



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 161 324⁽¹³⁾ C2
(51) МПК⁷ G 02 F 1/11, 1/125

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 96115310/28, 01.08.1996

(24) Дата начала действия патента: 01.08.1996

(30) Приоритет: 02.08.1995 IT M 195 A001699

(46) Дата публикации: 27.12.2000

(56) Ссылки: US 5002349 A, 26.03.1991. US 5218653 A, 08.06.1993. SU 1728832 A1, 23.04.1992. US 5400171 C1, 21.03.1995.

(98) Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Большая Спасская 25,
стр.3, ООО "Городиский и Партнеры",
Емельянову Е.И.

(71) Заявитель:

ПИРЕЛЛИ КАВИ Э СИСТЕМИ С.п.А. (IT)

(72) Изобретатель: Стеффен ШМИД (IT)

(73) Патентообладатель:

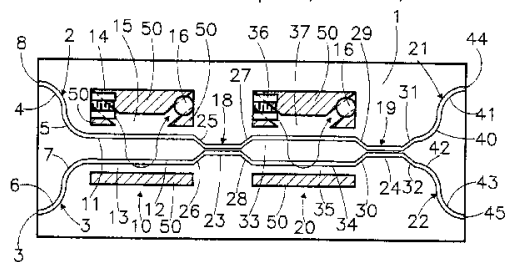
ПИРЕЛЛИ КАВИ Э СИСТЕМИ С.п.А. (IT)

(54) АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВОЛНОВОДНОЕ УСТРОЙСТВО И СПОСОБ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

(57)

Перестраиваемое акустооптическое волноводное устройство с независимой от поляризации характеристикой включает в себя подложку из двулучепреломляющего и фотоупругого материала, на которой происходит, по крайней мере, одна ступень превращения поляризационной моды у двух отдельных поляризационных компонент оптического сигнала, первый и второй поляризационно избирательные элементы, расположенные соответственно до и после ступени превращения, и, по крайней мере, одну компенсационную ступень для превращения поляризационной моды. По крайней мере, один оптический волновод пропускает две поляризационные компоненты в объединенном виде. Способ акустооптического переключения оптических

сигналов основывается на двух превращениях поляризационных компонент оптического сигнала, передаваемого в разделенном и неразделенном соответственно виде при акустооптических взаимодействиях с двумя акустическими волнами. 2 с. и 14 з.п. ф-лы, 1 табл., 4 ил.



Фиг. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 161 324** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **G 02 F 1/11, 1/125**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 96115310/28, 01.08.1996

(24) Effective date for property rights: 01.08.1996

(30) Priority: 02.08.1995 IT M 195 A001699

(46) Date of publication: 27.12.2000

(98) Mail address:
129010, Moskva, ul. Bol'shaja Spasskaja 25,
str.3, OOO "Gorodisskij i Partnery",
Emel'janovu E.I.

(71) Applicant:
PIRELLI KAVI Eh SISTEMI S.p.A. (IT)

(72) Inventor: Steffen ShMID (IT)

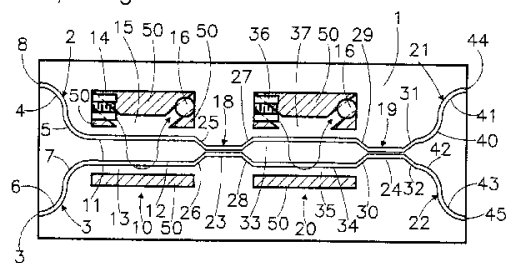
(73) Proprietor:
PIRELLI KAVI Eh SISTEMI S.p.A. (IT)

(54) ACOUSTOOPTICAL WAVEGUIDE DEVICE AND METHOD OF ACOUSTOOPTICAL SWITCHING OVER OF OPTICAL SIGNAL

(57) Abstract:

FIELD: acoustooptics. SUBSTANCE: tuned acoustooptical waveguide device with characteristic independent of polarization includes substrate made of birefringent and photoelastic materials on which at least one stage of conversion of polarization mode of two individual polarization components of optical signal takes place, first and second polarization-selective elements placed correspondingly before and after conversion stage and one compensation stage as minimum for conversion of polarization mode. At least one optical waveguide lets two polarization components pass in integrated form. Method of acoustooptical switching over of optical signals is based on two

conversions of polarization components of optical signal transmitted in split and non-split form under acoustooptical interaction with two acoustic waves. EFFECT: improved reliability of device and method. 16 cl, 4 dwg



Фиг. 1

Изобретение касается перестраиваемого акустооптического волноводного устройства с независимой от поляризации характеристикой и способа акустической обработки оптических сигналов.

В телекоммуникационных сетях с волновым мультиплексированием несколько оптических передаваемых сигналов, независимых друг от друга, или несколько каналов пропускают по одной и той же линии, обычно состоящей из оптического волокна, делая это посредством мультиплексирования длины волны, т.е. путем одновременной передачи сигналов с различными длинами волн посредством разделения частот. Передаваемые сигналы или каналы могут быть либо цифровыми, либо аналоговыми, и они отличаются друг от друга, поскольку каждый из них связан со своей длиной волны. Внутри сетей имеются узловые точки, в которых сигналы отводятся от оптических волоконных линий, сходящихся в их узловой точке, и поступают в оптические волоконные линии, которые отходят от узловой точки. Для адресации сигналов в узловой точке можно, с упрощением ее строения, использовать оптические переключатели селективного действия в отношении длины волны. На выходе сетей для разделения, опять-таки, отдельных сигналов приходится использовать фильтры, способные пропускать полосу длин волн с центральной длиной волны, отвечающей длине волны сигнала, но при этом достаточно узкой, чтобы отсекались соседние сигналы.

