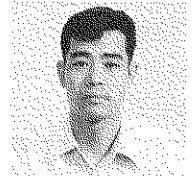


## 第5回

# 光ファイバセンサワークショップ



日本板硝子株研究開発室  
主席技師 西沢 紘一

### 1. はじめに

光ファイバセンサ研究会は応用物理学会の傘下に設けられた専門研究会で、1985年青山学院大学で開かれた応物学会春の大会で誕生した。光通信システムの研究の外延として始まった計測分野に光ファイバを応用しようという試みは年々盛んになってきている。国際的にも1983年ロンドンで開かれた第1回光ファイバセンサ国際会議(Optical Fiber Sensors:OFS)をかきりに第2回がシュットガルト、第3回はサンディエゴと続き1986年10月には東京で第4回OFSが開かれ成功裡に終わったことは記憶に新しい。光ファイバセンサ研究会が主催する光ファイバセンサワークショップは年2回の研究会を軸にこの分野の研究をプロモートしてきた。今回は初めて会場を関西に移し2日間に渡って第5回光ファイバセンサワークショップが開かれた。今回発表された26件のトピックス(5件のミニチュートリアル)の中で“ニューガラス”という視点でレビューしてみたい。

### 2. センサ用光ファイバ

#### 2. 1 ドーパント応用型

光ファイバに特殊なドーパントを導入してセンサ用ファイバを作った例を示す。

希土類(Nd)をドーブした計測用石英系光ファイバが鈴木ら(三菱電線)および岡本(府立放射研)により発表された。これで放射線や温度の計測ができるという。前者はNdドーブ光ファイバが中性子や $\gamma$ 線の照射による損失増加を利用しており、後者はその損失スペクトルの温度依存性をうまく使っている。製法はMCVD法とVAD法が用いられた。MCVD法では図1に示すようなコア層堆積時に希土類の塩化物を入れた小チャンバを加熱することによりドーブする。VAD法の場合はプリフォームをガラス化する時希土類を蒸発させてドーブしうる。いずれも1000ppm以上のドーブが可能という。

光ファイバの中のドーパントの機能を利用したもう1つのセンサの例は小川ら(東京電力)、杉山ら(日立電線)による“ラマン散乱光による分布形温度センサ”の発表である。これはGeのドーパ

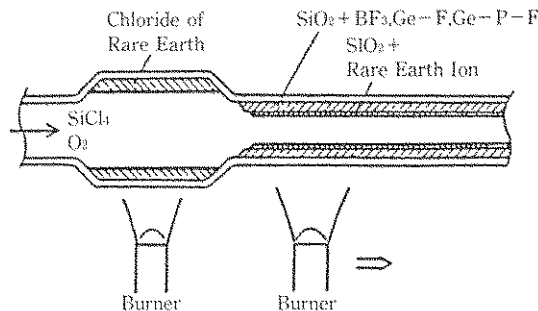


図1. MCVD法による希土類元素ドーブ方法

## ニューガラス 国内の動き



ント量を増やし温度変化率の大きいラマン散乱光強度を大きくした光ファイバでArレーザ光を光源(514.5nm)としストークス光(938nm)とアンチストークス光(870nm)の強度比を測定することにより、光ファイバの曲げ損失の影響を除去して温度センサを実現した。地中送電線路の温度分布を測定することが目的であるため、OTDR法を用いて分布形センサとして実験されている。1kmに渡って室温付近で10℃位の温度差は十分検出できるという。センサ用Geドープ光ファイバとしてコア径200 $\mu\text{m}$ (外径300 $\mu\text{m}$ )のGI型で比屈折率差( $\Delta n$ )1.0%の場合120℃の温度差で信号レベル0.45dBが得られ、2.5%の時は0.55dBが得られたと報告されている。レーザ散乱光より微弱なラマン散乱光に目をつけ、信号処理系に工夫をこらして低温域の温度分布を長距離にわたって測定できる方法として関心を集めた報告であった。

### 2. 2 クラッド層加工型

コア中の伝播光とクラッド層との相互作用で計測する光ファイバの例である。

金属薄膜をコートした光ファイバを用いて多点

直流磁界センサを実現した例が岡本(NTT)より報告された。この方式の原理は光ファイバのメタル部に交流電流を流し、測定する磁界との間で受けるローレンツ力により生ずる光ファイバの歪みが伝播光の交流的位相変化を与え、この変化を干渉計で読みとる構成となっている。この場合交流電流の周波数を測定点毎に変え周波数多重を行いロックインアンプで信号を分離して多点観測を可能にした点に特色がある。

センシング部は偏波保持光ファイバ(PANDAファイバ)にアルミを約25 $\mu\text{m}$ コートしたものを10cm長用いている。これで最高感度15.7rad (peak to peak) /Gs、最小検出磁界1 mGsを得た。

