

Изобретение относится к световодам, содержащим легирующие вещества лазерного излучения, применяемым для усиления сигнала передачи, распространяемого в световоде и для подавления излучений, имеющих нежелательную длину волны, получаемых из-за спонтанного излучения.

Известно, что оптические световоды, имеющие сердечник, легированный определенными веществами, например, ионами редкоземельных элементов, имеют характеристики вынужденного излучения, что делает возможным применение их в качестве источников лазерного излучения и оптических усилителей. Такие световоды фактически используются с источниками света определенной длины волны, которые способны принимать атомы легирующего вещества в режиме возбуждения или накачки, из которого атомы, спонтанно распадаясь в очень короткое время переходят в состояние лазерного излучения, в котором они остаются относительно долгое время.

Вещества, пригодные для легирования и имеющие высокое поглощение света во всем спектре, описаны, например, в Европейской патентной заявке №88304182.4 и в основном включают элементы переменной валентности, такие, как T, Y, Cr, Fe в состоянии их самой низкой валентности (T^{III}, Y^{III}, Cr^{III}, Fe^{III}).

Когда световод, имеющий большое количество атомов в возбужденном состоянии на уровне излучения, пересекается световым сигналом, имеющим длину волны, соответствующую состоянию лазерного излучения, сигнал вызывает переход возбужденных атомов на более низкий уровень с световым излучением, имеющим ту же длину волны, что и сигнал; таким образом световод данного типа может быть использован для получения усиления оптического сигнала.

Начиная с состояния возбуждения, распад атомов также происходит спонтанно, что вызывает излучение, которое составляет шумовой фон, накладывающийся на вынужденное излучение, соответствующее усиленному сигналу.

Световое излучение, генерируемое путем введения в легированный или активный световод световой энергии накачки, может возникать на нескольких длинах волн, соответствующих легирующему веществу, таким образом определяя спектр флуоресценции световода.

С целью получения максимального усиления сигнала с помощью световодов вышеназванного типа в совокупности с высоким отношением сигнал/шум для оптических линий электросвязи обычно используется сигнал, генерируемый лазерным источником с длиной волны, соответствующей пику кривой спектра флуоресценции легированного световода.

В частности, для усиления сигналов, используемых в оптических линиях электросвязи, удобно применять активные световоды с сердцевинами легированными ионами эрбия (Er³⁺), но спектр флуоресценции эрбия в диапазоне интересующих длин волн имеет особенно узкий пик излучения, что накладывает ограничения на использование его в качестве источника сигнала передачи лазера, работающего с определенной длиной волны, т.к. сигналы, не попадающие в этот диапазон, соответствующе не усиливаются, в то время как сильное спонтанное излучение будет возникать на пиковой длине волны, определяя шумовое наложение, сильно ухудшающее качество передачи.

Лазерные источники, имеющие вышеназванные характеристики, т.е. работающие с пиковым излучением эрбия, с другой стороны трудны и дороги в изготовлении, в то время как обычные лазерные источники, такие как полупроводниковые лазеры (L, Ga, As), имеющие характеристики, позволяющие использовать их в целях электросвязи, имеют достаточно широкое отклонение от диапазона излучения, поэтому только ограниченное число лазерных источников этого типа имеет излучение в вышеназванном пиковом диапазоне длин волн.

В то время как для применения в подводных линиях электросвязи можно использовать источники сигналов передачи с определенными значениями длин волн, полученными при использовании промышленных лазеров, т.е. только тех, которые имеют излучение в пределах небольшого участка лазерного пикового излучения усиливающего световода, такое использование финансово неприемлемо для линий других типов, таких как, например, городские линии, для которых особое значение имеет стоимость прокладки.

Например световод, легированный эрбием, с лазерным излучением имеет излучение, достигающее в пике около 1536нм; при изменении величины излучения на 5нм излучение имеет высокую интенсивность и может быть использовано для усиления сигнала в том же диапазоне длин волн; промышленные полупроводниковые лазеры, которые могут быть использованы для передачи, имеют однако величины длин волн излучения в диапазоне от 1520 до 1570.

Таким образом видно, что значительное число промышленных лазеров этого типа не подходят для возможного усиления с эрбием и не могут быть использованы для генерации сигналов электросвязи в линиях, снабженных эрбиевыми усилителями вышеописанного типа.

Тем не менее известно, что световоды, легированные эрбием, имеют участок спектра излучения высокой интенсивности, постоянной в диапазоне длин волн, соответствующем вышеупомянутому пику, достаточно широким, чтобы включать значительную часть диапазона излучения вышеописанных промышленных лазеров, но в световодах этого типа сигнал, распространяющийся с длиной волны, далекой от максимума пика излучения, будет усилен до определенного предела, в то время как спонтанный переход из состояния лазерного излучения в световоде происходит в основном с излучением на пиковой длине волны спектра (1536нм), генерируя шумовой сигнал, усиливаемый в дальнейшем при распространении по световоду и накладывающийся на полезный сигнал.