Известны интегрированные акустические устройства, действие которых основывается на взаимодействиях световых сигналов, распространяющихся в волноводах, образованных на подложках из двулучепреломлящего и фотоупругого материала, и акустических волн, распространяющихся по поверхности подложки и генерированных надлежащими преобразователями. Взаимодействие поляризованного оптического сигнала и акустической волны ведет к поляризационному превращению сигнала, т.е. происходит вращение плоскости поляризации у его поперечной электрической (ПЭ) и поперечной магнитной (ПМ) компонент.

В таких акустооптических устройствах можно, управляя частотой оптических волн, регулировать характеристику спектральной чувствительности, чем обеспечивается возможность их использования в качестве переключателей и в качестве оптических фильтров сигналов в оптических телекоммуникационных сетях с волновым мультиплексированием. Эти регулируемые переключатели и фильтры позволяют выбирать сигналы, подвергаемые изменению, и, тем самым, изменять конфигурацию сети без изменения характера подключения ее компонентов.

Эти акустооптические устройства также позволяют производить переключение и одновременно выбор различных сигналов, или каналов, если акустическая волна, распространяющаяся по поверхности подложки, является результатом наложения различных акустических волн. Фактически, переключатели производят объединенное переключение сигналов на длинах волн, отвечающих одновременно приложенным

частотам, и фильтры обладают полосой пропускания, отвечающей совокупности различных диапазонов длин волн, определяемых частотами акустических волн.

Полманн (Pohlmann) и др. в журнале IEEE Journal of Quantum Electronics (т. 27, N 3, с.с. 602-607, март 1991 г.) описывают акустооптическое волноводное устройство с акустически перестраиваемой настройкой на длину волны и с независимой от поляризации характеристикой, которое может быть использовано в качестве переключателя в четырехполюснике с двумя входами и двумя выходами (типа 2 x 2) и в качестве фильтра.

Переключатель, показанный в статье на рис. 4, включает в себя подложку из кристалла ниобата лития (LiNbO_3) со срезом X и с распространением волны вдоль оси Y, два параллельных оптических волновода, два пассивных расщепителя, электроакустический преобразователь, акустический волновод и акустические поглотители. Оптические волноводы и электроакустический преобразователь образуют ступень акустооптического превращения моды. Электрооптический преобразователь образован встречно-ребенчатыми электродами, способными генерировать радиочастотную (РЧ) поверхностную акустическую волну с центральной частотой 150 МГц. Акустический волновод обладает шириной 150 мкм и содержит оба оптических волновода. Акустические поглотители используют для устранения отражений акустической волны и свободно распространяющихся волн.

Оптические волноводы и поляризационные расщепители (поляризаторы) образованы путем диффузии титана в подложку, и канал акустического волновода образован путем диффузии титана в ограничиваемые области. Встречно-ребенчатые электроды электроакустического преобразователя образованы нанесением катодным распылением оксида олова и оксида индия. Смит (D.A. Smith) и др. в журнале Applied Physics Letters (т. 56, N 3, с.с. 209-211, январь 1990 г.) описывают акустически перестраиваемый оптический фильтр с независимой от поляризации характеристикой того же типа, что и устройство Полманна и др. Фильтр Смита и др. изготовлен из кристалла ниобата лития длиной 5 см со срезом X и распространением волны вдоль оси Y, и содержит два оптических волновода, разнесенных на расстояние в 27 мкм, электроакустический преобразователь, состоящий из встречно-ребенчатых электродов, и два поляризационных расщепителя, состоящих из направленных ответвителей.

Д'Алессандро (D'Alessandro) и др. в журнале IEEE Photonics Technology Letters (т. 6, N 3, с.с. 390-393, март 1994 г.) описывают акустооптический переключатель того же типа, что и у Полманна и др. Переключатель Д'Алессандро и др. изготовлен из кристалла ниобата лития со срезом XY, длина которого составляет 5 см, и содержит два оптических волновода, электроакустический преобразователь, акустический волновод, в котором находятся два оптических волновода, и два пассивных поляризационных селектора, образованных

посредством протонного обмена/диффузии титана и отжига. Переключатель работает на четырех сигналах, разнесенных на 4 нм и находящихся в области длин волн от 1546 до 1558 нм, и на четырех управляющих радиочастотах со значениями 175,89, 175,38, 174,86 и 174,42 МГц, позволяющих выбирать четыре оптические длины волны.

Джонсон (John J. Johnson) и др. в патенте США N 5218653 описывают акустооптическое устройство, схожее с устройством Д'Алессандро и др. (фиг. 2).

Акустооптические устройства, описанные выше, действуют как перестраиваемые переключатели типа 2x2 с независимой от поляризации характеристикой.

Если при данной длине волны выбран канал, то тогда при такой длине волны оптические сигналы, поступающие через вход, адресуются в соответствующий отводной выход и оптические сигналы, поступающие через другой вход, адресуются в соответствующий другой отводной выход (переключатель ветвления). Неизбирательные сигналы адресуются со входа напрямую в соответствующий выход (переключатель прямого пропускания, состояние сквозного прохождения).

Эти устройства работают и как акустические фильтры с регулируемой полосой пропускания и с регулируемой полосой пропускания и с независимой от поляризации характеристикой, действующие в условии бокового переключения, при котором только один вход используют совместно с соответствующим боковым выходом.

У описанных выше устройств имеется несколько недостатков.

Устройства состоят из единственной ступени акустооптического превращения; при такой единственной ступени поляризационное превращение из-за взаимодействия оптического сигнала с акустической управляющей волной в двух оптических волноводах сопровождается частотным сдвигом на величину, равную частоте акустической волны. Такой сдвиг частоты в случае описанной выше конфигурации имеет противоположный знак, зависящий от вида поляризационной компоненты оптического сигнала, и, тем самым, две отдельные ортогональные поляризационные компоненты обладают положительным и отрицательным сдвигами, соответственно.

