

# 波長變化에 따른 單一모드 光纖維의 스펙트랄 로스 및 遮斷波長 測定

(Measurement of Spectral Loss and Cut-off Wavelength  
of Single Mode Optical Fiber by Variable Wavelength)

洪 鳳 植\*, 韓 秉 誠\*\*, 丘 庚 完\*\*\*

(Bong Sik Hong, Byoung Sung Han and Kyoung Wan Koo)

## 要 約

여러가지 입력 파장에 따른 광섬유의 손실 및 제 1 고차 모드가 사라지는 차단파장을 측정할 수 있는 방법을 연구하였다.

손실 측정결과 OH<sup>-</sup> 기 분자의 진동에 의한 흡수현상으로 1380nm의 파장에서 5.6dB/km의 손실이 있고, 1240nm의 파장에서는 1dB/km의 손실이 있음을 측정하였다.

니어필드 인텐시티 패턴과 반전력폭에 대한 니어필드 크기 그래프로부터 측정 광섬유의 차단파장이 1120nm임을 알 수 있었다.

## Abstract

A technique has been studied for the measurement of the spectral loss and the cut-off wavelength, at which the first high-order mode disappears. The near-field patterns of a fiber which is excited by a variable wavelength source are used for the measurement of cut-off wavelength. Because of the absorptive phenomenon of OH<sup>-</sup> molecular vibration, spectral loss of a single mode optical fiber sample is 5.6 dB/km at 1380 nm wavelength and 1 dB/km at 1240 nm wavelength. From the near field intensity patterns and the mode field diameter graph for the half power width, the cut-off wavelength of the fiber is measured to be 1120 nm.

## I. 序 論

傳送 損失이 극히 낮고 傳送 帶域幅이 높아 高速化

된 많은 양의 情報를 장거리 까지 傳送할 수 있는 光通信 方式은 기존의 다른 通信 方式에 비하여 經濟性이 높기 때문에 實驗의 段階를 지나 光通信의 需要는 세계적으로 급격히 增加하는 추세에 있다. 특히 光纖維는 電磁波의 誘導障碍를 받지 않으며, 가볍고, 부피도 적어 經濟的인 傳送路 구성이 가능하다는 長點을 가지고 있다.

최근 다량의 情報를 장거리 傳送하기 위하여 損失이 적은<sup>1)</sup> 단일 모드 長波長(1.1~1.7 $\mu$ m) 帶域通信에<sup>2)</sup> 關한 연구가 많이 되고 있다. 光纖維의 중요한 특성중 傳送 損失은 중계기의 거리를 결정하는 가장 중요한

\*正會員, 忠南大學校 電子工業教育學科  
(Dept. of Elec. Eng., College of Ind. Edu. Chungnam National Univ.)

\*\*正會員, 全北大學校 電氣工學科  
(Dept. Elec. Eng., Chonbuk National Univ.)

\*\*\*正會員, 忠南大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Chungnam National Univ.)

接受日字: 1985年 9月 19日

요소로서 光通信 시스템 설계에 큰 影響을 미친다. 光纖維의 損失을 惹起시키는 현상에는 散亂 및 輻射現象과 재료의 吸收現象이 있다.<sup>1)</sup> 이중 재료의 吸收現象은 光電力이 光纖維 내에서 일부 熱로 損失되는 現象으로 光纖維 재질에 포함된 錳, 구리, 코발트, 망간등과 같은 금속이온 不純物과 OH<sup>-</sup> 기의 分子振動에 의한 吸收이다. 도핑(doping)된 석영, 유리 자체에 의한 吸收에서 赤外線 吸收에 의한 影響은 0.8 $\mu$ m보다 큰 波長에 대해서는 1dB/km 以下로 무시할 수 있으나 遠 赤外線 吸收에 의한 影響은 1.7 $\mu$ m以上の 波長에서는 매우 크고, OH<sup>-</sup> 기에 의한 吸收現象은 1.3~1.4 $\mu$ m에서 심각함이 報告되어 있다.<sup>2)</sup> 이처럼 光纖維의 특성을 좌우하는 損失을 測定하는 것은 光纖維개발에서 低損失 특성을 確認하고 개선점을 찾으려는 研究目的과 公장에서 생산되는 光纖維의 損失 測定을 正確히 하여 사용자에 믿을 수 있는 자료를 提供하기 위함이다.