Для использования активных световодов, легированных эрбием для усиления сигналов электросвязи, генерируемых полупроводниковыми лазерными источниками промышленного типа, описанными выше, возникает потребность отфильтровывания спонтанного пикового излучения эрбия по длине активного световода для того, чтобы излучение с нежелательной длиной волны не поглощало энергию накачки из усиления сигнала и не накладывалось на него.

Для этой цели активный световод может быть использован с двумя сердечниками, по одному из

которых передается сигнал передачи энергии накачки, в то время как другой содержит светопоглощающее легирующее вещество; если оба сердечника оптически связаны с длиной волны, соответствующей пику спонтанного излучения, то оно будет преобразовываться вторым сердечником, поглощаясь без наложения на длину волны сигнала передачи.

В качестве прототипа заявляемого изобретения принят широкополосный оптический усилитель, содержащий дихроичный элемент связи, имеющий сигнальный вход, вход накачки и выход, который подключен к активному световоду, содержащему флуоресцентное легирующее вещество, выход активного световода подсоединен к световоду телекоммуникационной линии (Патент Италии №22654, А/89, кл. H01S3/30).

Этот усилитель производит эффективную фильтрацию нежелательной длины волны, но в ряде случаев, когда он подвергается механическим или термическим воздействиям, и особенно при скручивании, могут изменяться характеристики оптической связи между сердцевинами, и изменяется значение длины волны, преобразованной вторым поглощающим сердечником, что вызывает наложение длин волн спонтанного излучения на длину волны сигнала передачи на телекоммуникационную линию.

Таким образом, встает проблема получения приемлемого активного световода для использования в оптических усилителях, которые могут применяться в комбинации с лазерными источниками сигналов передачи промышленного типа без наложения на них значительных качественных ограничений, не чувствительных к деформациям, которые возникают при изготовлении усилителя или во время укладки и использования усилителя в линии.

В основу изобретения поставлена задача получения усиленных оптических сигналов передачи, свободных от шумового фона, в широкополосном оптическом усилителе путем выполнения активного световода в виде чередующихся волоконных участков со светопередающими и светопоглощающими сердцевинами, подбора оптимального состава материала и длины участков и установления оптической взаимосвязи между ними в диапазоне длин волн лазерного излучения, что обеспечивает невосприимчивость активного световода к механическим и термическим воздействиям, усиливает поглощение спонтанного излучения с длиной волны, создающей шумовой фон, и исключает наложение этих волн на длину волны сигнала передачи, поступающего на телекоммуникационную линию.

Суть изобретения заключается в том, что в широкополосном оптическом усилителе, содержащем дихроичный элемент связи, имеющий сигнальный вход, вход накачки и выход, который подключен к активному световоду, содержащему флуоресцентное легирующее вещество, а выход активного световода подсоединен к световоду телекоммуникационной линии, согласно изобретения, активный световод выполнен в виде чередующихся участков, один из которых является участком двухсердцевинного волокна, выполненным в виде первичной и вторичной сердцевины, а другой - участком односердцевинного волокна, при этом сердцевина односердцевинного волоконного участка содержит легирующее флуоресцентное вещество, сердцевина односердцевинного волоконного участка и первичная сердцевина двухсердцевинного волоконного участка оптически соединены друг с другом, вторичная сердцевина двухсердцевинного волоконного участка ограничена на концах двухсердцевинного волоконного участка, при этом первичная и вторичная сердцевины двухсердцевинного волоконного участка оптически связаны между собой в диапазоне длин волн, находящихся в диапазоне волн лазерного излучения односердцевинного волоконного участка, отличающемся от диапазона частот передаваемого сигнала.

При этом вторичная сердцевина каждого двухсердцевинного волоконного участка содержит легирующее вещество с большей, чем в первичной сердцевине светопоглощающей способностью в диапазоне длин волн лазерного излучения легирующего вещества активного световода, а легирующее вещество, содержащееся во вторичной сердцевине, образовано тем же флуоресцентным легирующим веществом, что и в активном световоде.

Первичная сердцевина каждого двухсердцевинного волоконного участка активного световода содержит флуоресцентное легирующее вещество либо может быть свободной от него.

В сердцевине односердцевинного волоконного участка содержится флуоресцентное легирующее вещество, преимущественно в виде эрбия.

Содержащееся во вторичной сердцевине двухсердцевинного волокна легирующее вещество представляет собой вещество с большей, чем в первичной сердцевине светопоглощающей способностью во всем спектре, состоящем из титана, ванадия, хрома или железа, присутствующих частично в низковалентном состоянии.

Длина каждого двухсердцевинного волоконного участка равна или превышает длину волны сигнала биения между первичной и вторичной сердцевинами в выбранном диапазоне оптической связи между сердцевинами.