Сдвиг частоты у оптического сигнала, происходящий от воздействия частоты акустического превращения, может порождать проблемы, связанные с возникновением биений в телекоммуникационных сетях.

Для ограничения частотного сдвига у двух компонент поляризации в двух оптических волноводах предложены акустооптические устройства, в которых каждый оптический волновод оказывается связанным с соответствующим акустическим волноводом.

Германн (H.Herrmann) и др. в Трудах 6-й европейской конференции по интегральной оптике (Proceedings of 6th European Conference on Integrated Optics (ECIO'93)), с.с. 10.1-10.3, апрель 1993 г. (Невшатель, Швейцария), описывают акустооптический переключатель типа 2x2 (фиг. 10), содержащий два оптических волновода и параллельно два акустических волновода, в каждом из которых имеется оптический

волновод, и в которых поверхностные акустические волны распространяются в противоположных направлениях.

Джонсон (John J. Johnson) и др. в патенте США N 5218653 описывают акустооптическое устройство, схожее с устройством Германна и др. (фиг. 3).

Акустооптическое устройство того же типа, что и описанное Германном и др., было изготовлено заявителем. В этом устройстве два оптических волновода были соединены с двумя поляризационными расщепителями со связью поляризационных мод, соединенными с волноводами с соответствующими участками, искривленными в форме буквы "S", и с акустическими волноводами, каждый из которых содержит соответствующий оптический волновод. С каждым акустическим волноводом связан электроакустический преобразователь, образованный двумя встречно-ребенчатыми электродами. Два оптических волновода обладают длиной порядка 18 мм и разнесены на расстояние в 270 мкм; поляризационные расщепители обладают длиной порядка 5 мм; участки, искривленные в форме буквы "S", обладают длиной порядка 8 мм при радиусе кривизны порядка 160 мм. Полная длина устройства составляет примерно 60 мм.

У устройства в состоянии ВЫКЛЮЧЕНО (прямое пропускание) полные потери оказываются примерно равными 2 дБ для поперечной магнитной (ПМ) компоненты и 5 дБ для поперечной электрической (ПЭ) компоненты, в результате чего зависимые от поляризации потери (ПЗП) составляют 3 дБ, что обусловлено наличием четырех участков, искривленных в форме буквы "S", которые служат для присоединения каждого поляризационного расщепителя. Переходное затухание по отношению к состоянию полного ответвления находится в области от -18 до -20 дБ, завися от коэффициента расщепления у поляризационных расщепителей.

У устройства в состоянии ВКЛЮЧЕНО (состояние бокового пропускания) полные потери оказываются примерно равными 2 дБ для поперечной магнитной компоненты и 3 дБ для поперечной электрической компоненты. Зависимые от поляризации потери являются более низкими благодаря распределению потерь переключения на обе компоненты поляризации.

Характеристика переключения обладает шириной полосы в 2,0 нм и первым боковым лепестком в -20 дБ. Эффективность превращения превышает 99% (для обоих оптических волноводов, рассматриваемых отдельно). При входном сигнале, поляризованном на 45 ° по отношению к нормали, восстановленной к поверхности подложки, коэффициент затухания у устройства ограничивается величиной порядка -16 дБ, завися как от воздействия акустических переходных помех величиной порядка -17 дБ от приложенной акустической мощности, так и от влияния средней (полной) эффективности превращения, упавшей примерно до 80% из-за несоответствия длины волны превращения, изменившейся с 0,2 нм до 0,5 нм.

В частности, видно, что некоторая составляющая акустической волны, распространяющейся в акустическом волноводе, взаимодействует с оптическим

сигналом, распространяющимся в параллельном оптическом волноводе. Это сопровождается возрастанием переходного затухания в состоянии прямого пропускания до величины порядка -18 дБ.

Кроме того, частотный сдвиг, или несоответствие у оптического сигнала может характеризоваться абсолютной величиной, различающейся у двух оптических волноводов из-за отсутствия гомогенности у подложки. В самом деле, материал подложки и материал, который образует оптические волноводы, могут обладать не совсем одинаковым двойным лучепреломлением, что может быть также обусловлено появлением несовершенств при изготовлении, таких как неравномерность толщины и/или ширины осажденного слоя титана, или появлением градиента у температуры диффузии при образовании титанового слоя. Небольшие колебания величины двойного лучепреломления обуславливают появление различия у пикового значения длины волны сигнала, переключаемого между двумя оптическими волноводами, которое будет тем больше, чем больше расстояние между одинаковыми волноводами.

Для компенсации частотного сдвига, который происходит в акустооптических устройствах с единственной ступенью превращения, были предложены акустооптические устройства с двумя ступенями превращения, расположенными последовательно.

Квой-Вей Чеунг (Kwok-Wai Cheung) и др. в патенте США N 5002349 описывают акустооптическое устройство, содержащее две последовательно расположенные ступени акустооптического превращения и два волноводных поляризационных расщепителя, установленных до и после каждой ступени. Каждая ступень снабжена электроакустическим преобразователем.

Заявитель установил, что ослабление, которому подвергаются оптические сигналы при прохождении через такое устройство, примерно в два раза превышает ослабление, наблюдаемое у устройства с единственной ступенью превращения в сочетании с последующими четырьмя проходами поляризационных расщепителей.

Кроме того, полная длина устройства оказывается, по крайней мере, вдвое больше длины одноступенчатого устройства, приближаясь к критическому размеру обычно используемых подложек из ниобата лития.

