

새로운 低損失 石英系 光纖維의 製造方法 - MRT 法

盧 弘 晁

韓國科學技術研究所 電子工學研究部長

紹 介



Dr. M. Rokunohe
Director, Deputy
Gen. Manager
Dainichi - Nippon
Cables, LTD.

本稿는 지난 5月 14日 韓國科學技術研究所에서 갖았던 Dr. Rokunohe의 講演內容을 要約 整理한 것입니다.

光通信이 大單位情報轉達 system의 새로운 主役으로 君臨하게 된다는 것은 이제 아무도 疑心할 餘地가 없습니다. 바야흐로 우리나라에서도 緊密한 產學協同으로 光纖維 및 光纖維 cable의 國產化 開發과 南大門 - 光化門電話局間의 多重電話回線構成 등 歷史的 實用化 試驗이 進行되고 있습니다.

이와 같은 時點에서 光通信의 轉達媒體인 光纖維製造에 關한 하나의 動向을 살펴 본다는 것은 매우 意議있는 일이라 생각되어 여기에 紹介하는 바 입니다.

1. 머릿말

通信用低損失 光纖維로는 現在 材料的으로 石英系가 圧倒的으로 優位에 있다. 이것은 石英系 유리섬유가 多成分系, 複合系 유리섬유에 比해서 損失의 低減, 機械的強度 및 信賴性 등이 훨씬 優秀하다는 것이 明白해졌기 때문이다.

이 石英系 유리섬유에서 一般的으로 採擇되고 있는 製造方法으로는 다음과 같은 것들이 代表的이다.

- 1) 外付 CVD(化學蒸着) 法^[1]
- 2) 內付 CVD(MCVD法) ^[2]
- 3) VAD(Vapor Phase Axial Deposition) 法^[3]
- 4) Rod - In - Tube(RT法) ^[4,5]

이들 方法은 각기 一長一短이 있으며 願하는 섬유의 構造, 特性에 對한 適合 또는 不適合이 있다. 例를 들면 低損失섬유 製法으로 가장 優秀하다는 MCVD法은 量産性이 떨어져고 量産性이 優秀한 外付 CVD法은 特性이 떨어진다는 것 等이다. 이에 對해서 RT法은 가장 古典的인 方法이나 從來 低損失섬유의 製造方法으로는 不適合하여 별로 檢討對象이 되지 못했었다. 그 理由로는 RT法에서 core rod와 clad tube의 界面欠陷 除去에 限度가 있고 低損失化가 매우 어려웠기 때문이다. 이것은 外付 CVD法, 內付 CVD法이 이러한 RT法の 構造欠陷問題를 避하기 위하여 發案된 것이라고 特許明細書^[1,2]에 表示된 것으로도 알 수 있다. 여기서 RT法은 原來 core rod와 clad tube가 따로 準備되고 있으므로 섬유 構造 設計의 自由度가 크고

製法이 單純하여 量産性도 優秀하므로 低損失化가 可能해지면 適用範圍도 넓어 매우 魅力的인 製法이라 할 수 있다.

六戶博士는 現在 特許爭議中인 CVD法과 달리 公知技術인 RT法의 低損失化技術을 開發한다는 觀點에서 本 研究에 着手하여 1977年 7月 MCVD法과 맞먹는 低損失光纖維製造技術의 開發에 成功하였다. 이 母材製造方法은 MRT(modified Rod - In - Tube) 法으로 命名되어 이미 이 低損失石英系 光纖維를 diaguid SM series로 商品化하고 있다.

以下 本 製法의 概要와 그 特徵 및 特性水準을 紹介한다.

2. MRT 法

MRT法은 core rod 를 clad tube 에 押入한 後 特定 氣體에 의하여 高溫 F에서 rod 및 tube 의 表面을 處理하고 이 處理로 rod나 tube 의 表面에 存在하는 異物 및 構造欠陷部를 除去 또는 無害化한 後 融着一體化(collapse)하여 光纖維母材로 하는 製法이며 그 概略은 fig.1 과 같다.

fig. 1 - a 는 高純度石英을 core rod로 使用하는 通常工程이며 CVD工程에 의하여 石英管 内部에 clad 層을 마련 clad tube 로 使用하고 있다. 여기서 表面處理工程을 除하면 Mac ches - ney^[5]들이 行한 RT法과 거의 흡사하다.

