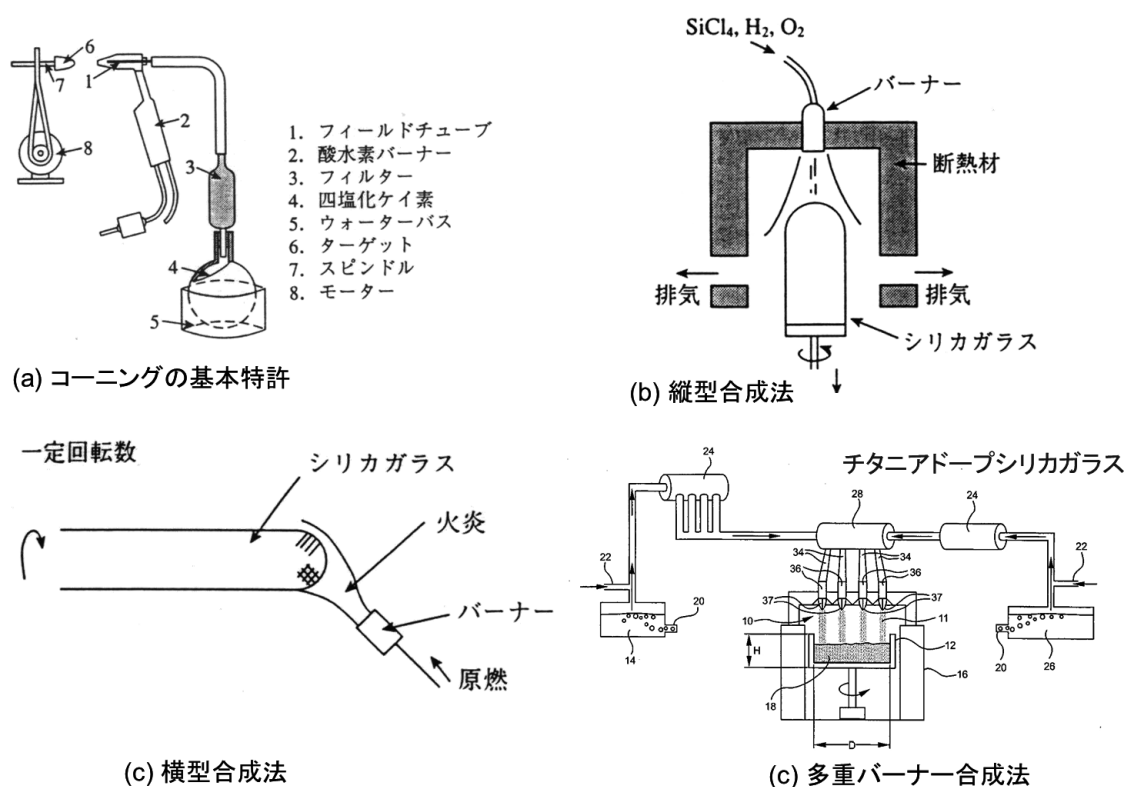


Fig. 4 気相合成シリカガラスの製造方法. (a) コーニングの基本特許<sup>11)</sup>, (b) 縦型合成法<sup>4)</sup>, (c) 横型合成法<sup>12)</sup>, (d) 多重バーナー合成法<sup>13)</sup>.

