

07

©1993 г.

ФАЗОВАЯ НЕВЗАИМНОСТЬ В ВОЛОКОННОМ КОЛЬЦЕВОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ С НЕИДЕАЛЬНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ФИЛЬТРОМ

А.П.Андреев, В.Д.Васильев, В.А.Козлов, Р.Л.Шубочкин

Показано влияние неидеальности фазового модулятора (амплитудной и поляризационной модуляции излучения) на величину интерференционного сигнала в волоконном кольцевом интерферометре со схемой синхронного детектирования сигнала. Проведены сравнительные экспериментальные исследования трех типов волоконных фазовых модуляторов в кольцевом интерферометре с поляризованным и деполаризованным излучением.

Волоконный кольцевой интерферометр (ВКИ) на основе одномодовых волоконных световодов (ОВС) широко используется для создания высокочувствительных датчиков различных физических полей (датчики угловой скорости вращения, силы электрического тока, акустических волн и др.). Воздействие физических полей на замкнутый волоконный контур кольцевого интерферометра приводит к возникновению разности между интерферирующими волнами, распространяющимися в контуре навстречу друг другу (так называемая фазовая невязанность). В отсутствие внешних физических полей интерферирующие волны в кольцевом интерферометре проходят в общем случае одинаковый оптический путь, т.е. выполняется условие фазовой взаимности при их распространении.

Использование ВКИ для создания того или иного датчика приводит к необходимости исключения воздействия на интерферометр всех физических полей, вызывающих неконтролируемую фазовую невязанность, кроме измеряемого. Однако в ВКИ существуют и „внутренние“ источники фазовой невязанности. К их числу относятся явление двулучепреломления в ОВС и неидеальность светоделительного устройства интерферометра (полупрозрачного зеркала или одномодового направленного ответвителя). В [1] была предложена оптическая схема ВКИ, в которой влияние этих источников фазовой невязанности существенно подавляется. Принцип работы этой схемы основан на использовании теоремы взаимности Лоренца в применении к волноводным системам [2], а именно осуществление пространственной и поляризационной фильтрации излучения на входе-выходе ВКИ. Степень подавления невязанных фазовых эффектов определяется качеством оптических элементов, образующих

фильтр. Фазовая невязанность, возникающая из-за двулучепреломляющих свойств ОВС и подавляемая, как правило, наличием в фильтре линейного поляризатора, исследована достаточно полно [3,4].

Пространственная фильтрация излучения, осуществляемая в схеме ВКИ обычно с помощью отрезков ОВС, практически не исследовалась.

Для цельноволокнистых ВКИ качество пространственного фильтра определяется степенью «одномодовости» ОВС, используемых для изготовления волоконных ответвителей и поляризаторов, т.е. элементов, располагающихся на входе-выходе замкнутого контура. В понятие «одномодовости» входит не только степень подавления второй высшей моды для данных ОВС и источника излучения, но и степень присутствия оболочечных мод в этом световоде. С этой точки зрения важен выбор оптимального соотношения между длиной волны отсечки ОВС и длиной волны источника излучения в ВКИ (большое их различие приводит к увеличению изгибных потерь в ОВС [5] и уменьшению размера сердцевины, при малом возможно неполное затухание второй моды световода либо ее возбуждение при изменении длины волны источника излучения, например, вследствие температурной нестабильности полупроводниковых источников).

В данной работе экспериментально исследовалось влияние волноводных свойств ОВС, используемых в ВКИ для пространственной фильтрации излучения, на величину фазовой невязанности в этом интерферометре. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Излучения многомодового полупроводникового лазера Л ($\lambda = 835$ нм) с помощью микрообъективов O_1 и O_2 вводилось в пространственный фильтр интерферометра (ОВС 1), роль которого выполняли отрезки различных ОВС длиной 1–2 м. Отдельные участки этих световодов иммерсировались для исключения влияния оболочечных мод. Излучение их пространственного фильтра с помощью микрообъективов O_3 , O_4 вводилось в собственно кольцевой интерферометр, образованный Х-образным сплавным ответвителем и волоконным контуром из ОВС/2 длиной ~ 1 км (длины волн отсечек у световодов этих элементов были менее 0.75 мкм). Интерференционный сигнал также проходил через пространственный и поляризационный фильтры (роль последнего выполняла призма Глана П), полупрозрачную пластинку СП и регистрировался *pin*-фотодиодом ФП. Для наблюдения невязанных фазовых сдвигов в ВКИ использовалась схема с фазовым пьезокерамическим модулятором М (частота модуляции ~ 38 кГц) и синхронным детектором СД для измерения первой гармоники частоты модуляции [1]. Между объективами O_3 , O_4 могло помещаться 100%-ное зеркало З для регистрации распределения в ближнем поле интенсивности излучения I, выходящего из световода пространственного фильтра.

