

Широкополосный усилитель с плоским распределением коэффициента усиления на основе волокон с высокой концентрацией эрбия в параллельной двухпроходной конфигурации*

Б.А.Хамида, Х.С.Ченг, С.В.Харун, А.В.Наджи, Х.Ароф, Б.Аль-Хатеб, С.Хан, Х.Ахмад

Демонстрируется широкополосный эрбиевый волоконный усилитель (EDFA) с плоским распределением коэффициента усиления, в котором используется гибридная усиливающая среда из легированного эрбием волокна на основе двуокиси циркония (ZEDF) и высоколегированного эрбиевого волокна (EDF). Один каскад усилителя содержит ZEDF длиной 2 м, а другой – EDF длиной 9 м. Первый каскад оптимизирован для работы в С-полосе, а второй – в L-полосе в двухпроходной параллельной конфигурации. Выход каждого каскада заканчивается волоконным брэгговским отражателем, чтобы обеспечить двойное прохождение сигнала и тем самым увеличить достижимый коэффициент усиления в обеих полосах. При мощности входного сигнала 0 дБм в широком (1530–1605 нм) диапазоне длин волн получено усиление 15 дБ при вариации менее 0.5 дБ. Соответствующий шум-фактор в этой области длин волн изменяется от 6.2 до 10.8 дБ.

Ключевые слова: двухпроходный усилитель, широкополосный усилитель, легированное эрбием волокно на основе двуокиси циркония.

1. Введение

Гигантский рост интернета и объема передачи данных обусловил огромную потребность в широкополосных оптических системах связи с плотным спектральным уплотнением (DWDM). Поскольку передающие волокна на основе плавленного кварца имеют рабочий диапазон, простирающийся от 1400 до 1700 нм, требуются более широкополосные оптические усилители, работающие во всем диапазоне DWDM-систем [1–3]. Для расширения диапазона длин волн волоконного эрбиевого оптического усилителя (EDFA) предложено использовать в качестве матриц теллурид [4], многокомпонентные силикатные [5], висмутовые [6–9] и циркониевые [10] стекла. Для реализации эффективного и компактного оптического усилителя предложено использовать высоколегированное эрбиевое волокно на основе двуокиси циркония (ZEDF). Для достижения высокой концентрации ионов эрбия в стеклянной матрице (около 2800 ppm) без каких-либо фазовых разделений редкоземельных элементов используется сочетание ионов Zr и Al [11]. Также коммерчески доступно волокно на основе плавленного кварца (EDF) с концентрацией ионов эрбия 2200 ppm [8].

* Перевод с англ. В.В.Шувалова.

В.А.Хамида, А.В.Наджи, В.Аль-Хатеб, С.Хан. Optoelectronics Laboratory, Electrical and Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia (IIUM), 53100 Gombak, Kuala Lumpur, Malaysia

Х.С.Ченг, Х.Ароф. Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

Б.Аль-Хатеб, С.Хан, Х.Ахмад. Photonics Research Center, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

С.В.Харун. Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya 50603 Kuala Lumpur, Malaysia; Photonics Research Center, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia; e-mail: swharun@um.edu.my

Поступила в редакцию 15 июля 2011 г., после доработки – 8 октября 2011 г.

В настоящей работе предложен гибридный широкополосный оптический усилитель с плоским распределением коэффициента усиления, в котором активной средой служит комбинация волокон ZEDF и EDF. Усилитель состоит из двух каскадов, где используются ZEDF и EDF, работающие в С- и L-полосах, соответственно. Рабочие характеристики усилителя исследуются как в последовательной, так и в параллельной конфигурации. Для обеспечения двухпроходного режима работы в каждый каскад включена волоконная чирпированная брэгговская решетка (CFBG). Плоское распределение коэффициента усиления достигается в параллельной конфигурации ZEDF-усилителя с EDF-усилителем при использовании WDM-ответвителя для мультиплексирования и демультиплексирования каналов в областях длин волн 1525–1565 нм (С-полоса) и 1570–1615 нм (L-полоса).

