

07;12

Двухволновый суперфлуоресцентный волоконный источник излучения

© Э.И. Алексеев, Е.Н. Базаров, Ю.А. Баранников, В.П. Гапонцев,
В.П. Губин, И.Э. Самарцев, Н.И. Старостин

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Поступило в Редакцию 15 апреля 1997 г.

Экспериментально продемонстрирована возможность создания двухволнового пространственно-одномодового суперфлуоресцентного волоконного источника излучения на основе эрбиевых волокон с накачкой многомодовыми полупроводниковыми лазерами. Источник выполнен по цельноволоконной технологии и имеет выходную мощность более 10 mW, среднюю длину волны излучения 1.54 μm , спектральное расщепление 27.5 nm при ширинах линий компонент 3 и 9 nm. Исследована деполяризация излучения такого источника при его распространении по анизотропному одномодовому волоконному световоду.

Одномодовые суперфлуоресцентные волоконные источники излучения находят широкое применение в волоконно-оптической связи, волоконно-оптических датчиках, низкокогерентной интерферометрии и других областях современной оптоэлектроники [1,2]. До недавних пор основное внимание уделялось разработке и исследованиям суперфлуоресцентных волоконных источников с одиночной широкой линией излучения. Между тем представляют также интерес суперфлуоресцентные волоконные источники, излучающие две (и более) широкие хорошо разрешенные линии. Такие суперфлуоресцентные волоконные источники необходимы, например, для линий связи со спектральным разделением каналов, для многоволновых низкокогерентных датчиков [3], для низкокогерентной интерферометрии высокого разрешения [4] и т. п.

Проблема многоволновых низкокогерентных источников излучения в настоящее время решается главным образом подходящим комбинированием нескольких многомодовых полупроводниковых лазеров [4]. Такому подходу, однако, присущ ряд недостатков, обусловленных многомодовой структурой излучения получающихся источников, а также низкой стабильностью их параметров. Поэтому в последнее время стала актуальной задача разработки многоволновых суперфлуоресцентных

волоконных источников излучения, характеризующихся рядом преимуществ по сравнению с комбинированными полупроводниковыми лазерными источниками (большая выходная мощность, более высокая температурная стабильность параметров, простота стыковки с одномодовыми волоконными световодами и т.п.). В частности, в работе [5] сообщалось о разработке двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника на волокне, легированном ионами самария, излучающего в видимом диапазоне длин волн.

В настоящей работе показана возможность создания двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника на основе кварцевых волокон, легированных ионами эрбия и иттербия, имеющего выходную мощность порядка 10 мВт и спектр излучения, лежащий в диапазоне 1.55 μm и состоящий из двух хорошо разрешенных линий с ширинами 3 и 9 нм и расстоянием между максимумами около 27.5 нм. Для создания двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника использовалась зависимость спектра суперфлуоресценции на выходе отрезка активированного волокна (АВ) от его длины, концентрации ионов эрбия, длины волны излучения накачки и распределения мощности накачки по длине отрезка активированного волокна. Варьируя эти параметры, можно изменять относительные веса максимумов в спектре суперфлуоресценции ионов эрбия, лежащих вблизи 1.535, 1.543 и 1.565 μm .

Оптическая схема двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника приведена на рис. 1 и по существу представляет собой объединение в единое целое двух суперфлуоресцентных волоконных источников — СВИ1 и СВИ2, спектры излучения которых имеют максимумы вблизи 1.535 и 1.565 μm соответственно. Линия излучения с максимумом в районе 1.535 μm формируется СВИ1, изготовленным из отрезка АВ1 длиной 3 м, а линия с максимумом на длине волны 1.565 μm излучается СВИ2, изготовленным из отрезков АВ2 и АВ3 общей длиной 15 м. При этом для обеспечения более равномерного распределения мощности накачки по длине АВ2 и АВ3 используется накачка двумя лазерными диодами (ЛД2, ЛД3).

Фосфатно-силикатное активированное волокно, использованное для изготовления суперфлуоресцентных волоконных источников, имеет одномодовую световедущую жилу, легированную ионами эрбия и иттербия с концентрациями 0.1 и 2 весовых процента соответственно. Длина волны отсечки высшей моды составляет 1.1 μm .

