

“ EPMA法による光ファイバの屈折率分布測定 ”

信吉 輝己・岡見 和人・木村 方士・竹田 直樹
船本 利春*・金枝 敏明**・中川紀美雄

岡山理科大学 工学部 電子工学科

* 岡山理科大学 工学部 分析センター

** 岡山理科大学 工学部 機械工学科

(昭和61年9月30日受理)

1. まえがき

光ファイバの伝送特性(分散、群遅延、接続損失等)は、光ファイバの屈折率分布とモードの励振条件により決定される。従って、屈折率分布を精度良く求めることは、特性を評価する上で極めて重要な課題である。これらの測定法としては 従来より種々の方法が提案されているが¹⁾、大別すると(1)光学的な取扱いによる方法と (2)組成(ドーパント)分布を直接求める方法とに分けることができる。(1)の光学的な手法による方法に関しては横方向より入射した光の散乱パターンより、内部の屈折率分布を求めるいわゆる逆散乱法を用いる方法や、端面上の強度分布より波動方程式を用いて求める方法²⁾が主に用いられている。(2)の組成分布を直接求める方法³⁾は、ファイバのガラスの屈折率がドーパントの濃度に比例しているので、ドーパントの濃度空間分布を求めてやれば、それが屈折率分布になるというものである。

本稿では、このドーパントの空間濃度分布を測定するためにElectron Probe Micro Analyser (EPMA)を用いる方法について述べる。この方法は (1)の光学的な方法と比較して、試料の長さの制約が少なく、又、カップラーや光変調器などの光の進行方向に対して、屈折率や構造が一様でない場合にも測定が可能であるという利点を有する。

2. 測定方法

2.1. 測定装置

測定に用いた装置は、本学分析センター設置の日立製X-650形微小部走査X線分析装置及び堀場製EMAX-2200エネルギー分散型X線分析装置である。

2.2. 測定試料の製作

- ① ファイバ端面をファイバカッターで鏡面に切断した後1cm弱の長さに切断する。

- ② アルミのL型金具に導電性接着剤を用いてファイバを貼りつける。
- ③ 試料のチャージアップを防止するために、端面に炭素膜を蒸着する。

一例として試料のSEM像を図1に示す。

2.3. 測定

測定試料としては、Geをドーパントとしているファイバを用い、エネルギー分散型X線分析装置(EDX)により線分析を行った。ここで電子ビームの加速電圧としては25KeVを用いた。