單一모드 光纖維로 高速 장거리 通信이 가능하게 된 것은 低損失 光纖維 製造와 低損失 接續이 이루어지면서 부터이다. 이들 光纖維 通信 시스템이 單一모드 상태로 動作하고 있다는 것을 確認하기 위해서는 LP<sub>11</sub> 모드의 遮斷波長  $\lambda_{co}$ 를 特徵 짓는 것이 單一모드 光纖維에서 중요하다. 遮斷波長은, 波長에 따른 니어 필드 인텐시티 패턴(near field intensity pattern)의 變化를 調査함으로써 測定이 가능한데 本論文에서는 NFP (near field pattern) 方式을 이용하여 單一모드 光纖維의 遮斷波長을 測定하는 시스템을 Yasuji Murakami et al.<sup>3)</sup>이 사용한 方法보다 간단하게 構成하고 이때 X-Y 기록계에 나타난 니어 필드 패턴으로  $\lambda_{co}$ 의 값을 直接的으로 判斷한후 半電力幅을 測定하여 波長에 따른 MFD(mode field diameter)를 그래프로 그려  $\lambda_{co}$ 값을 確認하였으며 單一모드 光纖維의 波長에 따른 損失을 測定하고 損失에 影響을 미치는 요인등을 분석하였고 多重모드 光纖維의 波長에 따른 損失값과 比較하여 보았다.

II. 理論的 考察

1. 스펙트랄 로스(spectral loss) 測定 理論

光纖維의 損失은 光纖維의 出力端에서의 光電力과 入力端에서의 光電力의 比率로 나타낼 수 있으며 損失係數는

$$l = -\frac{10}{L} \log \left( \frac{p_o}{p_i} \right) \left[ \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right]$$

L : 광섬유 길이(km)  
 $p_i$  : 입력 광전력  
 $p_o$  : 출력 광전력

이다.<sup>4)</sup> 이때 光纖維의 出力端側의 光電力 測定은 비

교적 쉬운편이나 入力端側에 結合된 入力 光電力 測定은 매우 어렵다. 따라서 보통 使用하는 方法은 먼저 주어진 길이의 光纖維를 通過해온 出力光  $p_o$ 를 測定하고, 다음에는 光纖維의 入力端 條件을 그대로 維持시키면서 光纖維의 入力端에서 1~2m 정도 되는 부분의 光纖維를 잘 절단한 다음 그 짧은 길이의 光纖維를 通過해온 光電力을 測定하여 入力 光電力  $p_i$ 의 基準值로 삼아 入力光의 波長 變化에 따른 入力光電力對 出力光電力의 比를 dB로 계산하여 표시하는 것이다. 이런 方式으로 光纖維 損失 測定時 注意하여야 할 점은 첫째, 光纖維의 切斷面이 깨끗이 준비 되어야 하며 둘째, 多重모드 光纖維의 경우 光纖維 入力端에 光電力을 結合 시키는 條件에 따라서 測定 結果에 影響을 미칠 수 있으므로 가능한 모든 모드는 均일하게 여기시킬 수 있도록 해야한다. 셋째는  $p_i$ 를 測定할 때 빛이 짧은 길이의 光纖維를 通過하므로 클래딩 부분에 光電力이 분포되어 傳播되는 成分인 클래딩 모드를 除去해 주어야 한다. 이를 위해서 光纖維 兩 斷面 근방에서 약 15cm 가량 코팅을 벗기고 그리세린과 같은 인덱스 매칭(index-matching) 액으로 적신후 벨벳(velvet) 과 같은 부드러운 형질위에 두거나 또는 직경 1cm 정도의 圓통에 光纖維를 5~10회 감아서 MWF(mandrel wrap filter)가 되게 한다.<sup>5)</sup>

2. NFP 方法에 의한 遮斷波長 測定理論

매우 간단하게 임의 形象의 屈折率 分布를 조사하는 NFP方法은 光纖維 全 斷面に 걸쳐 단위 입체각당 入射光電力이 같다고 하면 半徑  $r$ 인 光纖維에 入射하여 傳播되는 光電力은

$$p(r) = p_o \omega(r, x) \left[ \frac{n^2(r) - n_2^2}{n^2(o) - n_2^2} \right] \quad \omega(r, x) : \text{보정계수}$$