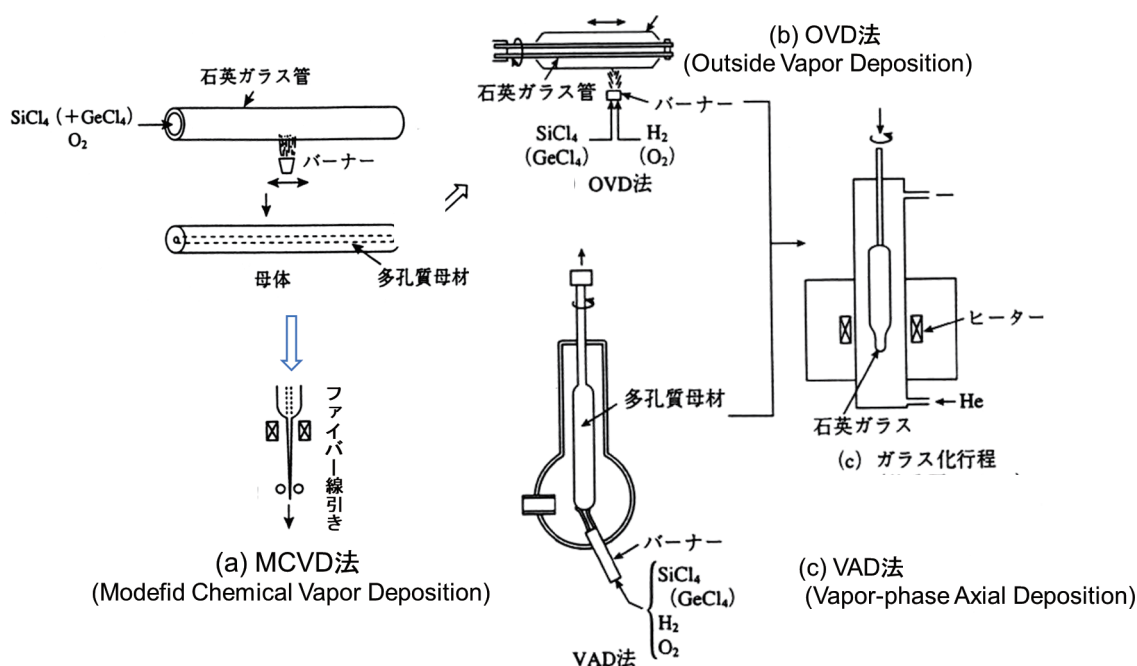


Fig. 5 スート法シリカガラスの製造方法. (a) MCVD法<sup>4)</sup>, (b) OVD法<sup>14)</sup>, (c) VAD法<sup>15)</sup>.

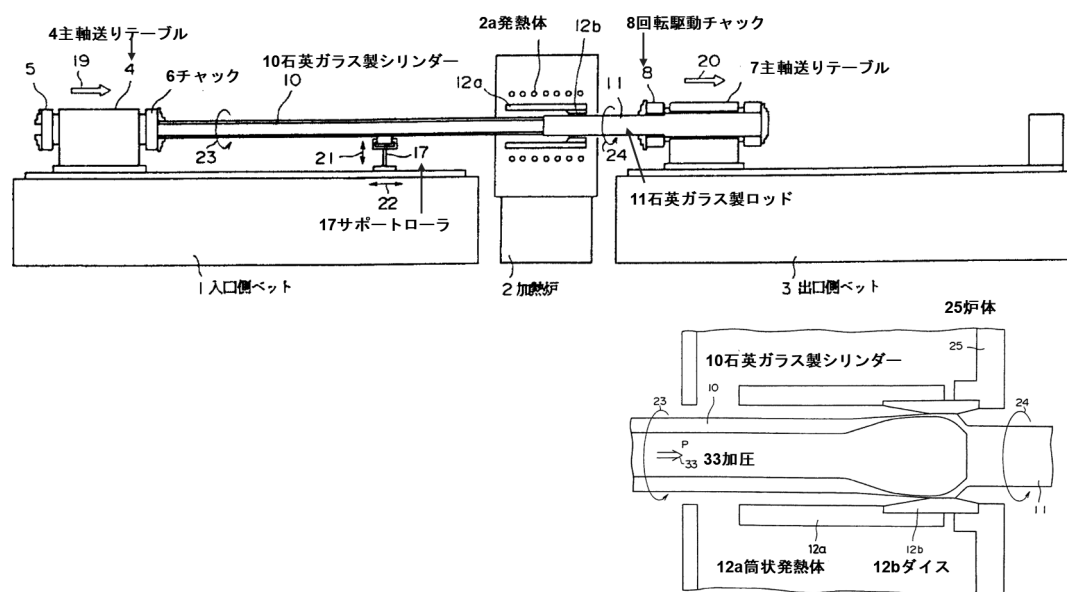
している。以前は円柱から、コアドリルなどで円柱状に加工していたこともある。

シリカガラスは、製管、成型、切断加工や表面の研削加工も行う。薄手のガラス板を作製するにはワイヤーソーで切断している。

シリカガラスの特長は、ガス加工できることである。シリカガラスは他のガラスにくらべて、高温で加工するため、酸素素火炎が用いられる。ガラス管の溶接や管径を変えるときには、ガラス旋盤が用いられる。

均質化のために成型加工を行うこともある。成型時には、



Fig. 6 シリカガラス管製造方法の例<sup>18)</sup>。

失透しやすい温度領域を通過する。失透には、アルカリ金属や水分の存在が影響するため、高純度のグラファイト製の炉材やモールドを用いるとともに、水蒸気を含まない雰囲気にするなどの配慮が必要である。

