

07;12

Избыточный шум Er/Yb-волоконного суперфлуоресцентного источника 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 24 февраля 1997 г.

Экспериментально исследованы шумы интенсивности излучения мощного суперфлуоресцентного волоконного источника, генерирующего 20 мW в спектральном диапазоне 1.55 μm . Источник выполнен по цельноволоконной топологии с использованием кварцевого волокна, активированного иттербием и эрбием. Установлено, что в области частот (100–500) kHz спектральная плотность шума является равномерной и соответствует избыточному шуму "тепловых" источников. Показано, что шумы интенсивности источника могут быть скомпенсированы (уменьшены на порядок) в двухканальной схеме фоторегистрации до уровня, близкого к уровню дробового фотонного шума.

Суперфлуоресцентные волоконные источники излучения с диодной накачкой перспективны для применений в низкокогерентной интерферометрии (интерферометрии белого света) и ее приложениях, например в волоконно-оптических гироскопах [1]. Для получения высокой чувствительности интерферометрического датчика необходимо иметь высокую мощность излучения в волокне и малый уровень шума. Одним из путей создания мощных суперфлуоресцентных волоконных источников (свыше 10 мW на 1.55 μm) является использование волокон с несколькими активаторами и эффективных схем оптической накачки с использованием цельноволоконной технологии суперфлуоресцентных

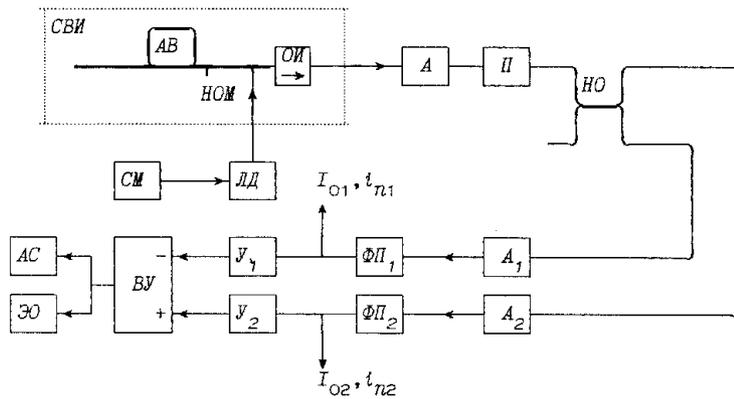


Рис. 1.

волоконных источников. В таких схемах можно ожидать появления дополнительных шумов интенсивности помимо избыточного, присущего всем широкополосным ("тепловым") источникам [2]. Кроме того, представляет интерес исследование возможности компенсации шума интенсивности [3] до фундаментального предела дробового шума.

В настоящей работе экспериментально изучались шумовые характеристики мощного Er/Yb-суперфлуоресцентного волоконного источника, в котором также была применена активная стабилизация выходной мощности излучения.

Упрощенная схема суперфлуоресцентного волоконного источника представлена на рис. 1, на котором также показана схема установки для измерения шумов этого источника. Активированное волокно имеет сердцевину, легированную эрбием и иттербием при концентрациях 0.1 и 2 вес.% соответственно. Длина волны отсечки высшей моды активированного волокна составляет $1.1 \mu\text{m}$. Излучение накачки с длиной волны $0.98 \mu\text{m}$ от многомодового лазерного диода с волоконным выходом вводится в активированное волокно при помощи специального одно-многомодового волоконного направленного ответвителя-мультиплексора, изготавливаемого на конце отрезка активированного волокна. Для снижения влияния отражений на параметры суперфлуоресцентного волоконного источника использовался оптический изолятор с волоконным входом-выходом.