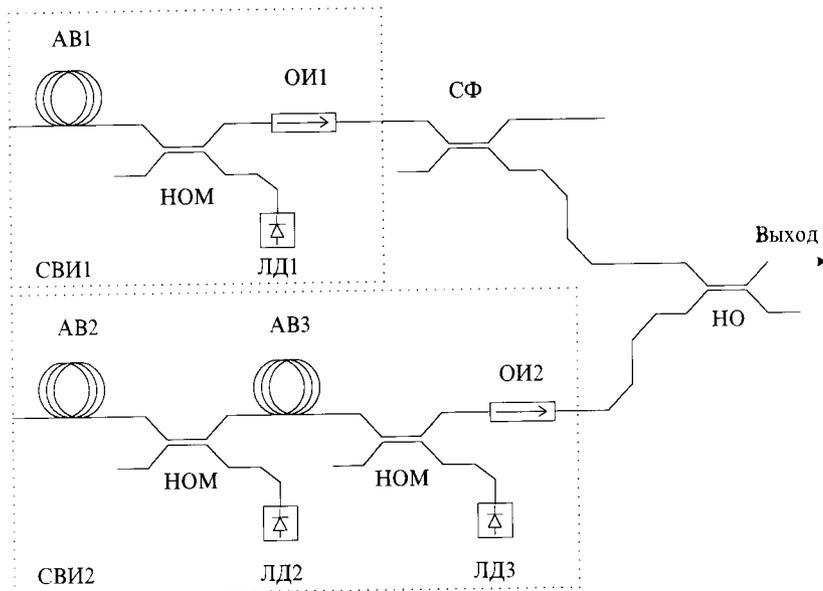


Рис. 1. Схема двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника.

Накачка активированных волокон осуществляется многомодовыми лазерными диодами с длиной волны 965 нм через направленные ответвители-мультиплексоры (НОМ). Выбранная длина волны накачки соответствует пологому участку в спектре поглощения ионов иттербия, что позволяет существенно ослабить зависимость выходных параметров источника от температуры. Для снижения влияния оптической обратной связи на параметры суперфлуоресцентных волоконных источников используются оптические изоляторы (ОИ).

Излучение СВИ1 и СВИ2 суммируется на общем выходе с помощью одномодового направленного ответвителя (НО). Для более полного разрешения линий и отфильтровывания спектральной компоненты с длиной волны 1.543 μm излучение СВИ1 проходит через спектральный фильтр (СФ), в качестве которого используется одномодовый направленный ответвитель.

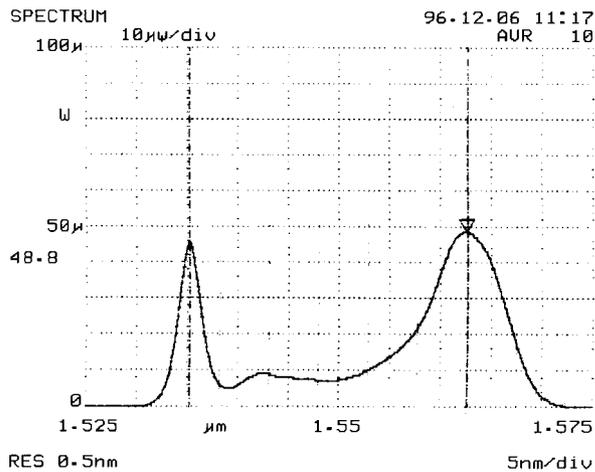


Рис. 2. Спектр излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника (по оси абсцисс — длина волны в μm , по оси ординат — выходная мощность в μW , разрешение анализатора спектра — 0.5 nm).

Спектр излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника представлен на рис. 2. Максимумы линий соответствуют длинам волн $\lambda_{01} = 1535.2 \text{ nm}$ и $\lambda_{02} = 1562.7 \text{ nm}$, так что расстояние между ними $\Delta\lambda_{12} = 27.5 \text{ nm}$. Ширины линий на уровне 0.5 равны $\Delta\lambda_1 \approx 3 \text{ nm}$ и $\Delta\lambda_2 \approx 9 \text{ nm}$ соответственно. Средние мощности, измеренные при поочередном включении СВИ1 и СВИ2, равны: $P_1 = 5 \text{ mW}$ и $P_2 \approx 15 \text{ mW}$. Параметры источника можно варьировать в широких пределах путем изменения режимов работы лазерных диодов (ЛД), а также характеристик направленного ответвителя и направленного ответвителя-мультиплексора. Остаточная степень поляризации излучения рассматриваемого двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника определяется поляризационными характеристиками оптического изолятора, спектрального фильтра и направленного ответвителя и в нашем случае не превышает 5%.

