



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 193 792** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) МПК⁷ **G 02 F 1/035, H 04 B 10/135**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

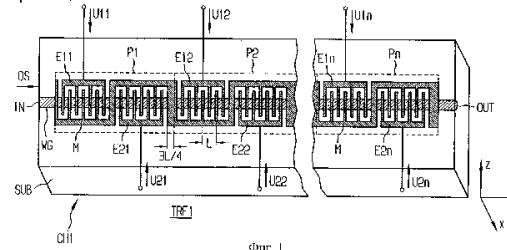
- (21), (22) Заявка: 2001103749/09, 24.06.1999
- (24) Дата начала действия патента: 24.06.1999
- (30) Приоритет: 10.07.1998 DE 19830990.2
- (46) Дата публикации: 27.11.2002
- (56) Ссылки: JEEE Journal of quantum electronics, 1989, v. 25, № 8, pp. 1898-1906. JEEE Journal of quantum electronics, 1982, v. QE-18, № 4, pp. 767-771. RU 2109313 C1, 20.04.1998. RU 2046389 C1, 20.10.1995. US 5600474 A, 04.02.1997. FR 2758029 A, 03.07.1998. EP 0716516 A, 12.06.1996.
- (85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 12.02.2001
- (86) Заявка РСТ: DE 99/01846 (24.06.1999)
- (87) Публикация РСТ: WO 00/03505 (20.01.2000)
- (98) Адрес для переписки: 129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

- (71) Заявитель: СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)
- (72) Изобретатель: НОЕ Райнхольд (DE)
- (73) Патентообладатель: СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)
- (74) Патентный поверенный: Кузнецов Юрий Дмитриевич

(54) СПОСОБ КОМПЕНСАЦИИ ДИСПЕРСИИ МОД ПОЛЯРИЗАЦИИ И КОМПЕНСАТОР ДИСПЕРСИИ МОД ПОЛЯРИЗАЦИИ

(57) Преобразователь поляризации (TRF1) на материале подложки (SUB) с двойным лучепреломлением имеет большое количество ячеек (Pj) с соответствующими электродами (Eij; i= 1,2, . . . n) преобразователя мод, которые регулируются индивидуально для более чем двух групп, таким образом, обеспечивается компенсация дисперсии мод поляризации. Техническим результатом является возможность обеспечения любых частотно-зависимых

преобразований поляризации в пределах используемой полосы передачи. 2 с. и 20 з.п. ф-лы, 13 ил.



RU 2 193 792 C2

RU 2 193 792 C2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 193 792** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) Int. Cl. 7 **G 02 F 1/035, H 04 B 10/135**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

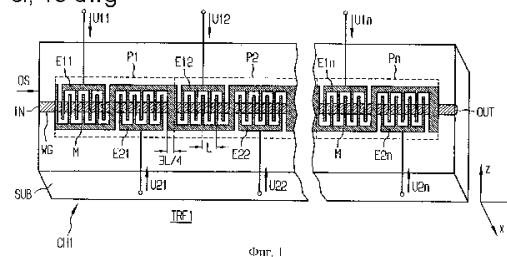
(21), (22) Application: 2001103749/09, 24.06.1999
 (24) Effective date for property rights: 24.06.1999
 (30) Priority: 10.07.1998 DE 19830990.2
 (46) Date of publication: 27.11.2002
 (85) Commencement of national phase: 12.02.2001
 (86) PCT application:
 DE 99/01846 (24.06.1999)
 (87) PCT publication:
 WO 00/03505 (20.01.2000)
 (98) Mail address:
 129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
 OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
 Partnery", Ju.D.Kuznetsovu, reg.No 595

(71) Applicant:
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)
 (72) Inventor: **NOE Rajnkhol'd (DE)**
 (73) Proprietor:
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)
 (74) Representative:
Kuznetsov Jurij Dmitrievich

(54) **METHOD FOR COMPENSATING POLARIZATION MODE DISPERSION AND POLARIZATION MODE DISPERSION COMPENSATOR**

(57) Abstract:
 FIELD: electronic engineering. SUBSTANCE: polarization changer TRF1 with double beam refraction built around substrate material has great number of locations accommodating respective mode-transducer electrodes Eij, where i - 1, 2, :n, individually adjusted for more than two groups so that desired compensation of polarization mode dispersion is attained. EFFECT: provision for any desired frequency-dependent polarization

changes within transmission band used. 22 cl, 13 dwg



RU 2 193 792 C2

RU 2 193 792 C2

Изобретение относится к способу компенсации дисперсии мод поляризации согласно пункту 1 формулы изобретения и к компенсатору дисперсии мод поляризации согласно пункту 5 формулы изобретения.

В технике оптической передачи используются каналы передачи на оптических волноводах максимально возможной длины. Оптические волноводы, вследствие технологии их изготовления, являются не полностью изотропными. Ввиду большой длины каналов передачи из-за двойного лучепреломления происходит частотно-зависимое преобразование поляризации, называемое дисперсией мод поляризации (ДМП) или поляризационной дисперсией. Это приводит, вследствие изменения поляризации оптических сигналов в функции оптической частоты и связанных с этим различных частотно-зависимых значений времени прохождения, к расширению передаваемого импульса, вследствие чего при приеме снижается возможность их распознавания и, следовательно, ограничивается скорость передачи данных.

К тому же дисперсия мод поляризации зависит от температурных изменений или механических напряжений. Поэтому используют адаптивные компенсаторы ДМП, которые вводятся в канал передачи. Компенсатор ДМП, по меньшей мере, на одной оптической несущей частоте в диапазоне полосы передачи, должен приблизительно обеспечивать (в приближении первого или в необходимом случае более высокого порядка) независимость от частоты поляризационных свойств при передаче для всей системы, включая канал передачи и компенсатор. Тем самым модулированные сигналы могут передаваться без искажений.

В режиме мультиплексирования длин волн следует стремиться к тому, чтобы обеспечить такую независимость от частоты в отдельных полосах передачи (на длинах волн передачи), по меньшей мере, в каждом из отдельных каналов. Требования, предъявляемые к такому преобразователю/компенсатору, заключаются в низком вносимом затухании, совместимости с оптическими волноводами, т.е. в низком затухании ответвления и в механической совместимости, а также в обеспечении в максимальной степени изменяемой и частотно-зависимой поляризационной характеристики.

Для разработки компенсаторов ДМП и для контроля допусков по ДМП некомпенсированных систем передачи применяются регулируемые и при этом экономичные и имеющие низкое затухание эмуляторы ДМП, которые могут в значительной степени воспроизводить частотно-зависимые характеристики каналов передачи на оптических волноводах длиной до нескольких тысяч километров при различных условиях (например, при колебаниях температуры).

Из заявки WO 95/34141 известна "Приемопередающая система с управляемой поляризацией", которая использует кристалл LiNbO_3 , плоскость XY которого ориентирована поперек к направлению распространения. Скорости распространения по оси X и по оси Y в исходном состоянии постоянны. За счет приложения управляющих напряжений они, однако, в незначительной степени различны,

в результате чего достигается изменение поляризации. Для компенсации ДМП трансформаторы поляризации, как правило, не пригодны, так как здесь необходимо обрабатывать большие значения разностей времени распространения между отдельными модами. Они могут составлять порядка от 1/3 бита до нескольких битов.

Для компенсации ДМП пригодны компенсаторы, которые проявляют свойства передачи, инверсные по отношению к каналу передачи. Из опубликованных источников известны компенсаторы, которые реализованы на элементах задержки/вращения поляризации, размещаемые между отрезками оптических волноводов с сильным двойным лучепреломлением. Термин "элемент задержки" выражает родовое понятие для оптических элементов передачи, которые передают две ортогональные друг другу собственные моды без затухания, однако с различными фазовыми задержками. Отрезки оптических волноводов с сильным двойным лучепреломлением сохраняют две ортогональные друг к другу основные поляризации и поэтому представляют собой сохраняющее поляризацию волокно оптических волноводов. Эти сохраняющие поляризацию волокна обладают сильной дисперсией поляризации, т.е. различные поляризации приводят к сильно различающимся значениям времени распространения (см., например, материалы конференции "Optical Fiber Communication Conference", 1995, OFC'95, Optical Society of America, WQ2, pp. 190-192).

Известен интегральный оптический модулятор одной боковой полосы и фазовращатель (см. IEEE Journal of Quantum Electronics, V. 18, No.4, April 1982, pp. 767-771). Он содержит размещенный на подложке из ниобата лития гребенчатый заземленный электрод и расположенные рядами гребенчатые (встречно-штыревые) электроды, штыри которых чередуются со штырями заземленного электрода и каждые вторые из которых соединены с источником первого управляющего напряжения или соответственно с источником второго управляющего напряжения. В таком преобразователе поляризации может производиться только преобразование мод из ТЕ в ТМ для собственных мод с линейной или круговой поляризацией со сдвигом $\pm 45^\circ$. Доля в ТЕ-ТМ-смещении по фазе здесь задается длиной интегральной схемы и температурой и не может изменяться с помощью электрического напряжения. Недостатком данного устройства также является то, что предварительно заданное преобразование поляризации действует только для определенной оптической частоты; также невозможно задать зависимость частоты от преобразования поляризации.

Известен интегральный оптический преобразователь поляризации (см. IEEE Journal of Quantum Electronics, V. 25, No.8, 8. August 1989, pp. 1898-1906), который использует в качестве материала подложки ниобат лития или танталат лития. В нем требуются только три различных управляющих напряжения: одно напряжение сдвига фазы и два напряжения

преобразования мод, чтобы обеспечить желательное изменение поляризации. Напряжение сдвига фазы обуславливает замедление фазы между поперечной электрической (ТЕ) и поперечной магнитной (ТМ) модами волн (одновременно они являются собственными модами), но не вызывает преобразования одной из них в другую. Одно из обоих напряжений преобразования мод обуславливает ТЕ-ТМ-преобразование мод с линейными поляризациями с углом возвышения $\pm 45^\circ$ в качестве собственных мод, а другое вызывает ТЕ-ТМ-преобразование мод с круговыми поляризациями в качестве собственных мод. Предварительно заданное преобразование поляризации действует только для определенной оптической частоты. При других оптических частотах преобразование поляризации реализуется в зависимости от установленного для этой определенной оптической частоты преобразования поляризации.

Известен ТЕ-ТМ-трансформатор, имеющий простую форму электродов (см. Proceedings of the Forth European Conference on Integrated Optics ECIO 87, Glasgow, Scotland, Wilkinson&Lamb, pp. 115-118).

Эти известные устройства используются для преобразования поляризации, например, в качестве компенсаторов поляризации в приемниках. Не предусматривается, однако, их использование в качестве компенсаторов ДМП.

