

ИССЛЕДОВАНИЕ С ПИКОСЕКУНДНЫМ ВРЕМЕННОМ РАЗРЕШЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ РЕАКЦИЙ МНОГОМОДОВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Ю. В. Введенский, А. Б. Зуев, С. В. Игнатьев

Для исследования импульсных переходных функций $g(t)$ волоконных световодов можно применить корреляционный метод измерений, основанный на решении уравнения свертки для комплексных огибающих импульсной переходной функции и корреляционных функций входного и выходного сигналов:

$$R_{12}(\tau) = R_{11}(\tau) * g(\tau), \quad (1)$$

где R_{12} — огибающая взаимно корреляционной функции входного и выходного сигналов, R_{11} — огибающая корреляционной функции входного сигнала. Если испытательный сигнал широкополосный и $R_{11}(\tau)$ намного короче, чем $g(\tau)$, то импульсная переходная функция может быть найдена из (1) непосредственно, так как в этом случае $R_{12}(\tau)$ с точностью до постоянных множителей совпадает с $g(\tau)$, построенной как функция переменной τ [1, 2].

Импульсная переходная функция однородных волокон со слабым межмодовым взаимодействием имеет вид группы импульсов с задержками, равными времени прохождения световода соответствующей модой. Число импульсов в группе может быть велико и зависит от условий ввода излучения в волокно. Форма парциальных импульсов определяется хроматической и волноводной дисперсией микроволновода, и их длительность много меньше общей длительности импульсной реакции волокна. При длине микроволновода в несколько метров полная длительность $g(t)$ составляет несколько пикосекунд при среднем интервале между составляющими ее импульсами в десятые доли пикосекунды. Парциальные импульсы при этом разрешаются при условии возбуждения умеренного числа мод, отсутствия их взаимодействия и преобладания в микроволноводе межмодовой дисперсии.

Для получения испытательного сигнала с субпикосекундным интервалом временной корреляции можно использовать суперлюминесцентный светодиод или полупроводниковый лазер в пороговом режиме. Так, например, у лазера 32ДЛ-101 при пороговом токе накачки огибающая корреляционной функции излучения имеет вид цуга импульсов длительностью 0,2 пс с периодом следования 7,6 пс, что позволяет исследовать с разрешением в доли пикосекунды микроволноводы с импульсной реакцией длительностью до 7 пс.

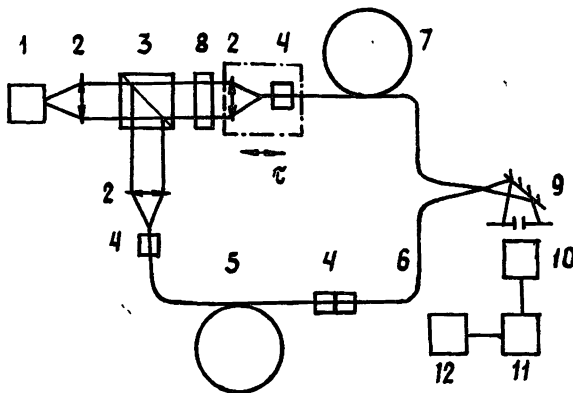


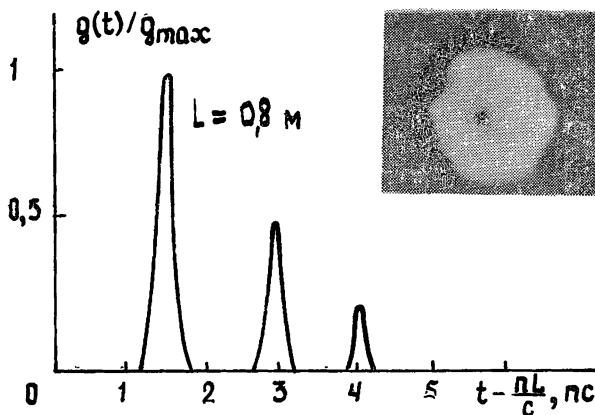
Рис. 1. Функциональная схема установки:

- 1 — полупроводниковый лазер, 2 — микрообъективы, 3 — делительный куб, 4 — микропозиционеры, 5 — исследуемое волокно, 6 — модовый фильтр, 7 — опорное одномодовое волокно, 8 — полуволновая пластинка, 9 — устройство пространственной развертки, 10 — ФЭУ, 11 — узкополосный усилитель, 12 — осциллограф.