Ti_2O_3 , G_2O_3 等の dopant를 含有한 silica를 core rod 로 하고 高純度石英을 clad tube 로 하는 組合에서는 fig. 1 - b 를 擇한다.

以下 MRT法의 特徵의인 點에 關해서 좀 더 詳細히 言及하겠다.

2. 1 材 料

MRT法에서의 主材料는 core rod와 clad tube 이지만 이들은 各己 別途의 工程에서 만들

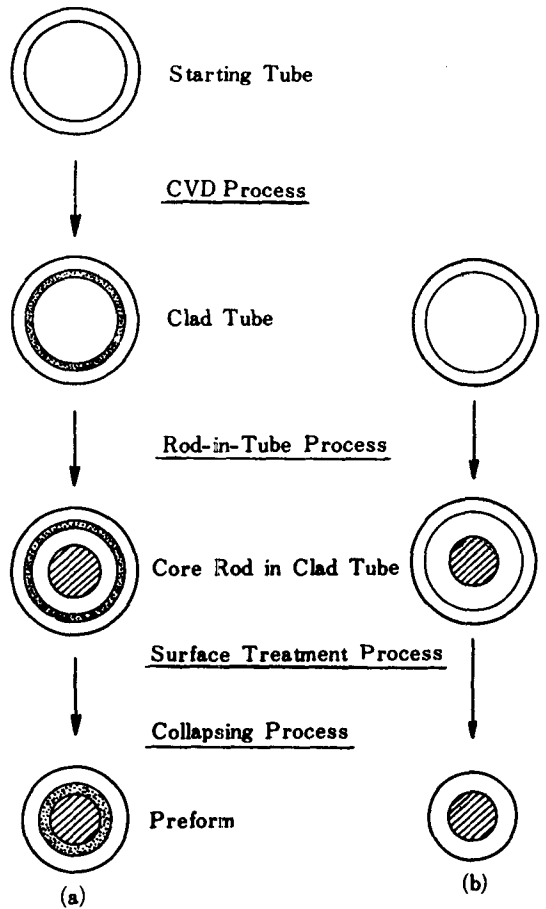


Fig.1. Preform fabrication by MRT method.

어진다. MRT法 以外の 石英系光纖維母材製造工程은 core部 또는 core部와 clad部의 合成工程에서 連續的으로 만들어진다. 이 點이 基本的으로 MRT法과 他方法과 다른 點이다. core rod에는 主로 高純度石英을 使用하지만 Ti_2O_3 等を dope한 Doped Silica도 使用할 수 있으며 이들은 Mitsubishi Metal - Nippon Silicon에서 plasma法으로 製造되어 市販되고 있다.

이들 core rod는 미리 機械研削에 의하여 취입이나 外徑變動이 없게 高眞用度化 되었으며 이어 化學 Etching, 火焰研磨, 洗滌 등으로 表

層에 不純物이 없는 칫수精度가 높은 平滑한 rod 이다. clad tube는 core가 高純度石英의 경우 前述한바와 같이 石英 tube의 內側에 CV D 工程으로 B_2O_3 또는 F를 dope한 clad層을 마련하여 使用한다.

single mode fiber의 경우와 같이 屈折率差 Δ_n 이 작을 때는 dopant劑로 BCl_3 이나 CCl_2F_2 등이 單獨으로 使用된다. 그러나 Δ_n 을 크게 할 必要가 있을 때는 單純히 B_2O_3 의 dope量을 增加시켜가면 石英 glass와 clad glass間的 物性差가 커져 preform의 破裂을 招來하는 問題가 생긴다. 이 때문에 B_2O_3 單獨 dopant系에서는 石英 core間的 Δ_n 은 많아야 0.008 程度이다. 또 F만을 dopant로 使用하는 dopant系에서는 이미 알려진바와 같이^[7] Δ_n 을 크게 하려면 유리合成速度(deposition rate)가 현저하게 低下해 버린다.

따라서 이러한 隘路를 克服하기 위하여 dopant劑로 BF_3 를 찾아 냈으며 BF_3 은 deposition rate를 떨어뜨리지 않고 또 破裂問題도 생기지 않으면서 Δ_n 을 0.014 程度까지 擴大한다.

