

# カルコゲナイドガラスファイバーの作製と赤外線光学への応用

非酸化物ガラス研究開発(株) 西井 準治

## Preparation of chalcogenide glass fibers and their application to infrared spectroscopy

Junji Nishii

Non-Oxide Glass R & D Co., Ltd.

### 1. はじめに

波長 3  $\mu\text{m}$  以上の赤外線を伝送できる光ファイバー(赤外ファイバー)は、高エネルギーレーザーのパワー伝送、低温温度計測、熱イメージ伝送、ガス分析などの短距離での応用が期待されている。赤外ファイバーの素材は、(1) フッ化物やカルコゲナイドなどのガラス、(2) ハライド結晶、(3) 金属、樹脂などの中空導波管の3つに分けられる。中でもカルコゲナイドガラスは、耐熱性や耐候性に優れており、1965年ごろからファイバー化に関する研究が始まった<sup>(1)</sup>。また、1980年前後には金森(NTT)らによって、長距離通信用としてAsS系やGeAsSe系のガラスファイバーが研究された<sup>(2)-(3)</sup>。

筆者らは、短距離での応用でも特に医療、産業分野で期待されているCO<sub>2</sub>レーザー(波長10.6  $\mu\text{m}$ )のパワー伝送に用いることができるカルコゲナイドガラスファイバーの開発を主たる目的として、ガラス組成の最適化、紡糸方法の検討、低損失化などを行った。本稿ではこれらの結果に加えて、CO<sub>2</sub>レーザーやCOレーザー(波長5.4  $\mu\text{m}$ )のパワー伝送特性と計測分野へのいくつかの応用例について述べる。

### 2. ファイバーの作製

#### 2.1 プリフォームの作製

ファイバー用ガラス原料にはカルコゲン元素

(S, Se, Te)の他にGeとAsを用いた。これらの原料は市販の純度6~7Nの高純度品だが、その表面はファイバーの透過損失に悪影響を及ぼす酸素や水分に汚染されている。そこで、カルコゲン原料は真空蒸留で、Geは水素還元で、Asは昇華で十分に精製した。原料はアルゴン雰囲気下で調合し、石英アンブルに真空封入した後に800~850°Cの揺らん炉中で24時間熔融した。

カルコゲナイドガラス融液は蒸気圧が高いため、大気圧中でキャストすることが困難である。そこで、プリフォームはFig. 1に示す方法で作製した。揺らん炉から取り出したアンブルを、コアロッドの場合は垂直にして、またクラッドチューブの場合は水平にして、回転させながらガスを吹き付けて急冷した。プリフォームは、徐冷してからアルミナ研磨剤で光学研磨した。

#### 2.2 紡糸

カルコゲナイドガラスを軟化点以上に加熱すると、周囲の酸素や水分と反応したり、ガラス成分の一部が酸化して表面が失透しやすい。ガラスの表面失透を抑える方法として、Fig. 2に示すように、予めコアロッドに熱収縮テフロンFEPをジャケットしておき、コアとテフロンを一緒に紡糸するという方法がある<sup>(4)</sup>。この場合、テフロンはクラッドとバッファーの両方の役割をするため、ファイバーの作製が比較的簡単である。ただし、波長7.5  $\mu\text{m}$ 以上の波長域でテフロンの強い吸収が

生じるので、使用波長域が限定されるし、ファイバーの開口角 (NA) を調節することができない。一方、ガラスクラッドファイバーの作製方法と

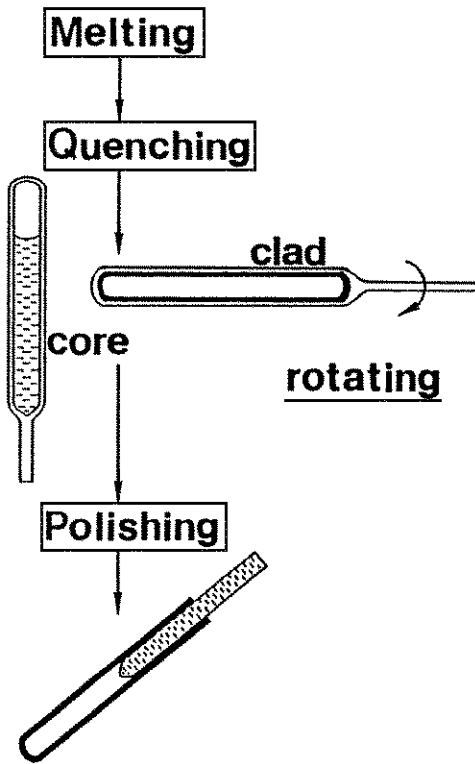


Fig. 1 Preform preparation process.

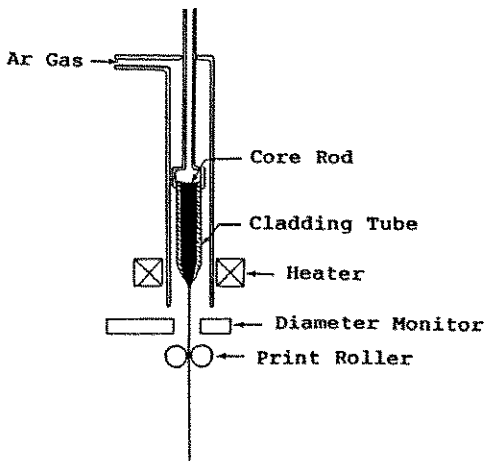


Fig. 2 Drawing apparatus for Teflon cladding fiber.