Известен способ компенсации ДМП (см. Electronics Letters, 17.02.1994, V. 30, No. 4, pp. 348-349), в котором в качестве элемента передачи применяется множество отрезков сохраняющего поляризацию волокна, которые связаны через преобразователи поляризации, а для компенсации ДМП - преобразователь поляризации с подключенным к нему сохраняющим поляризацию волокном. Проявляющееся затухание из-за необходимых соединений сращивания волокна может быть очень высоким.

Здесь же описано подключение компенсатора ДМП к оптическому приемнику и получение критерия регулирования для настройки компенсатора. Известно также другое функционально подобное устройство (см. материалы конференции ОЕС'94 (Makuhari Messe, Japan), 14E-12, pp. 258-259), в котором разность по времени между модами составляла 28 пс.

На практике вышеописанные известные компенсаторы ограничиваются очень малым количеством отрезков волокна, сохраняющего поляризацию. Тем самым при оптимизации критерия регулирования можно прийти к побочному оптимуму, и компенсатор окажется настроенным неоптимальным образом.

В заявке на патент Германии под номером 198 16 178.6 описан компенсатор ДМП, который состоит только из волокна, сохраняющего поляризацию. В общем случае в нем требуются механически подвижные части.

Задача изобретения состоит в создании способа компенсации дисперсии мод поляризации и компенсатора дисперсии мод поляризации, который имеет возможности разнообразной настройки и в пределах используемой полосы передачи обеспечивает

любые частотно-зависимые преобразования поляризации для целенаправленного формирования дисперсии мод поляризации.

Преимущество соответствующего изобретению компенсатора ДМП состоит в универсальности применения. Определенное множество параметров явление дисперсии мод поляризации может в принципе компенсироваться путем соответствующих возможностей настройки соответственно различным степеням свободы. За счет индивидуальных управляющих напряжений могут устанавливаться и реализовываться так много различных частотно-зависимых преобразований поляризации, что любые ДМП, в том числе более высокого, чем первый, порядка, могут формироваться с очень высокой точностью, как в целях компенсации ДМП, так и для эмуляции ДМП.

К другим преимуществам, обычным для интегральных оптических компонентов, относятся малые габариты и тот факт, что в соответствующем изобретению компенсаторе ДМП функции преобразования поляризации и формирования различных значений времени распространения для различных поляризаций могут интегрироваться в одном компоненте.

Компенсатор ДМП может применяться как эмулятор ДМП или как преобразователь поляризации.

Варианты компенсатора ДМП обеспечивают возможность реализации более компактной конструкции.

На чертежах показано следующее:

Фиг. 1 - выполнение соответствующего изобретению компенсатора мод поляризации.

Фиг.2 - вариант с перекрещивающимися электрическими проводниками.

Фиг.3 - вариант с электрическими полями, проходящими перпендикулярно направлению волновода.

Фиг.4 - вариант со "свернутым" ходом лучей.

Фиг.5 - адаптивный компенсатор.

Фиг.6 - эмулятор.

Фиг. 7 - вариант соответствующего изобретению компенсатора дисперсии мод поляризации с другим кристаллическим срезом.

Фиг.8 - другой вариант без перекрещивания электродов.

Фиг.9 - вариант с заземленным электродом без штырей.

Фиг.10 - вариант с оптическим усилителем.

Фиг.11 - фрагмент варианта по фиг.10.

Фиг.12 - вид в разрезе с волноводом, погруженным в подложку.

Фиг.13 - вариант с двухмодовым волноводом.

На фиг.1 показан соответствующий изобретению компенсатор ДМП, обозначенный как TRF1. Он реализован как интегральная схема CH1 на подложке SUB из ниобата лития. В качестве материала подложки могут быть использованы танталат лития или иные подобные материалы с двойным лучепреломлением.

Кристаллографические оси Y и Z лежат в плоскости чертежа, а кристаллографическая ось X входит в плоскость чертежа. На поверхности кристалла посредством диффузии титана выполнен волновод WG. Волновод WG является одномодовым, так что ТЕ (поперечные электрические) и ТМ (поперечные магнитные) волновые моды

могут распространяться при разности в коэффициентах преломления примерно 0,07.

На поверхности подложки SUB напылены электропроводные встречно-штыревые электроды гребенчатой формы, штыри которых размещены поперек волновода. Электрод М также со штырями, расположенными поперек волновода, проходит в виде меандра по всему кристаллу и может быть связан с массой (электрод заземления). Остальные гребенчатые электроды E_{ij} ($i=1, 2; j=1, 2, \dots, n$) преобразования мод изолированы один от другого. Напряжение U_{ij} на электроде вырабатывает электрическое поле в волноводе WG, которое периодически распространяется в направлении распространения Y или противоположно ему. Непосредственно под электродами оно распространяется периодически в направлении X или противоположно ему. Оптическая волна или соответственно оптический сигнал OS проходит по кристаллу от входа IN к выходу OUT. Длина L периода между отдельными штырями электродов выбирается примерно равной длине волны биений между TE- и TM-волнами. Длина волны биений представляет собой ту длину, при которой элемент замедления с TE- и TM-волнами в качестве собственных мод обеспечивает задержку фазы как раз на 360° между этими собственными модами. При смешанных поляризациях они повторяются периодически на расстояниях целого кратного длины волны биений. При длине оптического волновода 1550 нм длина волны биений в ниобате лития составляет примерно 21 мкм. Ширина штырей и расстояние между электродами выбираются поэтому равными примерно $L/4$. Тем самым получают равномерную структуру, в которой ширина штырей и расстояние между штырями имеют одинаковую величину. Чтобы иметь возможность осуществления преобразования TE-волны в TM-волну с переменной фазой, спустя несколько периодов штырей соответственно предусмотрены чередующиеся дополнительные промежутки величиной $L/4$ и $3L/4$. Тем самым получают фазовые задержки между TE- и TM-волнами, равные 90° и соответственно 270° - за счет последней первая вновь отменяется - так что преобразование TE-волны в TM-волну осуществляется с различным фазовым углом. Это поясняется ниже более подробно. В случае волны чисто TE-типа на входе компенсатора ДМП или некоторой его части, на выходе возникает также волна чисто TE-типа, пока к электродам не приложены управляющие напряжения. При соответственно выбранных управляющих напряжениях входная TE-волна преобразуется в чистую TM-волну. При уменьшении таких управляющих напряжений на выходе образуется смесь TE- и TM-волн, разность фаз которых может свободно выбираться. В частности, при половинных управляющих напряжениях устанавливается выходное состояние поляризации, которое может устанавливаться между линейной со сдвигом 45° , круговой правого вращения, линейной со сдвигом -45° , круговой левого вращения и вновь линейной со сдвигом 45° . Заземленные электроды М имеют в этих местах полную ширину примерно $L/2$ и

соответственно L (заземленные электроды между электродами мод и ячейками могли бы в принципе выполняться и более узкими или могли бы быть заменены припаиваемыми проводами).

По меньшей мере два электрода E_{1j} и E_{2j} ($j=1, 2, \dots, n$), включая относящиеся к ним сегменты заземленных электродов, перемежающиеся с электродами E_{ij} и соответственно E_{2j} , могут обозначаться как ячейки Pj. Ячейка может также определяться как электрод преобразователя мод - в качестве преобразователя мод. Если электроды преобразователя мод имеют различные позиции, определяемые по модулю половины длины волны биений материала подложки, то речь идет о преобразователе мод, в котором могут выбираться не только величина и знак, но и фаза преобразования мод. Ячейки, сформированные с двумя электродами, могут управляться с использованием пары управляющих напряжений, которые зависят от двух параметров. Примеры осуществления ограничены подобными ячейками. Однако принципиально возможны и ячейки, отличающиеся по величине, сформированные с различными электродами и/или с различающимся количеством электродов, или с различными конфигурациями электродов преобразователя мод. Каждый преобразователь поляризации, реализованный в материале подложки с двойным лучепреломлением, может представлять собой ячейку.

В рассматриваемом примере осуществления предусмотрено n ячеек, причем число n реально может выбираться в пределах от 25 до 50. Напряжения на электродах E_{1j} и E_{2j} ячеек не являются, однако, идентичными или, как описано в работе Proc. 4th European Conference on Integrated Optics (ECIO'87), Glasgow, UK, 11. -13.05.1987, pp. 115-118, не изменяются по синусоиде в функции продольных координат, а свободно устанавливаются индивидуально или группами.

Возможность свободной установки группами означает следующее. Например, напряжения U_{1j} , $U_{1(j+1)}$, $U_{1(j+2)}$, ..., $U_{1(j+9)}$, ($j=1, 11, 21, \dots$) на электродах идентичны, как и напряжения U_{2j} , $U_{2(j+1)}$, $U_{2(j+2)}$, ..., $U_{2(j+9)}$, ($j=1, 11, 21, \dots$) на электродах. В этом примере, следовательно, электроды типа E_{1j} из соответственно десяти соседних ячеек запитываются одинаковым напряжением, как и электроды типа E_{2j} из соответственно десяти соседних ячеек. Это легко реализовать с помощью проводящих соединений между электродами. Граница варьировости параметров компенсатора ДМП определяется электрической прочностью межэлектродных промежутков. В идеальном случае преобразования поляризации могут выполняться на любой малой длине, из-за чего, однако, необходимы соответственно высокие напряжения. Поэтому при изготовлении следует обращать внимание на электрическую прочность. Это может обеспечиваться путем нанесения изолирующих слоев на поверхность кристалла.

В то время как в известных конструкциях с помощью двух выбираемых напряжений преобразователя мод или параметров

напряжений преобразователя мод для одной оптической частоты можно определить только одно преобразование поляризации, которое имеет две степени свободы, в то время как преобразования поляризации для всех других оптических частот следуют из них, в соответствии с изобретением посредством каскадного соединения множества электродов преобразователя мод, ячеек или групп ячеек, которые могут управляться индивидуально или индивидуально группами, в общем случае соответственно двумя выбираемыми напряжениями преобразования мод, могут задаваться преобразования поляризации независимо одно от другого на множестве оптических частот в широких границах. Это справедливо также для других примеров осуществления изобретения, причем в примере, показанном на фиг.3, вместо двух предусмотрено соответственно по три управляющих напряжения и тем самым три степени свободы на ячейку. В данном примере дополнительная степень свободы относится не к преобразованию мод, а к дифференциальному фазовому сдвигу. Последнее может использоваться для выбора рабочей длины волны. Разумеется, она оказывает влияние и на вырабатываемую или компенсируемую ДМП, однако изменения ДМП, достижимые в окрестности оптимально установленной рабочей длины волны за счет дифференциального сдвига фаз, как правило, достижимы и путем управления электродами преобразования мод. Существенной причиной применения дифференциального сдвига фазы является согласование компенсатора ДМП с желательной рабочей длиной волны.