Нами исследовались особенности деполяризации излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника при его распространении по анизотропному одномодовому волоконному световоду, что

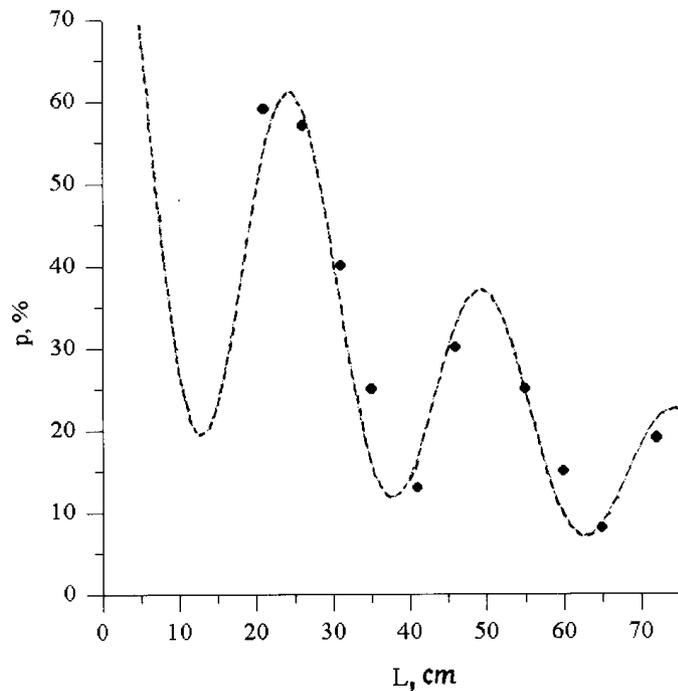


Рис. 3. Зависимость степени поляризации излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника от длины отрезка анизотропного одномодового волоконного световода (пунктир — расчет).

представляет интерес для волоконной гироскопии, низкокогерентной интерферометрии и ряда других применений. По методике работы [6] измерялась степень поляризации $p(L)$ излучения на выходе отрезка анизотропного одномодового волоконного световода длиной L при подаче на его вход излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника, линейно поляризованного под углом 45° к осям двулучепреломления анизотропного одномодового волоконного световода. Зависимость $p(L)$ представлена на рис. 3. Пунктиром на этом рисунке показана кривая, соответствующая эмпирической формуле

$$p(L) = [1/(1 + \varepsilon)] \exp(-L/L_d) [1 + \varepsilon \cos(2\pi L/L_{12})] \quad (1)$$

с параметрами $\varepsilon = 0.6$, $L_d = 50$ см, $L_{12} = 25$ см. Анализ результатов показывает, что $L_{12} = L_p \Delta\lambda_{12}/\lambda_0$, где $L_p = 4.4$ мм — длина поляризационных биений анизотропного одномодового волоконного световода, а $\lambda_0 = (\lambda_{01} + \lambda_{02})/2$. Величина $L_d \simeq kL_p \Delta\lambda/\lambda_0$ соответствует длине деполяризации в данном анизотропном одномодовом волоконном световоде излучения с одиночной гауссовской линией с шириной $\Delta\lambda$, где $\Delta\lambda = (\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2)/2$, а коэффициент $k \simeq 0.44$. Таким образом, зависимость степени деполяризации излучения двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника в анизотропном одномодовом волоконном световоде имеет осциллирующий характер.

Заметим в заключение, что оценки по формулам работы [4] показывают, что использование рассматриваемого двухволнового суперфлуоресцентного волоконного источника в интерферометрах белого света позволяет повысить их разрешающую способность примерно на порядок.

Авторы признательны В.В. Фомину за помощь и полезные дискуссии.

Работа выполнена при частичной поддержке фонда ГНТК, проект № 2.4 по направлению "Оптика. Лазерная физика".

Список литературы

- [1] *Wysocki P.F., Digonnet M.J.F., Kim B.J., Shaw H.J.* // J. Lightwave Technol. 1994. V. 12. P. 550–567.
- [2] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Гапонцев В.П.* и др. // Радиотехника и электроника. 1996. Т. 41. С. 759–761.
- [3] *Kersey A.D.* et al. // Proc. SPIE. 1986. V. 719. P. 135–137.
- [4] *Wang D.N., Ning Y.N., Grattan K.T.V.* et al. // Appl. Optics. 1994. V. 33. P. 7326–7333.
- [5] *Wang D.N., Meggitt B.T., Palmer A.W.* et al. // IEEE Photonics Technol. Letters. 1994. V. 7. P. 620–622.
- [6] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Герасимов Г.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 23. С. 89–94.