

光ファイバーの基礎と応用

藤倉電線(株)研究開発本部 光エレクトロニクス研究所

光応用開発室長 真田 和夫

1. まえがき

光通信用ファイバの開発は、10数年前より本格的に始められた。その後の激しい低損失化競争の結果、わずか数年にして理論限界に近い0.2dB/kmのファイバおよびppb以下のOH基を有するファイバ等が開発された。

低損失化競争において最初は米国がリードしたが、以降のトップデータはことごとく日本によって塗りかえられた。⁽¹⁾⁽²⁾

光ファイバは従来の銅線と比較して広帯域、低損失、高絶縁、無誘導、細径、軽量等の特徴を有しており、光ファイバを使用した光システムはケーブル化技術、接続技術、光素子、光部品の発展と相まって、数年前より実用化が始まり、年々著しい勢いで伸びている。

この中で、石英系ファイバ以外の多成分ガラスファイバ、プラスチッククラッドファイバ、およびプラスチックファイバ等もその特徴を生かし、

種々の短距離システムに使われている。

ここでは、上記各種ファイバの基本的な製法および特性について述べる。

2. 光ファイバの種類と特徴

光ファイバの種類は図1に示すようにマルチモードファイバとシングルモードファイバ(S.M.)の二つに分かれる。また、マルチモードファイバの中にはステップインデックス形(S.I.)とグレーデッドインデックス形(G.I.)の二種類がある。図1の屈折率分布から、わかるようにS.I.形ファイバはコア径およびコア、クラッド屈折率差が大きい。S.M.形はいずれも小さいことがわかる。これから、S.I.形は光源との結合度が大きく、かつ接続も容易であるが、S.M.形は結合度が小さく、また接続も困難であることがわかる。伝送特性において、これら二種のファイバの最も異なる点は伝送容量である。つまり、S.M.ファイバはモードが一つのため超広帯域であり、S.I.形はモード数が多い

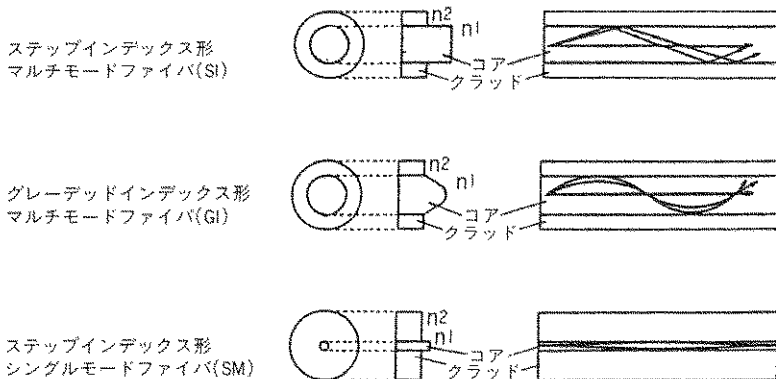


図1 光ファイバの種類

ため狭帯域である。従って、S.M.形ファイバは長距離、大容量通信が要求される基幹伝送路に使用され、一方、S.L.形は短距離、小容量通信に使用されている。G.L.形ファイバはS.L.形、S.M.形ファイバの中間に位置し、中距離、中容量通信に使用されている。長、中距離通信は低損失が要求されるため、石英系光ファイバのみが現在使用されている。短距離通信は高屈折率差、大口径が要求されるが低損失の必要がないため、種々の光ファイバ(多成分、プラスチック、プラスチッククラッド)が用途に応じて使用されている。図2には代表的な光ファイバ心線の構造を示す。図中aの三層構造心線は国内の基幹伝送路に最も多く使用されている構造であり、Cのテープ構造心線は超多芯ケーブル用に使用されているものである。

3. 各種製法と特性

3-1 損失要因

光ファイバの損失要因は光ファイバの種類によらず、二つに分かれる。つまり、吸収損失と散乱損失の二つである。吸収損失の内訳は電子遷移に基づく紫外吸収、分子振動による赤外吸収と遷移金属、OH基等の不純物による吸収があり、前二者は物質固有の損失であり、後者は原料、作製条件

等により生じる損失である。散乱損失の内訳はレーリー散乱と構造不整による散乱であり、前者は物質固有の損失であり、後者は製造条件に起因する損失である。図3には石英系S.M.ファイバの損