Содержание легирующего вещества с большей, чем в первичной сердцевине светопоглощающей способностью, во вторичной сердцевине каждого двухсердцевинного волокна согласовано с условием выбора длины сигнала подавления менее $1/10$ длины волны сигнала биения между оптически связанными сердцевинами.

Вторичная сердцевина каждого двухсердцевинного волоконного участка свободна от светопоглощающего легирующего вещества и каждый двухсердцевинный волоконный участок имеет длину, равную целому кратному длине волны сигнала биения при допуске в 10% от собственно длины волны сигнала биения.

Диапазон оптической связи первичной и вторичной сердцевины двухсердцевинного волоконного участка находится в пределах от 1530 до 1540 нм.

Первичная сердцевина двухсердцевинного волоконного участка размещена соосно с внешней поверхностью двухсердцевинного участка при осевой ориентации с сердцевинами односердцевинных волоконных участков активного световода с сердцевинами световодов, к которым подключен усилитель,

при этом вторичная сердцевина двухсердцевинного волоконного участка по концам обращена к материалу оболочки смежных световодов.

Первичная сердцевина двухсердцевинного волоконного участка является мономодальной как на передающей длине волны, так и на длине накачки.

Каждый односердцевинный волоконный участок активного световода, содержащий флюоресцентное легирующее вещество, расположен между двумя последовательными двухсердцевинными волоконными участками и имеет длину, соответствующую максимально возможному коэффициенту усиления 15дБ на длине волны связи между первичной и вторичной сердцевинами двухсердцевинных волоконных участков.

Каждый односердцевинный волоконный участок, содержащий флюоресцентный волоконный участок, содержащий флюоресцентное вещество, расположен между двумя последовательными двухсердцевинными волоконными участками и имеет длину, не превышающую длины, соответствующей коэффициенту усиления от 1 до 5дБ на длине волны связи между первичной и вторичной сердцевинами двухсердцевинных волоконных участков, при этом по меньшей мере один конец активного световода образован двухсердцевинным волоконным участком.

Двухсердцевинные волоконные участки имеют дугообразную форму и жестко прикреплены к пластине, недеформируемой в рабочих условиях.

Двухсердцевинные волоконные участки могут быть жестко прикреплены к опорной пластине в виде дуги с кривизной, согласованной с диапазоном длины волны связи между первичной и вторичной сердцевинами.

На фиг.1 показана схема оптического усилителя с использованием активного световода; на фиг.2 - схема энергетических переходов в световоде того типа, который может быть использован в усилителе согласно схеме на фиг.1, который способен генерировать вынужденное излучение (лазерное); на фиг.3 - схема кривой вынужденной эмиссии оптоволокна из легированного кремния; на фиг.4 - увеличенная схема оптического усилителя согласно изобретению; на фиг.5 - активное волокно усилителя в поперечном сечении по плоскости $U - U$ на фиг.4; на фиг.6 - график зависимости коэффициента распространения света в сердцевинах активного волокна от длины волны согласно изобретению; на фиг.7 - часть активного оптоволокна согласно изобретению, состоящая из секции с двумя сердцевинами, и вид кривой перехода световой энергии между обоими сердечниками на длине волны связи; на фиг.8 - часть оптоволокна согласно изобретению, состоящая из двухсердцевинного участка с длиной, равной одной длине биения; на фиг.9 - часть волокна усилителя согласно изобретению с двухсердцевинными участками с созданной кривизной.

С целью усиления сигнала в световоде для линий электросвязи можно использовать усилители с оптическими волокнами; строение таких усилителей схематически показано на фиг.1, где 1 - световод для линий электросвязи, вдоль которого подается сигнал передачи с длиной волны λ_s , генерированной лазерным источником 2, такой сигнал, ослабленный после прохождения определенной длины волны по линии, посылается в дихроичное устройство связи 3, где он соединяется в единичном выходном световоде 4 с сигналом накачки, имеющем длину волны λ_p и генерируемым лазерным источником накачки 5; активный световод, обозначенный цифрой 6 и связанный с волокном 4, являющимся выходным из устройства связи, создает усиление сигнала, который таким образом поступает на телекоммуникационную линию 7 для дальнейшего распространения.

Для совершенствования активного световода 6, представляющего собой усиливающий элемент устройства согласно предпочтительному варианту изобретения, удобно использовать световод из кремния с сердечником, легированным в растворе Er_2O_3 , что позволяет обеспечить значительное усиление сигнала передачи при использовании рабочего перехода эрбиевого лазера.

Как показано на фиг.2, диаграмма волокна, содержащего легирующее вещество указанного типа, схематически представляет состояние энергии, характерные для иона эрбия, находящегося в кремниевой решетке волокна; подача в активный световод световой энергии с длиной волны накачки λ_p , что ниже λ_s , сигнала передачи, ведет к тому, что определенное количество ионов Er^{+3} , присутствующих в качестве легирующего вещества в световоде, переходят в возбужденное состояние 8, что впоследствии определяется как диапазон накачки, после чего ионы спонтанно переходят на энергетический уровень 9, являющийся уровнем лазерного излучения.