이것은 dopant인 F가 石英유리의 物性に 미치는 影響이 極히 적고 F의 屈折率 低下效果가 현저하다는 點^[8]에다 B(Boron)이 前述한 F의 阻害效果를 잘 相殺해주는 役割을 할지 모른다는 것으로 達成되고 있다. Doped silica를 core로 使用할 때도 前記한 clad tube를 使用하지만 高純度石英 tube도 使用할 수 있다. 通常 簡便하게 使用할 수 있는 表面處理劑로는 CCl_2F_2 등의 Freon類, BCl_3 , $POCl_3$ 을 들 수 있으며 그 作用 mechanism에 關해서는 다음에 記述한다.

2. 2 表面處理

從來의 RT法에서는 core rod를 clad tube를 미리 細心하게 잘 洗滌해도 保管中 또는 rod

를 tube에 押入할때 異物附着, 外傷의 發生을 全然 없앤다는 것은 困難하며 이 때문에 core上에 tube를 融着(collapse)시켜 母材로 할 때 그 融着面에 異物, 不純物이 殘留하거나 氣泡 등의 界面欠陷이 發生해서 光纖維의 轉送特性을 현저하게 低下시킨다. MRT法에서의 表面處理는 이들 異物이나 外傷이 存在하는 rod 및 tube의 表面을 淸淨하고 同時에 表面變成效果에 의한 界面의 欠陷을 除去하기 위하여 行하는 것이다. 그 機構는 아직도 明確해지지는 않았지만 일단 다음과 같은 過程이 일어난다고 생각하고 있다.

예를 들면 BCl_3 와 酸素의 混合 gas가 core rod와 clad tube의 틈새에 注入되어 外部로부터 $1600^\circ C$ 程度로 加熱될 때 B_2O_3 가 生成하지만 B_2O_3 의 沸點(約 $1500^\circ C$) 以上의 高温때문에 加熱部에서는 折出하지 않고 下流에 沈積한다. 이때 core, tube의 表面에 異物이 存在하면 B_2O_3 가 固相, 液相에서 이것을 감싸는 狀態가 된다. Burner가 移動해서 이 部分이 高温에 이르면 B_2O_3 는 大部分 蒸發하고 B_2O_3 의 氣化壓과 "Flux效果"에 의하여 異物을 表面으로부터 박리시켜 下流에 흘러 버린다. 異物의 種類에 따라서는 異物과 B_2O_3 가 結合하여 無害한 유리가 되는 경우도 있다. 거기에다 B_2O_3 는 若干 基部의 core, clad glass의 表層에 擴散하여 表層을 變成시킨다고 생각할 수 있다. 變成된 層은 化學的으로는 서로 親和性이 높고 物性的으로는 粘度低下에 의하여 collapsing때 氣泡의 發生을 防止하고 前述한 表面淸淨作用과 더불어 界面欠陷의 發生을 效果的으로 抑制할 수가 있다.

2. 3 MRT法의 特徵

첫째, 基本的으로 RT法이므로 core rod - clad tube의 組合에 의하여 構造, 칫수를 任意로 選定할 수 있고 core徑 $6\mu m$ 程度의 sin-

gle mode fiber에서 core徑 800 μm , fiber徑 1000 μm 의 power轉送에 適合한 大口徑 fiber까지도 製造可能하다. (fig. 2 參照)

둘째, 構造치수 및 特性의 再現性이 優秀하다는 點이다. 이것은 使用하는 core rod clad tube의 치수를 事前에 알수 있기 때문이다.

세째, 高純度石英의 低損失性, 光power 耐力 耐熱性, 耐放射線性 等の 優秀한 特性을 最大限으로 살릴수 있다는 點이다. 高純度石英을 core로 使用할 수 있는 製法으로는 MRT法 以外에 外付 CVD法이 있으나 이 方法은 充分한 低損失化가 困難하다는 것이다.

네째, 量産性과 經濟性이다. core rod와 clad tube를 따로 따로 만들면 製造能率은 大幅 向上된다. 例를 들면 core glass 合成速度는 MC-VAD法에서 2~10 g/h, 外付CVD法에서 30~80 g/h, VAD法으로 30~80 g/h 라 하지만 ³⁾ plasma法에서 core glass 만을 合成하는 速度는 約 400g/h이다. 또한 母材 size에 關係서도 큰 size가 可能하고 現在 外徑 30 mm, 길이 600 mm 程度(150 μm fiber로 換算 約 20km)까지 製造할 수 있다.