가 된다.<sup>3)</sup> 만일 모든 모드가 모드 변환없이 同一한 감쇠를 받으면서 傳播한다면 出力端에는  $p(r)$ 와 같은 出力光電力이 나타난다. 그러므로  $n(r) = n_2 + \Delta n(r)$  이라면 出力端에서의 니어필드 패턴은

$$p(r) = \frac{2p(o)n^2}{n^2(o) - n_2^2} \Delta n(r)$$

로 屈折率 變化  $\Delta n(r)$ 에 비례한다. 이때 光纖維를 포함한 시스템이 單一모드 상태로 動作한다면 LP<sub>11</sub> 모드의 遮斷波長은 波長에 따른 니어 필드 인텐시티 패턴을 觀察함으로써 測定할 수 있다.<sup>3)</sup> Cut-off에서 LP<sub>01</sub> 모드의 인텐시티는 圓型 스포트(circular Spot)에 집중되어 있고 축상에서 최대가 되며, LP<sub>11</sub> 모드가 인텐시티는 중앙에서 �이 되고 cut-off을 지나 波長이 增加하면 감소하므로 單一모드 인텐시티 패턴의 피크가

cut-off을 경계로 점점 약화된다. 이처럼 高次모드가 사라지는 遮斷波長의 직접적인 測定은  $\pm 5 \text{ nm}$ 의 正確度로 測定될수 있으나 이런 精密測定을 위한 光纖維 길이는 10~20mm에 限한다.<sup>5)</sup> 실제 光纖維에 있어서는 吸收와 散亂損失, 구부림, 경계변동과 같은 附加的 損失등의 結合으로 遮斷波長 條件 근방에서는 高次모드가 급격히 減少한다. 遮斷 條件 근방에서 高次모드에 높은 減衰을 야기시키는 주요인은 다음과 같다. 첫째, 光纖維를 考察해 보면 도오핑된 실리카(doped silica)는 損失이 없으나 光纖維를 支持하는 석영관이  $10^2 \sim 10^3 \text{ dB/km}$  정도의 높은 吸收損失과  $\alpha_a$ 를 갖으며 이 光纖維의  $LP_{11}$ 모드의 損失  $\alpha_a$ 는

$$\alpha_a = \alpha q \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{u^2}{v^2} \left[ \frac{k_0(\omega b/a) K_1(\omega b/a)}{K_0(W) K_2(W)} - \frac{K_1^2(\omega b/a)}{K_0(\omega) K_2(\omega)} \right]$$

2a, 2b : 코어 및 도오핑된 석영유리의 반경  
 u, w : 코어와 클래딩내  $LP_{11}$ 모드의 정규화된 횡전파 상수  
 $u = (u^2 + w^2)^{1/2}$   
 $K_1$  : 1 차의 수정된 Hankel 함수

둘째, 曲率半徑 R에서  $LP_{11}$ 모드의 bending lose  $\alpha_b$ 는

$$\alpha_b = \left( \frac{\pi}{R a} \right)^{1/2} \frac{u^2 \exp \left[ -\frac{2}{3} \frac{w^3}{(\beta_1 a)^2} \frac{R}{a} \right]}{w^{3/2} V^2 K_0(w) K_2(w)}$$

$\beta_1$  :  $LP_{11}$ 모드의 전파상수

셋째, 코어와 클래딩 境界面 歪曲에 의한 損失  $\alpha_c$ 는

$$\alpha_c = \sum_{\nu} \int_{-n_2 k}^{n_2 k} |K_{1\nu}|^2 \frac{c_1 |\beta| dB}{(\beta_1 - \beta) 4 + 2p}$$

$K_{1\nu}$  : 전파 상수  $\beta$ 와 방위각 모드 수  $\nu$ 를 갖는 방사모드와  $LP_{11}$ 모드 사이의 결합계수  
 $n_2$  : 클래딩 굴절률  
 $K$  : 자유공간에서의 선파 상수  
 $P$  : 경계면에 대한 분광지수

등이다.<sup>5)</sup> 이중  $\alpha_c$ 가 가장 主된 損失이다.

