

# Экспериментальная реализация волоконного компенсатора с двойной сердцевинной для S-полосы\*

П.Р.Уотекар, М.Л.Н.Госвами, Дж.Ч.Бисвас, Х.Н.Ачаря

*Экспериментально реализован волоконный световод с двойной сердцевинной с коэффициентом хроматической дисперсии  $-1750 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$  на длине волны 1470 нм. Это значение дисперсии для S-полосы (1450–1530 нм) является в настоящее время рекордным. Приведены геометрические параметры световодов с двойной сердцевинной и результаты измерений оптических потерь, размера поля моды, микроизгибных потерь компенсатора.*

**Ключевые слова:** компенсация дисперсии, волоконный компенсатор, световод с двойной сердцевинной.

## 1. Введение

В последнее десятилетие были достигнуты крупные успехи в области создания легированных эрбием волоконных усилителей, способных усиливать сигналы в полосе 1520–1610 нм. Благодаря этому появилась возможность использования окна 1550 нм в уже установленных линиях связи на основе стандартных одномодовых световодов на длине волны 1310 нм. Хроматическая дисперсия в таких световодах на длине волны 1550 нм составляет примерно  $+17 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ , что серьезно ограничивает скорость в линиях передачи. Широко применяемый способ решения этой проблемы предусматривает использование волоконных компенсаторов дисперсии, обладающих значительной отрицательной дисперсией в области рассматриваемых длин волн.

Ранее был предложен [1] и экспериментально реализован [2] волоконный компенсатор с двойной сердцевинной. Дисперсия на длине волны 1550 нм составила  $-1800 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ . В настоящее время передача сигналов в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) реализована в C-полосе (1530–1570 нм), L-полосе (1570–1610 нм) и возможна в S-полосе (1450–1530 нм). Недавно сообщалось о легированных Tm волоконных усилителях [3] и широкополосных рамановских усилителях [4], способных усиливать сигналы в S-полосе. Дисперсия стандартного одномодового световода на длине волны 1470 нм составляет  $+12 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ , что ограничивает скорость передачи для линий связи и делает необходимым использование волоконных компенсаторов.

В настоящей работе экспериментально реализован волоконный компенсатор, обладающий значительной отрицательной дисперсией ( $-1750 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ ) на длине волны 1470 нм. Насколько нам известно, на сегодняшний

день это значение дисперсии для волоконных компенсаторов в окне пропускания 1480 нм является рекордным.

## 2. Теория

Численное моделирование компенсатора с целью получения необходимого радиального распределения поля проводилось с использованием метода из работы [5].

Компенсатор состоит из двух концентрических сердцевинок, каждая из которых поддерживает супермоду подобно волоконным ответвителям. Показатель преломления и расстояние между сердцевинами выбирались такими, чтобы обеспечить условие согласования фаз для двух супермод, распространяющихся на длине волны  $\lambda_{\min} = 1470 \text{ нм}$ .

Если рабочая длина волны  $\lambda$  меньше  $\lambda_{\min}$ , то во внутренней сердцевине распространяется большая часть мощности, в противном случае ( $\lambda > \lambda_{\min}$ ) основная мощность распространяется во внешней сердцевине. В результате на длине волны  $\lambda_{\min}$  происходит резкое изменение эффективного показателя преломления  $n_{\text{eff}}$ , что и приводит к очень большой отрицательной хроматической дисперсии на этой длине волны.

Коэффициент хроматической дисперсии  $D$  определяется следующим выражением:

$$D = -\frac{\lambda}{c} \frac{dn_{\text{eff}}^2}{d\lambda^2}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме. Радиальное распределение нормированного показателя преломления  $\Delta$  созданного волоконного компенсатора представлено на рис.1, где  $\Delta = (n_1^2 - n^2)/2n_1^2$ ,  $n_1$  – показатель преломления сердцевины,  $n$  – показатель преломления оболочки.

## 3. Эксперимент и его результаты

Заготовка была получена методом модифицированной газотранспортной реакции MCVD на установке Heathway UK при оптимальной температуре, которая позволяет избежать образования неоднородностей в

\*Перевел с англ. А.А.Сысолятин.