Один единственный преобразователь мод, который реализован в материале подложки с двойным лучепреломлением, и фаза преобразования мод которого может быть установлена посредством двух параметров в фазе и в квадратуре, может оказывать благоприятное влияние на ДМП или даже осуществлять компенсацию только в особых случаях. Для технической целесообразной компенсации ДМП он не пригоден.

В соответствии с изобретением добавляется, однако, по меньшей мере еще один преобразователь мод, который имеет по меньшей мере еще одно дополнительное управляющее напряжение, причем всего по меньшей мере три управляющих напряжения, служащие для преобразования мод, всех применяемых преобразователей мод определяются по меньшей мере тремя параметрами. В простейшем случае параметры идентичны применяемым управляющим напряжениям. Целесообразное нижнее предельное значение количества управляющих напряжений равно от 4 до 6, т. е. охватывает по меньшей мере две ячейки по меньшей мере соответственно с двумя электродами преобразователя мод. Предпочтительные варианты осуществления используют по меньшей мере 10 различных управляющих напряжений.

Если пользователь может пойти на усложнение монтажа проводников интегральной схемы, например, за счет перекрещивания электрических проводников, то можно с использованием изолирующих слоев реализовать варианты TRF2 по фиг.2. Штыри электродов E11 и E12, E21 и E22,... E_{n1} и E_{n2} мод расположены в этом случае

соответственно друг за другом между двумя штырями заземленного электрода M. При равной максимальной напряженности продольного электрического поля этот вариант преобразования поляризации можно выполнить на несколько более коротком участке, чем в случае компенсатора ДМП по фиг.1, и обеспечить большую варьированность преобразований поляризации при одинаковой общей длине кристалла CH₂. Периодичность штыревых электродов составляет L. Их ширина и расстояние между электродами составляют примерно L/6. Не требуется вводить расстояния большей величины или значения ширины для заземленного электрода.

Еще один пример осуществления TRF3 преобразователя представлен на фиг.3. Также может быть предпочтительным введение TE-TM-сдвига фаз (см. IEEE Journal of Quantum Electronics, V. 25, No.8, pp. 1898-1906) с помощью электрических полей, проходящих перпендикулярно волновому вдоль оси Z кристалла. Предпочтительным является достижимое за счет этого преобразование эллиптической поляризации, характеризующееся тремя степенями свободы, которое при компенсации ДМП может обеспечить большую простоту реализации и прежде всего, как упомянуто выше, может обеспечить согласование компенсатора ДМП с желательной рабочей длиной волны; недостатком, однако, являются в этом случае меньшие электрооптические коэффициенты, которые позволяют реализовать только незначительные фазовые сдвиги. Ячейки PP_j (j=1, 2,... n) кристалла CH₃ содержат также электроды E_{1j}, E_{2j},... преобразователя мод, которые управляются напряжениями U_{1j}, U_{2j},... Между электродами преобразователя мод размещены электроды фазовращателя EP₁,..., которые управляются напряжениями U_{3j} (j=1, 2, ..., n). Эти напряжения могут выбираться индивидуально или индивидуально для групп, т. е. можно, например, выбрать идентичными напряжениями U_{3j}, U_{3(j+1)}, U_{3(j+2)},... U_{3(j+9)}, (j=1, 11, 21,...) групп, отличающихся различными индексами j внутри каждой группы. Секции фазовращателя электродов фазовращателя имеют различные длины, которые соответственно превышают или являются меньшими, чем целое кратное длины волны биений, на четверть длины волны биений, следовательно, равны L(N+1/4) или L(K-1/4), N, K=1, 2, 3,... Таким образом, как показано на фиг.1, гребенчатые электроды образуют две группы от E₁₁ до E_{1n} и от E₂₁ до E_{2n}, которые соответственно обуславливают преобразование TE-TM с одинаковой фазой. Поэтому при необходимости некоторые напряжения, приложенные к ячейкам соседних электродов группы, например, от U_{1,1} до U_{1,10}, от U_{1,11} до U_{1,20},..., а также от U_{1j} до U_{1(j+9)}, j=1, 11, 21, . . .) могут быть идентичными, как и напряжения от U_{2j} до U_{2(j+9)}, (j=1, 11, 21, ...). Если в получении этого преимущества нет необходимости, то все электроды могут, как показано на фиг.1 или 2, управляться индивидуально.

В интегральной оптике переходы между различными кристаллическими срезами и материалами являются общепринятыми. Например, в работе IEEE J. Lightwave

Technology, LT, No. 9, 1987, pp. 1229-1238 на показанной там фиг.3 представлен оптический элемент в интегральном исполнении, в частности модулятор, который может быть выполнен как с использованием X-среза, так и с использованием Y-среза. В каждом примере при переходе от Z-среза к X-срезу конфигурация электродов изменяется, потому что затем должен использоваться тот же самый электрооптический коэффициент, и электрическое поле должно проходить вдоль той же оси кристалла, в указанном примере оси Z.

Примеры выполнения, показанные на фиг.1-3, могут применяться аналогичным способом, как показано на фиг. 7. На фиг.1-3 преобразователь мод должен производить преобразование мод между Z- и Y-поляризациями. В ниобате лития это происходит с применением электрооптического коэффициента r_{51} посредством квазистатического электрического поля в направлении X, периодического с длиной L волны биений оптического волновода WG с двойным лучепреломлением. В то время как варианты по фиг.1-3 также могут быть реализованы с применением ниобата лития с X-срезом и с Y-направлением распространения, пример осуществления TRF5 по фиг.7 может быть реализован, например, с использованием ниобата лития с Z-срезом и с Y-направлением распространения. Эта ориентация осей кристалла представлена на фиг.7. В то время как на фиг.1-3 периодические электрические поля, перпендикулярные плоскости чертежа, т.е. распространяющиеся вдоль оси X, обуславливают преобразование мод между осью X и осью Z, на фиг.7 это периодические электрические поля, проходящие в плоскости чертежа поперечно к волноводу WG, т.е. проходящие вновь вдоль оси X. Подходящая конфигурация в виде фрагмента подложки SUB показана на фиг.7. Представлен преобразователь мод PM_j ($j=1, \dots, n$), который при индивидуальном для групп управления представляет собой часть более крупного преобразователя мод. На каждой стороне волновода WG нанесены гребенчатые электроды EMC11j, EMC12j, EMC21j, EMC22j ($j=1, \dots, n$). Электроды EMC11j, EMC12j, EMC21j, EMC22j заканчиваются в поперечном направлении примерно на краях волновода WG, чтобы обеспечить по возможности большее перекрытие оптических и электрических полей. Между поверхностью кристалла и электродами, а также для необходимой изоляции между перекрещивающимися электродами могут наноситься обычные изолирующие буферные слои, например, из SiO_2 . Электроды EMC11j, EMC12j нагружены на одной стороне напряжениями $V1j$ и соответственно $-V1j$. Электроды EMC21j, EMC22j нагружены на другой стороне напряжениями $V2j$ и соответственно $-V2j$. Они по отношению к электродам на вышеупомянутой стороне сдвинуты на четверть $L/4$ длины волны L биений для кристалла SUB с двойным лучепреломлением. При других расстояниях, отличных от $L/4$, соответствующие напряжения $V1j$ и $V2j$ находятся не в квадратуре, а имеют соответствующие другие фазовые углы преобразования мод со

двигом относительно друг друга. Также и расстояния между электродами на одной стороне волновода и ширина электродов составляют примерно $L/4$. Оба гребенчатых электрода на соответствующей стороне изолированы один от другого в местах пересечений с помощью изолирующего промежуточного слоя, имеют периоды длины волны L биений и смещены один относительно другого на половину $L/2$ длины волны L биений. С помощью напряжений $V1j$ и $V2j$ и зависящих от них инвертированных напряжений $-V1j$ и $-V2j$ (т.е. противоположных относительно напряжений $V1j$ и $V2j$) можно выполнить преобразование мод в фазе и в квадратуре, что обеспечивает бесконечное преобразование поляризации и бесконечный сдвиг фаз сигналов преобразованных мод.

В другом примере осуществления TRF7, показанном на фиг.8, один из электродов преобразования мод на одной стороне волновода опущен. На другой стороне оба электрода заменены на заземленный электрод EMC. Для повышения эффективности электрод EMC может иметь выступы, которые перекрываются с волноводом, но может и не иметь их (TRF7 на фиг.9). Данная конфигурация имеет то преимущество, что оставшиеся электроды EMC11j, EMC12j, EMC не перекрещиваются. Данный пример осуществления преобразователя мод PM_j ($j=1, \dots, n$) обеспечивает возможность преобразования мод также в обеих квадратурах, но только в том случае, если наряду с первым электродом EMC11j преобразователя мод с напряжением $V1j$ предусмотрен еще второй электрод EMC12j преобразователя мод с напряжением $V2j$. Оба электрода на кристалле SUB смещены один относительно другого в направлении распространения Y на нечетное кратное $3L/4$ четверти $L/4$ длины волны L биений. Для достижения большей свободы выбираемой степени преобразования мод в фазе и в квадратуре, имеются множество преобразователей мод PM_j ($j=1, \dots, n$), предпочтительно с расстояниями между электродами, равными целому кратному (или половине целого кратного) длины волны L биений, выбранными в качестве расстояния между электродом EMC11j и соответствующим электродом EMC11(j+1) последующего преобразователя мод $PM(j+1)$. Данное каскадное соединение осуществляется аналогично показанному на фиг.1.

Большая ширина полосы, чем в ниобате лития, но при пониженной возможности компенсации ДМП, может быть достигнута, например, с помощью танталата лития, который обладает более низким двойным лучепреломлением и соответственно большей длиной волны L биений.

Альтернативная форма выполнения преобразователей мод, которые похожи на примеры выполнения по фиг. 7 и 8, но могут применяться специально для III/V-полупроводников, таких как GaAs и InP, описана в материалах конференций: European Conference on Integrated Optics ECIO 1987, Glasgow, 11-13 Mai 1987, pp. 115-118; European Conference on Optical Communications 1990, pp. 309-312. С помощью III/V-полупроводников могут также быть реализованы оптические усилители. Этим

обеспечивается то преимущество, что затухание компенсаторов ДМП может быть скомпенсировано уже на кристалле. В качестве недостатка следовало бы отметить то, что усиление в III/V-полупроводниках является, в числе прочего, поляризационно-зависимым. Однако возможно, например, с помощью различным образом деформированных потенциальных ям построить усилители, которые усиливают ТЕ-волны сильнее, чем ТМ-волны. За счет каскадного соединения двух противоположно конфигурированных усилителей, усиление которых можно отрегулировать с помощью токов накачки, можно реализовать поляризационно-нечувствительное усиление. Так как затухание в III/V-материалах зависит от поляризации в более высокой степени, чем, например, в случае ниобата лития, то указанная зависимость от поляризации может быть исключена за счет использования зависимости от поляризации противоположного знака для встроенного оптического усилителя (усилителей).