2. Эксперимент

На рис.1,а показан предложенный широкополосный EDFA в двухпроходной параллельной конфигурации. На входе оптического усилителя используется WDM-ответвитель для разделения сигналов С- и L-полос. Сигналы в этих полосах усиливаются отрезками волокон ZEDF (2 м) и EDF (9 м), которые накачиваются спереди лазерными диодами P1 и P2 на 980 и 1480 нм соответственно. Волокно ZEDF вытянуто из трехкомпонентной стеклянной преформы, состоящей из кварцевого стекла, легированного диоксидом циркония и оксидом иттрия-алюминия и полученной методом MCVD в сочетании с легированием из раствора. Измеренный пик поглощения отрезка ZEDF на 978 нм (14.5 дБ/м) эквивалентен весовой концентрации ионов эрбия 2800 ppm. Используемое волокно EDF имело концентрацию ионов эрбия около 2200 ppm. Сигналы в С- или L-полосе, отраженные установленными на концах каждого каскада широкополосными решетками CFBG, вновь проходили через усилители и смешивались посредством WDM-ответвителя С/L-полосы во входном порте

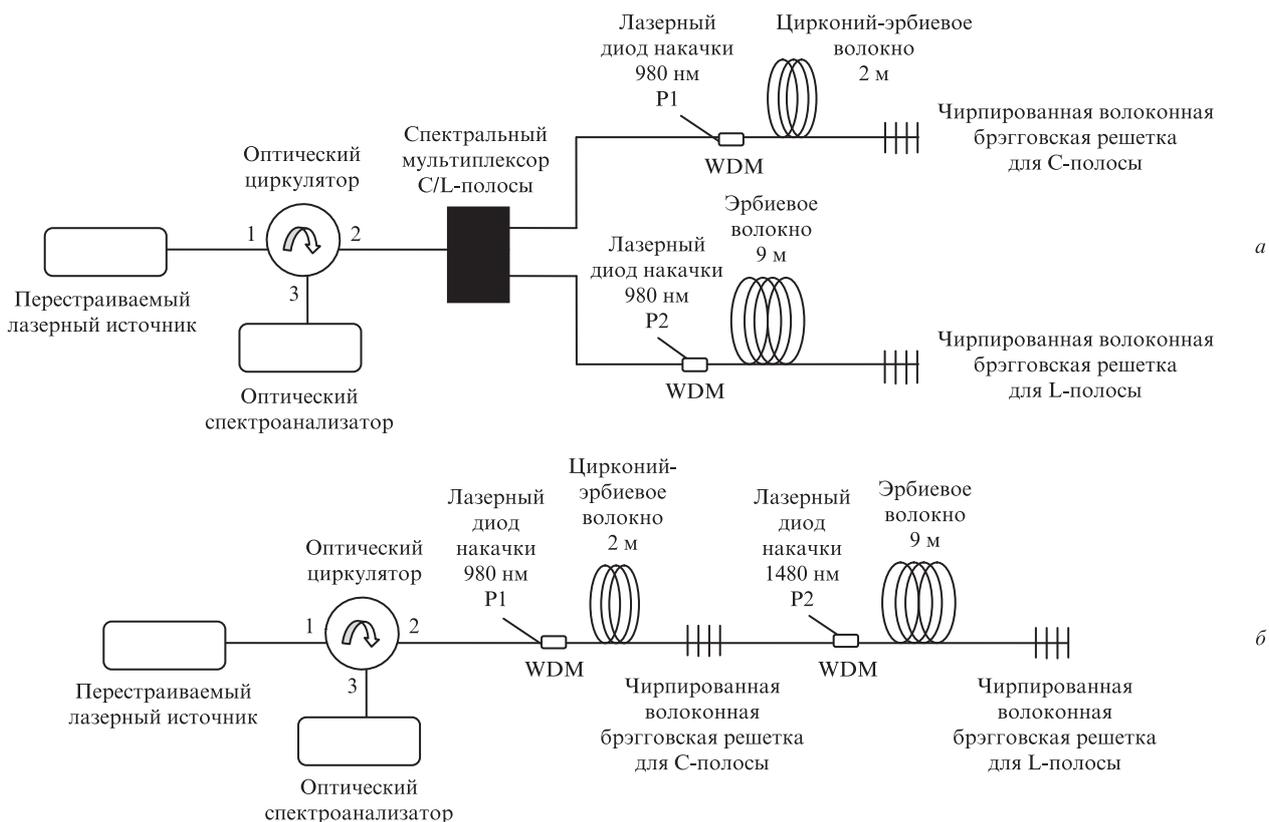


Рис.1. Двухкаскадный двухпроходный EDFA в параллельной (а) и последовательной (б) конфигурациях.

усилителя, а затем направлялись через оптический циркулятор к выходному порту (рис.1,а). Вносимые потери WDM-ответвителей полагались равными 0.9 и 1.8 дБ в С- и L-полосах соответственно.