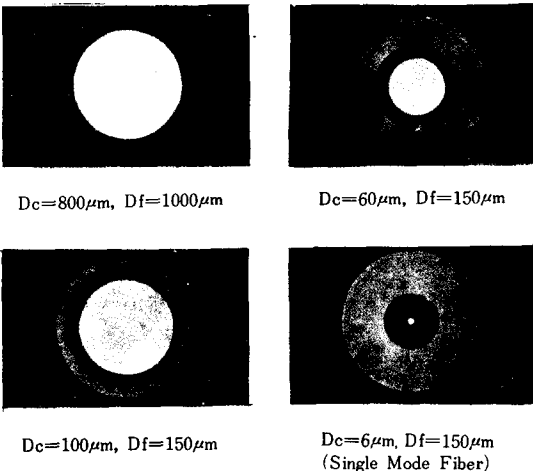


Fig. 2. Microscopic photograph of cross section of MRT fiber, Dc = core diameter, Df = fiber diameter.

3. MRT fiber의 特性

MRT標準 size fiber芯線인 core徑 60 μm , clad 두께 15 μm , fiber徑 150 μm , Nylon被覆 두께 0.9mm SM60-SY를 中心으로 MRT fiber의 特性을 살펴 본다. fig. 3은 彼長의 損失特性을 表面處理을 하지않은 從來의 RT法으로 製造한 fiber의 그것과 比較한 것이다. 이 그림과 같이 彼長에 依存하지 않는 損失分은 0.5 dB/km以下이며 界面欠陥에 의한 散亂損失이 充分히 작고 表面處理效果가 현저하다는 것을 알수 있다. Fig. 4는 50가닥의 彼長 0.86 μm 에서의 損失에 對한 histogram이다. 最小損失 2.1dB/km이며 低損失의 再現性이 크다는 것을 表示하고 있다.

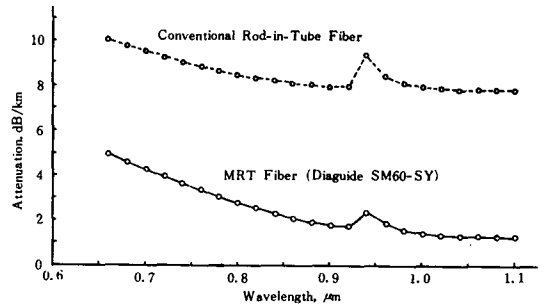


Fig. 3. Spectral loss of MRT multi-mode fiber.

여기에 나타난 損失의 分布는 core rod의 特性, core의 表面狀態, clad tube의 製作條件, fiber의 drawing條件, precoat層의 表面狀態, Nylon被覆條件 여기에 損失測定 條件까지 包含한 損失에 關聯된 여러가지 要因이 綜合된것이며 이들 要因을 壓縮하면 이러한 分布는 더욱 작아진다. 通常 製造作業에서 이 分布의 範圍는 $\pm 0.7\text{dB/km}$ 을 넘지는 않는다.

fig. 5, 6, 7은 core의 眞円度, 偏心率, 換算 core徑을 表示한 것이나 이로 미루어 構造치수

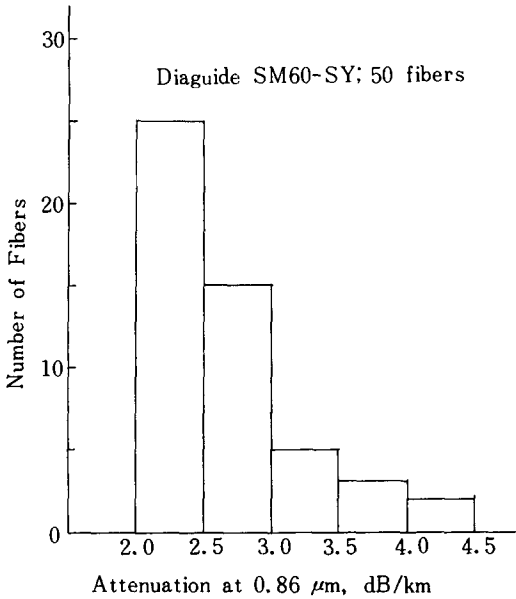


Fig. 4. Attenuation histogram of MRT fiber.