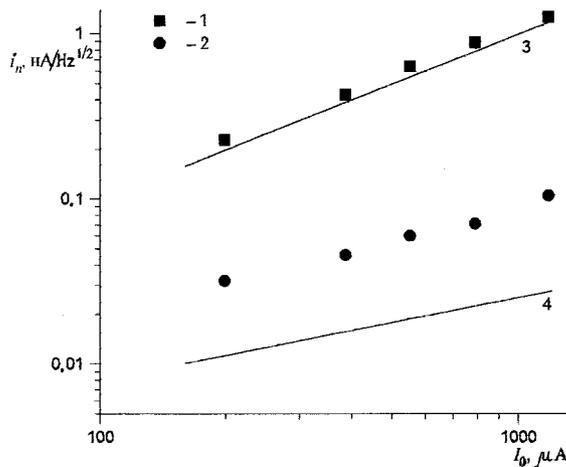


Рис. 2.

В источнике была применена активная стабилизация выходной мощности при помощи системы авторегулирования, снижающей медленные флуктуации до уровня менее 0.5%. Выходная мощность рассматриваемого суперфлуоресцентного волоконного источника составляла 20 mW. Он имел стабильность средней длины волны спектра излучения около 0.01 nm (при изменениях температуры среды на 1°C). Спектр имел "двугорбую" форму, аналогичную приведенной в [4], среднезвешенная по мощности ширина спектра составляла 8 nm. Остаточная поляризация выходного излучения суперфлуоресцентного волоконного источника была около 0.4%.

Излучение с волоконного выхода исследуемого суперфлуоресцентного волоконного источника через аттенюатор (А) и волоконный поляризатор (П) поступает на вход волоконного направленного ответвителя (НО), два выхода которого через аттенюаторы (A_1) и (A_2) соединены с фотоприемниками (ФП $_{1,2}$). В качестве А, $A_{1,2}$ применялись устройства, обеспечивающие изменение зазора между торцами двух волокон. Шумы с выходов фотоприемников усиливались идентичными усилителями ($Y_{1,2}$) с полосой пропускания 100 Hz–1 MHz и поступали на вычитающее устройство (ВУ). В электронных схемах была предусмотрена

возможность выравнивания амплитудных и фазовых характеристик обоих каналов. Шум на выходе вычитающего устройства регистрировался анализатором спектра (АС) и электронным осциллографом (ЭО).

Следует отметить, что при измерениях шумов исследуемого суперфлуоресцентного волоконного источника на данной установке результаты получались идентичными как при наличии, так и в отсутствие поляризатора. Это обстоятельство можно объяснить высокой поляризационной симметрией измерительной установки.

На рис. 2 показаны зависимости среднеквадратичного значения шумового тока i_n на входе фотоприемника от среднего значения тока фотоприемника. Измерения проводились в полосе $\Delta f = 100$ Hz при центральной частоте анализатора спектра $f = 100$ kHz, величины i_n пересчитывались к полосе 1 Hz. Кривая 1 соответствует шуму для одного канала, кривая 2 — для обоих каналов при одинаковых мощностях света на фотоприемник. Измеренный шум в одном канале хорошо описывается соотношением для избыточного шума широкополосного источника (кривая 3):

$$i_n = (\lambda_0^2 \Delta f / c \Delta \lambda)^{1/2} I_0, \quad (1)$$

где λ_0 и $\Delta \lambda$ — средневзвешенные по мощности $P(\lambda)$ длина волны и ширина спектра излучения источника; $q \simeq 0.8$ A/W — квантовая чувствительность фотоприемника в области $1.55 \mu\text{m}$; c — скорость света в вакууме; $I_0 = qP_0$ — среднее значение тока фотоприемника (P_0 — средняя мощность света на фотоприемник). Отметим хорошее согласие теории и эксперимента (кривые 3, 1).

Количественное соответствие кривых 1 и 3 свидетельствует о том, что в Er/Yb-суперфлуоресцентном волоконном источнике другие механизмы шума, помимо рассмотренного выше "классического" избыточного шума, дают малый вклад в результирующий шум при $f = 100$ kHz. При двух работающих каналах шум, приведенный ко входу одного фотоприемника, не может быть меньше предельного значения, определяемого дробовым шумом излучения

$$i_n = (2)^{1/2} (2eI_0 \Delta f)^{1/2}, \quad (2)$$

где e — заряд электрона, а $(2)^{1/2}$ учитывает сложение некоррелированных дробовых шумов в обоих каналах. Зависимость (2) представлена на рис. 2 кривой 4. Из рисунка следует, что избыточный шум источника