もう1件クラッド部に工夫をしたセンサ用光ファイバの発表があった。小川(東京電力)、杉山(日立電線)のコンビで研究された“温度センサ用光ファイバの基礎検討”がそれである。基本アイデアは石英コアの表面に0.2 $\mu\text{m}$ 程度のSiO<sub>2</sub>の多孔質クラッド層を形成し、吸湿によるクラッド層の屈折率変化により湿度を測定する方式である。この多孔質層は粒子間に空隙をもち水蒸気は速やかに内部に浸透ししかも外部の湿度の変化に対して吸着離脱が可逆的に生じ、応答性もよい。光ファイバとしてはポリマクラッド型SIファイバ(200 $\mu\text{m}$ /300 $\mu\text{m}$ φ)を用い、その中央部にSiO<sub>2</sub>の多孔質層を付着させたセンサ部(約40mm長)が形成されている。光源は0.85 $\mu\text{m}$ のLEDを用いている。相対湿度20%から100%までの感度を有し、透過損失値(dB)は相対湿度の3~4乗に比例して変化するという。

センサ部の屈折率分布がセンサ感度に大きな影響を与えている事が示され興味をひく。すなわち

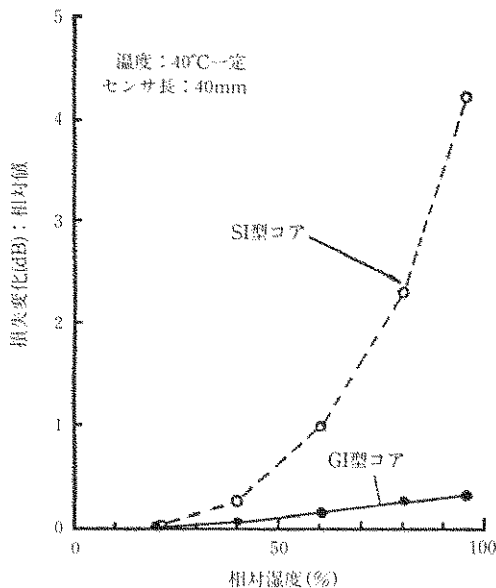


図2. コア屈折率分布の影響

SI型とGI型を比べてみると前者の場合伝播モードの多くがコア層とクラッド層の界面に達し多孔質層との相互作用を強く受けることになる。一方後者の場合は伝播光がコア内部にとじこめられるため界面との相互作用は弱い。すなわち図2に示すようにセンサとして用いる場合は前者のSI型がGIに比べて約10倍 (dB) の感度をもつことになる。

### 2. 3 機能性光ファイバ

山下 (HOYA) は『機能性光ファイバ』というTopicのMinitutorial講演を行った。光ファイバは通信用以外の用途開発が進み、表1に示すように極めて多岐な材料が研究されてきた。これらの材料に機能性を付与する方法としてファイバ構造の変更、特殊材料の被覆、機能性ガラスの利用が挙げられる。ファイバ構造や被覆方式は従来の石英系ファイバ自身やファイバを少しモディファイしたもので対応しうるが、機能性ガラスの応用については新しいガラスの設計からスタートしなければならない。表2に代表例を挙げる。

中でもフッ化物ガラスによる光ファイバが面白い。長波長域で石英ファイバより2桁低い損失の

可能性をもっているからである。現在フッ化ジルコニウム系やフッ化アルミニウム系がとりあげられているが低損失化と共に化学的耐久性、機械的強度の向上などが研究の対象となっている。その他ファラディ効果をもつ鉛ガラス、屈折率と熱膨脹係数の温度依存性を逆にし位相変化をなくする工夫をしたアサーマルガラス、音響効果の大きい鉛ガラス、テルライトガラス、Nd、Er、Prなどの希土類元素をドープしたレーザガラスなどをファイバ化しセンサに応用する研究なども広くレビューされた。

機能性光ファイバの中でガラスではないが単結晶をファイバ化した研究が、塩田ら (藤倉電線) により『単結晶ファイバの作製とその応用』として報告された。図3のようにCO<sub>2</sub>レーザを加熱源とし、引き上げ法でサファイア、YAG、Nd:YAGなどの単結晶ファイバを得たという。ファイバと言っても良質の部分は70mm位でセンサやLD励起マイクロ固体レーザなどへの応用にポイントがおかれている。