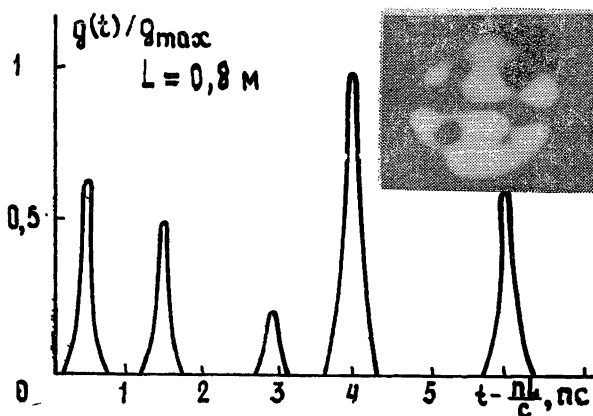
На рис. 1 приведена функциональная схема установки для исследования импульсных реакций волоконных световодов. Собственно коррелометр, предназначенный для измерения R_{12} , образован двумя отрезками одномодового оптического волокна (6, 7), у которых выходные торцы сведены вплотную друг к другу и помещены перед сканирующим зеркалом (9), развертывающим интерференционную картину по щели перед фотокатодом ФЭУ (10). Отрезок одномодового световода (6) с диаметром сердечника 10 мкм используется как фильтр, который позволяет наблюдать коррелограмму ближнего поля исследуемого световода в зоне сердцевин, выбираемой с помощью микропозионера (4). Изменение задержки в коррелометре реализуется

перемещением вдоль оси светового пучка устройства ввода в опорный одномодовый световод (7).

На рис. 2а, б приведены пространственные структуры поля и измеренные взаимокорреляционные функции в ближней зоне маломодового ступенчатого волокна с обобщенным диаметром, равным пяти, при оптимальной настройке устройства ввода излучения и при смещении волокна относительно возбуждающего микрообъектива соответственно. Из рисунков видно, что в волокне возбуждается небольшое число мод и при усложнении структуры поля за счет расстройки устройства ввода излучения центр тяжести импульсной реакции отрезка волокна смещается в сторону больших задержек. Наблюдаемая коррелограмма $R_{12}(\tau)$ в соответствии с (1) эквивалентна выходному сигналу световода, возникающему при действии на его входе цуга импульсов длительностью 0,2 пс и с периодом 7,6 пс. Парциальные импульсы отклика световода оказались близки по длительности к возбуждающему сигналу, что подтверждает предположение о малости волноводной дисперсии по сравнению с межмодовой. При измерениях по корреляционной методике хроматическая дисперсия волокна не проявляется, так как в опорном плече интерферометра имеется такая же толщина стекла, как и в измеряемом.



а)



б)

Рис. 2.

На рис. 3а, б показаны огибающие импульсных реакций отрезков многомодовых градиентных световодов диаметром 50 мкм и длиной 0,8 м, полученные в условиях ввода в волокно максимальной мощности. На первом из них изображена огибающая реакции на импульс длительностью 0,2 пс волокна низкого качества с провалом профиля показателя преломления, на втором — сигнал на выходе градиентного световода с точным профилем и без осевого провала. Рассчитанная по импульсной реакции полоса пропускания качественного волокна составила 700 МГц·км и хорошо совпала с измеренной обычным импульсным методом на отрезке того же световода длиной 2,2 км.

Разрешение возбужденных мод может быть улучшено за счет увеличения длины исследуемого световода, которое ограничено возрастанием длительности $g(t)$ до периода повторения максимумов корреляционной функции испытательного сигнала. Если же используется суперлюминесцентный световод, у которого корреляционная

функция излучения не периодическая, то длина исследуемого световода будет ограничена только верхним пределом регулирования задержки в коррелометре.