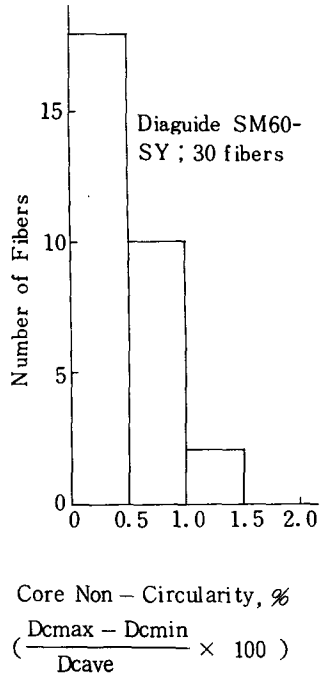


Fig. 5. Core non - circularity histogram of MRT fibers.

의 再現性이 크다는 것을 알 수 있다. MCVD法에서 collapsing 條件이 適切하지 않으면 眞円度, 偏心率은 簡單히 低下된다. 또한 core 徑도 通常 母材中の core 徑을 알고 이것을 基準으로 最終 母材徑을 決定해서 外徑을 調整 하지만 MCVD法에서는 core 徑을 直接 測定한다는 것이 어려워 母材에서 가느다란 試料를 뽑아내어 構造를 決定하지만 試料採取條件에 따라 실제 core 徑과 差異가 날 수 있다. MRT法에서는 미리 測定한 core rod 徑을 使用하여 外徑을 調整하는것 만으로 좋으므로 容易하게 設計한 寸수의 母材를 만들수 있다. Fig. 8은 본 光纖維의 破斷強度에 對한 Weibull 分布를 나타낸다. 最大 12 kg, 最小 6 kg, 平均 11 kg이며 MCVD法 등으로 製造한 光纖維의 強度와 같은 程度이다.

Table 1은 MRT fiber cable의 試驗資料이다. cable 化過程에서 平均 0.3 dB/km 程度の 損失增加가 있었으나 cable以後의 6 芯에 對한 값은 最小值 2.6dB/km, 最小值 2.8 dB/km,

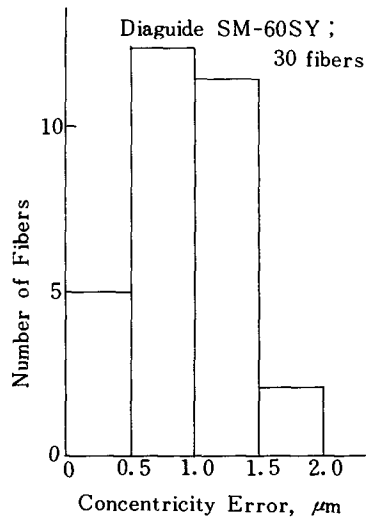


Fig. 6. Concentricity error histogram of MRT fibers.

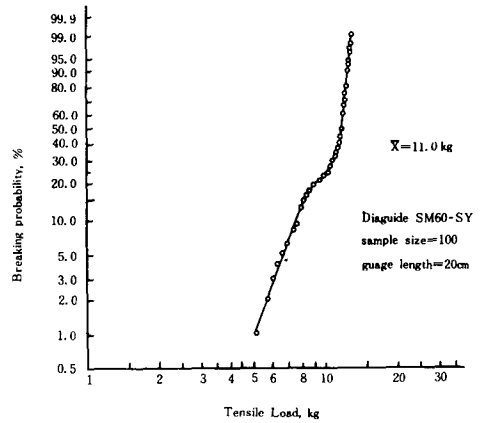
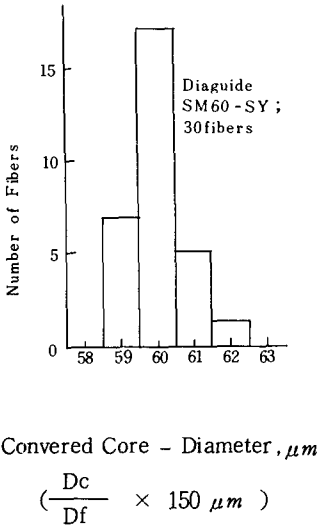


Fig. 8. Weibull probability plot of fiber breaking.

Fig. 7. Core - diameter histogram of MRT fiber.

平均値 2.7dB/km 로 極히 分布가 작은 低損失 範圍로 壓縮할 수 있다.