С целью сравнения также исследовались рабочие характеристики гибридного усилителя с последовательным расположением каскадов (рис.1,б). В этом усилителе используются такие же компоненты, как и в параллельном усилителе (рис.1,а). Между двумя каскадами помещена CFBG, которая отражает сигнал С-полосы и пропускает сигнал L-полосы для повторного усиления вторым каскадом. Усиленный им сигнал отражается обратно в гибридный усилитель посредством CFBG L-полосы. На рис.2 показаны спектры пропускания решеток CFBG, использованных в обеих конфигурациях. Видно, что зеркало CFBG С-полосы имеет коэффициент отражения более 90% в полосе около 40 нм с центром на длине волны 1545 нм, а у CFBG L-полосы коэффициент отражения превышает 98% в полосе около 50 нм с центром на 1592 нм. В эксперимен-

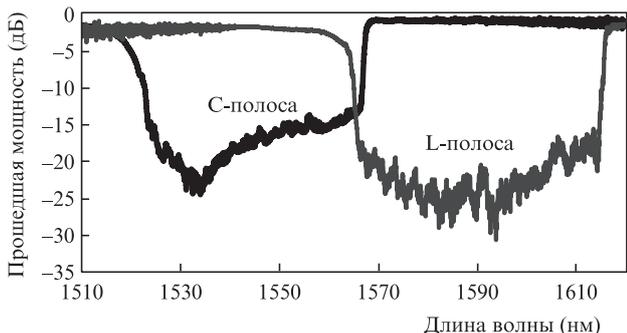


Рис.2. Спектры пропускания решеток CFBG для С- и L-полос.

те усиление и шум-факторы обоих EDFA измерялись с помощью перестраиваемого лазерного источника и оптического анализатора спектра.

3. Результаты и их обсуждение

На рис.3 представлены измеренные коэффициенты усиления и шум-факторы для предлагаемых параллельного и последовательного двухпроходных усилителей. В эксперименте мощности накачки на длинах волн 980 и 1480 нм фиксировались на уровне 112 и 150 мВт для усилителей С- и L-полос соответственно, а мощность входного сигнала фиксировалась на уровне 0 дБм. Видно, что оба варианта усилителя работают в широком (1525–1615 нм) диапазоне длин волн. Усиление для параллельной конфигурации поддерживается на уровне 15 дБ в диапазоне