3. 測定結果及び議論

3.1. 多モード光ファイバの場合

図2にコア径が $80\mu m$ のステップ形ファイバ、図3にコア径が $50\mu m$ の分布屈折率形フ

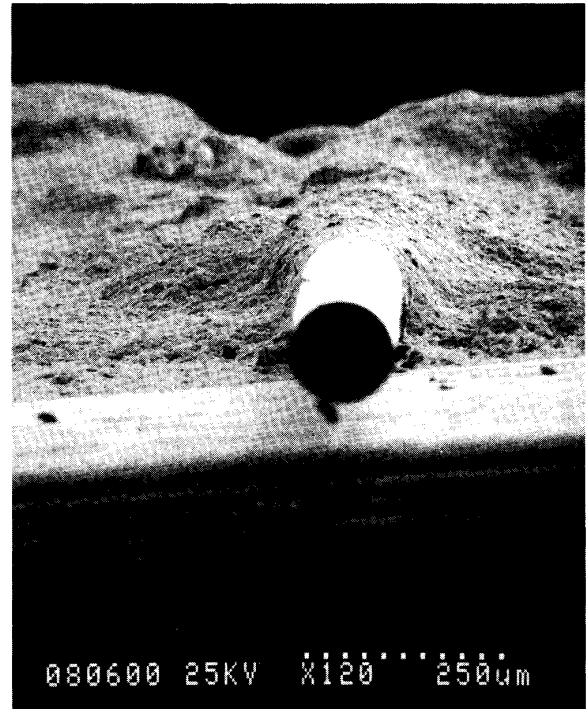


図1 EPMA用ファイバ測定試料

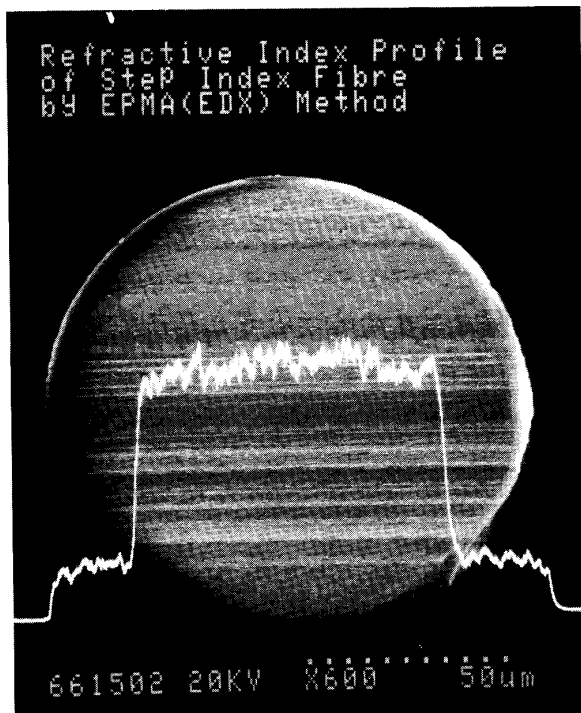


図2 ステップ形ファイバにおけるGeドーパント濃度分布

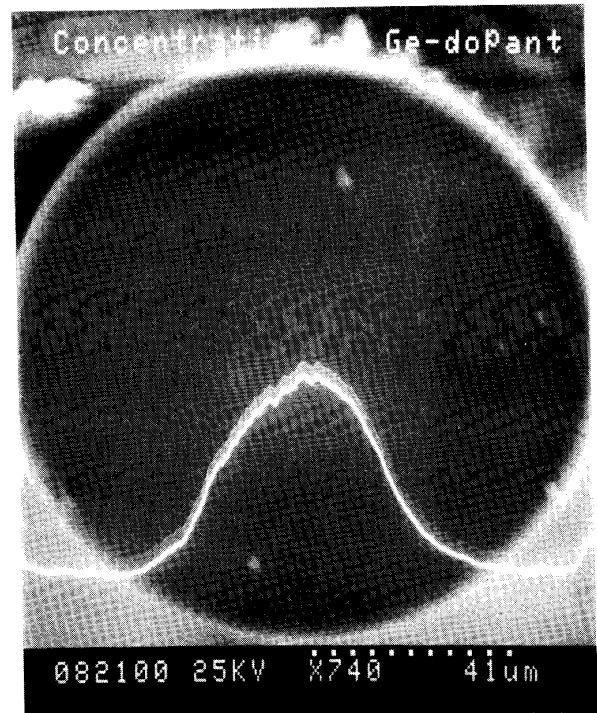


図3 分布屈折率形ファイバにおけるGeドーパント濃度分布

ファイバのGeドーパントの線分析結果を示す。すなわち これらの結果が、直接屈折率分布に対応していることになる。多モード光ファイバの場合は、コア径も比較的大きく、又コアとクラッドにおけるドーパントの濃度差（屈折率差）も比較的大きいために、測定は単一モードファイバの場合に比べて容易である。光学的な他の手法との比較に関しては、著者らの1人が文献(3)において述べている。

3.2. 単一モード光ファイバの場合

単一モード光ファイバは、多モード光ファイバに比べコア径も小さく、ドーパントの濃度も低いために、X線シグナルも弱く、測定は多モードファイバに比べ、困難である。X線シグナルを大きくするために試料電流を増加すると、空間分解能が低下するというトレードオフの状態にある。図4に、4000倍に拡大した時のGeのコンテンツマッピングの図を示す。右下に示された長さ7.5 μm は、その上の点線の長さを示している。又、ドットの密度の高い所が、Geの濃度の高い所であり、ファイバのコア部である。図5 (a) ~ (c) に、このファイバの線分析結果を示す。測定時における時定数は (a) 1秒、(b) 3秒、(c) 10秒である。積分の平滑化により、S/N比が改善されているのがわかる。又、測定の再現性を調べるために、それぞれ8回の多重露光を行なっている。