シリカガラスの表面を平坦に研磨して接合し、1150℃以上の温度に保持すると、接合する<sup>19)</sup>。この性質を利用して、分光測定に用いる光学セルや蝇の目レンズの加工に利用されている。

## 4 シリカガラスの性質

### 4・1 シリカガラスの分光特性

シリカガラスは紫外線から近赤外線領域の波長領域で内部吸収がみられない。しかしながら、200 nm台よりも低波長領域と近赤外線領域では製造方法や製造条件による差異がある。

Fig. 7に紫外～真空紫外領域の分光透過率を示す<sup>1)</sup>。紫外線領域では、天然粉熔融石英ガラスとその他のシリカガラスでは、大きな違いがある。天然粉熔融石英ガラス（Fig. 7のHRが電気熔融、Nが火炎熔融）では、波長240 nm付近にピークをもつ、吸収帯が存在する。この吸収帯に主波長254 nmの低圧水銀ランプの光を照射すると、青紫色の蛍光を発する。これらの吸収帯は、水酸基をほとんど含まない電気熔融石英ガラスでも、水酸基を100～300 wt ppm程度含む火炎熔融石英ガラスでも存在する<sup>20)</sup>。OH基を含むシリカガラスではこの吸収帯を熱処理によって消滅させることができる<sup>20)</sup>。一方、水酸基を含まない熔融石英ガラスでは、熱処理しても吸収帯がほとんど変化しない<sup>20)</sup>。これらは欠陥構造によるものである<sup>20)</sup>。

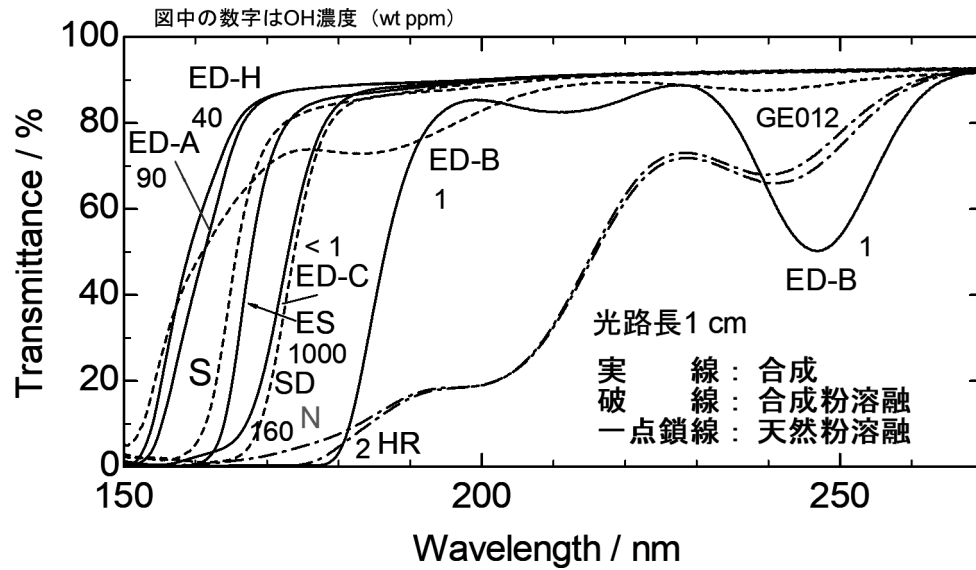
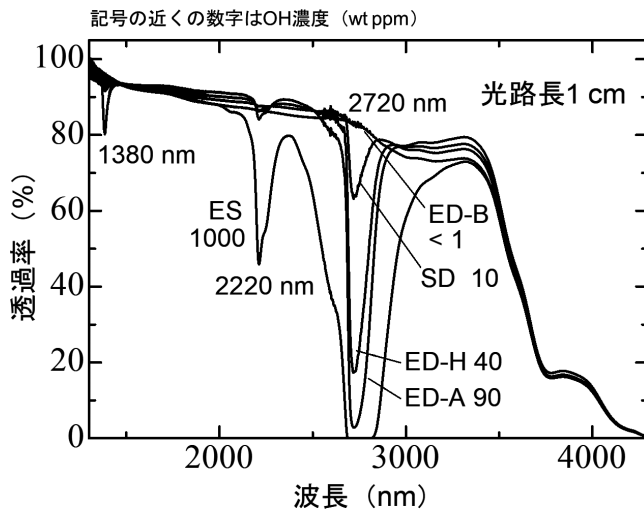
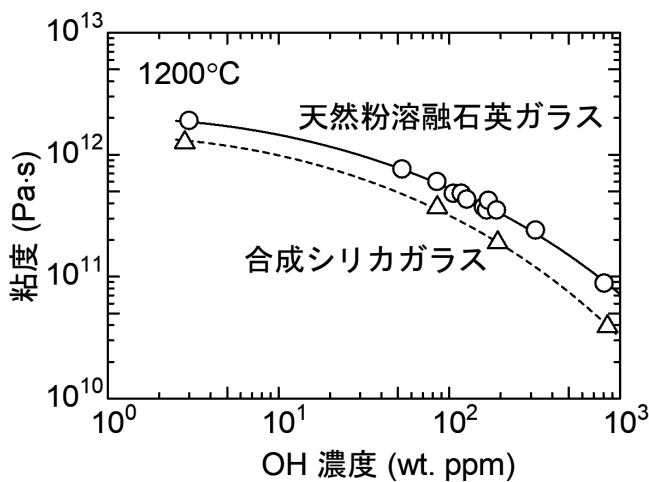
スト法合成シリカガラス（ED-A, ED-B, ED-C）のうち、OH基も塩素も含まないもの（ED-B）は、熔融石英ガラスの吸収帯に近い、245 nm付近にピークをもつ吸収帯が存在する<sup>20)</sup>。これは、熔融石英ガラスの吸収帯とは別物である。低圧水銀ランプの光を照射すると、青色の蛍光が生じる。さらにOH基が存在すると吸収端付近で吸収が生じる、そのためOH基が多いほど合成シリカガラスの吸収端は長波長側に移動する（ES: 1000 wt ppm, ED-A: 90 wt ppm, ED-H: 40 wt ppm）。合成粉熔融シリカガラス（S, SD）では200～300 nmでの欠陥構造による吸収帯は見られず、合成シリカガラスと似たような吸収スペクトルを示している。同じ合成粉熔融でもGE012とよばれる電気炉で熔融したものでは200～300 nmの波長領域で欠陥構造による吸収帯が見られる。