Один из аспектов настоящего изобретения касается акустооптического волноводного устройства, избирательного в отношении длины волны и независимого от поляризации, включающего в себя подложку из двулучепреломляющего и фотоупругого материала, на которой получают

а) по крайней мере одну ступень превращения поляризационной моды у оптического сигнала в предварительно выбранном диапазоне длин волн, содержащую

а1) первый и второй оптические волноводы, идущие в существенной мере параллельно друг другу и находящиеся на предварительно выбранном расстоянии друг от друга,

а2) первое средство генерирования акустической поверхностной волны,

воздействующей на упомянутые первый и второй оптические волноводы,

а3) первый акустический волновод, содержащий, по крайней мере, одну часть упомянутых первого и второго волноводов,

а4) причем каждый из упомянутых первого и второго оптических волноводов способен принимать одну из двух взаимно ортогональных поляризационных компонентов упомянутого акустического сигнала и способен излучать соответствующую компоненту ортогональной поляризации,

б) первый и второй поляризационно избирательные элементы, помещенные, соответственно, выше и ниже упомянутой ступени превращения и оптически соединенные с упомянутыми первым и вторым волноводами для раздельного пропускания упомянутых двух поляризационных компонент; причем на упомянутой подложке также получают

с) по крайней мере, одну компенсационную ступень для превращения поляризационной моды упомянутого оптического сигнала в упомянутой предварительно выбранной области длин волн, содержащую,

с1) по крайней мере, один третий оптический волновод, оптически соединенный с одним из упомянутых первым и вторым поляризационно избирательных элементов,

с2) второе средство генерирования акустической поверхностной волны, связанное с упомянутым третьим оптическим волноводом, и

с3) второй акустический волновод, содержащий, по крайней мере, одну часть упомянутого третьего оптического волновода,

с4) в которой упомянутый третий оптический волновод последовательно соединен с упомянутой ступенью превращения поляризационной моды и

с5) упомянутый третий оптический волновод пропускает упомянутые две поляризационные компоненты в объединенной форме.

Согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения упомянутая компенсационная ступень дополнительно содержит

д) четвертый оптический волновод, расположенный в существенной мере параллельно упомянутому третьему оптическому волноводу и помещенный на предварительно выбранном расстоянии от него,

д1) причем упомянутый четвертый оптический волновод является оптически соединенным с одним из упомянутых первым и вторым поляризационно избирательным элементом,

д2) причем упомянутое второе средство генерирования акустической поверхностной волны соединяется с упомянутым четвертым оптическим волноводом,

д3) причем упомянутый второй акустический волновод содержит, по крайней мере, одну часть упомянутого четвертого оптического волновода,

д4) причем упомянутые третий и четвертый оптические волноводы соединяются с соответствующими оптически доступными волноводными ветвями, разделенными и разнесенными, по крайней

мере, на пространство, занимаемое упомянутыми третьим и четвертым оптическими волноводами, в результате чего каждый из упомянутых третьего и четвертого волноводов проводит упомянутые две поляризационные компоненты в объединенном виде.

Предпочтительно, чтобы упомянутые первый и второй оптические волноводы и упомянутые третий и четвертый оптические волноводы были разнесены примерно на 40 мкм.

Согласно еще одному предпочтительному варианту осуществления изобретения, по крайней мере, на одной из упомянутых компенсационных ступеней и ступени превращения образуют на упомянутой подложке регулировочные элементы, способные изменять температуру, по крайней мере, одной из упомянутых компенсационных ступеней и ступени превращения, чтобы происходила компенсация неоднородности двойного лучепреломления материала упомянутой подложки и упомянутых оптических волноводов, и чтобы корректировались погрешности у акустических превращений.

Второй аспект изобретения касается способа акустооптического переключения оптического сигнала, включающего в себя этапы

- разделения поляризационных компонент оптического сигнала на два различных пути волнового движения;

- преобразования разделенных поляризационных компонент упомянутого сигнала на обоих упомянутых путях движения посредством акустооптического взаимодействия с первой общей акустической волной;

- объединение упомянутых поляризационных компонент упомянутого оптического сигнала;

при этом

- последовательно с упомянутыми этапами имеет место еще и этап превращения неразделенных поляризационных компонент упомянутого оптического сигнала посредством акустического взаимодействия со второй общей акустической волной, причем упомянутая вторая акустическая волна обладает частотой, равной частоте упомянутой первой акустической волны.

Акустическое устройство согласно настоящему изобретению может быть использовано в качестве переключателя типа 2x2, 1x2 и 2x1, перестраиваемого и независимого от поляризации, или в качестве перестраиваемого фильтра с независимой от поляризации характеристикой.

Компенсационная ступень устройства, отвечающего настоящему изобретению, позволяет компенсировать частотный сдвиг, который происходит в ступени превращения, что достигается воздействием на поляризационные компоненты, находящиеся в объединенном виде. Сказанное позволяет создавать акустооптическое устройство очень простого строения и функционального действия. Наряду с упрощенным строением устройство обладает полной длиной очень ограниченной величины, составляющей примерно 40 мм, что, фактически, лишь несколько больше длины устройства,

содержащего только ступень превращения и два поляризационно избирательных элемента надлежащей кривизны.

В случае устройства, отвечающего настоящему изобретению, достигается очень небольшое несоответствие в длинах волн, составляющее менее 0,1 нм. Это ведет к снижению перекрестных помех, возникающих между вводами в режиме прямого пропускания (состояние линейного прохождения), до величины в -20 дБ. Сказанное обусловлено наличием одного лишь акустического волновода, чем устраняются акустические перекрестные помехи, и близостью оптических волноводов (расстояние примерно составляет 40 мкм) при очень небольшом несоответствии длин волн.