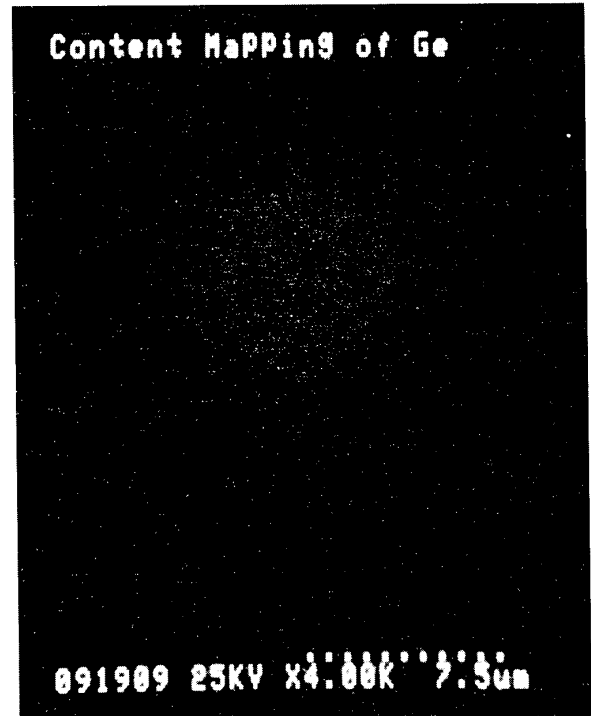


図4 単一モードファイバにおけるGeコンテンツマッピング

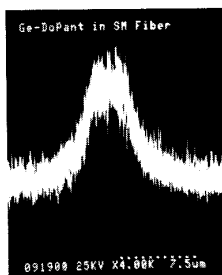


図5 (a) 単一モードファイバにおけるGeドーパント濃度分布 (T = 1 [s])

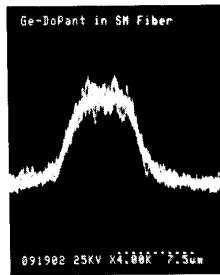


図5 (b) 単一モードファイバにおけるGeドーパント濃度分布 (T = 3 [s])

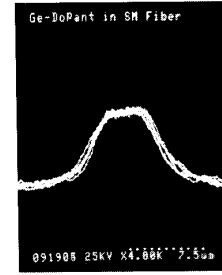


図5 (c) 単一モードファイバにおけるGeドーパント濃度分布 (T = 10 [s])

3.3. 空間分解能

EPMAにおけるラテラル（横）方向の空間分解能 h (μm) は次のReedの式を用い

いて求めることができる⁴⁾。

$$h = 0.2 (E_0^{1.5} - E_c^{1.5}) / \rho$$

E_0 : 電子線加速電圧 (KeV)

E_c : 臨界励起電圧 (KeV)

ρ : 試料の密度 (g/cm^3)

ここで Ge の場合, $E_c = 11.1$ (KeV), $\rho = 5.32$ (g/cm^3) であるので, h は約 2.2 (μm) となる。しかしながら, これは, ステップ型の濃度変化に対してであり, 屈折率分布が分布型の場合には, 空間分解能はこの値より小さくなるものと思われる。

4. むすび

Ge をドーパントとした多モード及び単一モード光ファイバの屈折率分布を EPMA 法を用いて測定を行なった。空間分解能に関しては, 光学的な手法を用いた場合とほぼ同程度の値が得られた。ZAF 補正等を用いた定量的な測定, 他種のドーパントを対象とした測定, カップラーや光変調器等の光デバイスにおける測定などが今後の課題である。

謝 辞

研究を進めるにあたり有意義な御討論を頂いた林宏哉, 大谷槻男両助教授 (理学部化学科) に深謝する。又, 試料を快よく提供して致だいた住友電工横浜研究所京藤倫久氏に感謝する。

文 献

- 1) 大越, 岡本, 保立: “光ファイバ”, オーム社, pp.251~285 (1983)
- 2) White, K.I.: “Practical application of refracted near-field technique”, O.Q. E., 11, pp.185~196 (1979)
- 3) 信吉, ウンラウ: “拡散型光ファイバの屈折率分布測定”, 信学論 (C), J67-C, 2, pp. 235~236 (1984)
- 4) Reed, S.J.B.: “Electron Microprobe Analysis” Cambridge Univ. Press (1975)

Refractive Index Measurement of Optical Fiber
by EPMA Method

Terumi NOBUYOSHI, Kazuhito OKAMI, Masashi KIMURA,
Naoki TAKEDA, Toshiharu FUNAMOTO*, Toshiaki KANEEDA**
and Kimio NAKAGAWA

* *Department of Electronic Engineering, Okayama University
of Science, Ridai-cho 1-1 Okayama 700 JAPAN
Material Research Center, Okayama University
of Science, Ridai-cho 1-1 Okayama 700 JAPAN*

** *Department of Mechanical Engineering, Okayama University
of Science, Ridai-cho 1-1 Okayama 700 JAPAN*

(Received September 30, 1986)

Abstract

The refractive index profile of the GeO_2 -doped optical fiber is measured using the Electron Probe Micro Analyser (EPMA) method and the refracted near field method. The spatial resolution of refractive index profile in GeO_2 -doped mono mode fiber is estimated by Reed's equation, and the difference of profiles is also evaluated.