

горитм построения дискретной модели изучаемой непрерывной величины приведен, например, в работе [5]:

Для создания программы моделирования фотоакустического сигнала неоднородного образца, была использована среда быстрой разработки программного обеспечения Borland C++ Builder во взаимодействии с приложением Microsoft Office Access 2003. Приложение Microsoft Office Access 2003 использовалось для организации и ведения базы данных промоделированных компьютерных экспериментов.

Литература

1. Rosencwaig A. // Opt. Comm. 1973. № 7. P. 305-308.
2. Арсенин В.Я. Методы математической физики и специальные функции. – М.: Наука, 1974. – 431 с.
3. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1967. – 436 с.
4. Бокуть Б.В., Сердюков А.Н., Шепелевич В.В. // Оптика и Спектроскопия. 1974. Т. 37. С. 120-124.
5. Галагер Р. Метод конечных элементов. – М.: Мир, 1984.

И.А. Малевич, А.В. Поляков, С.И. Чубаров
(Беларусь, Минск)

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ И ХРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Волоконно-оптические информационные системы (ВОИС) занимают в настоящее время доминирующее положение среди устройств, предназначенных для высокоскоростной передачи и обработки потоков данных. Одним из перспективных направлений использования оптоэлектронного процессора является обеспечение ввода больших массивов оптической информации, например, при лазерно-локационном зондировании, в вычислительный канал суперкомпьютера БГУ.

Основным способом повышения пропускной способности оптоволоконных информационных каналов является технология плотного спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов с разделением по длинам волн, получившей название *DWDM*-технологии (dense wavelength division multiplexing). Экономичность *DWDM*-систем с большой суммарной скоростью передачи данных в значительной степени зависит от эффективности использования рабочего спектра для передачи информации, от увеличения так называемой спектральной эффективности. Сделать это можно двумя путями: уменьшить спектральный интервал между каналами и увеличить канальную скорость B . Второй путь экономически более перспективен, так как увеличение B при-

ведет к снижению стоимости единицы передаваемой информации. По оценкам [1], увеличение канальной скорости в четыре раза обеспечивает снижение стоимости единицы передаваемой информации примерно в 2,5 раза.

До тех пор, пока оптическая мощность в волоконном световоде (ВС) невелика (несколько мВт), волокно может считаться линейной средой, то есть потери и показатель преломления волокна не зависят от мощности сигнала. Однако внедрение технологии спектрального уплотнения *WDM/DWDM*, которая ведет к значительному возрастанию вводимой в ВС мощности, а также повышение скорости передачи до 10 Гбит/с и выше требует учета нелинейных эффектов в ВС при исследовании ВОИС.

Одним из основных компонентов ВОИС является волоконно-оптическое динамическое запоминающее устройство (ВОДЗУ) регенеративного типа, которое может использоваться в качестве быстродействующей динамической буферной памяти в оптических процессорах [2], оптоволоконных линиях связи; при исследовании быстропротекающих процессов для записи, хранения и обработке поступающих с большой скоростью информационных полей и т.п. Достоинством ВОДЗУ является то, что запись информационного потока в них осуществляется в реальном масштабе времени, а хранение данных в цифровой и аналоговой форме возможно в течение времени, необходимого для их последующей обработки. Кроме того, в таких оптоволоконных системах существует возможность организации по одному световоду одновременно нескольких информационных каналов, используя *DWDM*-технология.

Для минимизации влияния нелинейных эффектов были выбраны следующие параметры для волоконно-оптического запоминающего устройства. Применялась *DWDM*-технология с $k=8, 16, 32$ информационными каналами, имевшими межканальный интервал 100 ГГц. В качестве линии задержки использовался комбинированный световод с коррекцией хроматической дисперсии, состоящий из 20 км стандартного одномодового волокна (дисперсия 16,5 пс/нм·км на $\lambda=1550$ нм) и 5 км компенсирующего волокна (дисперсия минус 66 пс/нм·км на $\lambda=1550$ нм), в результате чего средняя хроматическая дисперсия на всем участке волоконного световода (ВС) составляла $D_{xp}=0,05$ пс/нм·км. Поляризационная модовая дисперсия равнялась $D_{PMD}=0,1$ пс/км^{1/2}, потери $-\alpha=0,22$ дБ/км. В качестве источников излучения использовались лазеры, согласованные с отрезками волокна, на которых сформированы брэгговские решетки (DFB). Использование решеток позволяет гибко варьировать длину волны лазерной генерации в пределах контура усиления активной среды лазера, обеспечить стабильность генерации, уменьшить ширину лазерной линии, реализовать ее перестройку. DFB-лазеры обладали высокой температурной стабильностью и в окрестностях рабочей длины волны 1,55 мкм при прямой модуляции со скоростью более 10 Гбит/с, имели мощность излучения $P_0 = 2$ мВт и ширину линии генерации не более 0,01 нм. В этом случае доминирующим нелинейным эффектом являлась фазовая автомодуляция (SPM).