В качестве пространственного фильтра использовалось несколько ОВС с двумя принципиально различными профилями показателя преломления, схематично показанными на рис. 2. Трехслойный световод (ОВС1) (рис. 2,а) использовался в качестве модели ОВС с направляемыми оболочечными модами. Разность показателей преломления Δn между 2-й и 3-й оболочками ОВС1 (рис. 2,а), величина Δn и диаметр сердцевины в ОВС1 (рис. 2,б) были выбраны таким образом, что при намотке одного витка этих световодов на цилиндры с радиусами $R = 9 \div 60$ мм доля мощности, переносимая оболочечными модами (ОВС1) (а) или второй

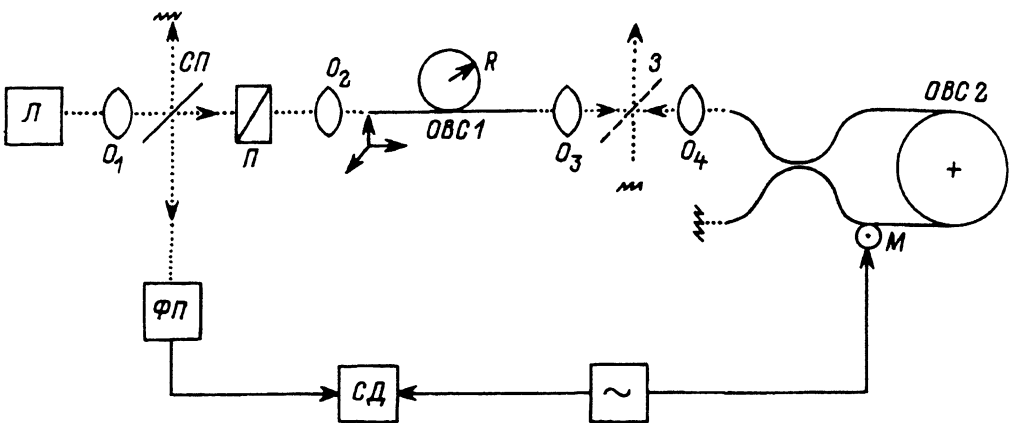


Рис. 1.

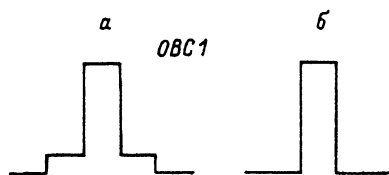


Рис. 2.

высшей модой (ОВС1) (б) на рабочей длине волны излучения (835 нм) существенно изменялись. В каждом отдельном случае эффективность возбуждения высших мод определялась условиями ввода излучения в ОВС1 с помощью микрообъектива O_2 и изменялась с помощью одной из 3 взаимно ортогональных линейных координат юстировочного устройства. Доля мощности излучения, переносимая высшими модами, определялась на основании распределения интенсивности излучения в ближнем поле на выходе ОВС1 по сравнению с аналогичным распределением на выходе этих же отрезков ОВС в заведомо «одномодовом» режиме (при малых значениях R). Можно ожидать, что величина фазовой невязанности $\Delta\varphi$, измеряемая синхронным детектором, будет пропорциональна

$$\Delta\varphi \sim \sqrt{\frac{S_R - S_0}{S_R}},$$

где S_R , S_0 — площади под кривыми распределения интенсивности излучения в ближнем поле для неодномодового режима распространения излучения (для некоторого радиуса R) и для «одномодового» режима, соответственно.