**P.R.Watekar, M.L.N.Goswami, H.N.Acharya.** Optical Fiber Unit, Central Research Facility, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721302, India

**J.C.Biswas.** Department of Electronics and Communication Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur-721302, India; e-mail: fiber@phy.iitkgp.ernet.in

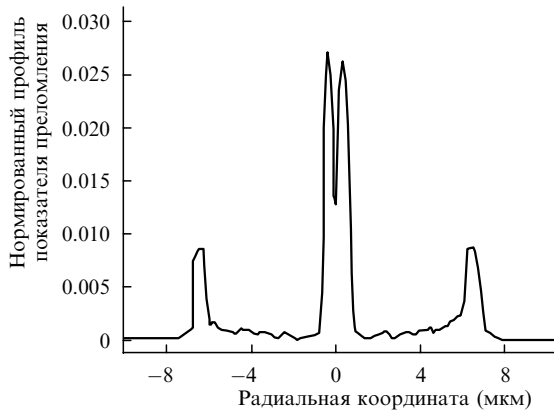


Рис.1. Профиль показателя преломления компенсатора с двойной сердцевинной; заготовка изготовлена методом MCVD.

процессе осаждения формирующих структуру реагентов. Для получения узкой сердцевинной осуществлялось предварительное схлопывание слоев, содержащих двуокись германия. Этот метод, который называют также избыточным легированием, позволяет уменьшить величину центрального провала в распределении показателя преломления. Профиль показателя преломления заготовок измерялся анализатором York Technology P104.

С использованием вытяжной машине Heathway UK высотой 6 м было получено несколько сотен метров световодов. Эта установка содержит графитовую печь со сопротивлением с контроллером, способную достигать температуры до 2500 °С, контроллер диаметра световода, блоки УФ излучения для затверждения полимерного покрытия и др. Диаметр вытягиваемого световода вместе с оболочкой составляет 125 мкм с отклонениями в пределах ±1 мкм.

Изготовленный волоконный компенсатор имеет хорошие геометрические параметры, которые измерялись на установке York Technology Video Fiber Analyzer S20. Овальность световода составляла 0.5 %, а концентричность была равна 0.33 мкм.

Изгибные потери, длина волны отсечки (1.2 мкм) и диаметр поля моды (14 мкм) измерялись с помощью оптического анализатора Bentham, включающего в себя управляющий компьютер, двойной монохроматор DM150, программируемый контроллер монохроматора PMC 3В/IEEE, строб-усилитель M223 и фотодетектор на основе InGaAs-ДГС. Изгибные потери измерялись для одиночной петли разного диаметра, результаты измере-

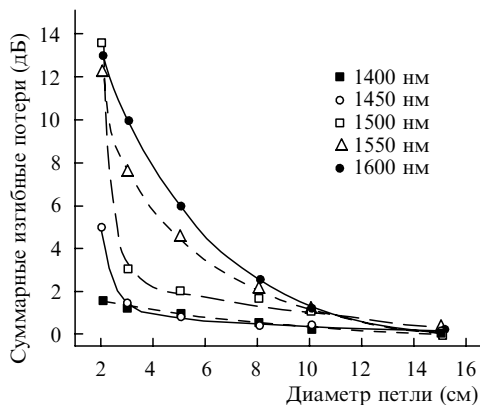


Рис.2. Измерения зависимости суммарных изгибных потерь от диаметра изгиба для компенсатора с двойной сердцевинной.

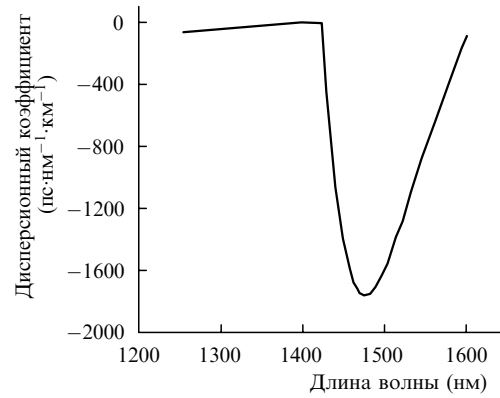


Рис.3. Результаты измерений хроматической дисперсии на установке York Technology S18.