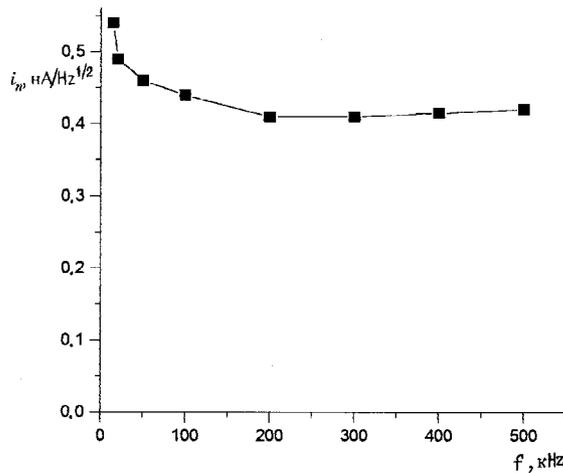


Рис. 3.

в двухканальной схеме фоторегистрации может быть скомпенсирован до уровня, приблизительно в 3 раза превышающего предел дробового шума.

Факторы, ограничивающие компенсацию шумов интенсивности, пока не изучены. Однако можно отметить, что такие факторы, как неравенство оптических мощностей на фотоприемник или неидентичность оптических спектров на выходах направленных ответвителей (которые, вообще говоря, имеют место) не являются причиной ограничения шумов в данном эксперименте, поскольку они приводят к зависимости вида $i_n \sim I_0$, в то время как в эксперименте $i_n \sim I_0^{1/2}$.

Отметим, что зависимость вида $i_n \sim I_0$ в режиме компенсации шума наблюдается при больших мощностях света на фотоприемник (при $I_0 \geq 1$ мА).

На рис. 3 показан спектр шума $i_n(f)$ для области Фурье-частот $f = 15\text{--}500$ kHz, измеренный для одного канала при среднем токе фотоприемника $I_0 \simeq 0.4$ мА. Увеличение шума в низкочастотной области ($f < 50$ kHz) указывает на существование других, помимо избыточного, источников шумов интенсивности. К ним могут относиться модовые шумы лазерного диода накачки и перераспределения в воло-

конных направленных ответвителях. Высокочастотная область спектра этих шумов в излучении суперфлуоресцентного волоконного источника должна быть ослабленной вследствие большого времени жизни рабочих уровней эрбия.

Результаты настоящей работы показывают возможность повышения чувствительности волоконно-оптических гироскопов [5] примерно на порядок при использовании мощных Er/Yb-волоконных источников излучения и двухканальной схемы фоторегистрации сигнала.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально исследованы шумы интенсивности мощного суперфлуоресцентного источника на Er/Yb-волокне, имеющего цельноволокonnую оптическую схему и генерирующего 20 mW в спектральном диапазоне 1.55 μm . Показано, что в области Фурье-частот (100–500) kHz спектральная плотность шума является равномерной и соответствует избыточному шуму "тепловых" источников. Вклады модовых шумов лазерного диода накачки и перераспределения в волоконных направленных ответвителях в указанной области малы. Показано также, что шумы интенсивности данного источника могут быть скомпенсированы (уменьшены на порядок) в двухканальной схеме фоторегистрации до уровня, близкого к уровню дробового фотонного шума.

Авторы признательны В.В. Фомину, В.М. Брылову и Б.Г. Игнатову за помощь и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 96–02–18434.

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] *Burns W.K., Moeller R.P., Dandridge A.* / IEEE Photonics Technol. Lett. 1990. V. 2. P. 606–609.
- [3] *Morkel P.R., Laming R.I., Edwards H.O., Payne D.N.* / CLEO'90. Anaheim, Calif. 1990. P. 154–155.
- [4] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Герасимов Г.А.* и др. / Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 23. С. 89–94.
- [5] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Гапонцев В.П.* и др. / Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 2. С. 62–67.