На рис. 3 показано изменение эффективной длины волны отсечки в одном из ОВС1 (рис. 2,б) в зависимости от изменения радиуса цилиндра, на который наматывался один виток световода. Пересечение расчетной прямой, построенной методом наименьших квадратов на основании экспериментальных точек, с вертикальной осью, соответствует действительной длине волны отсечки в этом ОВС (~ 890 нм) [6]. Отсюда следует,

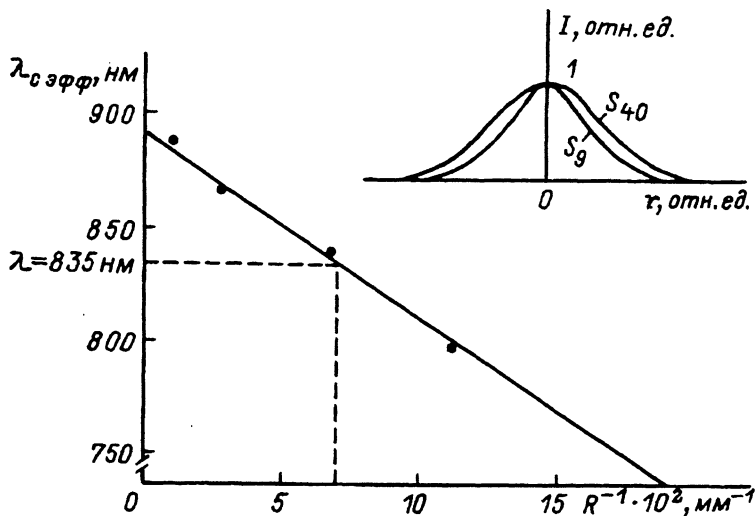


Рис. 3.

что для $\lambda = 835$ нм и $R < 14.7$ нм световод будет одномодовым, а при $R > 14.7$ нм — двухмодовым. Таким образом, изменяя величину R , можно изменять долю мощности излучения, переносимую в световоде второй высшей модой. На рис. 3 показано также нормированное к 1 измеренное распределение интенсивности излучения в ближнем поле для двухмодового (S_{40}) и одномодового (S_9) режимов распространения.

На рис. 4 представлены результаты измерения величины фазовой невязности в макете ВКИ с помощью синхронного детектора (1), а также оценочные значения этой величины, полученные из измерений распределения интенсивности излучения в ближнем поле на выходе ОВС1 (2) от радиуса изгиба этого световода. Значение R_0 соответствует радиусу, при котором в данном световоде эффективная длина волны отсечки равна длине волны излучения используемого лазера (835 нм) (рис. 3). При $R < R_0$ величина $\Delta\varphi$ не зависит ни от величины R , ни от условий возбуждения пространственного фильтра, тогда как при $R > R_0$ величина $\Delta\varphi$ увеличивалась на 1–2 порядка при тех же условиях. Постоянное значение $\Delta\varphi$ при $R < R_0$ связано, очевидно, с другими источниками фазовой невязности в ВКИ.

Наблюдаемая корреляция величин невязности, измеренных двумя независимыми способами, подтверждает необходимость проведения экспериментальной проверки ОВС, используемых в ВКИ для пространственной фильтрации излучения. Вариации параметров ОВС по длине, нестабильность длины волны излучения источника в ВКИ, некорректное определение длины волны отсечки в световодах могут приводить, как следует из полученного результата, к появлению значительной и неконтролируемой фазовой невязности в ВКИ.

На рис. 5 представлены аналогичные результаты при использовании в ВКИ в качестве пространственного фильтра световода типа ОВС1 (рис. 2,а) Влияние излучения, распространяющегося по промежуточной оболочке (что соответствует действию оболочечных мод в двухслойных

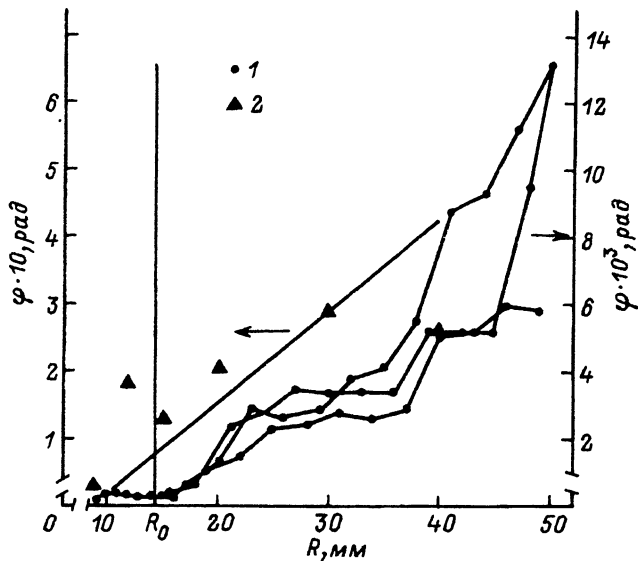


Рис. 4.