しては、2重ルツボ法<sup>2)</sup>とロッドインチューブ法<sup>6)</sup>が提案されている。しかし、これらの方法で得られるファイバーの透過損失は、同じ組成のアンクラッドファイバーよりも高い<sup>2),6)</sup>。損失増加の原因は、前者ではガラスの結晶化による散乱、また後者ではコアクラッド界面の融着不良による散乱である。筆者らはこれらの散乱損失を抑えるために、Fig. 3 に示すルツボ紡糸法を提案した<sup>7)</sup>。これは、ルツボ内部を不活性ガスで加圧し、かつコアとクラッドとの間隙を真空脱気しながら、ノズル近傍のみを局部的に加熱して紡糸するという方法である。ファイバーには、オンラインで紫外線硬化樹脂をコーティングした。

### 2.3 透過損失測定

損失測定に用いたファイバーは、外径 300~550  $\mu\text{m}$ 、長さ数 m~数十 m で、その入出射端面はアルミナ研磨剤で光学研磨した。Fig. 4 は、研磨後のガラスクラッド  $\text{As}_2\text{S}_3$  ファイバー端面である。ファイバーの透過損失はカットバック法で測定した。

## 3. 各種ファイバーの損失スペクトル

筆者らが作製したファイバーは、イオウ系、セレン系、テルル系の 3 つに大別される。各ファイバーの物性を Table 1 にまとめた。

### 3.1 イオウ系ファイバー

$\text{As}_2\text{S}_3$  ガラスをベースにして、テフロンクラッド

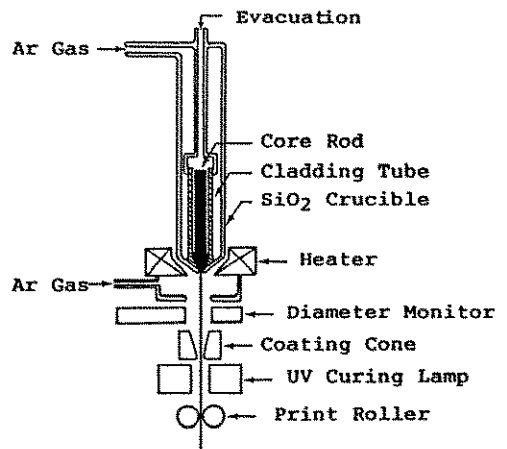


Fig. 3 Drawing apparatus for glass cladding fiber.

ドファイバー (NST) とガラスクラッドファイバー (NSG) を作製した。ガラスクラッドファイバーのコアには3%のSeをドープした。Fig. 5はこれらのファイバーの透過損失スペクトルである。2.5  $\mu\text{m}$  帯と5  $\mu\text{m}$  帯に低損失な領域がある。2.9  $\mu\text{m}$  と4.1  $\mu\text{m}$  の強い吸収は、各々不純物としてガラス中に取り込まれたO-HとS-Hの伸縮振動による。これらの吸収は、原料であるイオウをSe<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>などのハロゲン化合物ガスの雰囲気下で蒸留すればある程度抑えられる。一例をFig. 4(c)に示す。O-HとS-Hの吸収は、各々0.3 dB/mと1 dB/mに低下した。

### 3.2 セレン系ファイバー

セレン系ガラスの中で最も結晶化に対して安定

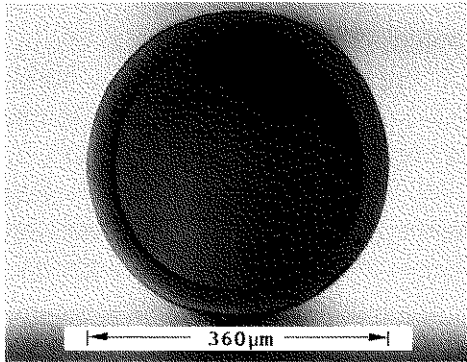


Fig. 4 Polished fiber cross section of As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> fiber with glass cladding.

なGeAsSeガラスを基に、テフロンクラッドファイバー (NSET) とガラスクラッドファイバー (NSEG-1, -2) を作製した。NSEG-1のNAは、

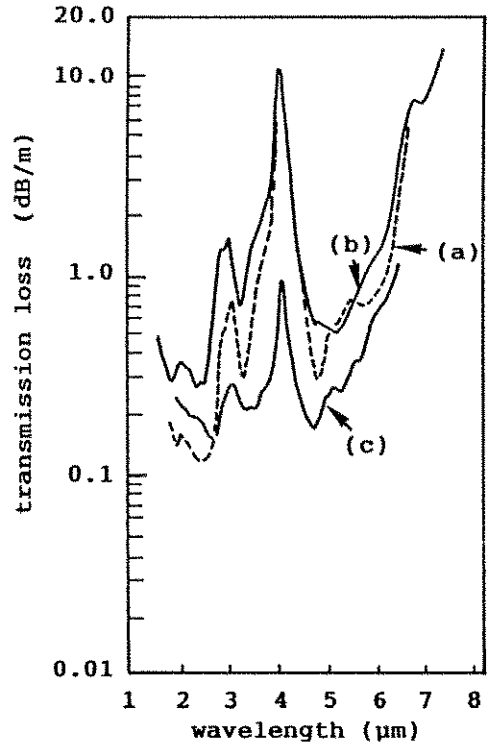


Fig. 5 Loss spectra of (a) NST, (b) NSG and (c) NSG prepared from the sulfur purified under the Se<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> gas stream.