近赤外線領域の吸収スペクトルをFig. 8に示す。近赤外線領域では、水酸基由来の吸収帯が生じる。これらの吸収帯のピーク強度を用いて水酸基濃度を定量している<sup>21)</sup>。

### 4・2 シリカガラスの熱的性質

#### 4・2・1 粘度

シリカガラスの粘度は、シリカガラスの製造方法に依存する。Fig. 9に1200℃での各種シリカガラスの粘度のOH基濃度依存性を示す<sup>22)</sup>。同じOH濃度でも、天然粉熔融石英ガラスの方が合成シリカガラスよりも粘度が高い。いずれも水酸基濃度の増大とともに、粘度が減少している。天然粉熔融石英ガラスの粘度が高いのは、Alを10 wt ppm程度含むためである。Yamahara<sup>23)</sup>らは、合成のシリカ粉にAlを混入してシリカガラスを作製し、Alを10 wt ppm程度

Fig. 7 各種シリカガラスの紫外～真空紫外光透過スペクトル<sup>1)</sup>.Fig. 8 各種シリカガラスの近赤外光透過スペクトル<sup>1)</sup>.Fig. 9 各種シリカガラスの粘度のOH濃度依存性 (1200 °C)<sup>22)</sup>.

含むと粘度が高くなることを示した。

Fig. 10に各種シリカガラスの粘度の温度依存性を示す<sup>22)</sup>。おおよそ1700 °Cよりも低い温度では、種類によって差異が見られる。高温になるとアレニウスプロットで1