また機能性ファイバの代表例でもある偏波保持

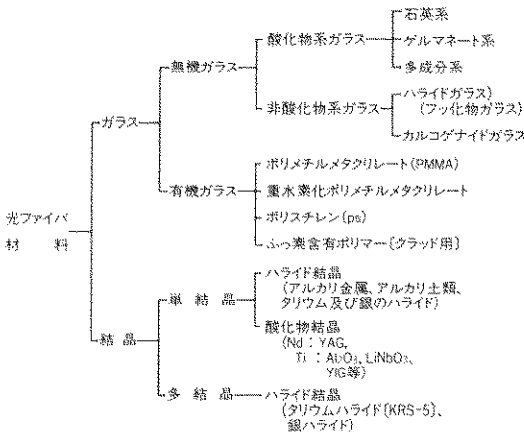


表1. 光ファイバー用材料の種類

表2. 機能をもつガラスとそのファイバの応用

| 機能、特徴            | ファイバ材料                | 応用   |
|------------------|-----------------------|--|
| ラマン散乱断面積が大       | GeO <sub>2</sub> ガラス  | ファイバラマンレーザ   |
| 赤外透過性            | フッ化物ガラス<br>カルコゲナイドガラス | 超低損失光ファイバ、赤外分光分析、放射温度計測、CO及びCO <sub>2</sub> ガスレーザ導光、放射温度計測 |
| 磁気光学効果が大         | ファラディ回転ガラス            | 電流磁界計測、光アイソレータ、偏光変調器                                       |
| 音響光学効果が大         | テルライトガラス、鉛ガラス         | 超音波センサ、位相変調器   |
| 温度に対して不感 (光路長不変) | アサーマルガラス              | 干渉計測形ファイバセンサ   |
| 圧力に対して敏感         | 高光弾性ガラス               | 音響、振動、圧力センサ  |
| レーザ発振、光増幅        | レーザガラス                | ファイバレーザ、インライン増幅  |
| 吸収、蛍光の温度依存性大     | 希土類元素ドープトガラス          | 温度センサ  |

## ニューガラス 国内の動き



光ファイバを用いた光素子の研究が“光ファイバジャイロ用光部品”として、詫摩ら（日立電線）により報告された。SPファイバ（楕円ジャケット型偏波面保存光ファイバ）を用いて全光ファイバ・ジャイロスコープを実現しようというもので、SPコイル（高安定センシングコイル）、方向性結合器、コイル型光ファイバ偏光子、LDモジュールなどの光部品とその特性が報告された。

### 3. その他

今回のホスト役であった大阪大学から光集積回路およびそれを応用したセンサの報告があった。前者は西原（大阪大）による“光集積回路の現状”というMinitutorialで光ICの材料、導波路形成技術の概要と共に応用例として通信用、演算処理用、センサ計測用などの現状が紹介され興味をひいた。具体的な例が、同じく榎原ら（大阪大）により“非対称X分岐を用いた光集積回路センサ”として導波路センサの報告がなされた。非対称X分岐はオリジナルなアイデアで極めて効率のよいビームスプリッタを構成しうる。したがってこれを利用したセンサは、微小変位、圧力、温度などの物理量を光

波の位相変化に変換、導波路上に形成されたマイケルソン干渉計を介して出力光の強度変化を精度よく検出することができるという。

その他戸田ら（大阪大）は“偏波保存ファイバ付ヘテロダイン計測工学系の集積化”としてヘテロダイン計測用光ICの報告がなされた。これはコンパクトな光ファイバレーザドップラ速度計の実現に寄与するコンセプトとして注目されている。

### 4. まとめ

今回のワークショップは5件のミニチュートリアルをふくめ幅広いセンサの研究動向が発表された。光ファイバセンサを支える理論、材料、デバイス、システムなど興味あるトピックスの中で、ニューガラスの1分野をなす光ファイバに焦点を当ててレビューしてみたが、充分意を尽くしたとは言い難く筆者の力不足をお詫びしたい。

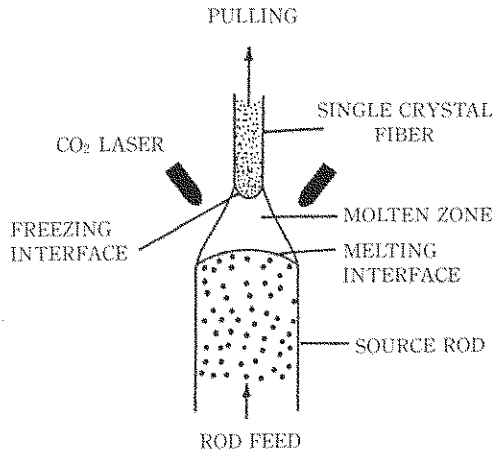


図3. CO<sub>2</sub>レーザ加熱ベダスタル成長法による単結晶ファイバ作製の模式図

### 【筆者紹介】

昭和42年 京都大学工学部工業化学科修士課程卒

昭和42年 日本板硝子輸入社

昭和56年～58年 勸光産業技術振興協会出向

現在 研究開発室主席技師、技術士（応用理学）  
光ファイバ、イメージバンドル、マイクロオプティックス、光ファイバセンサなど一貫して光関連の研究に従事