На уровне 9 лазерного излучения ионы Er^{+3} могут сохраняться сравнительно долгое время, прежде чем они спонтанно переходят на основной уровень 10.

Известно, что в то время как переход с уровня 8 на уровень 9 происходит одновременно с тепловым излучением, которое распространяется внутри волокна (фоновое излучение), переход с уровня 9 на основной уровень 10 генерирует световое излучение с длиной волны, соответствующей величине энергии лазерного излучения 9; если по волокну, содержащему большое количество ионов в состоянии лазерного излучения, распространяется сигнал с длиной волны, соответствующей этому излучению, то сигнал вызывает вынужденный переход ионов из состояния излучения в основное состояние, прежде чем они спонтанно распадаются с каскадным эффектом, который на выходе из световода вызывает излучение усиленного сигнала передачи.

В отсутствие сигнала передачи спонтанный распад дискретного количества уровней лазерного излучения, характерных для каждого вещества, генерирует пики яркости на различных частотах, соответствующих уровням, в частности, как показано на фиг.3, световод типа Si/Al или Si/Ge, легированный Er^{+3} и используемый в оптических усилителях, имеет пик излучения высокой интенсивности на длине волны 1536, в то время как на больших длинах волн вплоть до 1560 существует область, в которой излучение также имеет высокую интенсивность, однако, ниже, чем в пиковой области.

В присутствии светового сигнала, введенного в световод на длине волны, соответствующей пику излучений Er^{+3} , 1536нм, возникает значительное усиление сигнала, в то время как шумовой фон благодаря спонтанному излучению эрбия ограничен, что делает световод годным при использовании в

оптическом усилителе для сигнала на такой длине волны. Для генерирования сигнала существуют промышленные полупроводниковые лазеры (In, Ga, As), которые имеют характерный диапазон излучения от 1,52 до 1,57нм: это означает, что технология их производства не гарантирует в каждом излучение сигнала передачи на определенной частоте, соответствующей пику излучения световода, легированного эрбием и используемого в качестве усилителя; напротив, большое количество лазеров имеет сигнал в участках кривой излучения световода, смежных с вышеупомянутым пиком излучения.

Сигнал, генерируемый таким лазерным источником, не сможет быть усилен в достаточной степени в эрбиевом оптическом усилителе вышеописанного типа, поскольку энергия накачки, введенная в активный световод, будет, в основном, расходоваться на усиление шумового усилителя при спонтанном излучении эрбия на длине волны приблизительно 1536нм.

Поэтому для использования лазерных источников вышеупомянутого типа, широко выпускаемых промышленностью и поэтому недорогих, в комбинации с эрбиевым усилителем, по сути для использования определенных типов источников лазерных сигналов в совокупности с легирующими добавками, имеющими высокий шумовой фон вследствие Спонтанных переходов с лазерного уровня, согласно изобретению применяется активный световод, показанный на фиг.4, который состоит из секций 11 двухсердцевинного волокна с двумя сердцевинами 12 и 13 соответственно заключенными в одно внешнее покрытие 14, чередующихся с секциями 15 волокна с одной сердцевиной.

В каждой двухсердцевинной волоконной секции 11 сердцевина 12 подсоединяется к сердцевине 16 смежных односердцевинных волоконных секций 15 и на концах активного световода к волокну 4, являющемуся выходным из дихроичного устройства связи, и к линейному волокну 7, и таким образом данная сердцевина является проводящей для сигнала передачи. Сердцевина 13, или вторичная сердцевина разрывается на концах каждой секции 11 и не имеет дальнейших подсоединений.

Две сердцевин 12 и 13 волоконных секций 11 выполняются таким образом, что соответствующие коэффициенты распространения света β_1 и β_2 в световоде, чьи кривые зависимости от длины волны показаны на фиг.6, таковы, чтобы обеспечить оптическую связь между сердцевинами 12 и 13, на длине волны, соответствующей пику максимального излучения флюоресцентной легирующей добавки, в частности на 1536нм для эрбия и в диапазоне между λ_1 и λ_2 , чья амплитуда определяется наклоном кривых λ_1 и λ_2 в области их пересечения и соответствует, как показано на фиг.3, амплитуде самого пика излучения, генерируемого как шумовой фон. Предпочтительный диапазон связи между двумя сердцевинами 12 и 13 в случае использования эрбия в качестве легирующей добавки сердцевины 16, может лежать между $\lambda_1 = 1530$ и $\lambda_2 = 1540$ нм.

Это означает, что свет с длиной волны около 1536нм, который распространяется в сердцевине 12 вместе с сигналом передачи и определяет шумовой фон вследствие спонтанного излучения эрбия, периодически переходит от сердцевины 12 к сердцевине 13 по известным законам оптической связи, описанным например на стр.84 и 90 журнала Journal of the Optical Society of America A/vol.2, №1, январь 1985.