Table 1 Physical properties of chalcogenide glass fibers.

fiber	NST	NSG	NSET	NSEG-1	NSEG-2	NTEG-1	NTEG-2
glass system (core/clad)	AsS/Teflon	AsSSe/AsS	GeAsSe/Teflon	GeAsSe/GeAsSe	GeAsSeTe/GeAsSe	GeSeTe/GeAsSeTe	
glass transition temperature (°C)	204/—	205/204	241/—	307/295	241/248	253/200	216/179
refractive index (at 5 $\mu\text{m}$ /10.6 $\mu\text{m}$ )	2.41/— (5 $\mu\text{m}$ )	2.44/2.41 (5 $\mu\text{m}$ )	2.51/— (5 $\mu\text{m}$ )	2.61/2.56 (10.6 $\mu\text{m}$ )	2.55/2.51 (10.6 $\mu\text{m}$ )	2.90/2.89 (10.6 $\mu\text{m}$ )	2.97/2.90 (10.6 $\mu\text{m}$ )
temperature dependence of refractive index (deg <sup>-1</sup> )	<1×10 <sup>-5</sup>		—	3×10 <sup>-5</sup> /—	—/—	8×10 <sup>-5</sup> /—	14×10 <sup>-5</sup> /—
numerical aperture	—	0.4	—	0.46	0.41	0.22	0.64
Young's modulus (kpsi)	2350/50	2350	—	2760/—	—	2970/—	2840/—
Vickers hardness (kpsi)	195/—	180/195	—	276/289	—	—	215/—

コアのAs濃度をクラッドよりも高くすることによって、またNSEG-2ではコアにTeを添加することによって調節した。NSETとSEG-1の損失スペクトルをFig.6に示す。NSET、NSEG-1共に6 $\mu\text{m}$ 帯で最低損失0.2 dB/mが達成された。NSEG-2はNSEG-1とほぼ同じレベルの損失であった。NSETの損失スペクトルには、波長7 $\mu\text{m}$ 以上でテフロンによる強いエバネセント吸収が見られる。4.5 $\mu\text{m}$ 付近の鋭い吸収はSe-H伸縮振動によるものであり、イオウ系と同様に、ハロゲン系のガス雰囲気下でSeを蒸留すれば低減化できる。

### 3.3 テルル系ファイバー

GeSeTeガラスをベースにして、NTET(Te=45 at%, テフロンクラッド), NTEG-1 (Te=45 at%, ガラスクラッド), NTEG-2 (Te=51.5 at%, ガラスクラッド)の3つのファイバーを作製した。NTEGのクラッドにはGeAsSeTeガラスを用いた。これは、GeSeTeガラスのガラス化範囲が非常に狭く、実用上十分なNAをもつ組成の組合せが得られないためである<sup>9)</sup>。NTETとNTEG-1の損失スペクトルをFig.7に示す。NTETの場合、NSETと同様なテフロンによる強いエバネセント吸収が生じる。NTEG-1、-2はほぼ同じ損

失を示し、最低損失は8 $\mu\text{m}$ で0.4 dB/m、CO<sub>2</sub>レーザーの発振波長10.6 $\mu\text{m}$ では2 dB/mであった。

## 4. ファイバーの機械的強度と透過損失の経時変化

ファイバーを長期間にわたって使用するためには、その機械的強度や透過損失に対する高い信頼性が要求される。そこで、各種カルコゲナイドガラスファイバーを高温高湿下で処理して、強度と損失の経時変化を調べた。

### 4.1 引っ張り強度と曲げ強度の変化

市販のファイバー強度試験機を用いて、高温高湿処理前後のファイバーの引っ張り強度と曲げ強度を測定した。処理条件は、80°C、相対湿度(RH)85%、24時間とした。測定に用いたファイバーは、コア径205~260 $\mu\text{m}$ 、クラッド径240~335 $\mu\text{m}$ である。高温高湿処理前後のファイバーの強度をTable 2に示す。各ファイバー共に引っ張り強度の低下が目立ち、特にNSTでは40%低下した。従って、カルコゲナイドガラスファイバーを長期間使用する場合、衝撃に強く、周囲の環境に影響されにくいケーブル構造を検討する必要がある。

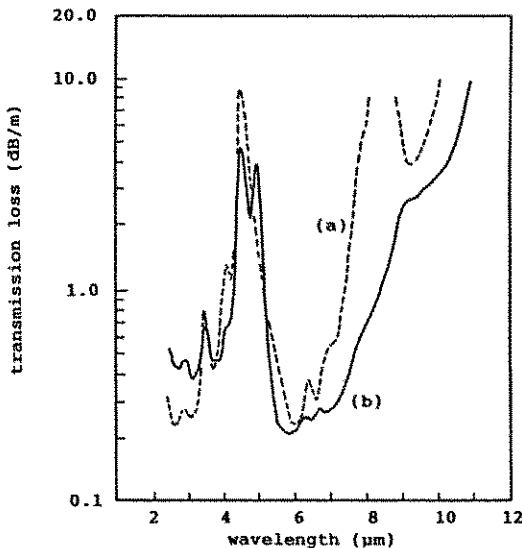


Fig. 6 Loss spectra of (a) NSET and (b) NSEG-1.

