

センシング用非石英系光ファイバー

山 下 俊 晴

光通信用に開発された石英系光ファイバーはセンシング用に種々の工夫が加えられ、信号伝送媒体としてだけでなくセンサー素子そのものとしても積極的に利用されている。しかしながら、その一方で、石英系光ファイバーにはない特性をもつセンシング用光ファイバーの開発が求められている。

筆者らは、石英ガラスにはない性質をもつ非石英系ガラスに着目し、光ファイバーの開発に取り組んできた。本稿では、この中で、最近実用化が進んでいる赤外光ファイバーと低光弾性ガラス光ファイバーを取り上げ、その特性とセンシング応用について紹介する。

1. 赤外光ファイバー

1.1 フッ化物光ファイバー

これまで、 ZrF_4 系フッ化物ガラスがフッ化物光ファイバーの代表的母材ガラスであったが、この系のガラスよりも耐候性および熱的・機械的性質にすぐれ、母材ガラスとして好適な AlF_3 フッ化物ガラスが開発された。また、フッ化物ガラスは、熱間で酸素や水と非常に反応しやすいためにフッ化物ファイバーの製造には高度な技術を必要とするが、ガラス溶融・プリフォーム成形およびファイバー線引きの諸技術が開発され、透過損失が低くフレキシブルな光ファイバーを安定に製造できるようになった¹⁾。図1に示すように近紫外域から石英系光ファイバーよりも長波長の中赤外域までの広い波長域の光を透過するのがこの光ファイバーの特徴である。

1.2 カルコゲナイト光ファイバー

S, Se および Te 化物からなるカルコゲナイトガラスは、赤外線透過ガラスとしてよく知られている。AsS 系、GeAsSe 系および Ge (As) SeTe 系ガラスはファイバー化しやすく、これらの系のガラスでは、カルコゲナイトガラスでクラッドされた信頼性の高い、低損失な光ファイバーが開発されている²⁾。現在、実用化されている各種カルコゲ

ナイト光ファイバーの仕様および特性を表1に、そして透過損失スペクトルを図2に示す。フッ化物光ファイバーよりも損失レベルは高いが、4 μm 以上の長波長で使用できる唯一のガラスファイバーである。

1.3 赤外光ファイバーのセンシング応用

赤外光ファイバーのセンシング応用には、成分、濃度、膜厚センサーおよび温度センサーがある。C-H, O-H, N-H などほとんどのガスや有機物の基本振動吸収は、2~11 μm の波長域にある。この波長域を透過する赤外光ファイバーを用いれば、成分・濃度・膜厚を高感度・高精度に検知・測定することができるだけでなく、遠隔での実時間計測も可能となるため、赤外光ファイバーの応用が積極的に進められている。また、FT-NIR や FT-IR の分光分析装置と組み合わせて遠隔で分光分析することも行われている。

物体からの温度に対応したスペクトルの放射光を検出し、その物体の温度を計測する放射温度計にも光ファイバーが使われている。100°C 以下の低温を計測するには、2 μm 以上の波長光を透過する赤外光ファイバーが不可欠である。また、赤外光ファイバーを配列して束ねたイメージバンドルでは熱画像を伝送し、温度分布を検出することが

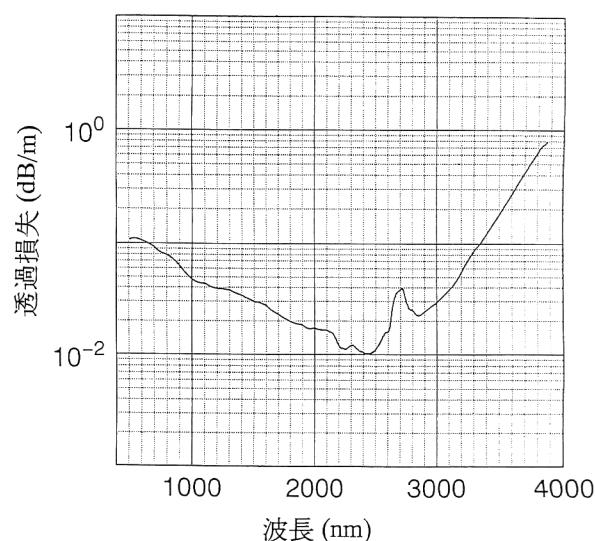


図1 AlF_3 系フッ化物光ファイバーの透過損失スペクトル。

表1 各種カルコゲナイト光ファイバーの標準的な仕様・特性。

ファイバーの種類	NST	NSG	NSEG	NSEGW	NTEG
コアガラス	AsS	AsS	GeAsSeTe	GeAsSeTe	GeSeTe
クラッドガラス	(テフロン)	AsS	GeAsSe	GeAsSeTe	GeAsSeTe
屈折率(コアガラス)	2.41	2.41	2.61	2.86	2.90
開口数	—	0.4	0.5	0.5	0.4
透過波長域(μm)	1~6	1~6	2~8	3~11	5~11
耐熱温度(°C)	204	204	307	230	253
引張強度(kg/mm ²)	13	13	12	12	10
最小曲げ半径(mm)(600 μmφ)	40	40	50	50	50