Как показано на фиг.7, световая энергия на длине волны оптической связи между обеими сердечниками распределяется по синусоиде, достигая 100% в одной точке первого сердечника и 100% в другой точке второй сердцевины на длине, известной как длина биения, в то время как в общей секции волокна световая энергия распространяется также.

Сигнал передачи в сердцевине 12 с другой стороны имеет длину волны λ_3 , отличающуюся от длины, на которой осуществляется связь между двумя сердцевинами 12 и 13, равную, например, 1550нм, и таким образом он сохраняется в сердцевине 12 без передачи на сердцевину 13, таким же образом свет накачки, передающийся на сердечник 16 с устройства связи 3, например, на длине волны λ_p , от 980 или 540нм, имеет коэффициенты распространения такие, что внутри волоконной секции 11 его распространение на сердцевину 13 исключается, в результате чего присутствие в нем энергии накачки не наблюдается.

Сердцевина 13 содержит легирующее вещество в добавление к легирующему веществу, определяющему желаемый профиль распространения показателя преломления, который, в свою очередь, определяется материалом, имеющим высокое поглощение света во всем спектре или по крайней мере в пике излучения легирующего вещества сердцевины 16, такое вещество является источником шума, как уже было описано выше, в частности, в пике, лежащем около 1536нм в случае использования эрбия в качестве этого легирующего вещества.

Вещества, пригодные для этой цели и имеющие высокую светопоглощающую способность во всем спектре, в основном включают элементы переменной валентности, такие как T, Y, Cr, Fe в состоянии их самой низкой валентности (T^{III}, Y^{III}, Cr^{III}, Fe^{III}).

Среди веществ с высокой светопоглощающей способностью на определенной длине волны, т.е. на длине волны пика излучения легирующего вещества сердцевины 16 усиливающего волокна 15, которое требуется поглотить, особенно удобно использовать такие же легирующие добавки, как и в вышеописанном активном сердечнике, фактически флюоресцентные вещества, которые при получении достаточного количества энергии накачки излучают определенной длины волны, в то время, как эти же вещества без энергии накачки поглощают свет с той же длиной волны, на которой возникает излучение в присутствии накачки.

В частности, при легировании сердцевины 16 эрбием вторую сердцевину 13 волоконного участка 11 можно также легировать эрбием. В этом случае кривая поглощения эрбия сходна с кривой флюоресценции или лазерного излучения, показанной на фиг.3, сходной с пиком поглощения той же длины волны. Флюоресценция с длиной волны связи 1536нм между сердцевинами, переданная на сердцевину 13, таким образом не отражается обратно на сердцевину 12, внутри которой распространяется сигнал передачи, т.к. внутри сердцевины 13 может произойти существенное ослабление введенного света вследствие поглощения его присутствующим легирующим веществом.

Излучение с нежелательной длиной волны, присутствующее в сердцевине 16, может таким образом

вводиться в волоконный участок 11 до того, как оно достигнет высокой интенсивности и внутри которой оно может быть выделено из сердцевин 12 и рассеяно внутри сердцевин 13 таким образом, чтобы энергия накачки не выводилась из процесса усиления сигнала передачи, распространяющегося из сердцевин 12 в сердцевину 16 последующего участка усиливающего волоконного участка 15, и могла быть наложена на сам сигнал.

С этой целью, согласно изобретению, необходимо, чтобы секции F усиливающего волоконного участка 15, предшествующего двухсердцевинному участку 11, как показано на фиг.4, была ограниченной длины для избежания усиления фоновых шумов; эта длина зависит от характеристик собственно волокна, и в частности, от его коэффициента усиления; усилитель согласно изобретению делается с такой длиной F, которая определяла бы максимальный коэффициент усиления ниже 15dB, предположительно в диапазоне от 1 до 5dB, на длине волн связи между сердечниками, в частности, соответствующей 11536нм.

Сердцевина 12 волокна 11 может не содержать никакой флюоресцентной легирующей добавки, так что все усиление определяется волоконными участками 15, либо может содержать ту же добавку, что и сердцевина 16. Длина L_A двухсердцевинного волоконного участка 11, в свою очередь, больше длины биения L_B , упомянутой выше, к тому же содержание легирующего вещества, имеющего высокое поглощение света, присутствующего в ней, таково, чтобы определять длину подавления L сердцевин 13, которая, по крайней мере, на порядок меньше, чем длина биения L_B : $L < 1/10 L_B$, что определяется законом распространения энергии в затухающей среде $P = P_0 - L \cdot e^{-\alpha L}$, где α - коэффициент, определяющийся характеристиками ослабления волокна и в значительной степени количеством ослабляющего легирующего вещества, присутствующего в нем после прохождения длины L волокна световая энергия в нем уменьшается по закону $1/e$, обычно характеристики сердцевин 13 выбираются так, чтобы длина подавления L была на два порядка ниже длины волны биения L_B .