Кроме того, в оптическом канале передачи имеются помехи, зависящие от поляризации, так называемые поляризационно-зависимые потери (ПЗП). Они возникают, например, из-за поляризационно-зависимых элементов развязки или элементов связи. Если ПЗП действуют в присутствии ДМП, то возникают дополнительные потери при передаче. В специальном примере осуществления компенсатора дисперсии мод поляризации TRF8, согласно фиг.10, на подложке SUB наряду с преобразователями мод PHLj ($j=1, \dots, n$) предусмотрены также оптические усилители OVj ($j=1, \dots, n$). На фиг.11 представлен более детальный фрагмент варианта по фиг.10, на котором показан определенный преобразователь PHLj мод и оптический усилитель OVj, включенный перед преобразователем или после него. Первый получает управляющие сигналы VPHLip ($j=1, \dots, n$; $p=1, \dots, f$). Индекс p с максимальным значением f относится к числу имеющихся в соответствующем преобразователе PHLj мод управляющих сигналов преобразователя мод. Последние получают сигналы накачки OVPmj ($m=1, \dots, 2$; $j=1, \dots, n$).

Посредством ввода сигналов накачки OVM1j обеспечивается большее влияние на усиление ТЕ-волны, а посредством ввода сигналов накачки OVM2j - большее влияние на усиление ТМ-волны. Сигналы OVM1j, OVM2j могут также вырабатываться за счет соответствующих комбинаций, например, линейных комбинаций сигналов OVMVj, OVDVj, из которых один - OVMVj, по меньшей мере приближенно, оказывает влияние только на среднее усиление, а другой - OVDVj, по меньшей мере приближенно, оказывает влияние только на дифференциальное усиление ТЕ-ТМ-волн. Эти комбинации могут формироваться в вычислительном блоке RW, реализованном, например, как показано на фиг.10, на сопроствлениях и операционных усилителях или с помощью программы микропроцессора. В соответствии с изобретением за счет вариаций сигналов OVDVj дополнительно к сигналам VPHLij преобразователя PHLj мод наряду с ДМП также компенсируются ПЗП.

В данном примере осуществления вместо

отражателей по фиг.4 могут быть предусмотрены, как показано на фиг.10, закругления KR1, KR2 волновода WG для отклонения луча. Такие закругления могут быть реализованы с использованием материалов, характеризующихся шириной запрещенной зоны (см. Electronics Letters, 15 April 1999, V. 35, No.8, pp. 654-655).

Компенсация или выработка ПЗП совместно с компенсацией и эмуляцией ДМП в общем случае не ограничивается реализацией только на полупроводниковых материалах или на материалах с оптическими усилителями. И в пассивных материалах, как, например, в ниобате лития можно использовать дихроичные элементы OVj, как, например, все поляризационно-зависимые элементы связи, степень связи которых может изменяться электрооптическим способом, или поляризационно-зависимые интерферометры, таким образом, что посредством управляющих сигналов OVDVj можно устанавливать разницу в затухании определенных поляризованных ортогонально друг к другу волн, в особенности, ТЕ и ТМ. В этом случае фиг.10 иллюстрирует блок-схему для таких примеров осуществления изобретения.

На фиг.4 представлен пример выполнения TRF4 компенсатора ДМП со свернутым ходом луча волновода WG. Концы кристалла SN4 снабжены металлическими или диэлектрическими зеркалами MI. Непосредственно перед попаданием на зеркало волновод WG закругляется, так что осуществляется в максимальной степени идеальное отражение и ввод в последующий участок волновода. Металлизированное зеркало может быть заменено на элемент связи, в центре которого находится зеркало. Это снижает требования к точности продольного положения зеркала MI, но обуславливает при неточном изготовлении сильные нежелательные отражения.

В области входа IN и выхода OUT концы волновода срезаны под углом, например, от 6 до 8°, так что может осуществляться переход почти без отражений между волноводом WG и внешним волноводом из кварцевого стекла. Косые срезы можно использовать и для кристаллов, показанных на фиг.1 и 2. Кроме того, могут использоваться и другие переходы с пониженными отражениями, например, с использованием диэлектрического зеркального отражателя. Отдельные ячейки P1, P2, Pj, Pn могут выполняться, как показано на фиг.1-3.

Следует также отметить, что существует возможность за счет температурного изменения кристалла изменить режим преобразования. Если этот эффект нежелателен, то температуру кристалла необходимо поддерживать постоянной или учитывать путем включения в процедуру регулирования.

Фиг. 5 иллюстрирует применение TR в качестве адаптивного компенсатора ДМП. Показан канал передачи с оптическим передатчиком TR, канал передачи, реализованный на оптическом волноводе LWL, и оптический приемник RX. Приемник содержит фотодиод PD, на выходе которого включен решающий блок DFF. С выхода OD решающего блока выдается передаваемый сигнал данных.

Перед фотодиодом включен компенсатор ДМП для компенсации дисперсии мод поляризации оптического сигнала OS. Дополнительные детали, такие как усилители, не показаны в целях обеспечения наглядности чертежа.

Критерий регулирования получают, например, из сигнала ВВ основной полосы, получаемого с выхода фотодиода. Это осуществляется, например, посредством фильтра FI1, который выполнен в виде полосового фильтра с резонансной частотой, равной примерно половине частоты следования символов передаваемых (двоичных) данных. Это целесообразно в том случае, когда максимальные значения ДМП меньше длительности символа сигнала данных. Фильтр может также выполняться в виде фильтра нижних частот, граничная частота которого составляет примерно от $1/10$ до $1/4$ частоты следования символов. Тем самым можно однозначно определять и большие значения ДМП. После фильтра включен первый детектор DET1, например, выпрямитель. Полученное таким образом напряжение U1 подается к регулятору MP, предпочтительно микропроцессору с аналого-цифровым и цифроаналоговым преобразователями, а также операционным усилителям для управления компенсатором С дисперсии мод поляризации.

Чтобы иметь возможность однозначно определять как большие, так и малые значения ДМП, могут предусматриваться дополнительные фильтры и детекторы FI2 и DET2.

При применении полосового фильтра выходное напряжение U1 максимально тогда, когда мгновенный размах сигнала ВВ основной полосы максимален. Это соответствует случаю неискаженной оптимальной передачи. И при применении фильтра нижних частот выходное напряжение U2 детектора максимально, если мгновенный размах сигнала основной полосы максимален.

Выходные сигналы регулятора представляют собой напряжения U_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1, 2, \dots, n$), которые необходимы для компенсатора ДМП. Регулятор MP изменяет напряжения U_{ij} по отдельности или группами. Сохраняются те напряжения, посредством которых могут быть получены максимально возможные выходные напряжения детекторов. Таким путем производится оптимальная компенсация дисперсии мод поляризации в канале передачи с помощью компенсатора ДМП.

Использование компенсатора ДМП в качестве эмулятора EMU иллюстрируется на фиг. 6. С помощью устройства настройки ER микропроцессор MP1 получает сигналы, которые он преобразует в соответствующие управляющие напряжения U_{ij} . Управляющие напряжения U_{ij} в простом варианте могут устанавливаться потенциометром.

Вводимые от передатчика TR оптические сигналы преобразуются на выходе OE усилителя OV, который также может отсутствовать.

Помимо упомянутого ниобата лития, танталата лития и III/V-полупроводников, имеется еще множество других возможностей для реализации компенсаторов ДМП на кристалле или подложке SUB. Кристалл/подложка могут иметь двойное

лучепреломление, так что волновод WG обладает двойным лучепреломлением, но кристалл/подложка могут также не иметь двойного лучепреломления (быть изотропными), если волновод WG сам выполнен из материала с двойным лучепреломлением.

Например, волновод WG может состоять из жидкого кристалла или из жидкого или твердого полимера. Для изготовления волноводный канал формируется в материале подложки. В случае необходимости, осуществляется первоначальная ориентация этого волноводного материала за счет приложения электрических полей.

В примере осуществления, показанном на фиг.12, на виде в сечении торцевой плоскости можно видеть кристалл/подложку SUB, предпочтительно из полимера, с наложенной накрывающей платой CD. Оси X и Z кристалла волновода WG расположены, как показано на фиг. 1-3; на этих чертежах представлен пример осуществления по фиг.11 на виде сверху, без накрывающей платы CD. В других примерах осуществления, например по фиг.7-10, оси кристалла могут располагаться и иным образом. Также и накрывающая плата CD может выполняться из полимера. Кроме того, в числе материалов для изготовления подложки и накрывающей платы можно назвать такие материалы, как кварцевое стекло (SiO_2) и кремний, а также другие материалы с малым оптическим затуханием.

Известен способ изготовления волноводов и V-образных пазов для сочленения оптических волноводов посредством холодной штамповки, которые выдавливаются в полимерах (см. Electronics Letters, 9 July 1998, V. 34, No.14, pp. 1396-1398, а также приведенные там ссылки на техническую литературу).

Твердые полимеры с хорошими электрооптическими коэффициентами r_{33} упоминаются в материалах Европейской конференции по оптическим системам связи (см. 24th European Conference of Optical Communications, Madrid, 20-24 September 1998, pp. 501-502). Для требуемого здесь применения необходимы, однако, другие электрооптические коэффициенты.

Согласно еще одному варианту осуществления, показанному на фиг.11, оптический волновод WG состоит из сегнетоэлектрического жидкого кристалла, который обладает двойным лучепреломлением. Волновод размещен в выемке полимерной подложки на поверхности полимерной подложки. Изготовление такой выемки может быть реализовано с помощью металлического штампа в процессе изготовления подложки или после этого. На накрывающей плате размещены электроды EL_{ij}, M, выполненные, например, путем напыления. Поскольку значительная часть оптического поля излучает в направлении электродов, что имеет место для случая, показанного на чертеже, для электродов следует применять материал с низкими потерями, такой как оксид индия-цинка (ITO). Электроды имеют также подводящие проводники, так что к ним может быть извне приложено напряжение.

Сегнетоэлектрический жидкий кристалл

ориентируется таким образом, что он без приложения электрических полей между электродами для поперечных электромагнитных полей в направлении Z (в плоскости чертежа для правой его части) обладает коэффициентом преломления, отличным от коэффициента преломления для направления X (см. левую часть чертежа). За счет электростатических составляющих поля в направлении Y главные оси двойного лучепреломления изменяются. Угловое изменение положения главных осей обозначается как угол наклона. Оно в случае переключателей Кларка-Лагервола изменяется значительно, но не без гистерезиса; в случае деформированных по спирали сегнетокристаллических жидких кристаллов (ДС-СЖК) оно изменяется также значительно, а в случае жидких кристаллов переходной формы - слабее, но относительно быстро. Для данного конструктивного элемента наиболее подходящими кандидатами для использования являются жидкие кристаллы с деформацией по спирали и жидкие кристаллы переходной формы. Эффекты электропереходов описаны, например, в *Physical Review Letters*, V. 38, 1977, p. 848. Сегнетоэлектрический эффект при деформации по спирали описан в *Liquid Crystals*, V. 5, 1989, p. 1171. Представительный обзор сегнетокристаллических жидких кристаллов содержится в работе: "Ferroelectric Liquid Crystals - Principles, Properties and Applications", V. 7, "Ferroelectricity and Related Phenomena", Editor George W. Taylor, Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 2-88124-282-0.