NFP는  $LP_{01}$ 모드와  $LP_{11}$ 모드의 合成이 나타나는데  $LP_{11}$ 모드에서  $LP_{01}$ 모드로 변화하여 2차모드가 사라지기 시작하는 波長이 遮斷波長이며 눈으로 식별하기는 어려우나 屈折率 分布를 測定하여 그로부터 계산을 하기도 하지만 本 實驗에서는 波形的 peak-to-peak의 半이 되는 지점을 設定하여 幅을 減후 波長에 따른 MFD를 그래프로 그려서  $\alpha_c$ 를 測定 確認하였다.<sup>8)</sup>

III. 實驗 및 結果

1. 스펙트랄 로스(spectral loss) 測定

Sumitomo社 製品으로 VAD方式으로 製造된 長波長 單 모드 光纖維에 光學裝置를 利用 光纖維의 入射面에 최대한의 光電力이 入射되도록 하였으며 일단 裝置를 한 다음에는 同一한 入射條件이 되도록 움직임 없이 固定하였다. monochromator를 利用해서 600nm에서

1600nm까지 單色光을 얻었으며 스텝모터로 1.5회/min의 速度로 일정하게 회전시켜 600nm에서 1600nm까지 波長을 變化시켜 주었고 波長 變化에 따라 얻어진 出力光은 光電力計와 IEEE 488GPIB方式으로 接續된 HP9836 컴퓨터의 入力으로 받아들여 매 210개의 데이터로 算出하였고 그 값을 x-y記錄計로 기록하였다. 受光素子로는 600nm에서 1200nm까지는 -90dBm의 受光感度を 갖는 Si수광소자를 使用하였고 1100nm에서 1600nm까지는 같은 受信感度の Ge受光素子를 이용했다.

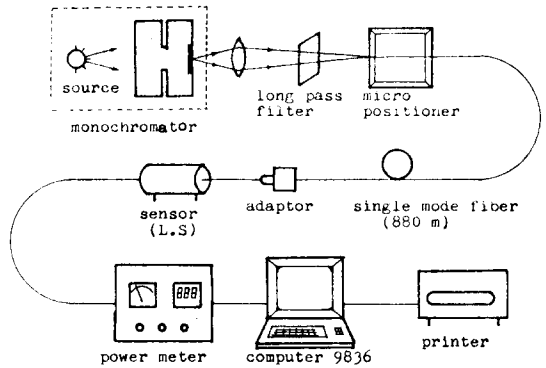


그림 1. 스펙트랄 로스 측정 시스템  
 Fig. 1. Spectral loss measurement system.

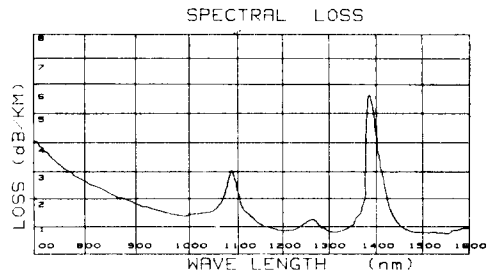


그림 2. 스펙트랄 로스 측정결과  
 Fig. 2. Spectral loss measurement result.

그림 2의 損失測定結果를 보면 스펙트랄 로스는 波長이 1380nm에서 5.6dB/km로 가장크고, 1240nm에서는 1dB/km로 光通信 波長 領域에서 중요한 吸收現象을 보이는 水酸基의 分子 振動에 의한 吸收가 1380nm와 1240nm의 波長에서 크게 發生하는 것을 確認할 수 있었다. 이때 1380nm에서의 吸收損失이 1240nm에서의 損失값보다 5.6배 정도로 크다. 광섬유에서 전송손실의 波長 의존성은 여러가지 요인이 중첩되며 그

중 적외선 흡수와 Rayleigh 산란손실은 1320nm 에서 가장 적어 0.8dB 이하이며, OH기 흡수에 의한 損失은 2700nm에 기본전동수가 있고 1380nm 부근에 2고조파 흡수가 있으며 950nm 부근에 세 3 고조파가 있어 1100nm 부근에서 Rayleigh 산란손실과 OH기 흡수 손실을 합하면 2.1dB 이상이 됨을 確認할 수 있었다. 1600nm 이상의 波長에서 損失은 실재는 매우 커야 되나 monochromator의 波長을 1600nm까지만 취하였기에 損失이 거의 없는 것으로 나타났다. 이 實驗에서 사용한 필터가 630nm 이상이기 때문에 630nm 이하의 스펙트랄 로스의 測定結果는 의미가 없어 700nm 이상의 결과지만 취하였다. 이상의 결과로 볼때 光섬유의 스펙트랄 損失중 OH기에 의한 損失이 가장 크며 OH기에 의한 損失을 줄이기 위하여 MCVD 방법으로 파이버를 製造하던 것을 VPAD 방법으로 개량함으로써 좋은 成果를 얻었다는 보고를<sup>10)</sup> 볼때 VPAD 방법 채택의 필요성을 알 수 있다.