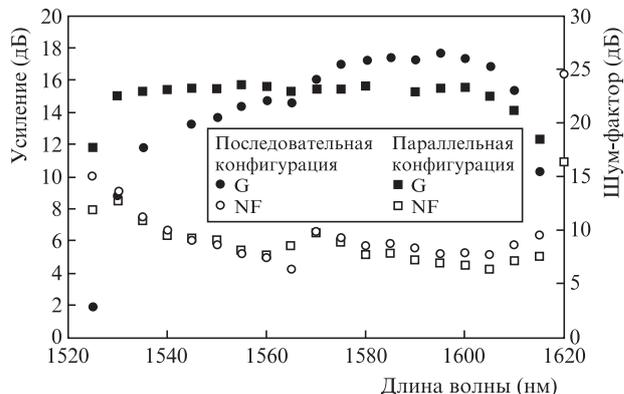


Рис.3. Усиление (G) и шум-фактор (NF) параллельного и последовательного усилителей при мощности входного сигнала 0 дБм.

длин волн 1530–1605 нм с вариациями менее 0.5 дБ. Усилитель с последовательной конфигурацией демонстрирует меньшее усиление, меняющееся от 9 до 14.6 дБ в области С-полосы, и чуть большее усиление (от 10 до 17.6 дБ) в L-полосе.

В последовательном варианте усилителя (рис.1,б) отраженное назад усиленное спонтанное излучение L-полосы проходит через CFBG С-полосы и усиливается первым каскадом, что приводит к уменьшению усиления в области С-полосы. Более того, усиление на 1570 нм в случае последовательной конфигурации резко растет из-за изменения длины усиливающей среды от 2 до 9 м. В области длин волн 1530–1615 нм шум-фактор параллельного усилителя варьируется от 7.4 до 11.2 дБ, что несколько меньше, чем у последовательного усилителя. Исключение составляет длина волны 1565 нм, в окрестности которой вносимые потери WDM С/L-полосы являются самыми высокими и, следовательно, здесь шум-фактор относительно выше. Шум-фактор в L-полосе для последовательного усилителя выше, чем для параллельного, из-за отраженного назад усиленного спонтанного излучения во втором каскаде, которое уменьшает инверсию населенности.

На рис.4 показаны спектральные зависимости усиления и шум-фактора для параллельной конфигурации усилителя при различных мощностях накачки усилителя С-полосы. Как видно из рис.4,а, коэффициент усиления малого (–30 дБм) сигнала в С-полосе несколько изменяется с ростом мощности накачки. Так, на длине волны входного сигнала 1550 нм усиление уменьшается с 36.5 до 33 дБ при росте мощности накачки от 160 до 280 мВт, тогда

как спектры усиления слабого сигнала в L-полосе и шум-фактора остаются почти неизменными. При мощности входного сигнала 0 дБм усиление в С-полосе падает с ростом мощности накачки (рис.4,б). Оптимальная мощность накачки для получения плоского спектра усиления составляет 220 мВт. При более высокой мощности входного сигнала усиление уменьшается за счет эффекта насыщения.

Спектр шум-фактора не меняется с мощностью накачки усилителя С-полосы. При малом входном сигнале (–30 дБм) шум-фактор находится ниже 10 дБ в диапазоне длин волн 1535–1615 нм (рис.4,а). При большой мощности входного сигнала (рис.4,б) шум-фактор несколько увеличивается, но по-прежнему не превышает 10 дБ в диапазоне длин волн 1540–1615 нм. Рост шум-фактора обусловлен снижением коэффициента усиления в случае мощного входного сигнала.

Усилитель с плоским распределением коэффициента усиления может быть использован в системе с DWDM, которая работает при высокой (около 0 дБм) входной мощности из-за большого числа каналов. Для замены ZEDF может быть использовано коммерчески доступное волокно EDF (EDFL-1480-HP, Nufern) с поглощением 15 дБ/м при 980 нм.

4. Заключение

Демонстрируется широкополосный оптический усилитель с плоским распределением коэффициента усиления, использующий гибридные усиливающие среды ZEDF и EDF в параллельной двухпроходной конфигурации. Для обеспечения двухпроходного режима работы и увеличения достижимого коэффициента усиления в С- и L-полосах используются chirпированные брэгговские волоконные решетки. При мощности входного сигнала 0 дБм получено плоское распределение коэффициента усиления (15 дБ) в диапазоне длин волн 1530–1605 нм. В пределах этого же диапазона длин волн шум-фактор меняется от 6.2 до 10.8 дБ. Полоса, плоское распределение коэффициента усиления и шум-фактор предлагаемого параллельного усилителя оказываются лучше, чем у последовательного усилителя.