Кроме того, такой результат может быть дополнительно улучшен использованием регулирующих элементов, способных изменять температуру превращения, и использованием компенсационных ступеней для подстройки соответствующих частотных сдвигов у двух ступеней. Таким образом, сводятся к минимуму нежелательные эффекты от возможного воздействия неодинаковой двойной лучепреломляющей способности подложки и разброса параметров у волноводов. К тому же, наличие единого акустического волновода у двух ступеней устраняет возможность проявления акустического связывания двух оптических волноводов, что могло бы неблагоприятно сказываться на коэффициенте затухания поляризационно избирательных элементов. Коэффициент затухания у каждого поляризационно избирательного элемента устройства, отвечающего изобретению, составляет примерно -25 дБ.

Устройство обладает очень низкими вносимыми потерями и поляризационно зависимыми потерями (ПЗП). Наблюдаемая максимальная суммарная величина потерь составляет 3 дБ.

Особенности и преимущества изобретения будут теперь проиллюстрированы со ссылкой на варианты его осуществления, представленные примерами, не ограничивающими рамки его объема и поясненными на приложенных чертежах, на которых

фиг. 1 - схематическое представление акустооптического перестраиваемого переключателя с независимой от поляризации характеристикой, изготовленного согласно изобретению;

фиг. 2 - вариант переключателя, показанного на фиг. 1;

фиг. 3 - схематическое представление перестраиваемого акустооптического фильтра с независимой от поляризации характеристикой, изготовленного согласно изобретению;

фиг. 4 - элементы температурных регулировок, введенных в переключатель или фильтр, показанные на фиг. 1 и 2.

На фиг. 1 показан перестраиваемый акустооптический переключатель с независимой от поляризации характеристикой типа 2x2, изготовленный согласно изобретению. Переключатель включает в себя подложку 1 из двулучепреломляющего и фотоупругого материала, состоящего из ниобата лития (Li NbO₃).

В подложке 1 образованы два оптических

волноводных входных ответвления 2 и 3, каждое из которых содержит два участка, искривленных в противоположных направлениях 4, 5 и 6, 7, соответственно. Участки 4 и 6 образуют два входа 8 и 9, предназначенных для присоединения к оптическим волокнам телекоммуникационной сети через соединительные устройства (не показаны). Для обеспечения возможности присоединения упомянутых оптических волокон (с диаметром порядка 250 мкм) входы 8 и 9 разнесены, по крайней мере, на 125 мкм. Участки 4 и 6 в начальной области разнесены примерно на 250 мкм, а участки 5 и 7 в конечной области разнесены примерно на 40 мкм. Искривленные участки 4, 5, 6 и 7 имеют радиус кривизны порядка 100-180 мм. В подложке 1 образованы компенсационная ступень 10, содержащая две параллельные оптические волноводные ветви 11 и 12, соединенные со входами 5 и 7, акустический волновод 13, содержащий ветви 11 и 12, и электроакустический преобразователь 14, образованный встречно-ребенчатыми электродами, способными генерировать радиочастотные поверхностные акустические волны. Преобразователь 14 помещен в оптический волновод 15; он располагается параллельно и сообщается с оптическим волноводом 14, чтобы возникала акустическая связь. Упомянутое акустическое устройство связи сделано таким, чтобы профиль интенсивности у поверхностной акустической волны, распространяющейся вдоль волновода 15, характеризовался пиком в центральной части упомянутого волновода и двумя спадами на концах того же волновода. Оптические сигналы, распространяющиеся вдоль ветвей 11 и 12, взаимодействуют с акустической волной, характеризующейся возрастанием интенсивности до половины пути ее движения и падением на другой половине участка с предварительно выбранной длиной взаимодействия. На концах акустического волновода 15 расположено акустическое поглотительное средство 16, способное устранять отражения акустической волны. Акустические волноводы 13 и 15 охватываются площадками 50, в которых скорость распространения акустических волн выше, чем в волноводах 13 и 15.

В подложке 1 также сделаны два поляризационно избирательных элемента 18 и 19, одна ступень превращения 20 и две оптические выходных волноводные ветви 21 и 22.

Поляризационно избирательные элементы 18 и 19 образованы предельно малыми волновыми поляризационными расщепителями, или направленными ответвителями, каждый из которых содержит, соответственно, центральный оптический волновод 23 и 24 и пары входных и оптических выходных волноводов 25, 26, 27, 28 и 29, 30, 31, 32.

Ступень превращения 20 содержит две параллельные оптические волноводные ветви 33 и 34, присоединенные к паре выходных волноводов 27 и 28 поляризационного расщепителя 18 и к паре входных волноводов 29 и 30 поляризационного расщепителя 19, один акустический волновод 35, содержащий ветви 33 и 34, и электроакустический преобразователь, образованный встречно-

ребенчатыми электродами, способными генерировать радиочастотную поверхностную акустическую волну. Преобразователь 36 располагается в акустическом волноводе 37 параллельно и сообщается с акустическим волноводом 35, чем образуется акустическая связь. На концах у акустического волновода 35 имеются акустические поглотители 16. Акустические волноводы 35 и 37 охватываются площадками 50, в которых скорость распространения акустических волн превышает скорость их распространения в волноводах 35 и 37.

Каждая из двух оптических выходных волноводных ветвей 21 и 22 содержит два участка, искривленных в противоположных направлениях, т.е., соответственно, участки 40, 41 и 42, 43. Участки 40 и 42 присоединены к оптическим выходным волноводам 31 и 32 поляризационного расщепителя 18. Участки 41 и 43 образуют два выхода 44 и 45, которые могут быть присоединены к оптическим волокнам телекоммуникационной сети (не показана). Участки 40 и 42 разнесены в начальной области примерно на 40 мкм, и участки 41 и 43 разнесены в концевой области примерно на 250 мкм. Искривленные участки 40, 41, 42 и 43 обладают радиусом кривизны порядка 100-180 мм.