2. 遮斷波長 測定

NFP觀察 方式으로 遮斷波長을 測定하기 위한 實驗裝置를 그림 3 처럼 구성하였으며, 이때 波長을 900nm에서 1200nm까지 20nm간격으로 變換하면서 비디콘(vidicon)에 나타난 니어 필드 패턴을 觀察하는 同時에 X-Y 기록계에 기록을 하였다(그림 4).

NFP結果를 보면 900nm에서 980nm까지는 LP<sub>01</sub> 모드와 LP<sub>11</sub>모드의 合成모드가 쌍봉을 이루나 파장의 增加에 따라 LP<sub>11</sub>모드는 점차 그 모양이 變化하기 시작하여 1000nm에서는 거의 사라지는 듯한 모양이 되지만 끝이 조금 평평하다. 1020nm에서는 평평한 모양이 사라졌지만 약간 동그랗게 되었으며 1040nm부터는 가우시안 모양과 類似한 모양이 되다가 波長의 增加에 따라 變하기 시작하였다. 각 波長에서의 NFP의 半電力幅을 測定한 結果 1020nm에서 13.2mm, 1060nm에서 10.8mm, 1080nm에서 10mm로 점차 減少하여 1120nm에서 9.8mm로 가장 적었으며 1140nm에서 9.82mm로 증가하기 시작하였다.

이를 確認하기 위하여 波長에 따른 半電力 크기인 MFD그래프(그림 5)를 그려보면 陽의 기울기와 陰의 기울기가 만나서 이루어지는 점이 1120nm의 波長에서 있으므로 1120nm 근처에서 半電力幅이 가장 적으며 幅이 적다는 것은 LP<sub>11</sub>모드가 사라지는 것을 뜻하므로 遮斷波長은 1120nm 근처에 있음을 確認할 수 있었다.

入力 波長變化에 따른 니어 필드 패턴에서 遮斷波長 λ<sub>c</sub> 이상으로 波長이 增加하는 경우 LP<sub>11</sub>mode 損失이 크게 增加하며 LP<sub>11</sub>mode 損失 增加에 따라 power

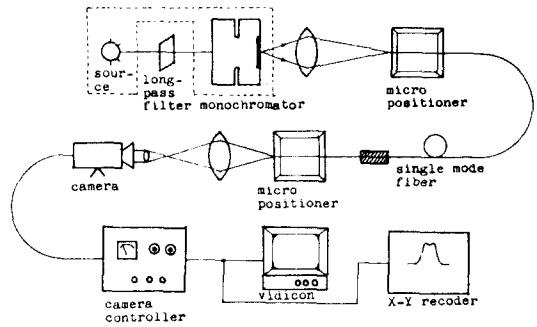


그림 3. 차단파장 측정 시스템  
Fig. 3. Cut-off wavelength measurement system.

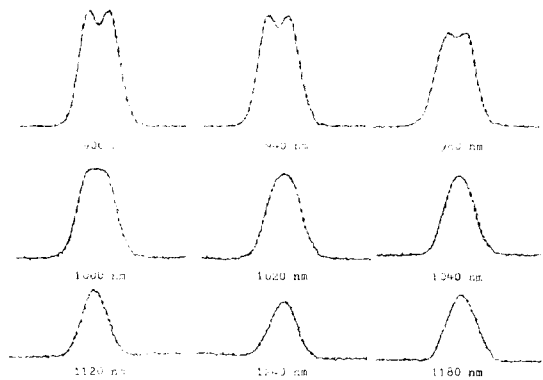


그림 4. 니어필드 패턴  
Fig. 4. Near field patterns.