Fig. 9의 사진은 1000 m 傳播後의 near - field pattern을 나타낸다. core에 高純度石英을 使用하는 이 fiber는 MCVDfiber에 볼 수 있는 바와같은 core 周邊部の 屈折率 不調나

Table 1. Test Data of the MRT Fiber Cable.

Test Item	Core Diameter	Core Circularity	Core Eccentricity	Fiber Diameter	Effective Numerical Aperture	Loss at 0.85 μm	3 -dB - Band width for 1km*
Unit	μm	%	μm	μm	—	dB / km	MHz
Blue	60	100	0.4	152	0.18	2.6	30
Yellow	59	100	0.8	151	0.18	2.8	33
Green	60	100	0.9	150	0.17	2.8	35
Red	60	100	0.9	150	0.18	2.8	33
Violet	60	100	0.4	150	0.18	2.6	31
White	61	100	0.4	150	0.18	2.8	33
Average	60	100	0.6	150.5	0.18	2.7	33

core 中心部の dip 등이 없고 power 分布가 均一한 理想的인 step index profile 을 나타내고 있다. 이러한 特徵은 高純度石英이 doped石英보다도 熱破壞에 強할것이라는 予想과 함께 power 傳送의 用途에는 가장 適合한 fiber라는 一面을 갖고 있다. 그러나 反面 step index 型 multi-mode fiber 는 本質적으로 帶域이 좁고 低損失이므로 長距離大容量通信에의 適用에는 限界가 있다. 이러한 用途에는 廣帶域性을 갖는 single mode fiber 나 또는 multi-mode fiber로 graded index型이 알맞다.

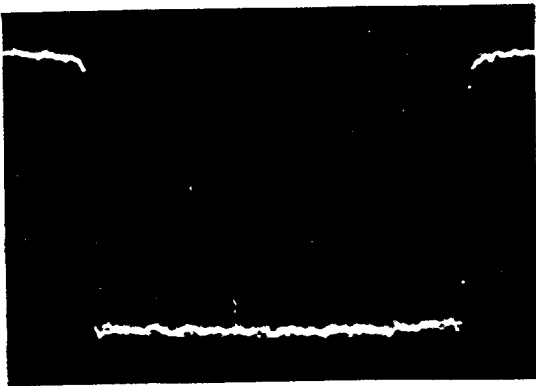


Fig. 9. Example of Refractive Index Profile. (Near Field Pattern)

Single mode fiber 는 mode 分散이 없기 때문에 超廣帶域傳送路로 理想的이지만 從來이 single mode fiber의 製法으로는 MCVD法이 唯一한 方法이었다. 그러나 MRT法에서는 core rod를 相對적으로 작게 함으로써 그 特徵을 살려 構造品質이 높은 低損失 single mode fiber를 比較的 쉽게 製造할 수 있다. Fig. 10은 MRT法으로 製造한 石英 core step index 型 single mode fiber의 損失彼長特性을 나타낸다. single mode fiber의 製造에서 cut off 波長 $\lambda_c = 2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / 2.405$ (a: core

半徑, n_1 : core 屈折率, n_2 : clad 屈折率)의 制御가 重要하지만 MRT法에서는 n_1 , a를 이미 아는 값으로 取扱할 수 있고 clad의 屈折率만을 制御함으로써 λ_c 을 正確히 制御할 수 있다.

MCVD法에서는 n_1, n_2, a 는 모두 未知이며 더우기 collapsing 에 따른 dip의 影響이 core 部の 넓은 範圍에 미친다는 問題가 있어 高品質 fiber를 製造하기 위해서는 高度의 制御技術을 要한다. MRT法에 依한 single mode fiber는 現在 低 OH化가 充分치 않고 single mode fiber가 直價를 發揮할 수 있는 領域인 波長 1.3 ~ 1.5 μm 帶에서의 損失이 아직도 크다. 그러나 1.1 μm 帶에서는 最小損失 0.9 dB/km을 얻고 있으며 이어 長波長帶에서의 低損失化를 期하기 위하여 core, clad의 低OH化와 dopant에 對하여 檢討하고 있다.

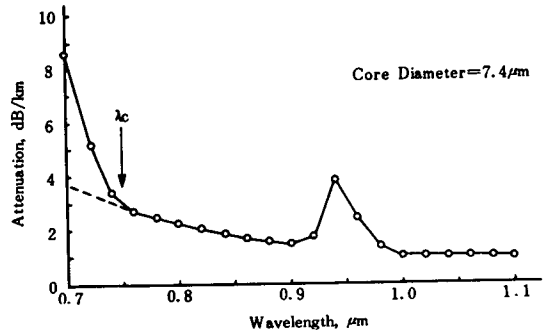


Fig. 10. Spectral loss of MRT single mode fiber.