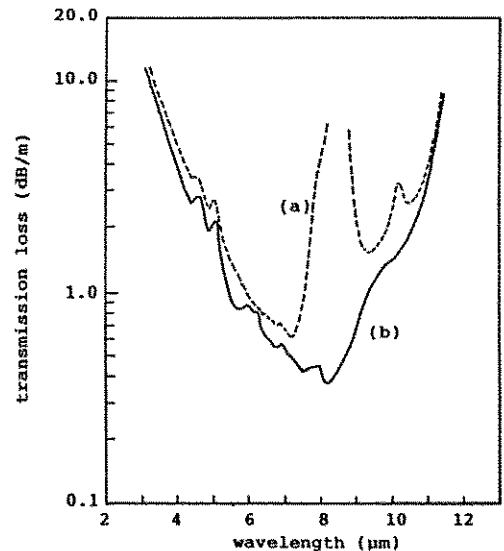


Fig. 7 Loss spectra of (a) NTET and (b) NTEG-1.

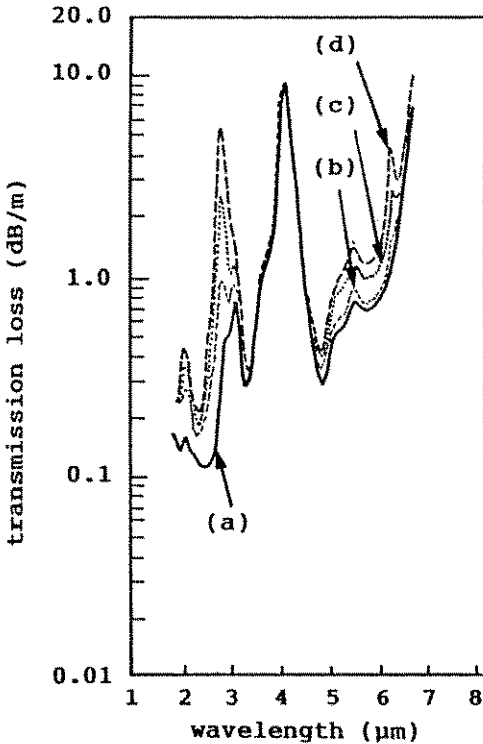
#### 4.2 透過損失の変化

高温高湿処理前後の各ファイバーの透過損失を測定したところ、NST で最も顕著な変化がみら

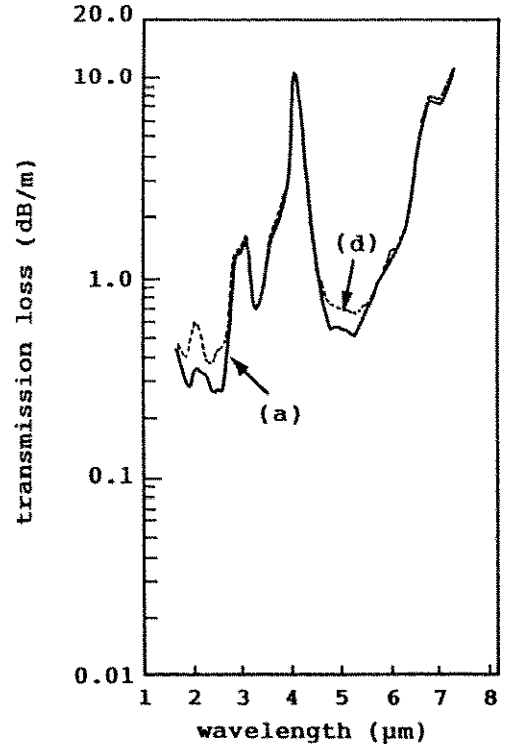
れた。Fig.8(a)は、NST を 85%RH に保ち、40、60、80°C の各温度で 24 時間処理した場合の損失である。波長 2.9  $\mu\text{m}$  と 6.3  $\mu\text{m}$  の O-H による吸収

Table 2 Tensile and bending strength (kpsi) of chalcogenide glass fibers before and after treatment at 80°C and 85%RH for 24hrs.

fiber	fiber diameter ( $\mu\text{m}$ ) core/clad/buffer	before treatment tensile/bending	after treatment tensile/bending
NST	260/300/-	15.9/-	9.6/-
NSG	205/265/403	14.7/90.1	11.6/84.1
NSET	220/240/-	16.8/-	16.3/-
NSEG-2	260/325/430	14.0/51.4	10.0/40.6
NTEG-1	260/335/430	16.1/50.1	12.6/52.1



(A)



(B)

Fig. 8 Loss spectra of NST, figure(A), and NSG, figure(B). The loss curve(a) was measured immediately after the fiber drawing. The loss curve(b)-(d) were measured after the treatment at (b) 40°C, 85%RH, (c) 60°C, 85%RH, (d) 80°C, 85%RH for 24hrs.

