

Министерство образования и науки Украины
Национальная Академия наук Украины
Институт радиофизики и электроники НАН Украины им. А.Я. Усикова
Институт физики полупроводников НАН Украины им. В.Е. Лашкарева
Институт физики НАН Украины
Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины
Национальный технический университет Украины «КПИ»
Национальный технический университет «Львовская политехника»
Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Сборник научных трудов VIII Международной научной конференции ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ



Харьков – Одесса
2015

In this work, was analyzed of the optical fibers which are used to construct ring resonator fiber lasers. For realization resonator of a femtosecond ring fiber laser plays an important role the dispersion in the optical fiber, which refers to undesirable effects. The dispersion must be compensated, in this case the dispersion compensation occurs without introducing optical resonator discrete optical elements: prisms, bragg gratings, etc., and by connecting the fibers with different signs of group velocity dispersion (GVD). In this paper, we developed a mathematical model to calculate the GVD for the fiber doped with rare earth elements, in this case an erbium fiber and SMF-28.

Введение

В последнее время большое количество исследований волоконных лазеров проводится для обеспечения физических каналов связи, частоты которых рекомендованы международными стандартами ITU[1]. К таким лазерам относятся кольцевые волоконные фемтосекундные лазеры с нелинейной эволюцией поляризации мод. Так как кольцевые волоконные лазеры состоят из различных типов волокон, то основной проблемой при проектировании лазеров такого типа является дисперсия. Этот эффект существенно искажает форму импульса лазера, что негативно влияет на его основные выходные параметры. Известны методы компенсации дисперсии с помощью призм, дифракционных решеток и т.д. Но существует и другой способ – это введение в резонатор оптических волокон с различным знаком дисперсии. Поэтому основной задачей данной работы является разработка математической модели для расчета дисперсии в оптических волокнах входящих в состав кольцевого волоконного лазера.

Математическая модель нахождения дисперсии

В данной работе мы исследуем хроматическую дисперсию оптических одномодовых волокон, которые используются в кольцевых волоконных лазерах. С помощью математической модели мы смогли количественно оценить дисперсию. Полученные графики наглядно показывают зависимость величины дисперсии от длины волны.

Известна формула для хроматической дисперсии:

$$D = -\frac{2\pi \cdot c}{\lambda^2} \cdot \beta_2, \quad (1)$$

где β_2 - дисперсия групповой скорости, которая и влияет в зависимости от волокна на импульс, c - скорость света, λ - длина волны. Дисперсия групповой скорости β_2 получается при разложении в ряд Тейлора β (постоянной распространения)

$$\beta(\omega) = \beta(\omega_0) + \frac{\partial \beta}{\partial \omega} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} (\omega - \omega_0)^2 + \dots \quad (2)$$

В соответствии с основными положениями электродинамики в однородных средах плоская электромагнитная волна распространяется с фазовой скоростью:

$$V_{gr} = \frac{c}{n} = \frac{\omega}{\beta} \quad (3)$$

где n – показатель преломления, и групповой скоростью:

$$V_{gr} = \frac{\partial \omega}{\partial \beta} = \frac{1}{\frac{\partial \beta}{\partial \omega}} \quad (4)$$

Отсюда ДГС:

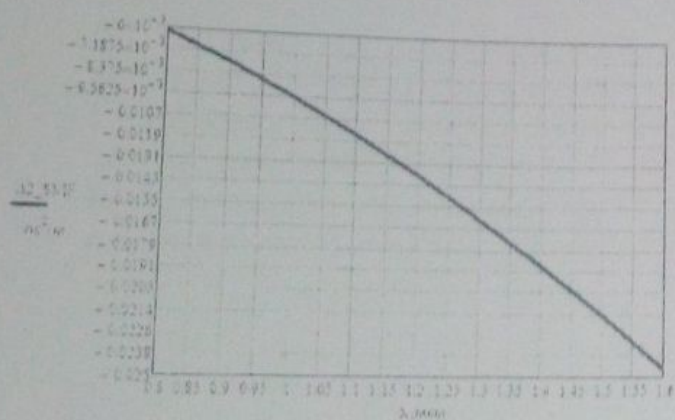
$$\beta_2(\omega) = \frac{\partial^2 \beta(\omega)}{\partial \omega^2} = \frac{\partial}{\partial \omega} \left[\frac{1}{V_{gr}} \right] \quad (5)$$

В результате получаем основное выражение для нахождения ДГС:

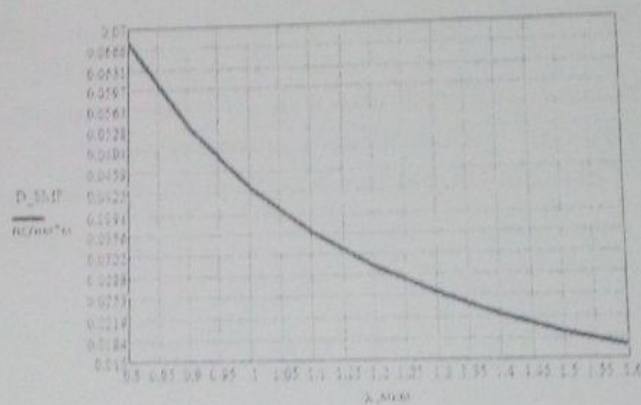
$$\beta_2(\lambda) = \frac{\lambda^3}{2\pi \cdot c^2} \frac{\partial^2 n}{\partial \lambda^2} \quad (6)$$

Полученные результаты

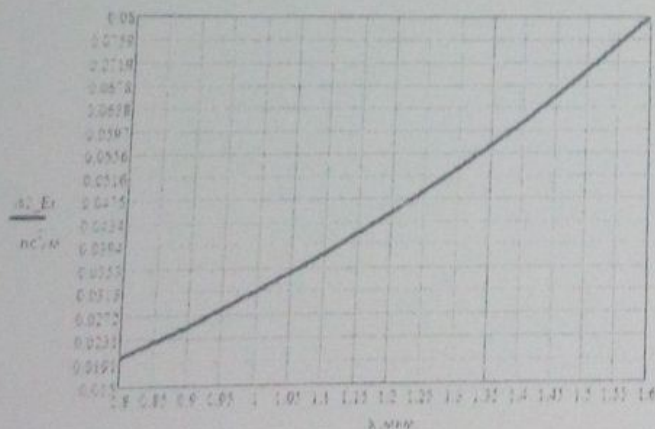
На рис.1 а, изображена зависимость дисперсии групповой скорости для одномодового волокна SMF и на рис.1 б, соответственно для эрбиевого волокна.



а



а



б

Рис.1



б

Рис.2

В нашем случае для 1м одномодового волокна SMF ДГС для длины волны 1,55 мкм соответствует значению -0,028 пс²/м, для эрбиевого 0,075 пс²/м. Что совпадает со значениями в работах [2-3]. Также значения хроматической дисперсии волокон можно определить из зависимостей 2 а,б. Для SMF волокна 0,018 пс/нм*м, для эрбиевого -0,058 пс/нм*м. Данные расчеты были применены для создания кольцевого волоконного фемтосекундного лазера [4-5].

Выводы

Рассчитав с помощью математической модели, мы исследовали зависимости дисперсии от длины волны. Разработанная нами математическая модель позволяет оценить величину и знак дисперсии оптических волокон используемых в построении волоконных лазеров. Тем самым с помощью расчетов избавиться от дискретных компенсаторов дисперсии.

Данная математическая модель применима для всех видов оптических волокон. Таким образом, без проведения экспериментальных исследований с помощью математических расчетов возможно оценить дисперсию в волокнах, и использовать эти данные при проектировании полностью волоконных резонаторов без дополнительных дискретных компенсаторов дисперсии.

Список литературы:

- [1] Andre Girard, Guide to WDM Technology and Testing, M.: EXFO, 2001, P.P.256.
- [2] K. Tamura, C. R. Doerr, L. E. Nelson, H. A. Haus, and E. P. Ippen, Technique for obtaining high-energy ultrashort pulses from an additive-pulse mode-locked erbium-doped fiber ring laser // Optics letters, Vol. 19, No. 1, 1994, P.46-48.
- [3] M. E. Fermann, and I. Hartl, "Ultrafast fibre lasers," Nat. photonics, 2013, vol.7, pp.868-874.
- [4] Гнатенко А.С., Мачехин Ю.П., "Устойчивость режима генерации волоконного кольцевого лазера", Радиотехника, Харьков, 2014, №178, с.48-51.
- [5] Гнатенко А.С., Мачехин Ю.П. «Исследование стабильности волоконного кольцевого лазера для DWDM систем и обработки информации», материалы трудов 5-го международного радиоэлектронного форума «прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», Харьков, 2014, с.105.