ний представлены на рис.2. Видно, что для петли диаметром более 10 см изгибные потери пренебрежимо малы.

Хроматическая дисперсия световода измерялась на установке York Technology CD S18 методом фазового сдвига. В процессе измерений с помощью фазового компаратора определялась разность фаз между опорным и переданным сигналом, и затем находились значения групповой задержки и хроматической дисперсии. Результаты измерений коэффициента хроматической дисперсии представлены на рис.3. На длине волны 1470 нм дисперсионный коэффициент минимален и составляет  $-1750 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ , для  $\lambda = 1550 \text{ нм}$   $D \approx 800 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ .

#### 4. Заключение

Разработан и создан волоконный компенсатор с двойной сердцевинной, оптимизированный для S-полосы волоконно-оптической линии связи. Измеренный коэффициент хроматической дисперсии составляет  $-1750 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$  на длине волны 1470 нм. Это максимальное отрицательное значение дисперсии, полученное экспериментально для S-полосы. Коэффициент дисперсии на  $\lambda = 1550 \text{ нм}$  равен  $-800 \text{ пс}\cdot\text{нм}^{-1}\cdot\text{км}^{-1}$ . Таким образом, на длине волны 1470 нм достаточно использовать волоконный компенсатор длиной только 1 км, чтобы скомпенсировать дисперсию стандартного одномодового световода длиной 145 км.

На рис.4 представлены результаты измерений спектра потерь компенсатора. На  $\lambda = 1470 \text{ нм}$  они составля-

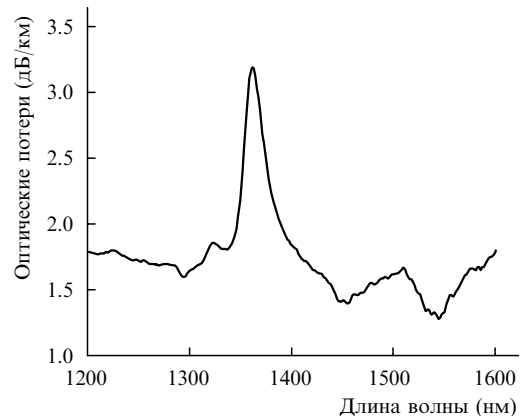


Рис.4. Спектр потерь волоконного компенсатора с двойной сердцевинной.

ют 1.49 дБ/км, а на  $\lambda = 1550$  нм – около 1.47 дБ/км. Безусловно, потери в волоконном компенсаторе с двойной сердцевиной существенно больше, чем в стандартном одномодовом световоде. Однако это обстоятельство не увеличит существенно энергетические затраты в оптической линии, поскольку для компенсации дисперсии в ней необходимо, чтобы длина компенсатора составляла только несколько километров. Дополнительный выигрыш даст включение в линию с компенсатором эрбиевого волоконного усилителя.

Авторы благодарят индийско-французский центр поддержки передовых исследований (IFSPAR, New Delhi) за финансовую помощь, д-ра Б.Дуссардьера (B.Dussardier) и проф. Ж.Моннома (G.Monnom) за плодотворные предложения, касающиеся изготовления за-

готовок, а также OPTEL Telecommunications Ltd. (Bhopal, India) за помощь в проведении оптических измерений и Центр передовых технологий (Indore, India) за вытяжку световодов.

1. Thyagarajan K., Varshney R., Palai P., Ghatak A.K., Goyal I.C. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, **8** (11), 1510 (1996).
2. Auguste J.L., Jindal R., Blondy J.M., Clapeau M., Marcou J., Dussardier B., Monnom G., Ostrowsky D.B., Pal B.P., Thyagarajan K. *Electron. Lett.*, **36**, 1689 (2000).
3. Cole B., Dennis M.L. *Tech. Digest OFCC'2001* (Anaheim, 2001, Paper TuQ3).
4. Rotwitt K., Kidorf H.D. *Tech. Digest OFCC'1998* (San Jose, 1998, Post-deadline Paper PD6).
5. Sharma E.K., Sharma A., Goyal I.C. *IEEE J. Quantum Electron.*, **18** (10), 1484 (1982).