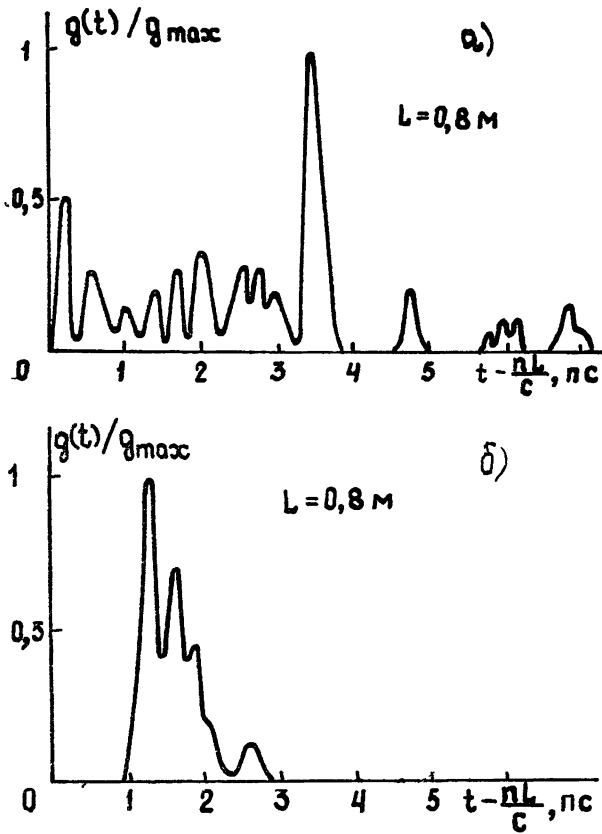


Рис. 3.

На рис. 4 показана импульсная реакция осевой зоны диаметром 10 мкм многомодового световода со ступенчатым профилем показателя преломления диаметром 60 мкм, в котором при компенсации центрального провала профиля показателя преломления образовался кольцевой световод диаметром 7 мкм. Как видно из рисунка, этот световод получился маломодовым, и его присутствие в многомодовом световоде может при соответствующей настройке устройства ввода существенно улучшать частотные свойства ступенчатых и градиентных световодов, изготовленных по такой технологии.

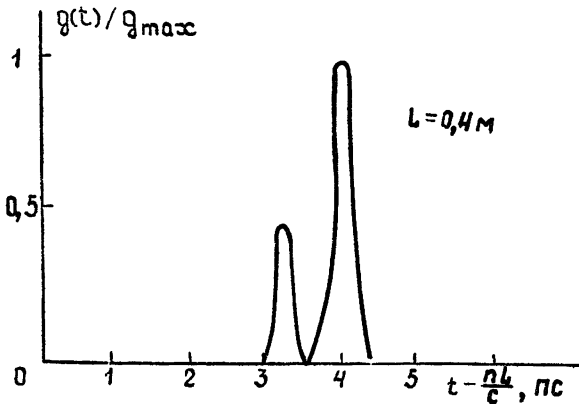


Рис. 4.

Таким образом, применение корреляционного метода исследований импульсных переходных функций обеспечило субпикосекундное временное разрешение, достаточное для идентификации мод волоконных световодов по их групповой задержке. Это позволяет по коротким отрезкам волокон контролировать их временные свойства,

в том числе при возбуждении отдельных зон сердцевин волокон, что особенно важно при исследовании градиентных световодов высокого качества. Однако при переносе результатов измерений на волокна большой длины необходимо соблюдать условия применимости модели световода с невзаимодействующими модами. Условия возбуждения волокна должны быть идентичны как при измерениях, так и при использовании волокон в практических устройствах.

Прямой контроль числа возбужденных мод позволяет оптимизировать устройства ввода излучения в световод, модовые фильтры, смесители мод, а также многие другие элементы интегральной оптики и волоконно-оптической техники. Значительный интерес представляет возможность измерения при помощи корреляционного метода параметров парциальных импульсов, образующих импульсную реакцию волокна, что дает информацию о его хроматической и волноводной дисперсии. Для этого достаточно использовать коррелометр с более широкополосным источником излучения и воздушной линией задержки опорного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stone J., Cohen L. — Electron. Lett., 1982, 18, № 16, p. 716.
2. Введенский Ю. В., Зуев А. Б., Сизьмин А. М. — Изв. вузов — Радиофизика, 1985, 28, № 6, с. 798.

Горьковский политехнический институт

Поступила в редакцию
9 октября 1985 г.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Всесоюзное агентство по авторским правам (ВААП) сообщает, что в 1987 г. агентство производит выплату авторского гонорара за перепечатку за рубежом статей, опубликованных в журнале «Радиофизика» в 1983 и 1984 гг. Гонорар, поступивший за право перепечатки, выплачивается по желанию авторов в рублях или чеках Внешпосылторга.

Для получения гонорара автору необходимо оформить справку-заявление и направить ее на расчет по адресу:

103670 г. Москва, ул. Б. Бронная, 6-а, Валютное управление ВААП.

Справки-заявления на выплату гонорара по журналу 1983 г. издания принимаются до 1 декабря 1987 г., а по журналу 1984 г. — до 1 июля 1988 г. Выплата гонорара по журналу 1984 г. издания будет производиться начиная с июля 1987 г.

По истечении установленных сроков выплаты гонорара неустраиваемые суммы списываются в доход госбюджета и автор теряет право на получение гонорара.