強度が処理温度と共に増加した。NST を数カ月大気中に放置した場合にも同様な損失増加がみられる<sup>9)</sup>。Fig. 9 に示すように、2.9  $\mu\text{m}$  の吸収を波形分離すると、2 種類の O-H 吸収ピークが存在することがわかる。これらの吸収は、酸化物ガラスの場合と同様に<sup>10)</sup>、AsS ガラスと水素結合していない O-H (2.8  $\mu\text{m}$ ) と水素結合している O-H (3.0  $\mu\text{m}$ ) とに分類される。従って、テフロンクラッドを透過してコアクラッド界面に浸入した水の一部がコアガラスと化学反応したと考えられる。このことはファイバーの強度の低下にも関連していると推察される。一方、Fig. 8 (b) に示すように、NSG を同様な高温高湿下で処理した場合、NST のような損失の変化はほとんどみられないことから、ガラスクラッドファイバーの方が損失の経時変化に対する信頼性が高いといえる。

## 5. ファイバーの応用

### 5.1 CO<sub>2</sub> レーザーのパワー伝送

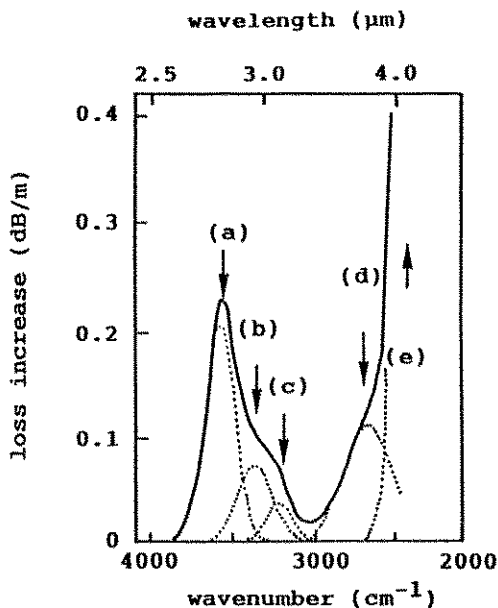


Fig. 9 Deconvolution spectrum of NST treated at 60°C and 85%RH for 24hrs. The loss at 2.5  $\mu\text{m}$  was chosen as the base line. The peaks are assigned to (a) O-H free, (b) O-H associated with glass network, (c, d) S-H combination and (e) S-H fundamental.

医療、産業分野で要求されている赤外線レーザーの出力は数 W~数 kW に及んでおり、用途に応じて異なった光学系が用いられている。ここでは特に医療分野で要求されている 10 W 前後の CO<sub>2</sub> レーザーパワーをカルコゲナイトガラスファイバーを用いて伝送することを試みた結果について述べる。

パワー伝送に用いたファイバーは、NSEG-1、NTEG-1、-2 の 3 種類で、長さ 1 m、コア/クラッド径は 360/450  $\mu\text{m}$  あるいは 450/550  $\mu\text{m}$  である。ファイバーの入出力端面はアルミナ研磨剤で光学研磨した。CO<sub>2</sub> レーザーには、日本赤外線工業 NC-1100 (最大出力 100 W) を用いた。このレーザーから発振される TEM<sub>00</sub> モードのビームをビームスプリッターで 1:1 に分岐して、一方のビームをレーザーの出力モニターに用い、もう一方のビームを焦点距離 30 mm の ZnSe レンズで直径 250  $\mu\text{m}$  のスポットに絞ってからファイバーに入射した。パワー伝送中のファイバーの入射端面には、端面の損傷を防ぐために窒素ガスを吹き付けた。レーザーの入射パワーは、ファイバーに損傷が生じるまで徐々に増加させた。各ファイバーの最大入射パワーを Table 3 に示す。NTEG-1 が最も高い破壊限界を示し、最大出射パワーは 5.9 W だった。ファイバーの破壊は、主に入射端から 20~50 cm の領域で生じた。破壊断面を反射顕微鏡で観察すると、コアの一部が局所的に融けた痕跡がみられた。この痕跡は、コアガラスの屈折率の温度係数が大きなファイバーほど小さかった。従って、ファイバーの熱損傷は、レーザーパワーによるファイバーの温度上昇によって、コアガラス内に熱レンズがつかられ、レーザービームが集束するために起こると推察される。

一般に、カルコゲナイトガラスの屈折率の温度係数は、イオウ系、セレン系、テルル系の順に大きくなり、テルル系では、テルルの含有量が多いほど係数が大きくなる。従って、ガラスのテルル含有量を多くすることは、10.6  $\mu\text{m}$  の損失を下げられるためには有効だが、同時にファイバーの熱的破壊限界を下げる要因になる。

ファイバーの熱損傷を抑えるには、ファイバーの外周を冷却することが有効である。また、入出

射端面での反射損失を下げるために反射防止膜を設けることも伝送効率向上のための重要な対策である。Table 3 に示すように、NTEG-1 に PbF<sub>2</sub> 単層膜を設け、伝送路をガスまたは水で冷却すると、最大出射パワーは、各々9.5 W と 10.7 W に増加した。Fig. 10 は NTEG-1 を用いたファイバークーブルの試作品である。伝送路はガスで冷却され、出射端には焦点距離 30 mm の ZnSe レンズを設けてある。このケーブルは、半径 10 cm 以下に曲げてもパワー伝送効率は変化しない。