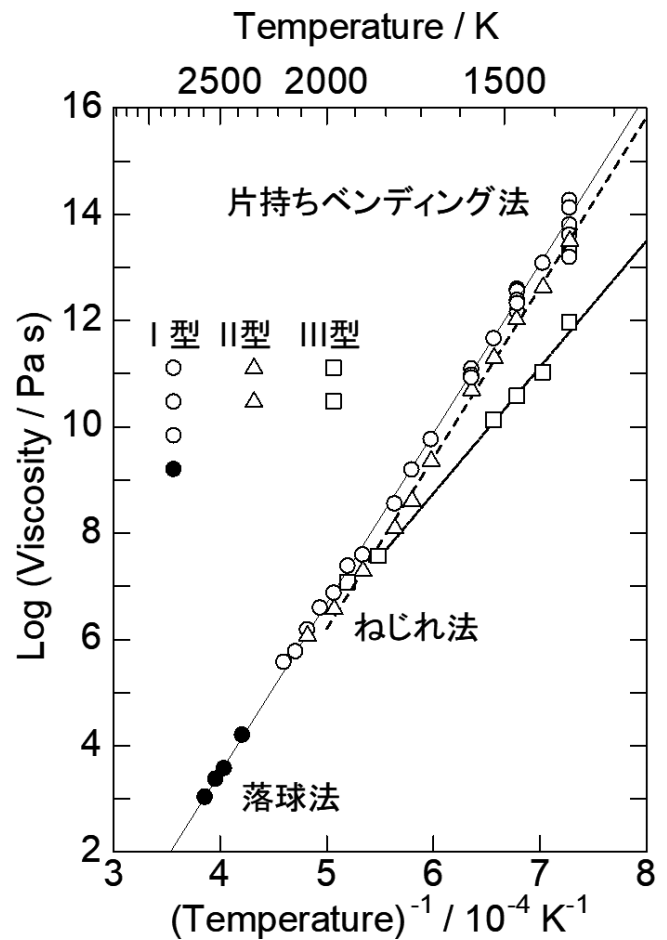
Fig. 10 各種シリカガラスの粘度の温度依存性<sup>22)</sup>.

Table 2 シリカガラスとその他の材料の線膨張係数<sup>4)</sup>

材 料	線膨張係数		25 m の棒が 50 °C の 温度差で伸びる量 (mm)
	$10^{-7} \text{ K}^{-1}$	シリカガラスを 1 と した値	
シリカガラス	5.5	1	0.68
窓板ガラス	100	18	12.5
鉄	135	25	28.8
アルミニウム	230	141	29.0
銅	167	30	20.9

つの直線に収束する傾向を示す。

#### 4・2・2 特性温度

ガス加工性に関する温度として特性温度とよばれる温度がある。それぞれ、歪点（これ以下の温度では歪除去できない温度）、徐冷点（加工により生じた歪から15分で除去される温度）、軟化点（ガラス加工ができるようになる温度）、作業点（ガラス加工ができる上限の温度）とよばれる温度がある<sup>24)</sup>。ガラスによって違うので粘度によって定義されている。徐冷点は除歪の目安になる温度で、粘度が  $10^2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  で定義される。この粘度になる温度は、シリカガラスの種類によって1090～1210 °C の範囲にある。しかしながら、実際の除歪のための熱処理はシリカガラスの種類によらず経験的に1150 °Cで行うことが多い。シリカガラスの表面を鏡面に研磨して接触させて加熱することで接合する<sup>19)</sup>。この作業を行う温度も多くの場合1150 °Cである。この温度はシリカガラス骨格のSi-O-Si結合の開裂が始まる温度と考えられる。

#### 4・2・3 熱膨張

シリカガラスの熱膨張係数は、他の材料に比べて低いことが知られている (Table 2)<sup>4)</sup>。Figure 10に直接法合成シリカガラスと天然粉電気溶融石英ガラスの線膨張係数の温度依存性を示す<sup>25)</sup>。電気溶融石英ガラスでは、シリカ結晶の相転移温度で、極大または極小がみられるが、合成シリカガラスでは、そのような結晶転移点での得意性は見られない。