Сердцевина 13 также может не содержать никакого легирующего вещества, вносящего затухания, в этом случае, как показано на фиг.8, двухсердцевинный волоконный участок 11 должен иметь длину $L_A = L_B$, так, чтобы на конце второй сердцевин 13 световая энергия с подавляемой длиной волны полностью переходила внутрь самой сердцевин 13 для того, чтобы на соединении его с волокном 15 она рассеивалась на покрытии упомянутого волокна 15.

Такое условие является удобным, поскольку появляется возможность не добавлять легирующие вещества в двухсердцевинную волоконную секцию в дополнение к тем, которые определяют ее профиль распределения показателей преломления, но с другой стороны оно требует измерять и при присоединении участка 11 к оставшейся части активного волокна выдерживать допуск не более - 10% от длины волны биения L_B так, чтобы обеспечить отсутствие длины волны шума на соединении сердцевин 12. Если условие выдерживания данного допуска представляется трудно выполнимым при длине биения L_B в нескольких сантиметрах, то лучше использовать ослабляющие вещества в сердцевине 13, как было описано выше.

Определение размера волоконного участка 11 проводится таким образом, что коэффициенты распространения в обоих сердечниках определяют связь в диапазоне, лежащем вправо и влево от центра пика длины волны излучения (например, 1536нм), но необходимость допуска при изготовлении может приводить к отклонениям от желаемой величины.

Для получения в таком случае приемлемой длины волны связи согласно изобретению двухсердцевинный волоконный участок 11 должен быть изогнут в дугу, таким образом, индуцируя внутреннюю напряженность внутри волокна, которая изменяет его характеристики распространения света и контролирует величину длины волны связи при изменении кривизны до тех пор, пока не достигается согласование с желаемой величиной длины волны; для поддержания такой конфигурации волоконные участки 11 заключаются в соответствующие поддерживающие пластины 17, показанные на фиг.9 с помощью, например, клея для сохранения их формы.

Сердцевинный участок 15, заключенный между секциями двухсердцевинного волокна 11, выполняется согласно требованиям, определяемым внутри покрытия усилителя, например, путем закручивания в несколько оборотов, чтобы это не влияло на поведение усилителя с точки зрения отделения длины волны, определяющей шум, в то время как двухсердцевинные волокна жестко зафиксированы в искривленном состоянии и защищены от дальнейших нагрузок, как было описано выше.

С целью посылки сигнала передачи без шума от усилителя к последующей части линии 7 последняя секция активного волокна 6 усилителя в направлении распространения сигнала передачи образована двухсердцевинным волокном 11; для линий, используемых в обоих направлениях, оба конца активного волокна образуются при помощи двухсердцевинных волоконных участков 11.

Световод, согласно изобретению, таким образом производит фильтрацию света, распространяющегося в пределах волокна, отделяя и поглощая фотоны с длиной волн 1536нм, которые генерируются спонтанным распадом из уровня лазерного излучения ионов Er^{+3} , таким образом не давая таким фотонам, проходящим через длинную секцию активного сердечника в присутствии энергии накачки, вызывать дальнейший распад на этой длине волны и способствует распространению в сердцевине 12 только длины волны передачи и длины волны накачки, длина волны передачи λ_s , может быть тогда выбрана среди всего диапазона, в котором эрбий имеет значительный уровень лазерного излучения, например, между значениями λ_2 и λ_3 , показанными на фиг.3 (что соответствует диапазону от 1540 до 1560нм), что обеспечивает большой выбор лазерных источников сигнала передачи для усиления, причем источники сигналов имеют различные длины волн в достаточно широком диапазоне, что позволяет применять большое количество типов промышленных полупроводниковых лазеров (In, Ga, As); в то же время применение секций с уменьшенной длиной двухсердцевинного волокна позволяет получать точную длину волны связи и делает их нечувствительными к механическим нагрузкам.

Как показано на фиг.5, двухсердцевинное волокно 11 обычно имеет сердцевину 12, используемую для распространения оптического сигнала и расположенную коаксиально внутри покрытия 14 волокна, в то

время как вторая сердцевина 13 находится в эксцентрическом положении.

В этом случае, как показано на фиг.4, 7, 8, соединение между секциями двухсердцевинного волокна, секциями усиливающего волокна 15 и волокна 4 и 7 может быть выполнено традиционным образом, располагая концы самих волокон друг напротив друга через обычное соединительное устройство, что обеспечивает юстировку между волокнами путем контроля их внешних поверхностей, чему соответствует правильная юстировка сердцевины 12 двухсердцевинного волокна, находящегося в осевой позиции, с сердцевинами односердцевинных волокон, без существенных потерь при соединении: сердцевина 13, находящаяся в эксцентрическом положении, не должна быть связана с другими сердцевинами и таким образом остается разорванной на концах каждой двухсердцевинной волоконной секции 11, не требуя никаких дальнейших операций.