Другие функции данного примера осуществления изобретения уже описывались со ссылками на фиг.1-3.

Так как различие в коэффициенте преломления между обоими собственными модами (X-поляризованной и Z-поляризованной) может быть больше, чем в ниобате лития, то при заданной длине конструктивного элемента получают большее значение дифференциального группового времени, что является выгодным для компенсации ДМП. Дополнительное преимущество заключается в большем электрооптическом коэффициенте сегнетоэлектрического жидкого кристалла. Тем самым обеспечивается возможность использования очень малого числа и/или очень коротких электродов ELij, что позволяет увеличить их ширину полосы и, например, обойтись без температурной стабилизации.

Электроды или части электродов, в том числе в случаях других конфигураций электродов, отличных от показанных на фиг.1-3, также можно разместить на подложке SUB.

Кроме того, можно нанести дополнительные электроды, которые облегчают начальную поляризацию жидкого кристалла. Чтобы выработать электрическое поле, проходящее в направлении X, согласно фиг.11, предусмотрены электроды PE1, PE2 большой площади на внешних сторонах половин подложки SUB, CD, или конструктивный элемент должен быть размещен на одном или между двумя электродами большой площади. Возможно

также покрытие "пола" (основания) оптического волновода сплошным электродом. Чтобы выработать поле, проходящее в направлении Z, предусмотрены электроды слева и справа рядом с волноводом на частях подложки SUB или CD. В случае их размещения на части подложки SUB первоначальная поляризация может также осуществляться без использования накрывающей части CD подложки, так что находящиеся там электроды не могут создавать помех прохождению в направлении Z поляризуемого поля.

Перспективная возможность поляризации состоит в том, чтобы одну или несколько стенок волновода обработать химически, термически или механически или покрыть слоем. Дополнительные степени свободы в создании различных форм реализации обусловлены значительным электрооптическим эффектом в сегнетоэлектрических жидких кристаллах. Гребенчатые электроды могут за счет этого сократиться до одного штыря. Тем самым увеличивается оптическая ширина полосы. Дополнительное следствие высокого электрооптического коэффициента состоит в том, что лишь части волновода необходимы для преобразования поляризации, например, от 10 до 200 мкм на каждые 100-2000 мкм. Тем самым создается возможность использования других, например с более сильным двойным лучепреломлением или с меньшим затуханием, материалов для частей волновода, расположенных между преобразователями поляризации. При этом могут использоваться твердые или жидкие полимеры, нематические жидкие кристаллы и другие подобные материалы.

При применении полимеров или кремния в качестве подложки, для соединения устройства, соответствующего изобретению, с оптическими волноводами из кварцевого стекла могут быть отформованы или вытравлены анизотропным образом V-образные пазы, которые позволяют сэкономить на активной юстировке и тем самым обеспечивают более экономичное изготовление. Технология изготовления волноводов из кремния или кварцевого стекла описана, например, в материалах Европейской конференции по оптическим системам связи (см. 24th European Conference of Optical Communications, Madrid, 20-24 September 1998, pp. 319-328 и другие указанные там источники).

В вариантах осуществления по фиг.1-3 требуется электрооптический коэффициент r_{51} , который может изменять поляризацию за счет вертикального электрического поля. Также мог бы применяться коэффициент r_{52} , который применяется посредством продольного электрического поля. Для изменения ориентации кристаллических осей на противоположную можно в необходимом случае применять другие электрооптические коэффициенты, например, r_{42} или r_{41} для Y-среза и направления распространения по оси X; r_{43} или r_{41} для Z-среза и направления распространения по оси X; r_{53} или r_{52} для Z-среза и направления распространения по оси Y.

До сих пор речь шла о материалах с двойным лучепреломлением, используемых для компенсации ДМП. Двойное

лучепреломление в волноводе зачастую достигается просто за счет двойного лучепреломления в материале подложки. Достаточно, если материал подложки или сам волновод обладает двойным лучепреломлением.

Обобщая принцип действия, можно заключить, что для компенсации или эмуляции ДМП пригодно любое устройство, в котором возможно преобразование между двумя модами, имеющими различные скорости распространения, для компенсации ДМП. Вместо основных состояний поляризации в общем случае используются основные моды. Это те моды, которые проявляют максимально возможное различие в групповом времени распространения. При однородном в продольном направлении варианте выполнения основные моды (и основные состояния поляризации) идентичны собственным модам.

В примере выполнения TRF9 на фиг.13 представлен кристалл ниобата лития X-среза с направлением распространения по оси Z. Возможны и другие срезы кристалла или материалы. Он содержит двухмодовый волновод WG. Волновод WG в свою очередь включает в себя два волновода WG1, WG2. Они имеют различную ширину, так что характеризуются различным групповым временем распространения. Они проходят в материале с протонным обменом, так что в волноводах WG1, WG2 может распространяться соответственно только волна с одной поляризацией, и, следовательно, волновод WG является только двухмодовым, а именно, обеспечивает распространение своих двух основных мод. По волноводу WG распределены преобразователи мод (P1, ...Pj,...,Pn). Они имеют в данном срезе кристалла соответственно по два электрода E1j, E2j (j=1...n), проходящие по существу параллельно волноводам WG1, WG2, и вырабатывают в области WG1, WG2 соответственно горизонтальные электрические поля, за счет чего обеспечивается дифференциальный сдвиг фаз между обеими волноводными модами. За счет изменения управляющего напряжения между электродами E1j, E2j изменяется связь между обоими волноводами, так что волноводные моды могут более или менее интенсивно преобразовываться одна в другую. Чтобы компенсировать ДМП, перед этим устройством или после него включаются поляризационные делители луча PBS1, PBS2.

Формула изобретения:

1. Способ компенсации дисперсии мод поляризации (ДМП), при котором в устройство, содержащее оптический волновод (WG) с двумя основными модами, имеющими различные постоянные распространения, и множество электрооптических преобразователей мод (P1, ... , Pj, ... , Pn; E11, E21, ...), служащих для преобразования основных мод волновода одна в другую, вводится оптический сигнал (OS), подлежащий компенсации, отличающийся тем, что более двух электрооптических преобразователей мод (P1, ... , Pj, ... , Pn; E11, E21, ...) или более двух групп электрооптических преобразователей мод управляются индивидуально с помощью более чем двух, из

более чем двух управляющих напряжений, определяющих параметры, таким образом, что дисперсия мод поляризации оптического сигнала (OS) компенсируется.

5 2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что обе основные моды представляют собой ортогональные основные поляризации, причем волновод (WG) обладает двойным лучепреломлением.

10 3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что в устройстве с дополнительными дифференциальными фазовращателями (EP1, ... EPn) упомянутые фазовращатели в отдельности и/или группами управляются индивидуально таким образом, что наряду с компенсацией дисперсии мод поляризации выбирается и рабочая длина волны.

15 4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что в направлении приема (RX) в качестве критерия регулирования для компенсации применяется по меньшей мере одно из управляющих напряжений (U1, U2), которые получают путем фильтрации и выпрямления сигнала основной полосы (BB).

20 5. Компенсатор дисперсии мод поляризации (TRF1, ... TRF8), содержащий волновод (WG) с двумя основными модами, имеющими различные постоянные распространения, через который проходит оптический сигнал (OS), с множеством электрооптических преобразователей мод (P1, ... , Pj, ... , Pn; E11, E21, ...), служащих для преобразования основных мод волновода одна в другую, отличающийся тем, что более двух электрооптических преобразователей мод (P1, ... , Pj, ... , Pn; E11, E21, ...) или более двух групп электрооптических преобразователей мод выполнены индивидуально управляемыми для компенсации дисперсии мод поляризации.

25 6. Компенсатор ДМП (TRF1, ... TRF8) по п. 5, отличающийся тем, что по меньшей мере один преобразователь мод содержит электрод (Eij, EMCkij; k= 1,2; i= 1,2; j= 1,2, ... n; M, EMC) преобразователя мод, который выполнен гребенчатым со штырями, проходящими поперек волновода (WG).

30 7. Компенсатор ДМП (TRF1, ... TRF5) по п. 5 или 6, отличающийся тем, что образованы соответствующие ячейки (Pj) по меньшей мере из двух электродов (Eij, i= 1,2; j= 1,2, ... n) преобразователя мод.

35 8. Компенсатор ДМП (TRF1, ... TRF4) по п. 6 или 7, отличающийся тем, что между следующими друг за другом электродами (Eij и E2 или E2j и E1(j+1)) предусмотрены переменные расстояния.

40 9. Компенсатор ДМП (TRF1, ... TRF5) по любому из пп. 6-8, отличающийся тем, что штыри по меньшей мере двух электродов (E12, E22, ... Eij; i= 1,2; j= 1,2, ... n) преобразователя мод ячейки перемежаются друг с другом.

45 10. Компенсатор ДМП (TRF1, ... TRF6) по любому из пп. 5-9, отличающийся тем, что содержит заземленный электрод (M), выполненный также гребенчатым, причем его штыри и штыри электродов (E12, E22, ... Eij; i= 1,2; j= 1,2, ... n) преобразователя мод ячейки перемежаются друг с другом.

50 11. Компенсатор ДМП (TRF2) по п. 10, отличающийся тем, что соответственно в одной ячейке (PVj) из двух электродов (Eij,

$i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, n$) преобразователя мод между двумя штырями заземленного электрода (М) размещены два штыря - по одному от каждого электрода ($E1i$ и $E1j$) преобразователя мод.

12. Компенсатор ДМП (TRF3) по любому из пп. 5-11, отличающийся тем, что между электродами ($E1i$ и $E1j$) преобразователя мод размещены более широкие электроды (EPj) фазовращателя, которые управляются индивидуально или в нескольких группах индивидуально для групп.

13. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по п. 12, отличающийся тем, что электрод (EPj) фазовращателя охватывает соответственно область между электродами преобразователя мод одной ячейки и область между двумя ячейками (P1, P2. . .).

14. Компенсатор ДМП (TRF8) по любому из пп. 5-13, отличающийся тем, что содержит по меньшей мере один оптический усилитель ($OVj; j = 1. . . n$).

15. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по любому из пп. 5-14, отличающийся тем, что содержит дихроичный элемент ($OVj; j = n$), который характеризуется регулируемой разницей в усилении или ослаблении двух ортогональных поляризаций.

16. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по п. 15, отличающийся тем, что путем регулирования разности усилений или ослаблений двух ортогональных поляризаций обеспечивается компенсация

поляризационно-зависимого ослабления или усиления оптической среды передачи.

17. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по любому из пп. 5-16, отличающийся тем, что он реализован в виде кристалла или на подложке (SUB) из ниобата лития, танталата лития, III/V - полупроводников, кремния, двуокиси кремния или полимера.

18. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по п. 17, отличающийся тем, что волновод (WG) содержит полимер или жидкий кристалл.

19. Компенсатор ДМП (TRF4) по любому из пп. 5-18, отличающийся тем, что волновод (WG) по меньшей мере один раз свернут за счет использования отражения.

20. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по любому из пп. 5-19, отличающийся тем, что он предусмотрен в направлении приема (RX), причем по меньшей мере одно применяемое в качестве критерия регулирования напряжение ($U1, U2$) получают путем фильтрации и выпрямления сигнала основной полосы (BB).

21. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF6) по любому из пп. 5-20, отличающийся тем, что он предусмотрен в качестве внешнего настраиваемого эмулятора.

22. Компенсатор ДМП (TRF1. . . TRF8) по любому из пп. 5-21, отличающийся тем, что обе основные моды представляют собой ортогональные основные состояния поляризации, причем волновод (WG) обладает двойным лучепреломлением.