高純度石英을 core 로 使用한 fiber는 doped silica에 比하여 耐放射線이 優秀한 것으로 予想된다.⁸⁾ Fig. 11은 P_2O_5 doped core CVD fiber 芯線의 r線照射中の 損失變化를 나타낸다. 後者가 照射量 300 R에서 20dB/km을 넘는 損失增加를 나타내고 있는데 比해 MRT fiber는 10^4 R照射後에도 損失增加는 2dB/km

以下였다. 이 損失增加는 Friebele⁹⁾等이 報告한 高純度石英 core fiber의 損失增加에 比하여 매우 작지만 이것은 本光纖維에 使用한 高純度石英의 欠陷이 작다는 點에 基因한다고 본다.

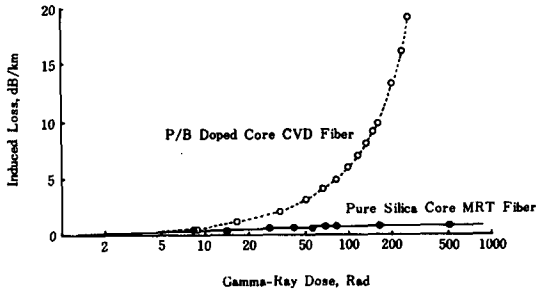


Fig. 11. Radiation induced loss of optical fibers.

前述한 바와같이 MRT法은 doped core rod에 對하여도 適用할 수 있다. Fig. 12는 Titanium doped silica를 core로 B₂O₃, F dope silica를 clad로 使用한 MRT fiber의 損失波長特性이다. 高温環元霧圈氣를 履歷 함으로써 低損失側의 損失이 현저하게 增加하는 問題等 改善해야할 點이 남아 있으나 現在 屈折率差 0.035 (實效 NA 0.32), 最小損失 8 dB/km (波長 1.6 μm) 을 얻고 있으며 NA (numerical aperture) 가 큰 石英系 fiber로서의 用途가 期待된다.

4. 맺는말

MRT法의 概要와 MRT fiber의 特性에 關하여 紹介하였다. 本製法에 의한 製品은 이미 商品化되어 實用中에 있으며 寸수精度가 높은 低損失 fiber를 效率的으로 제조할 수 있는 光纖維는 보다 나은 品質向上과 多樣化가 契機되고 있으며 이러한 契機를 本稿가 마련할 수 있지 않을까 생각하여 여기에 紹介하였다.

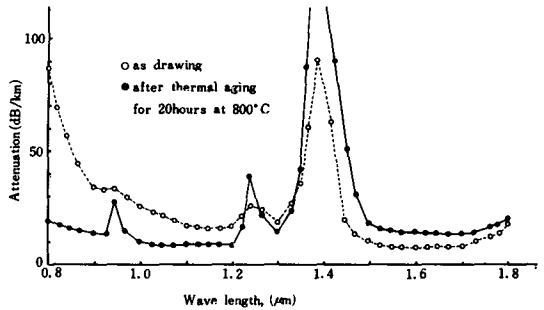


Fig. 12. Spectral loss of MRT TiO₂ dope core fiber.

參 考 文 獻

1. D. B. Keck, R. D. Maurer : 特開 48-73522.
2. J. B. MacChesney, et al : Proceeding of 10th International Congress on Glass, p. 40~45 (July 1977).
3. 伊澤, 他 : 研究實用化報告, 26[9], p. 1 (1977).
4. D. Kato : Appl. Phys. Lett., 22[1], p. 3 (1973).
5. J. B. MacChesney, et al : Applied Phys. Lett, 23, [6] p. 340 (1973).
6. D. B. Keck, P. C. Shultz : 特公昭 51-23185.
7. K. Abe : Proceeding of 2nd European Conference on Optical Fiber Communication, p. 59~61 (Sep. 1976).
8. K. Rau, et al : Topical Meeting on Optical Fiber Communication Williamsbury U. S. A. (Feb. 1977).
9. E. J. Friebele, et al : Proceeding of 10 International Congress on Glass, p. 6~23, (July. 1977).

— ◇ —