#### 4・2・4 熱伝導

熱伝導はシリカガラスによる熱伝導の他に放射光に対する熱伝導が問題になることがある。特に、炉心管などに用いる場合、フランジ部分から放射による熱伝導でパッキン

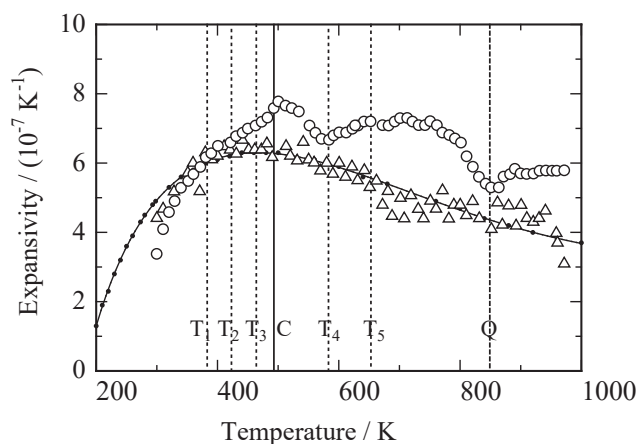


Fig. 11 直接法合成シリカガラスと電気溶融石英ガラス ( $\Delta$ ) の線膨張係数<sup>25)</sup>。縦線の記号は、Q: 石英結晶の $\alpha \rightarrow \beta$ 転移点, C: クリソバライト結晶の $\alpha \rightarrow \beta$ 転移点, T1, ..., T5: トリディマイトの転移点。

が劣化することがある。そこで、放射光による熱伝導を防ぐために微小な気泡を多数存在させた不透明石英ガラスが用いられる<sup>10) 26)</sup>。

#### 4・2・5 仮想温度

ガラス構造が凍結されたと考えられる温度を仮想温度という<sup>24)</sup>。シリカガラスの仮想温度は十分長時間熱処理した薄片を急冷することによって得られる。既存のシリカガラスの仮想温度を知る方法として、赤外線の吸収スペクトルや反射スペクトルのピーク位置によって求められる方法が提案されている<sup>27)</sup>。

#### 4・2・6 結晶化 (失透)

シリカガラスを高温で保持すると結晶化する。この現象は結晶が生成することによって、透明性を失うために「失

透」とよばれている。失透は文献によると、汚染がない場合1100℃以上の温度でしか生じないとされている<sup>26)</sup>。したがって失透に対する文献は概ね1300℃以上のものが多い<sup>28)</sup>。一方、アルカリ金属などの汚染があるとより低温で失透する。アルカリ金属が存在する場合でも、水蒸気が存在しない場合は失透しにくい<sup>29)</sup>。さらに、シリカガラス中に塩素を1000 wt ppm程度含有するシリカガラスは、塩素を含有しないシリカガラスよりも失透しにくい<sup>30)</sup>。

#### 4・3 放射線・紫外線などに対する耐性

Figure 7に示すように、溶融シリカガラスや一部のシリカガラスでは紫外線領域や真空紫外領域で吸収帯が存在している。このような固有な吸収帯の他に、シリカガラスに $\gamma$ 線やX線などの放射線、エキシマレーザーなどの紫外線を照射によって欠陥構造が生じることもある<sup>31)</sup>。それに伴い、吸収帯が生じたり、紫外線を照射したときに蛍光が生じたりすることもある。これらの吸収帯や発光帯の生成は紫外線用光学材料や放射線暴露下で使用する光ファイバーなどの実用特性として問題になり、放射線や紫外線に強い材料の開発がされてきた。

#### 5 おわりに

シリカガラスは、他の材料にない様々な優れた特性を持っている。特長として「金属不純物が極端に少ない」「線膨張係数が低くて比較的高温で利用できる」「紫外線から近赤外線までの広い波長領域にわたって優れた光透過特性を示す」などが挙げられる。このように、他の材料にない特長を持っている。さらに、ガス加工を含む成型加工ができ研磨加工などがしやすい。その一方で、極限の性質を要求するために製造方法や種類による違いが非常に重要になってくる。そのため、様々な製造方法が共存し用途によって使い分けられているのが特徴である。

本稿では、シリカガラスの種類、製造方法主な性質について述べた。第2部ではシリカガラス製品に関わる性質について筆者の行ってきた研究を中心に紹介することにする。

#### 謝辞

40年近くシリカガラスに関わってきました。シリカガラスメーカー・大学勤務の間、勤務先の方々、取引先の方々、その他企業、大学、研究機関の多くの方々のお世話になってきました。これらの方々に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 葛生 伸：New Glass 131 3-8 (2020).
- 2) 川副博司他編：非晶質シリカ材料応用ハンドブック，

リアライズ社 (1999).