### 5.2 CO レーザーのパワー伝送

波長 5.4 μm の CO レーザーは、CO<sub>2</sub> レーザーほど普及していないものの、医療、産業分野での応用が期待されている<sup>11)</sup>。イオウ系及びセレン系ファイバーの波長 5.4 μm での損失は 1 dB/m 以下であり、CO レーザーのパワー伝送に適用できる。CO<sub>2</sub> レーザーの場合とほとんど同じ方法で各種ファイバーを用いてパワー伝送を試みたところ、Table 3 に示すように、NSG で最大 85 W の出射パワーが得られた。As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ガラスは、屈折率の温度係数がセレン系、テルル系ガラスよりもかなり小さいため (Table 1 参照)、レーザービームの熱集束は起こりにくく、ファイバーが軟化するまでパワー伝送を継続することができる。今後は、

伝送路の冷却、端面への反射防止膜などを検討して、さらに高パワーの伝送を試みる。

### 5.3 温度計測への応用

石英ファイバーを使った放射温度計は、狭小領域や電磁波、マイクロ波の影響を受ける場所での

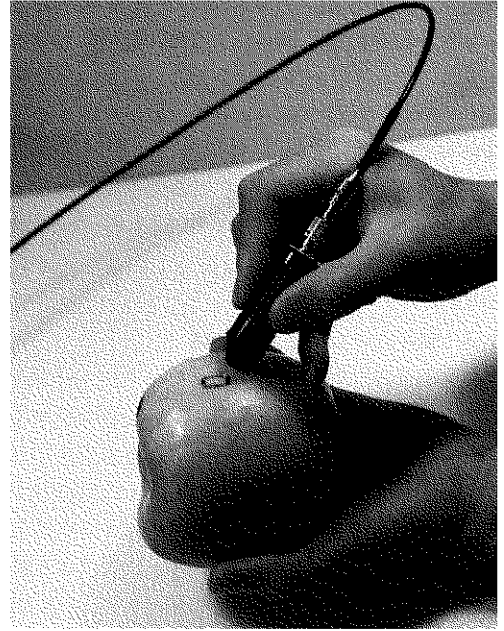


Fig. 10 NTEG-1 fiber cable with handpiece.

Table 3 Maximum input and output powers of CO<sub>2</sub> and CO lasers under several conditions.

laser	fiber	diameter (core, μm)	length (cm)	loss (dB/m) 5.4/10.6 μm	condition		input power (W)	output power (W)	output power density (kW/cm <sup>2</sup> )
					cooling	AR coat			
CO <sub>2</sub>	NTEG-1	450	100	1.0/2.1	no	no	24.8	5.9	3.7
					gas	PbF <sub>2</sub>	21.8	9.5	6.0
					water	PbF <sub>2</sub>	19.4	10.7	6.7
	NTEG-2	450	100	1.9/2.0	no	no	10.6	3.1	1.9
					water	no	11.6	3.6	2.3
	NSEG-1	450	100	0.5/5.5	no	no	18.0	2.2	1.4
water					no	19.4	3.3	2.1	
CO	NST	900	100	0.6/-	no	no	111	59	9.3
	NSG	780	100	0.6/-	no	no	169	85	17.8
	NSEG-1	700	20	0.5/5.5	no	no	13	8.5	2.2
	NTEG-2	800	52	1.9/2.0	no	no	17	5	1.0

温度計測に用いられている。しかし、その測定温度範囲の下限はせいぜい 100°C までであり、それ以下の温度を測定するためには、石英よりもさらに長波長の赤外線透過するファイバーが必要になる。

上田ら(金沢大)は、コア径 320  $\mu\text{m}$  の NST を用いて研削加工中の SiC の表面温度分布を測定した<sup>12)</sup>。彼らは、SiC ブロックの底に空けたピンホールからファイバーを SiC 内部に挿入し、上面をダイヤモンド砥石で研削する際に放出される赤外線を NST を介して InSb 検出器に伝送し、研削温度を測定した。その結果、SiC の研削表面の温度上昇は、せいぜい 200°C 程度であり、研削表面から 50  $\mu\text{m}$  の深さでは 100°C 以下になっていることがわかった。

#### 5.4 熱イメージ伝送への応用

石英や多成分酸化ガラスのファイバーバンドルは、可視域のイメージ伝送に幅広く利用されている。しかし、熱イメージを伝送できるファイバーバンドルに関する研究はまだ始まったばかりである。筆者らは旭光学工業、日本アビオニクスと共同で、NST を用いたコヒーレントで可とう性に富むファイバーバンドルを開発した<sup>13)</sup>。Fig. 11 はバンドルと赤外線カメラ (AVIO TVS-2100) を組み合わせたシステムである。用いた NST は、コア/クラッド径が 55/75  $\mu\text{m}$ 、バンドルの長さ



Fig. 11 IR imaging system with fiber bundle.