Ветви 11 и 12 и ветви 33 и 34 располагаются на расстоянии примерно 40 мкм. Ширина акустических волноводов 15 и 35 составляет примерно 110 мкм.

Переключатель, отвечающий настоящему изобретению, действует следующим образом.

При отсутствии напряжения, приложенного к электроакустическим преобразователям 14 и 36, переключатель находится в выключенном состоянии (состояние ВЫКЛЮЧЕНО), и это соответствует состоянию прямого пропускания (состоянию линейного распространения), в котором имеет место прямое соответствие между входами 8 и 9 и выходами 44 и 45, соответственно. Световые сигналы поступают через входы 8 и 9, и они проходят в ветви 11 и 12 компенсационной ступени 10 с объединенными поперечной электрической (ПЭ) и поперечной магнитной (ПМ) компонентами. Сигналы затем проходят в поляризационный расщепитель 18, где поляризационные поперечная электрическая и поперечная магнитная компоненты раздельно поступают в волноводы 27 и 28; они в неизменном виде проходят через ветви 33 и 34 ступени превращения 20, и они затем разделяются в волноводах 31 и 32 поляризационного расщепителя 19, в результате чего сигналы, поступившие через входы 8 и 9, выходят в неизменном состоянии через выходы 44 и 45.

Прикладывая надлежащий переключающий сигнал к электродам преобразователей 14 и 36, включают переключатель (переводят его в состояние ВКЛЮЧЕНО) и переходят в режим поперечного пропускания (состояние перекрестного пропускания), в котором входы 8 и 9 оказываются соединенными с перекрещенными выходами 45 и 44, соответственно. Преобразователи 14 и 36 генерируют соответствующую радиочастотную поверхностную акустическую волну с акустической частотой возбуждения

(порядка 174 ± 10 МГц для устройств, работающих на длине волны 1550 нм, и 210 ± 10 МГц для устройств, работающих на длине волны 1300 нм), соответствующей оптической резонансной длине волны, при которой имеет место поляризационное превращение с поперечной электрической компонентой, равной или превышающей поперечную магнитную компоненту или наоборот. Световые сигналы с объединенными поляризационными поперечной электрической и поперечной магнитной компонентами поступают в ветви 11 и 12 компенсационной ступени 10, и они преобразуются в соответствующие ортогональные компоненты, остающиеся объединенными. Сигналы поступают в поляризационный расщепитель 18, где поляризационные поперечная электрическая и поперечная магнитная компоненты разделяются и проходят через ветви 33 и 34 ступени превращения 20, в которой они переводятся в исходное поляризационное состояние. Поляризационные поперечная электрическая и поперечная магнитная компоненты затем разделяются в поляризационном расщепителе 19, в результате чего выбранные поляризационные компоненты с входа 8 проходят на выход 45 вместе с компонентами, избирательно не выделенными при поступлении со входа 9, и выбранные поляризационные компоненты, поступившие со входа 9, выходят через выход 44 вместе с компонентами избирательно не выделенными при поступлении со входа 8. Сигналы, которые в ступени превращения 20 подвергаются поляризационному превращению, полностью поступают в ответвление, свидетельствуя о свершении функции полного переключения.

При поляризационном превращении в компенсационной ступени 10 поляризационные поперечная электрическая и поперечная магнитная компоненты претерпевают частотный сдвиг, знак которого зависит от вида компоненты поляризации, а также от направления распределения акустической волны относительно оптической волны, как это проиллюстрировано в табл. 1

При движении к ступени превращения 20, если считать, что вторая акустическая волна распространяется в том же направлении и с той же частотой, что и первая волна, частотный сдвиг компенсируется обратным переходом к исходному поляризационному состоянию.

Чтобы первая и вторая акустические волны обладали одной и той же частотой, к обоим электроакустическим преобразователям 14 и 36 следует прикладывать один и тот же сигнал электрического возбуждения.

Переключатель на фиг. 1 является симметричным в том смысле, что его можно использовать и тогда, когда входы 8 и 9 и выходы 44 и 45 меняются местами, т.е. когда выходы становятся входами, а входы - выходами.

Как видно на фиг. 2, при удалении искривленных участков 4, 5, 6 и 7 и оптического волновода 12, показанных на фиг. 1, может быть получен переключатель типа 1x2 (демультиплексор) с волноводным ответвлением 110, имеющим вход 80. Или же переключатель фиг. 2 действует как

переключатель типа 2x1 (мультиплексор, если выходы 44 и 45 использовать в качестве входов).

На фиг. 3 показан перестраиваемый акустооптический фильтр с независимой от поляризации характеристикой, изготовленный согласно изобретению. Фильтр, показанный на фиг. 3, содержит некоторые детали, идентичные деталям переключателя, показанного на фиг. 2, что отражено использованием одинаковых номеров. Фильтр содержит подложку 1 из двулучепреломляющего и фотоупругого материала, состоящего из ниобата лития (LiNbO_3), в котором имеется компенсационная ступень 100, два поляризационно избирательных элемента 18 и 19, ступень превращения 20 и выходная волноводная ветвь 220.