Фазовая автомодуляция возникает вследствие того, что показатель преломления волокна содержит нелинейно-зависимую от интенсивности компоненту, которая вызывает смещение фазы, пропорциональное интенсивности импульса. По этой причине различные составляющие импульса претерпевают различные фазовые смещения, обуславливая изменение линейной частотной модуляции (ЛЧМ) импульсов вне зависимости от их формы. Изменение ЛЧМ импульсов в свою очередь приводит к увеличению их длительности из-за дисперсии. Таким образом, SPM модифицирует влияние дисперсии на расширение импульса. Так как этот эффект изменения ЛЧМ пропорционален мощности передаваемого сигнала, SPM более ощутим в системах, использующих высокие мощности передачи. Поэтому вызванные SPM изменение ЛЧМ оказывает влияние на расширение импульса вследствие дисперсии и в связи с этим должно учитываться в системах с высокими битовыми скоростями, которые уже обладают значительными ограничениями из-за дисперсии.

На основе разработанной математической модели проведено исследование динамики изменения длительности циркулирующих импульсов в волоконно-оптическом запоминающем устройстве в зависимости от числа спектральных каналов и скорости записи информации с учетом дисперсионных свойств ВС и фазовой автомодуляции. Установлено, что длительность информационных импульсов в процессе циркуляции вначале уменьшается, а затем увеличивается. Данный эффект объясняется следующим образом. Импульсы, излучаемые полупроводниковыми лазерами с непосредственной модуляцией, представляют собой частотно-модулированные импульсы. Поскольку для стандартного одномодового волокна для длин волн, больших 1,3 мкм параметр дисперсии групповой скорости меньше нуля и вызванное SPM изменение ЛЧМ положительно, то рециркулирующие импульсы сначала подвергаются сжатию, а затем расширению. Данный эффект увеличивается с увеличением передаваемой мощности (т.е. увеличением числа информационных каналов), поэтому наблюдается увеличение степени начального сжатия и скорости последующего расширения импульсов с увеличением передаваемой мощности.

Одним из критериев, по которым оцениваются информационные параметры ВОДЗУ, является условие $\tau/T_i < 0,6$, τ – длительность информационных импульсов на входе решающего устройства, T_i – величина тактового интервала. Тогда влиянием межсимвольных помех можно пренебречь. В этом случае для $k=32$ время хранения информации равно $t_{\text{хр}} = 17,3$ мс ($B=2,5$ Гбит/с) и $t_{\text{хр}} = 5$ мс ($B=10$ Гбит/с); информационная емкость составляет $W_1 = 1,2$ Мб ($B=2,5$ Гбит/с) и $W_2 = 4,8$ Мб ($B=10$ Гбит/с), при этом время последовательного считывания всей информации не превышает 120 мкс.

Литература

1. Величко М.А., Наний О.Е., Сусьян А.А. // Lightwave Russian Edition. 2005. № 4. С. 21-30.

2. Малевич И.А., Поляков А.В., Чубаров С.И. Архитектура быстродействующего оптоэлектронного процессора с параллельной аналоговой и цифровой обработкой информации // Суперкомпьютерные системы и их применение (SSA'2004): сб. докладов международной научной конференции. Минск, 26-28 октября 2004 г. С. 43-48.

Г.В. Синицын, А.В. Ляхнович, Н.А. Саскевич
(Беларусь, Минск)

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ С ЦЕНТРАМИ ОКРАСКИ И ОПАЛОВИДНЫХ НАНОМАТРИЦ

Рассматриваются предложенные методы генерации и созданные компактные лазерные источники излучения видимого и ближнего ИК-диапазона двух классов: на кристаллах с F центрами окраски и на заполненных активной средой глобулярных фотонных кристаллах.

Первый класс представлен лазерами на кристаллах LiF с F^{2+} и F^{2-} центрами окраски. Более подробно рассмотрим LiF: F^{2-} лазер. В качестве активного элемента использовался радиационно окрашенный кристалл LiF: F^{2-} длиной 4 мм с коэффициентами поглощения в максимуме F^{2-} -полосы на длине волны $\lambda = 960$ нм, равным $1,34 \text{ см}^{-1}$, и в максимуме F^{3-} -полосы на $\lambda = 800$ нм, равным $1,74 \text{ см}^{-1}$. В области спектра 1170–1300 нм остаточное поглощение кристалла составляло ~3%. Генерация возбуждалась по продольной схеме импульсами излучения LiF–OH: F_2^+ лазера, моделирующего излучение лазерного диода с длиной волны 950 нм и длительностью импульсов $1 \div 3$ мкс. Резонатор геометрической длины 7 мм образован двумя сферическими зеркалами с радиусами кривизны 50 мм. Коэффициенты отражения зеркал оптимизировались с тем, чтобы обеспечить максимальное поглощение излучения накачки в активной зоне кристалла и минимизировать полезные потери в спектральной области генерации. Размеры лазера соответствовали примерно объему в 1 см^3 . Лазер генерировал на $\lambda = 1146$ нм с пороговой мощностью накачки 0,4 Вт.

Для дальнейшего снижения порога генерации активная зона кристалла облучалась в течение ~20 минут второй гармоникой ИАГ:Nd³⁺-лазера ($\lambda = 532$ нм) с длительностью импульсов по полувысоте 17 нс, частотой следования 3 Гц, плотностью мощности ~30 МВт/см². В этой фотооблученной зоне получен рекордно низкий для лазеров на кристаллах LiF: F^{2-} порог генерации по падающей мощности 275 мВт. В отдельных экспериментах нами установлено, что в определенном диапазоне плотностей мощности облучения, который для каждого кристалла определяется опытным путем, заметно понижается интенсивность паразитной для накачки F^{3-} -полосы и возрастает интенсивность основной F^{2-} -полосы.