- 3) 葛生 伸：New Glass, 141, 3-6 (2024).
- 4) 葛生 伸：石英ガラスの世界，工業調査会 (1995).
- 5) S.M. Antozak and M. Rajaram: U.S. Patent 6,235,669B2, General Electric Company, 2001.
- 6) 加茂賢治，御手洗計治，吉田直喜：特開2006-008452，東ソー・エスジーエム株式会社.
- 7) 崎久保邦彦：New Glass, 4, 29-39 (1987).
- 8) スタンリー マーシェ アンツアック，特開昭47-41640，General Electric Company.
- 9) 佐藤龍弘，水野繁夫，松村光男：特開平9-249484，信越石英株式会社.
- 10) 長田裕也，工藤正行，津久間孝次：特開平11-236234，東ソー株式会社，日本石英硝子株式会社.
- 11) J.F. Hyde, U.S. Patent 2272342 (1942), Corning Glass Works.
- 12) 川口 栄，下間 晃，大塚久利：特開平1-138215，信越化学工業株式会社. 信越 横型直接法.
- 13) ケネス・エドワード・ハーディナ，ロバート・セビア：特開2004-131373，Corning Inc. コーニング多重バーナー.
- 14) 三上雅俊，松原邦弘：特公平3-9047，古川電気工業株式会社.
- 15) 塙 文明：特公平3-3617，日本電信電話株式会社.
- 16) 作花済夫：ゾルーゲル法の科学～機能性ガラスおよびセラミックスの低温合成～アグネ承風社 (1988).
- 17) N. Kuzuu, N. Sato, Y. Arakawa, H. Horikoshi, N. Horii: Jpn. J. Appl. Phys, 56, 111303-1~11 (2017).
- 18) 後藤吉彦，Mark L. Sandifer，五十嵐誠，平野逸雄：特開平3-247526，日本石英硝子株式会社，山口日本石英株式会社.
- 19) N. Kuzuu, H. Horikoshi, A. Okazaki, T. Seki and M. Tanaka: J. Ceram. Soc. Japan, 117, 211-213 (2009).
- 20) N. Kuzuu, H. Horikoshi, T. Nishimura, Y. Kokubo: J. Appl. Phys. 93, 9062-9071 (2003).
- 21) K.M. Davis, A. Agarwal, M. Tomozawa, K. Hirao, J. Non-Cryst. Solids, 203, 27-36 (1996).
- 22) Y. Kikichi, H. Sudo and N. Kuzuu: J. Ceram. Soc. Jpn. 105, 645-649 (1997).
- 23) K. Yamahara, K. Shima, A. Utsunomiya, Y. Tsurita: J. Non-Cryst. Solids 349, 341-346 (2004).
- 24) 葛生 伸：「特性温度，仮想温度」川副博司他編：非晶質シリカ材料応用ハンドブック，リアライズ社 (1999), pp. 91-98.
- 25) Y. Kikuchi, H. Sudo, N. Kuzuu: J. Appl. Phys. 82,



- 4121-4123 (1997).
- 26) 須藤 一:「熱特性」川副博司他編:非晶質シリカ材料  
応用ハンドブック, リアライズ社 (1999), pp. 81-90.
- 27) A. Agarwal, K. M. Davis, and M. Tomozawa: J. Non-  
Cryst. Solids, **185**, 191 (1995).
- 28) E. Wagstaff: J. American Ceram. Soc. **5**, 650 (1969).
- 29) N. Horii, N. Kuzuu, H. Horikoshi: Jpn. J. Appl. Phys.  
**60**, 045503-1~10 (2021).
- 30) Naohiro Horii, Akihiro Inouye, Nobu Kuzuu,  
Hideharu Horikoshi: J. Ceram. Soc. Japan, **127**, 773-  
776 (2019).
- 31) L. Skuja: J. Non-Cryst. Solids, **239**, 16 (1998).

## 略歴



葛生 伸

1984年 3 月 東京都立大学大学院 理学研  
究科 物理学専攻 博士課程修了

1984年 4 月 東洋曹達工業株式会社 (現東  
ソー株式会社) 入社

1986年 6 月 山口日本石英株式会社 (現東ソー・エスジ  
エム株式会社) 出向

1994年 8 月 日本石英硝子株式会社 (現東ソー・クォーツ  
株式会社) 出向

1996年 4 月 福井大学工学部応用物理学科助教授

2006年 4 月 福井大学大学院工学研究科物理工学専攻教授

2021年 3 月 同定年退職

現在 福井大学名誉教授, 福井大学教育学部研究機関研究  
員, 福井大学・副工業高等専門学校非常勤講師

現役時代はシリカガラスの物性研究に従事。技術者教育,  
理科教育などの研究にも従事。現在は福井大学STELLA  
プログラムのコーディネータとして小中学生の探究活動を  
支援。