5

10

15

20

25

30

35

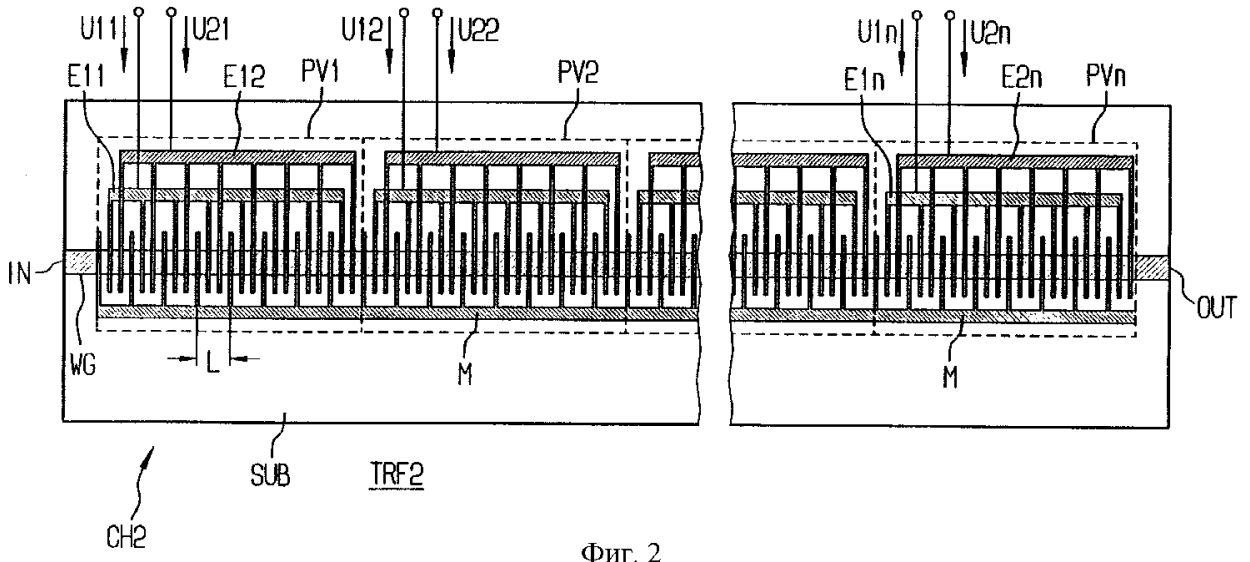
40

45

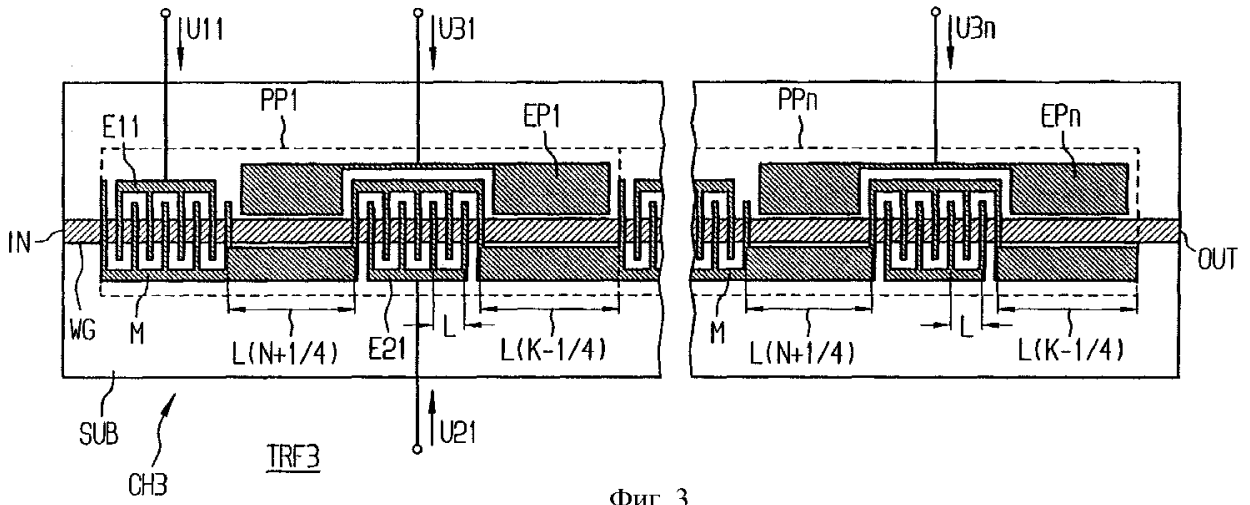
50

55

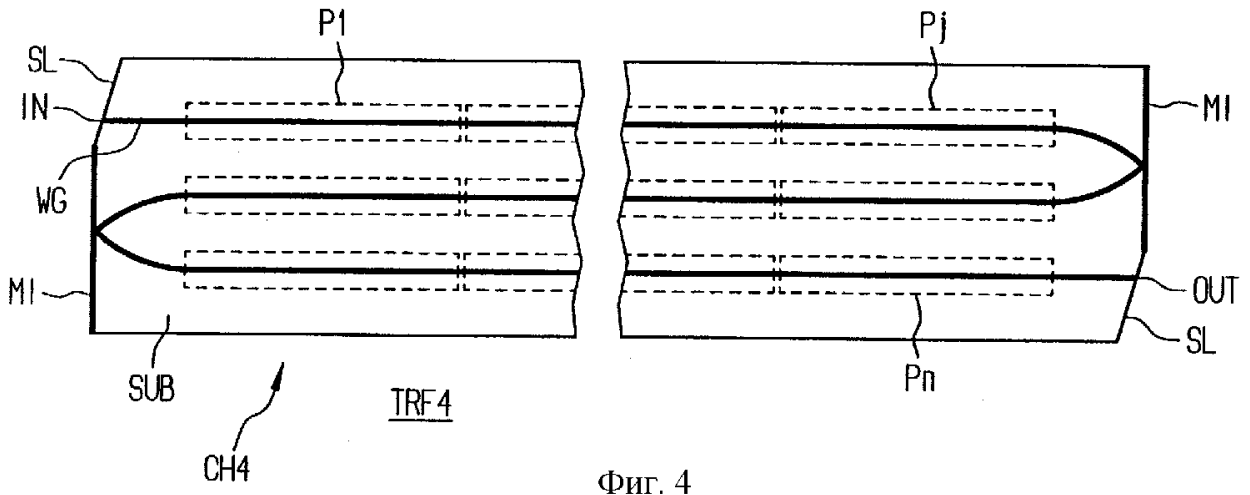
60



Фиг. 2



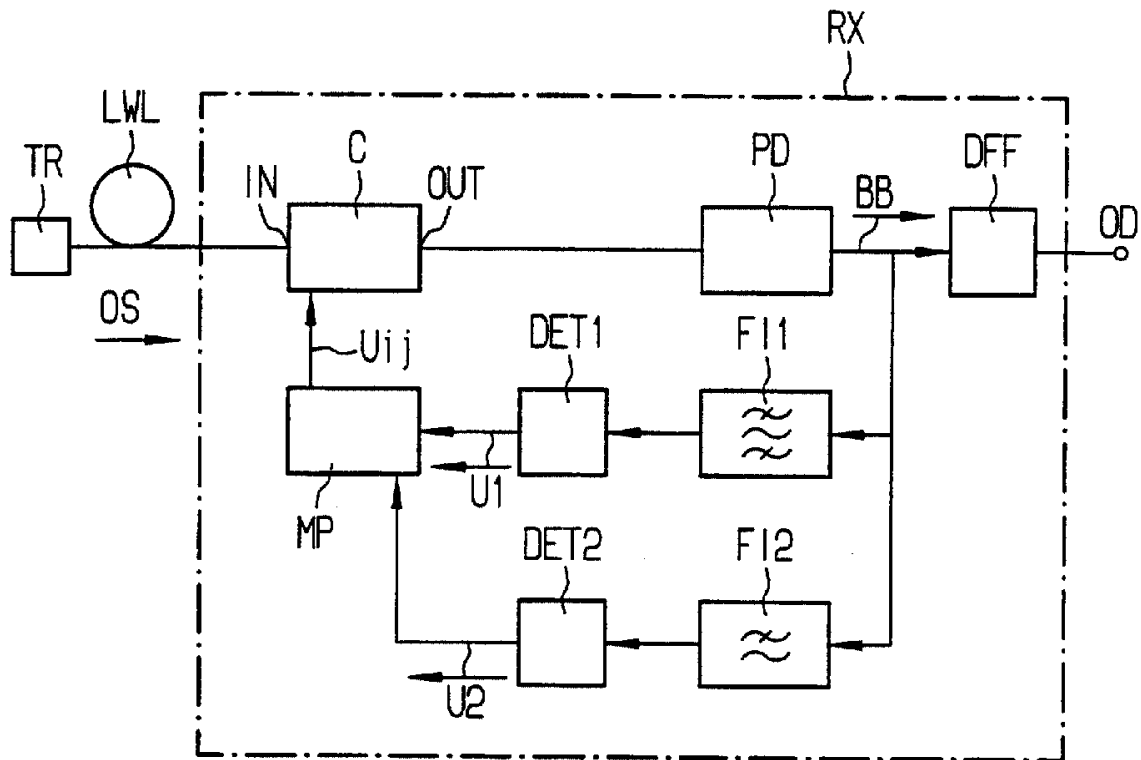
Фиг. 3



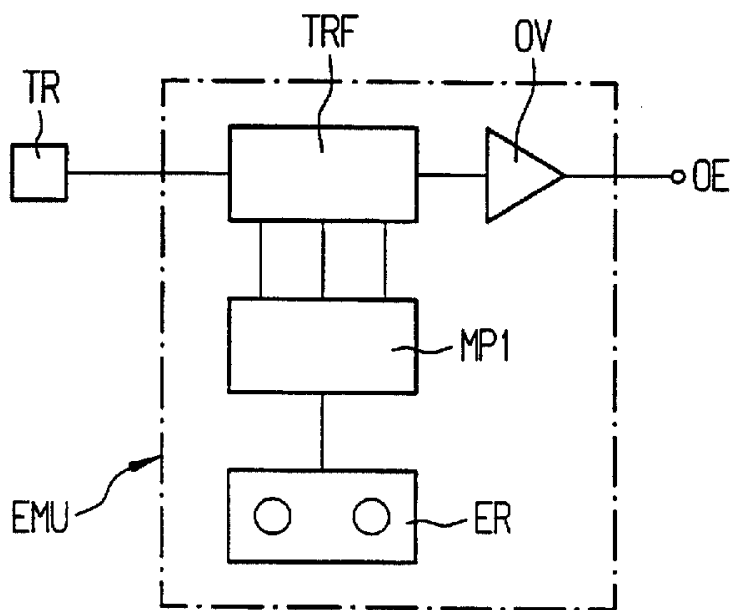
Фиг. 4

RU 2193792 C2

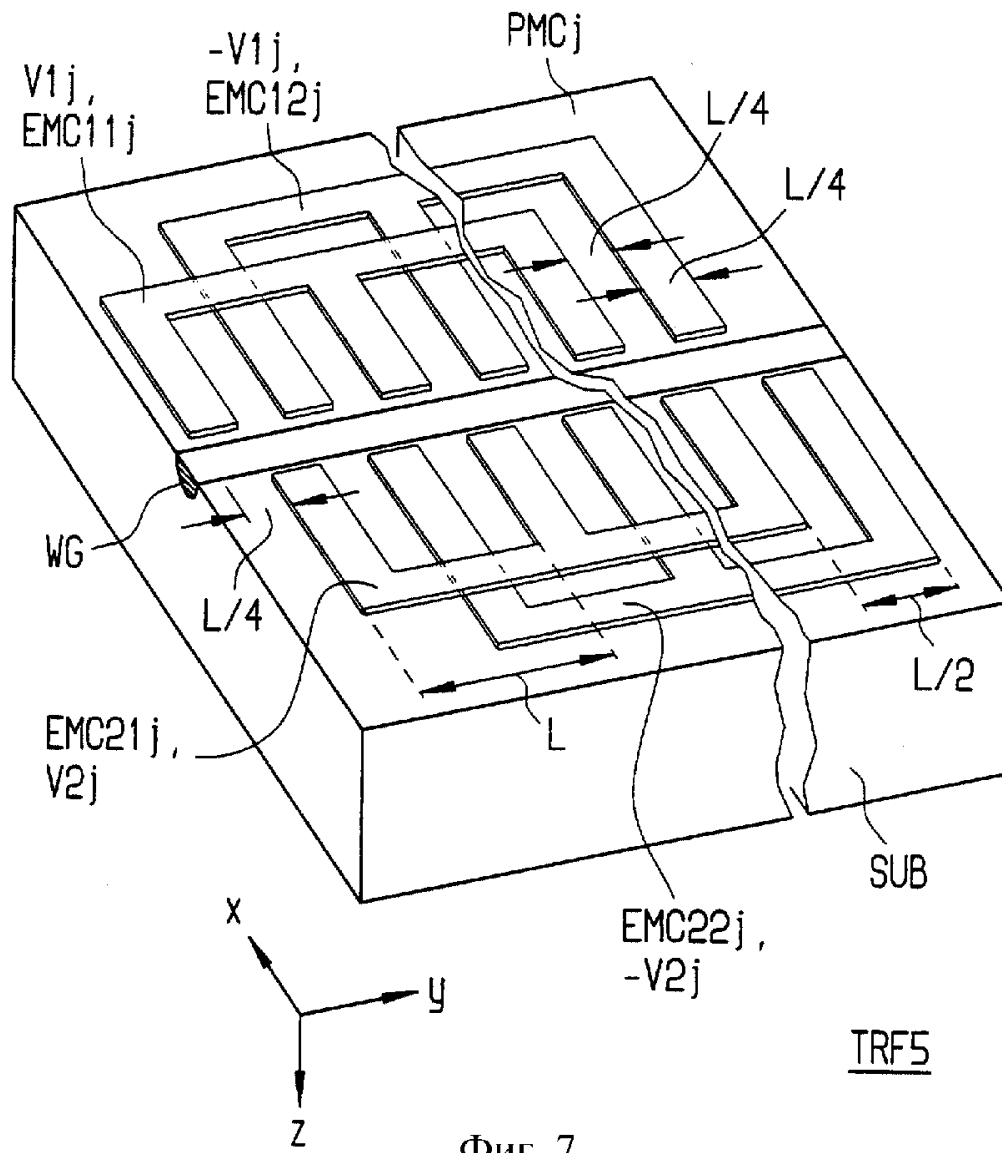
RU 2193792 C2



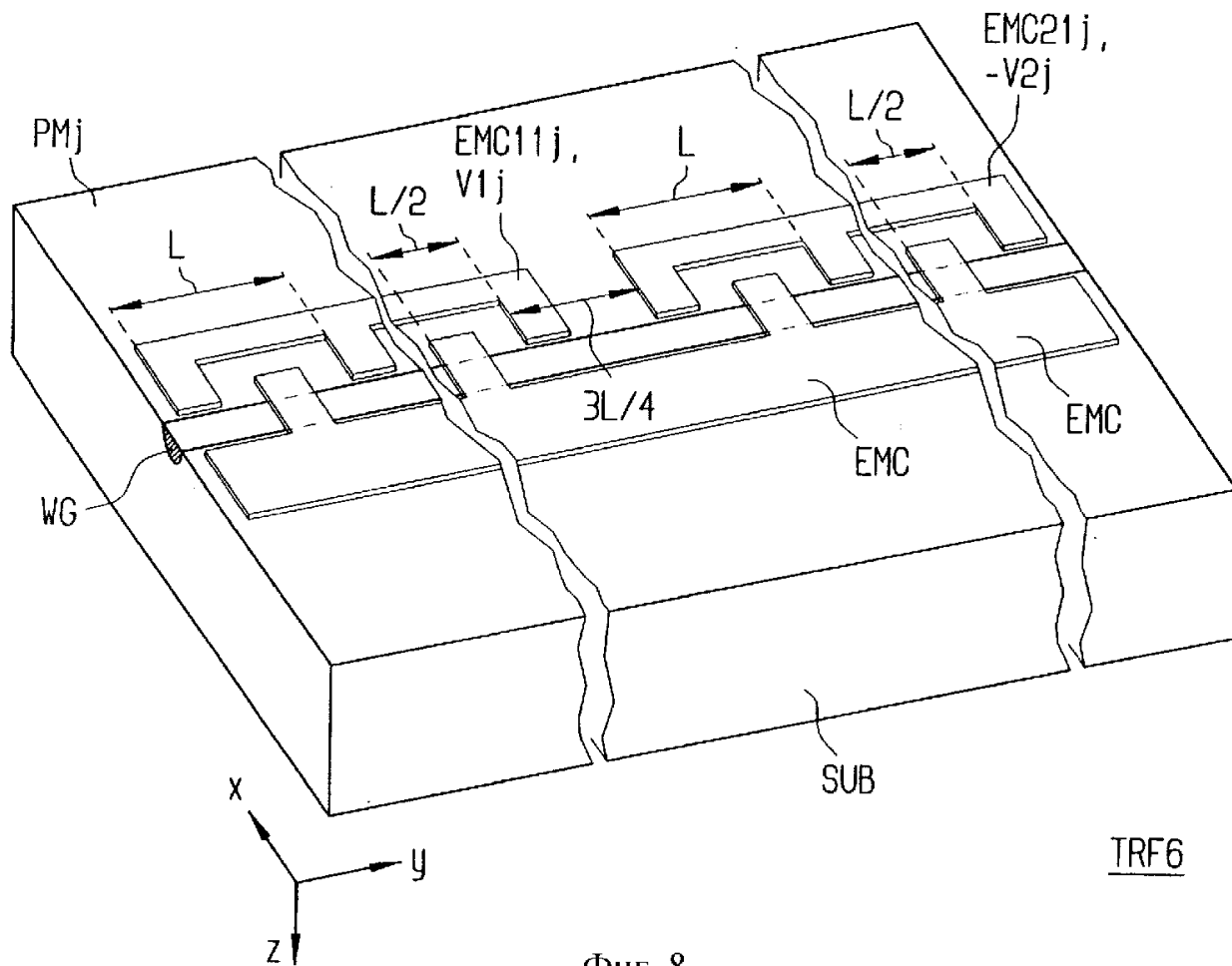