は 1 m である。画素数が 1550 と 8400 の 2 種類のバンドルを作製して、得られる画質を比較した。Fig. 12 は、これらのバンドルを用いて作動中の LSI の熱イメージを撮影した結果である。参考のために、カメラで直接捕らえた熱イメージもあわせて示す。画素数 1550 のバンドルの場合、カメラに内蔵された電気的なズーム機能 (4 倍) を使ったため、画質が他よりもやや劣るが、いずれの場合にも室温から 60°C 付近までの熱イメージが確認できた。また、Fig. 13 は人間の熱イメージを撮影した結果である。この様に、赤外ファイバーバンドルと赤外線カメラを組み合わせれば、限られた空間内での低温熱イメージの伝送が容易になり、医療、産業分野での幅広い応用が期待される。

#### 5.5 分光分析への応用

赤外ファイバーは物質の格子振動に関する情報を伝達できるので、目的とする場所でのさまざまな物質の物理的、化学的状態あるいはその変化の過程を“その場分析”できる。以下にその例を示す。

前田ら(東大、生研)は、 $\text{SiO}_2$  を Si に還元する際に用いられる炭素燃焼炉内での CO ガス濃度を計測するために、赤外ファイバーと FTIR を組み合わせた方法を確立した<sup>14)</sup>。Fig. 14 は 1550°C に加熱された炉内の CO ガスの吸収スペクトルの一例と、計測に用いた NSG ファイバーケーブルである。この方法によって、100 ppm 以上の CO ガスが定量分析できる。かれらは、この他に  $\text{SiO}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  などのガスの吸収スペクトルも測定している。この方法を実際のプラントに応用するためには、計測機器を炉から十分に離す必要があるため、現在は 10 m のファイバーケーブルを用いて実験を継続している。

Stevenson ら (Foster Miller INC) は、オートクレーブ中でエポキシ樹脂が硬化する過程を、NTEG と FTIR を用いてその場分析することに成功した<sup>15)</sup>。スペクトルの一例を Fig. 15 に示す。エポキシ樹脂が硬化することによってその吸収スペクトルが変化している様子がわかる。彼らは、この測定方法を新しいコンポジット材料の開発に用いている。

以上のように、従来は得ることが不可能だった



領域での情報を、カルコゲナイドガラスファイバーと他の機器とを組み合わせることによって容易

に得ることができ、今後さらにその応用分野は広がるものと思われる。

## 6. まとめ

イオウ系、セレン系、テルル系の各々において、ガラスクラッドとテフロンクラッドの2種類のファイバーを作製した。各ファイバーの最低損失は1 dB/m以下であり、長さ数m~数十mの短距離での様々な応用が可能であった。

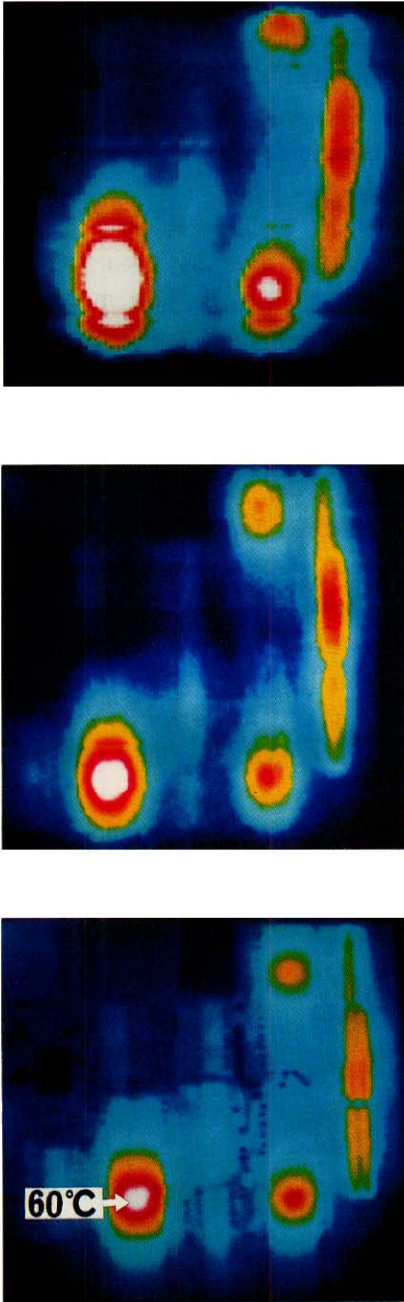


Fig. 12 Thermal images of an operating integrated circuit delivered through the bundle of (a) 1550 cores, (b) 8400 cores and (c) detected by camera directly.

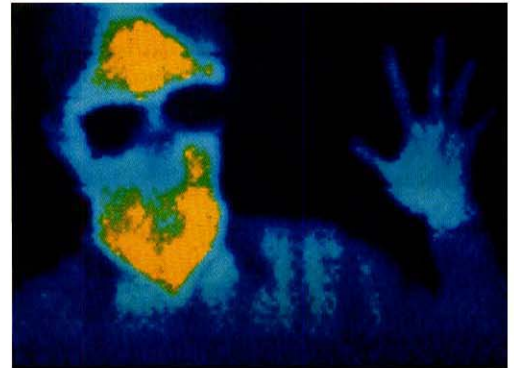


Fig. 13 Thermal image of a human body delivered through the bundle of 8400 cores.