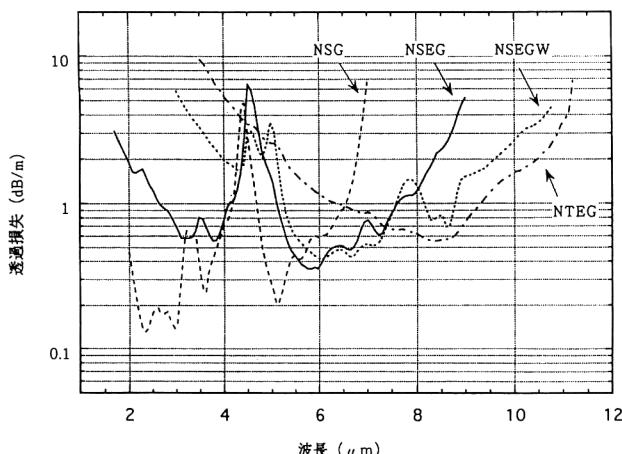


図2 各種カルコゲナイト光ファイバーの透過損失スペクトル。

でき、動作中のIC基板、エンジン、原子炉などの温度分布計測に使われている。

2. 低光弾性ガラス光ファイバーとその応用

シングルモード光ファイバーのファラデー効果を用いたファイバ電流センサーは、従来の電磁誘導式の巻線形変流器に代わる軽量・小型・低コストの新しい電力機器として大きな期待が寄せられてきた。しかしながら、長年の研究開発の努力にもかかわらず実用化されていない。これまでの研究には主に石英系光ファイバーが用いられてきた。石英系光ファイバーでは母材ガラスの応力光学係数が大きいために熱歪みによる固有複屈折が大きいといえ、外力や温度変化によって誘起されやすい複屈折が、伝搬する直線偏光に作用して電流測定精度を低下させてしまうのである。この問題を解決するために開発されたのが低光弾性ガラス光ファイバーである³⁾。母材ガラスはPbOを多く含む多成分系ガラスで、表2に示すようにきわめて小さな応力光学係数をもち、さらにこのガラスのベルデ定数が石英ガ

表2 低光弾性ガラスと石英ガラスの応力光学係数・ベルデ定数。

	低光弾性ガラス	石英ガラス
応力光学係数($10^{-12}/\text{Pa}$)		
波長 $0.633 \mu\text{m}$	0.01	3.5
ベルデ定数($10^{-6} \text{ rad/A} \cdot \text{turn}$)		
波長 $0.85 \mu\text{m}$	15	2.4
1.55 μm	3.75	0.73

ラスより大きく、温度依存性もほとんどないので高感度・高精度の電流測定が期待できる。

このガラスを用いて製作されたシングルモード光ファイバーでは、予想どおり、通常の石英系光ファイバーの固有複屈折数 10 deg/m に比べてきわめて小さい 2 deg/m が得られ、また、この光ファイバーを直径 5 cm に曲げても複屈折は全く生じなかった。透過損失 1 dB/m 、引張強度 0.8 GPa は石英系光ファイバーに比べるとかなり劣るが、実用上問題のないレベルである。この光ファイバーをセンサ素子に用いた電流センサーシステムで、 100 kA を超える大きな交流電流を JEC1201, 1PS の規格を十分満足する精度で長期間安定に測定できることが確認された。現在、電力系統用変流器として本格的に実用化が進められている。

文 献

- 1) K. Itoh, et al.: "Low-loss fluorozircono-aluminate glass fiber," *J. Non-Cryst. Solids*, **167** (1994) 112-116.
- 2) J. Nishii, et al.: "Recent advances and trends in chalcogenide glass fiber technology: A review," *J. Non-Cryst. Solids*, **140** (1992) 199-208.
- 3) T. Yamashita, et al.: "Extremely small stress-optic coefficient glass single mode fibers for current sensor," *Proc. 11th Optical Fiber Sensor Conf.* (1996) pp. 168-171.

(1998年2月26日受理)