Обычно для того, чтобы получить наивысшую эффективность усиления, сердцевина 12 является мономодальной как для длины волны сигнала, так и для длины волны накачки, а сердцевина 13 также является мономодальной, по крайней мере для λ_s .

Например, усилитель был построен согласно схеме на фиг.1, состоящей из световода 6 Si/Al типа, легированного Er^{+3} и содержащего двухсердцевинные участки, содержание Er_2O_3 по весу в односердцевинной секции волокна составляет 40ppm.

В каждом двухволоконном участке 11 сердцевина 12 и сердцевина 13 имеют радиус $a = 3,1\mu\text{m}$, числовая апертура $N_A = 0,105$, коэффициент преломления $n_1 = 1,462$, разделение двух сердцевин 12 и 13, показанное на фиг.5, $d = 3,5\mu\text{m}$; сердцевина 12 расположена коаксиально относительно внешнего диаметра волокна. Каждый участок 11 имеет длину $L_d = 100\text{mm}$ и согласуется с длиной F усиливающего волокна, равной 5m .

Сердцевина 12 двухволоконного участка 11 не содержит эрбий, в то время как сердцевина 13 содержит Er_2O_3 в количестве 2500ppm.

Активный световод имеет общую длину, равную 30m .

В качестве лазера накачки 5 использовался аргоновый лазер, работающий на длине волны 528nm с мощностью 150mW . в то время как в качестве лазерного источника сигнала 2 применяются промышленный полупроводниковый лазер (In, Ga, As), имеющий мощность 1mW и длину волны излучения 1550nm .

На выходе усилителя вышеописанного типа был получен коэффициент усиления 20dB на входном сигнале, ослабленном до величины $0,5\text{W}$.

Ослабление выходного сигнала усилителя, соответствующее реальным уровням работы усилителя на линии, было получено с помощью переменного аттенюатора.

В отсутствие сигнала уровень спонтанного излучения был измерен на выходе из усилителя и оказался равен 10W .

Такое излучение, которое образует шумовой фон, генерируемый усилителем, не является значительным шумом для сигнала, который усиливается до более высоких уровней (около 250W).

Для сравнения такой же передающий лазерный источник 2 вышеописанного типа использовался в сочетании с усилителем, имеющим структуру, идентичную описанному в предыдущем примере, но с применением односердцевинного активного световода 6 типа Si/Al, легированного Er^{+3} и содержащего по весу 40ppm Er^{+3} , в сердцевине активный световод имел длину 30m .

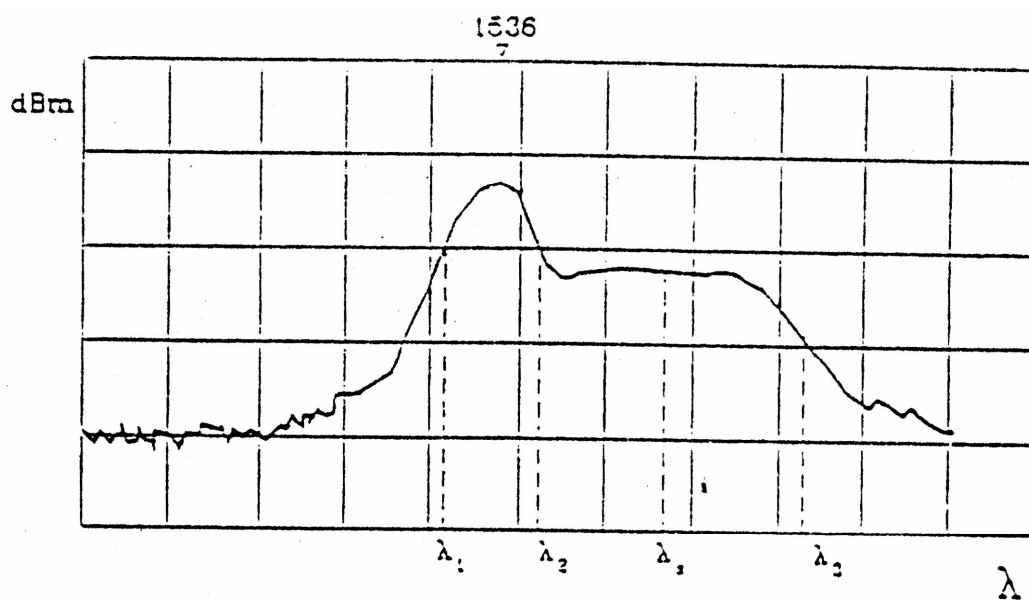
Такой усилитель с сигналом передачи на длине волны 1560nm давал коэффициент усиления ионов 15dB спонтанным излучением на уровне, сопоставимым с уровнем выходного сигнала.