Компенсационная ступень 100 содержит оптическую водно-водную ветвь 110 со входом 80, к которому может быть присоединено оптическое волокно телекоммуникационной сети, акустический волновод 13, содержащий ветвь 11, и электроакустический преобразователь 14, способный генерировать радиочастотную поверхностную акустическую волну. Преобразователь 14 установлен в оптическом волноводе 15 параллельно оптическому волноводу 14 и сообщается с ним. На концах акустического волновода 15 находятся акустические поглотители 16. Выходная волноводная ветвь 220 соединяется с выходным волноводом 32 поляризационного расщепителя 19, и он имеет выход 450, который может быть присоединен к оптическому волокну телекоммуникационной сети.

При нахождении фильтра в выключенном состоянии он работает в режиме прямого пропускания, и оптические сигналы, поступающие через вход 8, направляются в волновод 31 поляризационного расщепителя 19, и они могут быть поглощены оптическим поглотителем (не показан). Подавая надлежащее напряжение на электроды преобразователей 14 и 36 и производя превращение мод у поляризационных компонент, объединенных в ступени 100, и превращение мод у поляризационных компонент, разделенных в ступени превращения 20, выбирают оптические сигналы с длиной волны, соответствующей акустической частоте возбуждения. Выбранные сигналы направляются со входа 8 компенсационной ступени 100 на выход 45 в условиях поперечного пропускания, и фильтр действует как фильтр с регулируемой полосой пропускания.

Достоинство фильтра состоит в его очень простой конструкции и в его функциональных возможностях, которые превышают возможности обычного акустооптического фильтра с одной ступенью превращения, особенно касательно отсутствия частотного сдвига. При проведении калибровочных акустооптических испытаний было установлено, что фильтр обладает, преимущественно, небольшой шириной полосы пропускания (не превышающей 2 нм) и низкими значениями перекрестных помех (-20 дБ).

Фильтр обладает очень низкими полными потерями (составляющими примерно 1,5 дБ).

Переключатель и фильтр, показанные на фиг. 1 и 2, могут работать при комнатной температуре в полосе оптических длин волн шириной, по крайней мере, 100 нм с центром полосы, приходящимся на длину волны 1550 или 1300 нм, которые представляют особый интерес для оптической телекоммуникации.

Подложка 1 состоит из кристалла LiNbO_3 , срезанного перпендикулярно оси X; волноводы 11, 12, 23, 24, 33, 34 и 110 ориентированы вдоль оси кристалла Y. Вместо LiNbO_3 может быть использован какой-то иной двулучепреломляющий, фотоупругий и пьезоэлектрический материал, выбранный из группы, состоящей из TaO_3 , TeO_2 , CaMoO_4 . Полная длина устройств составляет примерно 40-50 мм.

Оптические волноводы 14, 15, 36 и 37 переключателя и фильтра, показанных на фиг. 1 и 2, могут быть изготовлены образованием фоторезисторной маски, охватывающей полосы 50 подложки 1, в результате чего получают оптические волноводы 14 и 36 шириной 110 мкм. На поверхность, ограниченную просветами в маске, осаждают слой титана толщиной 160 нм, а затем проводят также в течение 31 ч диффузию титана в подложку, делая это в печи при температуре 1060°C. Благодаря воздействию диффузии скорость акустических волн возрастает примерно на 0,3%, в результате чего площадки 50 ограничивают распространение акустических волн, направляя их вдоль волноводов 14 и 36.

Оптические волноводы и поляризационные расщепители могут быть созданы проведением диффузии в подложку, изготовленную из вещества, которое может повышать показатель преломления. Используя фотолитографию, можно нанести слой титана толщиной примерно 120 нм, а затем уже можно в течение 9 ч вести диффузию при температуре 1030°C. У оптических волноводов маска имеет апертуру с шириной порядка 7 мкм.

Для оптических и акустических волн следует использовать одномодовые оптические и акустические волноводы.

Встречно-ребенчатые электроды у электроакустических преобразователей 14 и 36 образуют осажждением на (пьезоэлектрическую) подложку 1, расположенную под углом примерно в 5° к оси Y. Необходимо, чтобы преобразователи содержали 15-20 или более пар встречно-ребенчатых электродов, расположенных с периодичностью примерно в 20,8 мкм. Электроды, предпочтительно, должны характеризоваться изменяемым шагом (для импульсивного сигнала с линейной частотной модуляцией), чтобы расширяться полоса чувствительности. Величину периодичности находят по величине длины волны в LiNbO_3 у акустической поверхностной волны с частотой порядка 173,5 МГц, которая необходима для превращения, при котором у оптической длины волны порядка 1550 нм поперечная электрическая компонента оказывается больше поперечной магнитной компоненты или наоборот. Изменяя периодичность расположения электродов, можно приготовить преобразователи, пригодные для использования в акустооптических

устройствах, работающих в других полосах длин волн. Электроды могут быть получены осаждением на подложку металлического слоя, допустим алюминия, с толщиной 500 нм.

На длине волны 1500 или 1600 нм акустооптическое устройство можно перестраивать на 50 нм относительно центральной длины волны величиной 1550 нм, подавая для этого на встречно-ребенчатые электроды мощность величиной порядка 100 мВт вместо (примерно) 50 мВт, требуемых для работы на центральной длине волны.

На фиг. 4 показано акустооптическое устройство, представляющее собой переключатель или фильтр, у которого в компенсационной ступени 10 или 100 и в ступени превращения 20 на подложку 1 нанесены две небольшие медные пластинки 60 и 61 и два элемента Пельтье 62 и 63, которые используют в качестве терморегуляторов. Посредством элементов Пельтье можно изменять температуру ступеней 10 или 100 и 20, компенсируя отсутствие гомогенности как у материала подложки 1, так и у материала оптических волноводов и корректируя погрешности у параметров оптических волноводов.