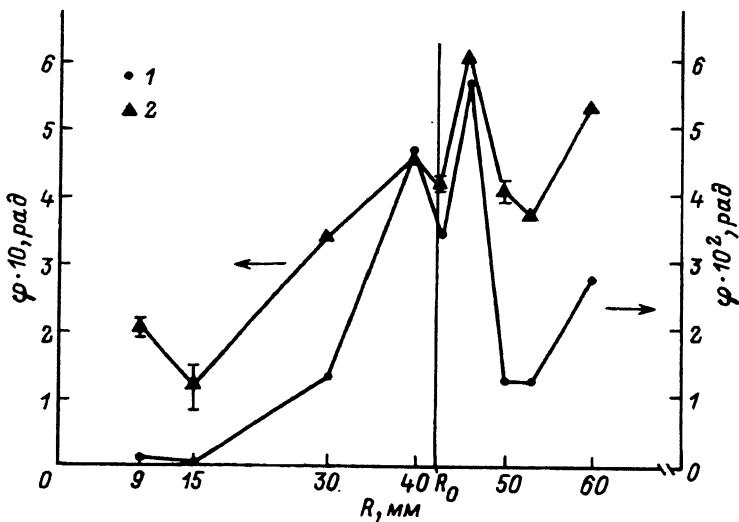


Рис. 5.

ОВС), на величину фазовой невязанности в интерферометре аналогично влиянию второй высшей моды. При полном качественном совпадении результатов, полученных из измерений $\Delta\varphi$ методом синхронного детектирования (1) и методом ближнего поля (2), наблюдаемое количественное расхождение в величинах фазовой невязанности (как и на рис. 4) объясняется низкой точностью последнего метода (типичная разность $S_R - S_0$ составляла несколько процентов). Вариации величин $\Delta\varphi$, наблюдаемые при $R > 40 \text{ мм}$, связаны, вероятно, с интерференцией оболочечных мод и высших мод сердцевины этого световода, так как эффективная длина волны отсечки, равная 835 нм , достигается в этом ОВС при $R \sim 42 \text{ мм}$. При $R < 15 \text{ мм}$ излучение по промежуточной оболочке практически не

распространялось и величина фазовой невязанности в ВКИ не зависела от условий возбуждения пространственного фильтра и радиусов изгиба ($R < 15$ мм). Следовательно, степень затухания оболочечных мод в ОВС пространственного фильтра ВКИ должна контролироваться также тщательно, как и отсутствие доли мощности излучения, переносимой высшими модами. ОВС с профилями показателя преломления, аналогичными ОВС1 (рис. 2,а), вероятно, мало пригодны для использования их в качестве пространственных фильтров.

В заключение отметим, что экспериментально исследовано влияние степени «одномодовости» световодов, используемых в ВКИ в качестве пространственного фильтра излучения, на величину фазовой невязанности в таком интерферометре. Показано, что неоптимальный выбор длины волны источника излучения в ВКИ по отношению к длине волны отсечки используемых ОВС, а также недостаточная степень подавления оболочечных мод в световоде фильтра могут приводить к значительным ($10^{-2} \div 10^{-3}$ рад) паразитным фазовым сдвигам в кольцевых интерферометрах.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспериментов А.В.Кузнецову, А.С.Куркову, А.К.Сенаторову, А.Л.Томашуку.

Список литературы

- [1] Ulrich R. // Opt. Lett. 1980. Vol. 5. N 5. P. 173-175.
- [2] Culshaw B., Giles I.P. // J. Phys. E. 1983. Vol. 16. P. 5-15.
- [3] Fredricks R.J., Ulrich R. // Electron. Lett. 1984. Vol. 20. N 8. P. 330-332.
- [4] Burns W.K. // J. Lightwave Technol. 1986. Vol. LT-4. N 1. P. 8-14.
- [5] Белов А.В., Гурьянов А.Н., Гусовский Д.Д. и др. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 5. С. 1076-1078.
- [6] Lazay P.D. // Technical Digest Symposium on Optical Fiber Measurement. USA, 1980. P. 93-95.

Институт общей физики
Москва

Поступило в Редакцию
21 июня 1991 г.
В окончательной редакции
31 января 1992 г.