Фиг. 5



Фиг. 6

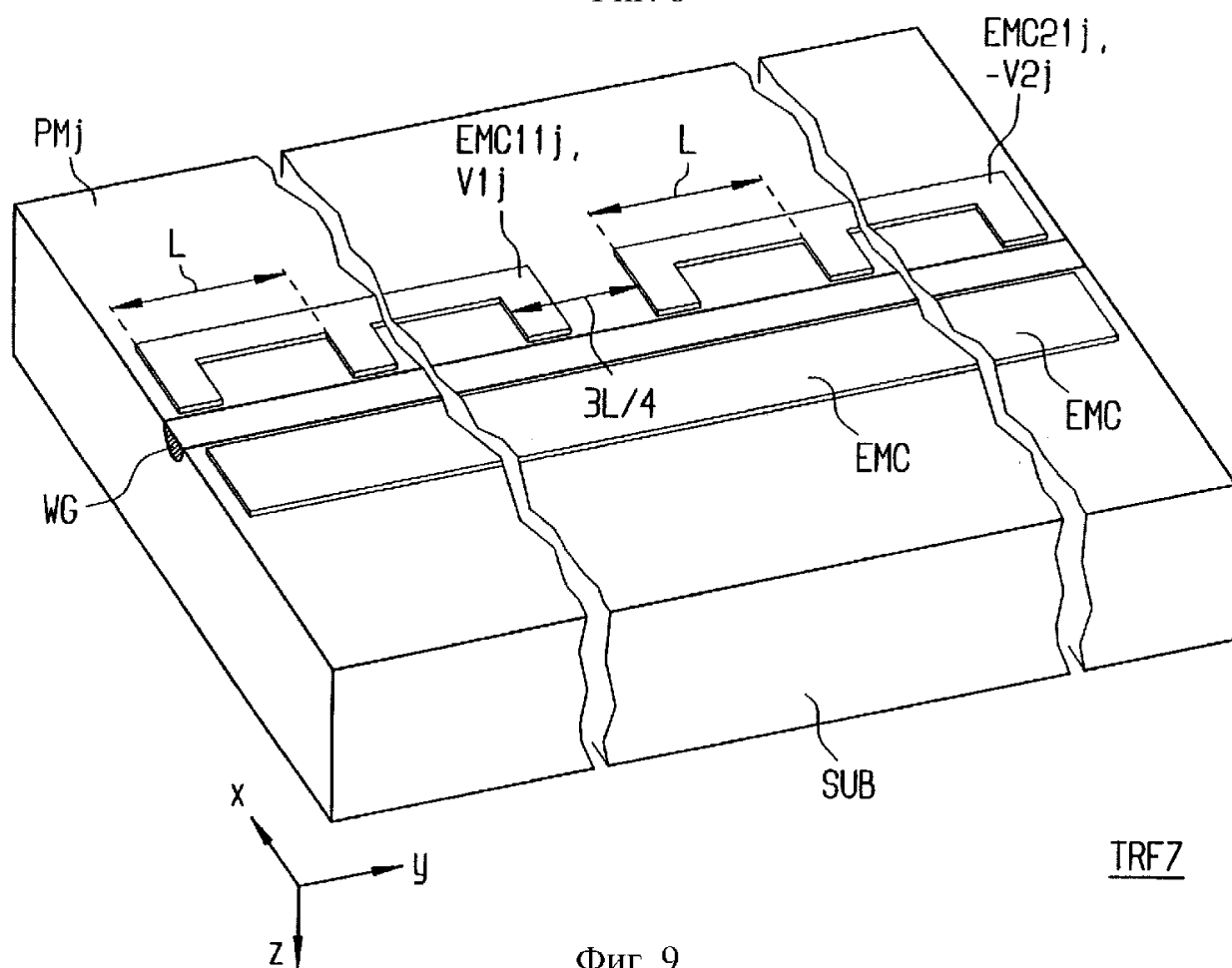


Фиг. 7



Фиг. 8

TRF6

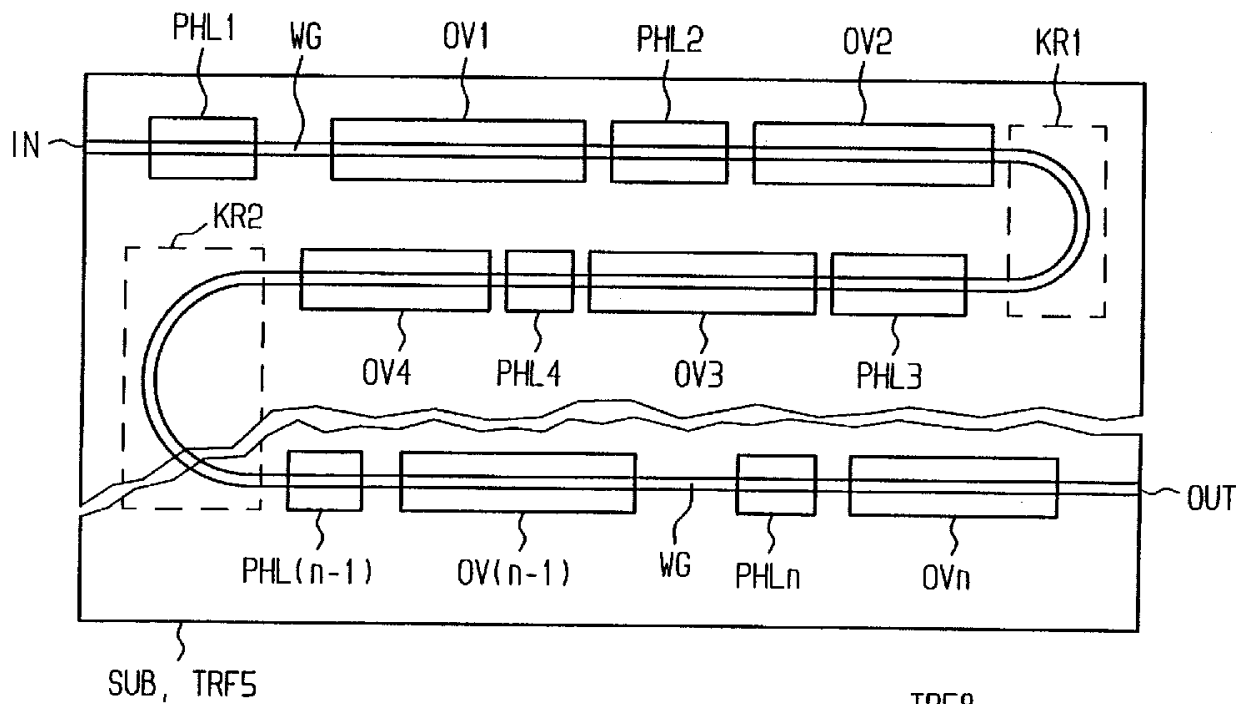


Фиг. 9

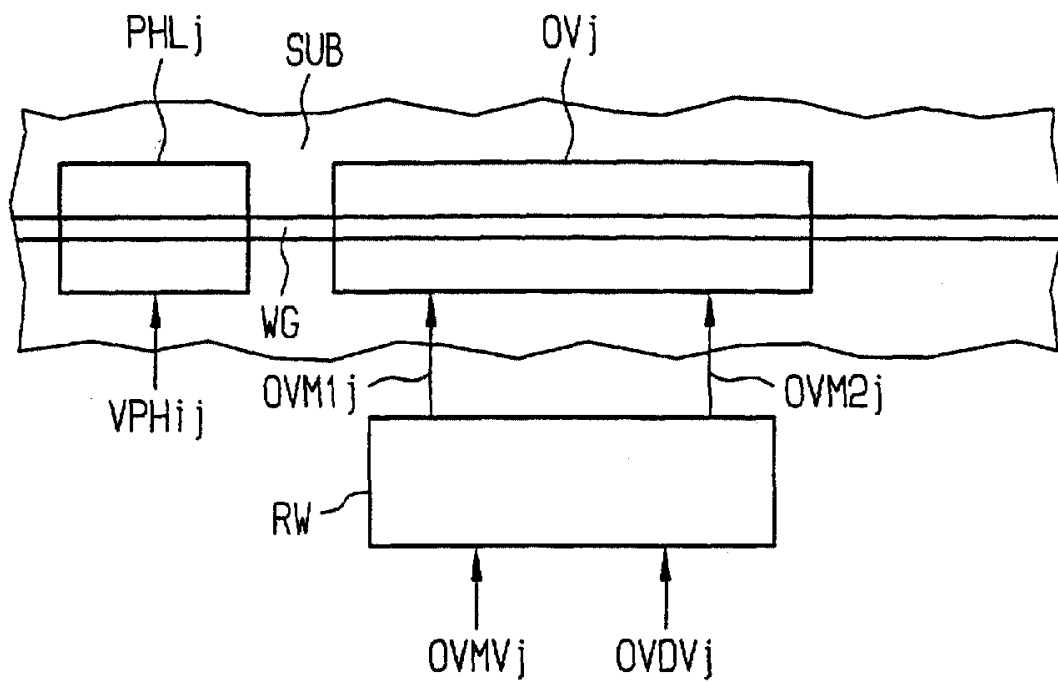
TRF7

RU 2193792 C2

RU 2193792 C2



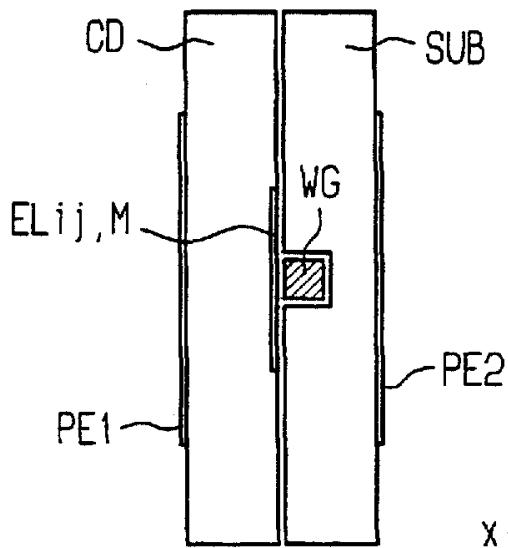
Фиг. 10



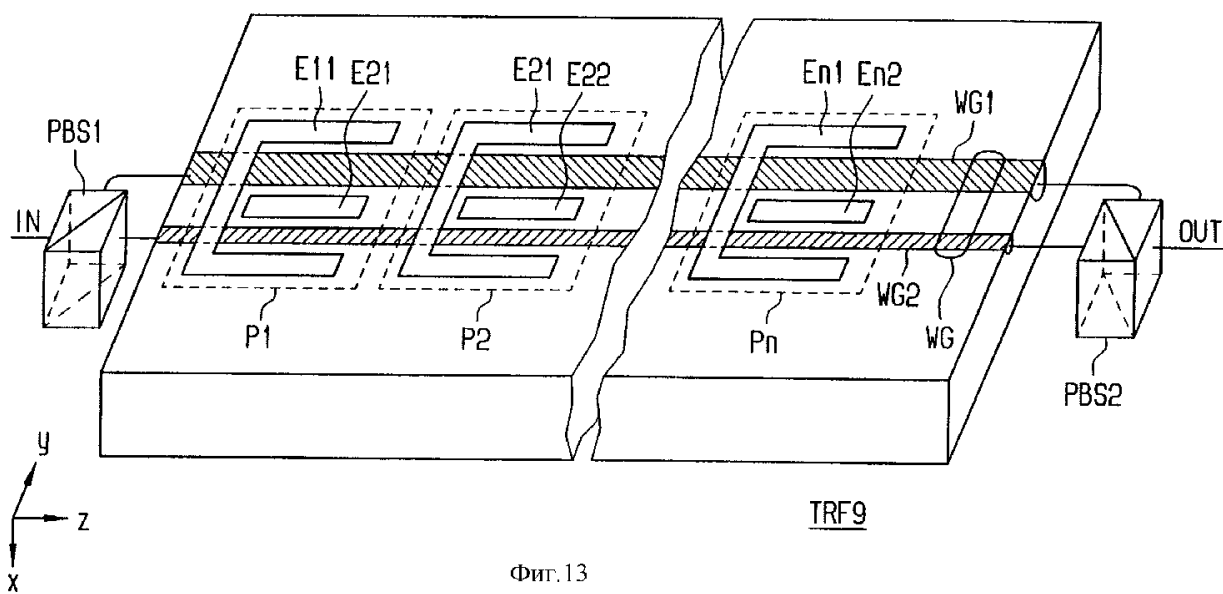
Фиг. 11

RU 2193792 C2

RU 2193792 C2



Фиг. 12



Фиг. 13

RU 2193792 C2

RU 2193792 C2