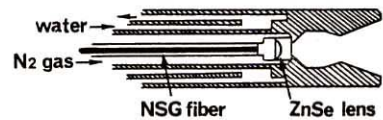
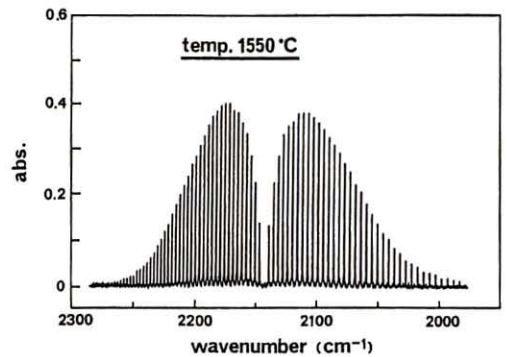


Fig. 14 Absorption spectrum of CO gas at 1550°C and the fiber cable used for measurement.

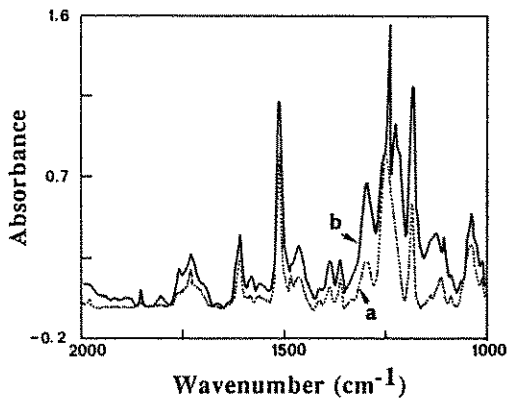


Fig. 15 Absorption spectra of an epoxy resin under curing in the autoclave, (a) before curing, (b) several minutes later.

テルル系ガラスクラッドファイバーを用いたCO<sub>2</sub>レーザーのパワー伝送では、医療分野での応用の目安とされている出力10Wが達成された。また、イオウ系ガラスクラッドファイバーは、80W以上のCOレーザーパワーが伝送でき、今後、伝送路の冷却、反射防止膜などの対策によってさらに高パワーの伝送が期待される。

イオウ系ファイバーやそのバンドルによって、100°C以下の温度計測や熱イメージ伝送が可能であった。また、高温状態のガスや高温高圧下での樹脂の吸収スペクトルを、ファイバーとFTIRを組み合わせることで測定できた。

今後は、これらの応用例を参考にして、より汎用性のあるファイバーデバイスやシステムの開発に取り組む予定である。

#### 謝辞

非酸化物ガラス研究開発(株)(現、(株)NOG)のみなさんに深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) N. S. Kapany and R. J. Simms, *Infrared Phys.*, **5** (1965) 69.
- 2) T. Kanamori, Y. Terunuma, S. Takahashi

and T. Miyashita, *J. Non-Cryst. Solids*, **69** (1985) 231.

- 4) M. Saito, M. Takizawa, S. Sakuragi and F. Tanei, *Appl. Opt.*, **24** (1985) 2304.
- 5) P. Klocek, M. Roth and R. D. Rock, *Opt. Eng.*, **26** (1987) 88.
- 6) T. Katsuyama, K. Ishida, S. Satoh and H. Matsumura, *Appl. Phys. Lett.*, **45** (1984) 925.
- 7) J. Nishii, T. Yamashita and T. Yamagishi, *Appl. Phys. Lett.*, **53** (1988) 553.
- 8) J. Nishii, Y. Kaite and T. Yamagishi, *Phys. Chem. Glasses*, **28** (1987) 55.
- 9) M. Saito, *Appl. Optics*, **26** (1987) 202.
- 10) H. Sholze, *Glastechnische Berichte*, **32** (1959) 81.
- 11) T. Arai, M. Kikuchi, M. Saito and M. Takizawa, *Appl. Phys. Lett.*, **51** (1987) 1887.
- 12) T. Ueda, K. Yamada and T. Sugita, *Bull. Japan Soc. of Precision Engineering*, **56** (1990) 113.
- 13) J. Nishii, T. Yamashita, T. Yamagishi, C. Tanaka and H. Sone, *Int. J. Optoelectronics*, in press.
- 14) M. Maeda, to be published.
- 15) W. A. Stevenson, to be published.

#### 【筆者紹介】



西井 準治 (にしい じゅんじ)  
 昭和57年 東京都立大学, 工学部  
 工業化学科修士課程  
 終了, 同年日本板硝子  
 (株)入社。  
 昭和61年 非酸化物ガラス研究  
 開発(株)出向。  
 平成2年 工学博士(東京都立大  
 学)

#### 【連絡先】

〒664 伊丹市鴻池字街道下1

非酸化物ガラス研究開発(株)伊丹研究所

**Abstract**

Several chalcogenide glass fibers were prepared for infrared optical application. A new crucible drawing method was developed for the drawing of fibers with glass cladding. The transmission loss and mechanical strength, i. e., bending and tensile, of each fiber were investigated before and after the heat treatment under a humid condition. The power delivery of

CO<sub>2</sub> laser (10.6 μm) and CO laser (5.4 μ) was tried using the fibers. The antireflection coating onto fiber ends and cooling of fiber with gas or water were examined for the improvement of power transmission efficiency. A fiber cable having ZnSe lens at the output end was prepared for medical and other application. The fibers were also used for the temperature monitoring, thermal imaging and gas sensing.