Как видно из приведенных примеров, односердцевинный волоконный усилитель демонстрировал ослабленный коэффициент усиления в присутствии сигнала на длине волны 1560nm , в то же время накладывался шум, который усложняет получение самого сигнала, что делает его непригодным для практического применения, в то же время усилитель согласно изобретению, использующий активный световод с двухсердцевинными волоконными участками, с двумя сердцевинами, связанными на длине волны, соответствующей пику излучения шумового фона, показал себя способным обеспечить с тем же сигналом на длине волны 1560nm высокий коэффициент усиления независимо от наложенного шума.

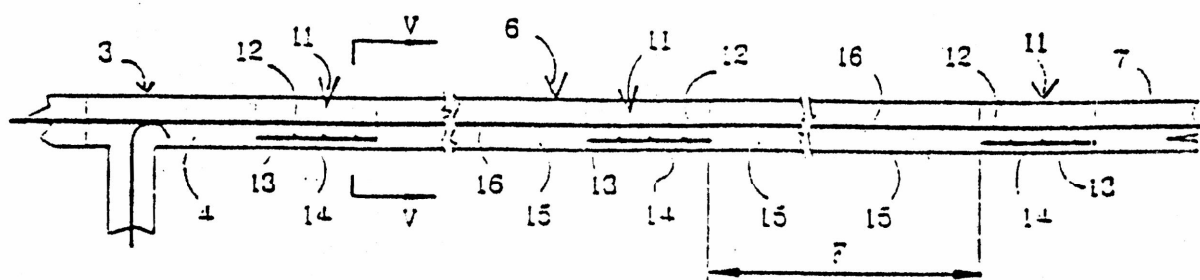
Таким образом, использование усилителей согласно изобретению в линиях электросвязи позволяет передавать по таким линиям сигналы передачи, генерированные лазерными источниками промышленного типа с широким допуском и в то же время обеспечивающее стабильное усиление, независимое от величины реального излучения используемых источников сигнала.

Фиг. 1

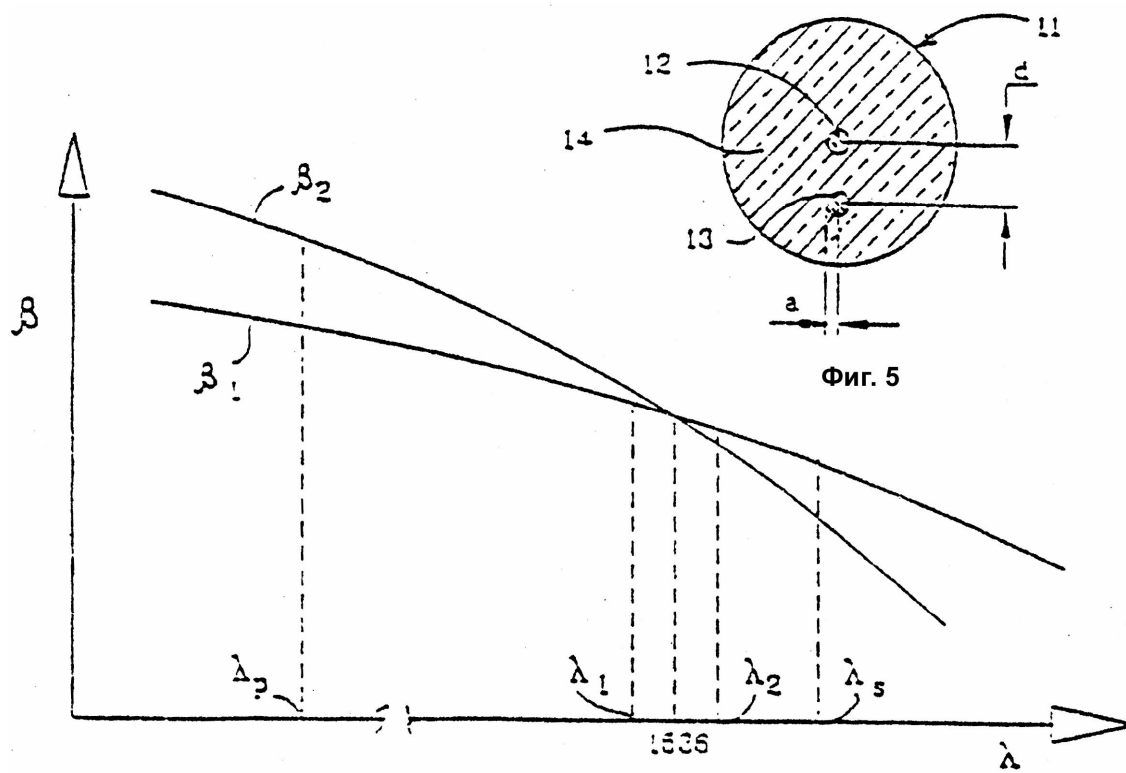
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 6