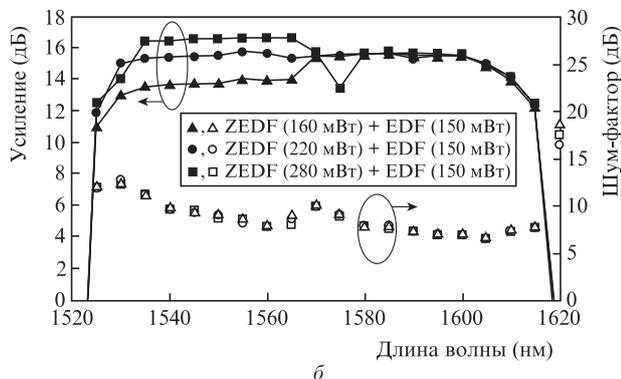
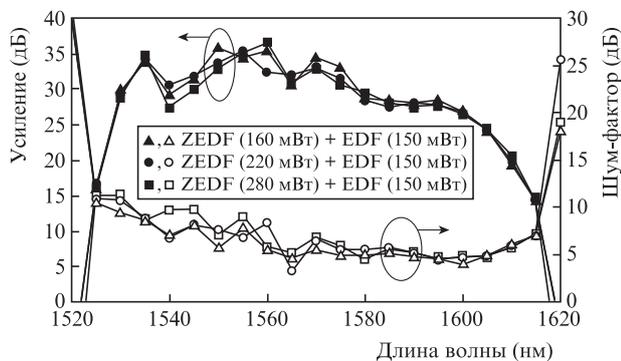


Рис.4. Спектры усиления и шум-фактора схемы с параллельной конфигурацией при различных мощностях накачки усилителя в С-полосе и мощности входного сигнала –30 дБм (а) и 0 дБм (б).

1. Harun S.W., Tamchek N., Poopalan P., Ahmad H. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **15** (8), 1055 (2003).
2. Mohammed A.E.A., Rashed A.N.Z. *J. Media and Communication Studies*, **1** (4), 056 (2009).
3. Harun S.W., Saat N.K., Ahmad H. *IEICE Electron. Exp.*, **2** (6), 182 (2005).
4. Wang X., Nie Q., Xu T., Shen X., Dai S., Gai N. *J. Rare Earths*, **26** (6), 907 (2008).
5. Ellison A.J.W., Dickinson J.E., Goforth D.E., Harris D.L., Kohli J.T., Minelly J.D., Samson B.N., Trenteman J.K. *Opt. Ampl. Amplifications*, 51 (1999).
6. Ahmad H., Shahi S., Harun S.W. *Laser Phys.*, **20**, 716 (2010).
7. Cheng X.S., Parvizi R., Ahmad H., Harun S.W. *IEEE Photonics J.*, **1** (5), 259 (2009).
8. Shahabuddin N.S., Yusoff Z., Ahmad H., Harun S.W. *Chinese Opt. Lett.*, **9** (6), 061407 (2011).
9. Harun S.W., Shahi S., Ahmad H. *Laser Phys. Lett.*, **7** (1), 60 (2010).
10. Schermer R., Berglund W., Ford C., Ramberg R., Gopinath A., *IEEE J. Quantum Electron.*, **39** (1), 154 (2003).
11. Paul M.C., Harun S.W., Huri N.A.D., Hamzah A., Das S., Pal M., Bhadra S.K., Ahmad H., Yoo S., Kalita M.P., Boyland A.J., Sahu J.K. *J. Lightwave Technol.*, **20** (20), 2919 (2010).