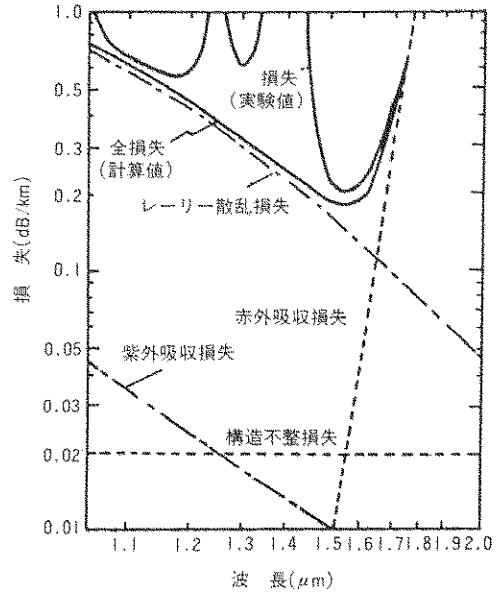


図3 石英系SMファイバの損失特性とその要因分析

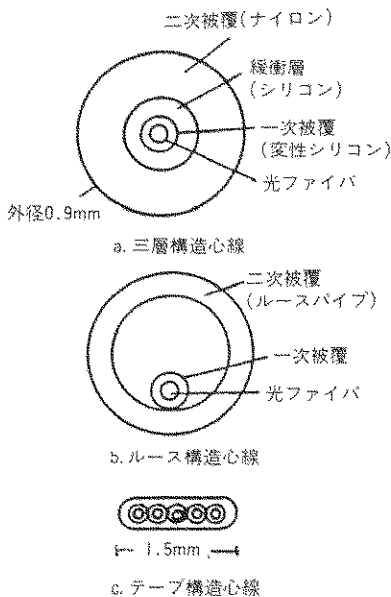


図2 各種心線の構造

失特性とその要因分析を示す。⁽³⁾ これから、波長1.1~2.0 μm の範囲において、大きな影響を与える固有損失はレーリー散乱と赤外吸収損失であることがわかる。

3-2 石英系光ファイバ

石英系光ファイバの代表的な作製法としてVAD法 (Vapor Phase Axial Deposition)、MCVD法 (Modified Chemical Vapor Deposition)、OVPO法 (Outside Vapor Phase Oxidation) の三つがある。これらの製法はNTT茨城通研、ベル研、コーニング社によりそれぞれ発明された。これらの製法は出発原料および反応形態がほぼ同じである。つまり、出発原料として SiCl_4 、 GeCl_4 等の金属ハロゲン化物を用いることおよび反応形態として従来のガラス製法の固相反応ではなく気相反応であることである。図4にはVAD法による連続製造におけるガラス合成の概要を示す。⁽⁴⁾ キャリアガスにより輸送された原料ガスは酸水素炎中にて、炎炎

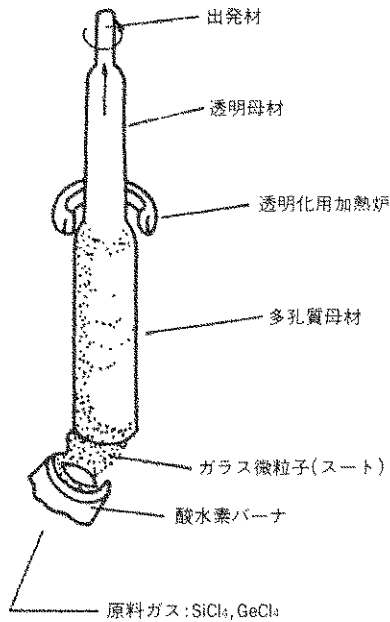


図4 VAD法によるガラス合成
(連続製造の場合)

加水分解と熱酸化反応によりガラス微粒子となりターゲットに付着する。ターゲットに付着した多孔質母材は加熱されることにより透明ガラス化されファイバ用母材となる。

3-3 多成分系光ファイバ

光ファイバの初期において、多成分系ガラスの検討は世界中にて行なわれた。しかしながら、現在では中、長距離の通信線路に全く使用されていない。これは石英系に比較し、個々の組成原料の精製および製法の点で低損失化がむずかかったことによる。多成分系ファイバのメリットとしては種々の組成を選択出来るため、熱膨脹係数、粘性等の物理的因子の変化なしに高屈折率差のファイバが得られることである。このため、短距離伝送および光パワー伝送に用いられる。図5には多成分系ファイバ紡糸装置の概略を示す⁽²⁾。多成分系ガラスロッドは一定速度にて二重ルツボに供給され、溶融紡糸が行なわれる。二重ルツボにロッド送り装置がついているのは、均一なファイバ外径を得るための液面高さの保持および微結晶化の防止のためである。