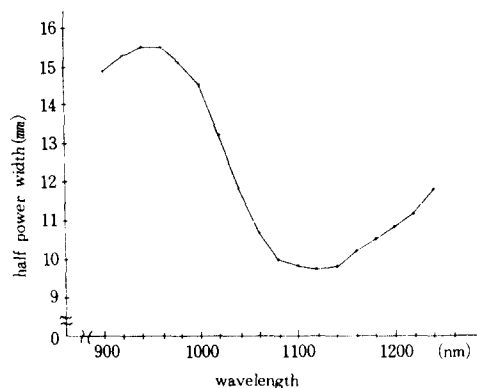


그림 5. 반전력폭의 모드필드 크기  
Fig. 5. Mode field diameter of half power width.

ratio  $\left(\frac{LP_{11}}{LP_{01}}\right)$ 도 크게 減少하는 것을 그림 4에서 볼 수 있는데 이것은 高次모드에 높은 감쇄를 야기시키는 原因으로 지적된  $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c$  때문이다.

IV. 結 論

參 考 文 獻

長波長 單一모드 光纖維에서 入射光의 波長變化 에 따른 스펙트럼 로스를 測定하여 본 結果, 1350nm ~ 1380nm波長帶에서 OH<sup>-</sup>기의 振動에 의한 吸收損失이 가장 크게 나타나 심각한 상태에 있으며, 실리카 유리를 통해 빛이 傳達될때 실리카 유리의 전자천이에 의한 吸收와 원 赤外線 영역에서 SiO<sub>2</sub>의 분자진동에 의한 흡수로 인해서 광통신에서 사용 빛의 파장의 제한 요소로 작용하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

遮斷波長을 測定하기 위한 NFP方法에서 1040nm 에서 1120nm사이에 遮斷波長λ<sub>co</sub>가 存在하고 있음을 쉽게 推定할 수 있으며, peak-to-peak의 半이되는 半電力幅을 재어본 結果 1120nm에서 9.8nm로 가장 적어 λ<sub>co</sub>가 1120nm근처에 있다고 그 推定幅을 縮小할 수 있었고 MFD그래프를 그려봄으로써 1120nm 근처에 λ<sub>co</sub>가 存在한다는 推定에 대한 確實성을 얻었으므로 1120nm보다 긴 領域에서는 LP<sub>01</sub>모드만이 傳播하고 1120nm보다 짧은 波長에서는 LP<sub>101</sub>모드가 함께 傳播하고 있음을 알 수 있었다.

표 1. 주요기기명  
Table 1. Important instruments.

name	specification	manufacture
optical fiber	core 반경: 5 - 6 μm cladding diameter: 125 μm mode field diameter: 6 - 7 μm	Sumitomo Co.
hallogen tungsten lamp	50 w	Oriel Co.
monochrometer		"
Ge detector	sensitivity: -90 dBm	Anritsu Co. MA-96A
Si detector	sensitivity: -90 dBm	" MA-95B
Power meter	leau lens: 0.38-1.15 μm 4 digit display	" ML-93A

- [1] A. Kawana, T. Miashita, M. Nakahara, M. Kawachi, and T. Hosaka, "Ultimate low loss single mode fiber at 1.55 μm," *Electron. Lett.* 13, 188 (1977).
- [2] C.D. Anderson, R.F. Gleason, P.T. Hutchison, and P.K. Runge, "An undersea communications system using fiberguide cables," *Proc. IEEE* 68, 299 (1980).
- [3] J.E. Midwinter; *Optical fibers for transmission*, John Wiley, pp. 137-158, 254 (1979).
- [4] P. Kaiser et al., "Cabling of single-mode fibers," in *Proc. Opt. Commun.*, Amsterdam, pp. 7. 4-1-7, 4-4 (1979).
- [5] Y. Murakami, A. Kawana, and H. Tsuchiya, "Cut-off wavelength measurements for single-mode optical fibers," *Appl. Opt.*, 18, 1101 (1979)
- [6] 강민호, 신상영: 광섬유 통신개론, Ohm사, pp. 19-23, 46, 47 (1981).
- [7] F.M.E. Sladen, D.N. Payne, and M.J. Adams, "Measurement of profile dispersion in optical fibers; A direct technique," *Electron Lett.*, 13, pp. 212-213 (1977).
- [8] CCITT Recommendation, G. 652-characteristic of single-mode fiber cable, (1981).
- [9] S.R. Nagel, J.B. Macchesney, and K.L. Walker, "An overview of the modified chemical vapor deposition (MCVD) process and performance" *IEEE J. of Quantum Elect.* QE-18, 459 (1982).
- [10] K. Inada, "Recent progress in fiber fabrication techniques by Vapor-Phase Axial Deposition," *IEEE J. Quantum Elect.* QE-18, 1424 (1982).