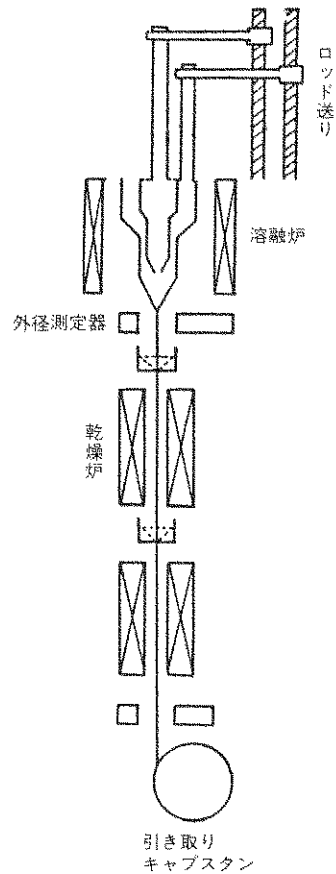


図5 巻引き装置

3-4 プラスチック光ファイバ

プラスチック光ファイバはガラス系の光ファイバに比較し、端面研磨なしにコネクター接続出来ること、可とう性が高いこと等のメリットがあるが、損失に関してはコア材料がC-H結合を含んでいるため、本質的に低損失化は出来ない。このC-H結合のHを重水素(D)に置換し、損失ピーク値を長波長側に移動することにより低損失化を計った例を図6に示す⁽³⁾。

プラスチックファイバのコア材は通常ポリメチルメタアクリレートが使われているが、このファイバは不純物の混入を防止するため、モノマーよりファイバまでクローズドシステムで作製することにより最低損失20dB/kmを達成したものである。

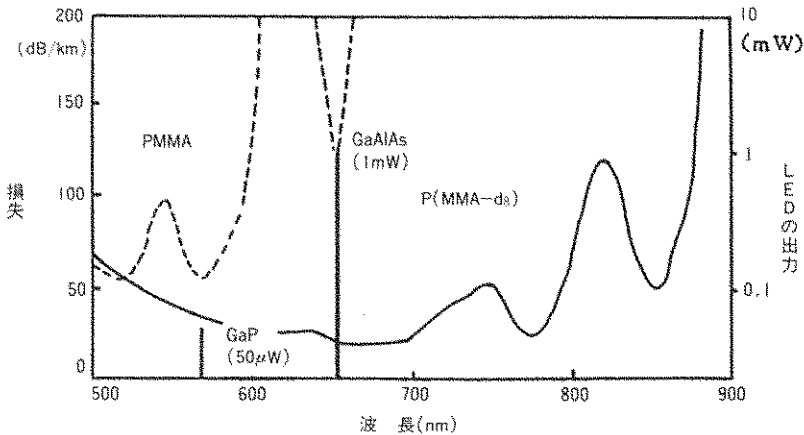


図6 重水素化極低損失プラスチックファイバ

3-5 プラスチッククラッドファイバ

プラスチッククラッドファイバは石英系、多成分系、プラスチック系ファイバと異なり、コア材とクラッド材が異なる材質で出来ている。通常コア材料としては純粋石英が用いられ、クラッド材料としてはシリコンゴムおよびフッ素系樹脂が使われている。図7にはシリコンクラッドファイバの損失波長特性を示す⁷⁾。0.9、1.0、1.1 μ mにおける損失のピークはクラッド材のC-H吸収による影響であり、フッ素系樹脂をクラッドとして使用した場合にはこれらのピークは消える。このプラスチッククラッドファイバは容易に製造出来、かつ比較的低損失であることからLAN等の短距離通信に用いられている。

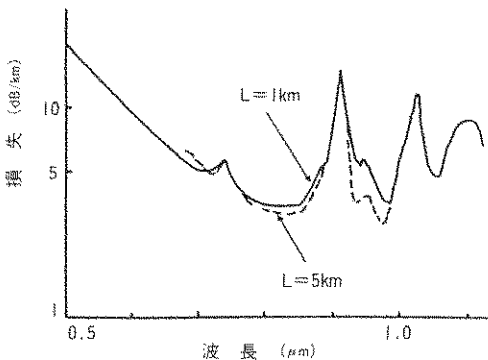


図7 長さの異なるシリコンクラッドファイバの損失波長特性

4. まとめ

以上、現在実用化されている各種光ファイバの製造、特性について述べた。今後、赤外、紫外用ファイバの進展に伴ない、光ファイバの適用範囲はさらに広がると共に応用面においても、光伝送だけでなく、各種センサー等への拡大が予想される。

5. 参考文献

- (1)S.Tomaru et al., Electron. Lett., Vol.17,p.92~93 (1981)
- (2)T. Moriyama et al., 6th ECOC. (1980) p.18~21
- (3)T. Miya et al., The Transaction of the IECE of Japan, Vol.E63,No7, (1980) p.56~62
- (4)T. Izawa et al., IOOC77, p. 375 (1977)
- (5)八木 賢二 微小光学系の基礎と応用、 p.175~196 (1986)
- (6)松山 謙太郎 日本の科学と技術 Vol23,No217 p.38~44 (1982)
- (7)K. Inada et al. 2nd ECOC p. 158~161 (1976)

【筆者紹介】



昭和46年3月 東京理科大学理学部
化学科卒
同年4月 藤倉電線輸入社
以来、光ファイバおよびイメージファイバの研究に従事
現在 光応用開発室室長