Формула изобретения:

1. Акустооптическое волноводное устройство, избирательное в соотношении длины волны и независимое от поляризации, включающее в себя подложку (1) из двулучепреломляющего и фотоупругого материала, на которой образуют, по крайней мере, одну ступень поляризационного превращения поляризационной моды (20) оптического сигнала в предварительно выбранной области длин волн, включающую в себя первый и второй оптические волноводы (33, 34), по существу расположенные параллельно один другому и размещенные на предварительно выбранном расстоянии, первое средство генерирования акустической поверхностной волны (36), связанное с первым и вторым оптическими волноводами (33, 34), и первый акустический волновод (35), содержащий, по крайней мере, одну часть первого и второго оптических волноводов (33, 34), причем каждый из первого и второго оптических волноводов (33, 34) выполнен с возможностью принимать одну из двух взаимно ортогональных поляризационных компонент акустического сигнала и испускать соответствующую компоненту ортогональной поляризации, первый и второй поляризационно избирательные элементы (18, 19), расположенные соответственно до и после упомянутой ступени превращения (20) и оптически соединенные с первым и вторым волноводами (33, 34) для раздельной передачи двух поляризационных компонент, отличающееся тем, что на упомянутой подложке (1) образуют также, по крайней мере, одну компенсационную ступень (10 и 100) для превращения поляризационной моды оптического сигнала в предварительно выбранной области длин волн, содержащую, по крайней мере, один третий оптический волновод (11 и 110), оптически соединенный с одним из указанных первым и вторым поляризационно избирательным элементом (18, 19), второе средство генерирования акустической поверхностной волны (14),

связанное с третьим оптическим волноводом (11 и 110), и второй акустический волновод (13), содержащий, по крайней мере, одну часть третьего оптического волновода (11 и 110), и в котором третий оптический волновод (11 и 110) последовательно присоединен к ступени превращения (20) поляризационной моды, причем третий оптический волновод (11 и 110) приводит две поляризационные компоненты в объединенном виде.

2. Акустооптическое устройство по п.1, отличающееся тем, что компенсационная ступень (10) дополнительно содержит четвертый оптический волновод (12), расположенный, по существу, параллельно третьему оптическому волноводу (11) и размещенный на предварительно выбранном расстоянии от него, причем четвертый оптический волновод (12) выполнен оптически соединенным с одним из указанных первым и вторым поляризационно избирательным элементом (18, 19), средство генерирования акустической поверхностной волны (14) является связанным с четвертым оптическим волноводом (12), второй акустический волновод (13) содержит, по крайней мере, одну часть четвертого оптического волновода (12), третий и четвертый оптические волноводы (11, 12) выполнены присоединенными к соответствующим оптически доступным волноводным ветвям (2, 3), разделенным и разнесенным, по крайней мере, на величину третьего и четвертого оптических волноводов (11, 12), в результате чего каждый из третьего и четвертого оптических волноводов (11, 12) проводят две поляризационные компоненты в объединенном виде.

3. Акустооптическое устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что первый и второй оптические волноводы (33, 34) и третий и четвертый оптические волноводы (11, 12) выполнены разнесенными на расстояние, примерно составляющее 40 мкм.

4. Акустооптическое устройство по п.3, отличающееся тем, что первый и второй акустические волноводы (35, 13) имеют ширину порядка 110 мкм.

5. Акустооптическое устройство по п.2, отличающееся тем, что каждая из оптически доступных волноводных ветвей (2, 3) содержит два участка (4, 5, 6, 7), искривленных в противоположные стороны.

6. Акустооптическое устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что второй поляризационно избирательный элемент (19) соединен с оптическими выходными волноводными ветвями (21, 22), каждая из которых содержит два участка (40, 41 и 42, 43), искривленных в противоположные стороны.

7. Акустооптическое устройство по п. 5 или 6, отличающееся тем, что участки оптических волноводов (4, 5, 6, 7 и 40, 41, 42, 43) выполнены искривленными по дуге с радиусом кривизны в области от 100 до 180 мм.

8. Акустооптическое устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что, по крайней мере, на одной из компенсационных ступеней (10 и 100) и на ступени превращения (20) регулировочные элементы (60, 61 и 62, 63) оказывают воздействие на подложку (1), изменяя температуру, по крайней мере, одной из компенсационных ступеней (10 и 100) и

ступени превращения (20) для компенсации неоднородностей двойного лучепреломления материала подложки (1) и оптических волноводов (33, 34, а также 11 и 110, 12).

5 9. Акустооптическое устройство по п.8, отличающееся тем, что регулировочные элементы (60, 61 и 62, 63) содержат две небольшие медные пластины (60, 61) и два элемента Пельтье (62, 63), приложенные к подложке (1).

10 10. Акустооптическое устройство по п.1 или 2, отличающееся тем, что первое и второе средства генерирования акустических поверхностных волн (36, 14) содержат в каждом случае электроакустический преобразователь (36, 14), образованный встречно-ребенчатыми электродами, выполненными с возможностью генерирования радиочастотной поверхностной акустической волны.

15 11. Акустооптическое устройство по п.10, отличающееся тем, что электроакустический преобразователь (36, 14) помещен в акустический волновод (37, 15) и расположен параллельно и в коммуникационной связи с одним из указанных первым и вторым акустическим волноводом (35, 14) для образования акустического устройства связи с предварительно выбранной длиной взаимодействия.

20 12. Акустооптическое устройство по п.10, отличающееся тем, что содержит два электроакустических преобразователя (36, 14), задействованных от общего сигнала возбуждения.

25 13. Способ акустооптического переключателя оптического сигнала, в котором разделяют поляризационные компоненты оптического сигнала с направлением их по двум различным волноводным путям, осуществляют поляризационное превращение разделенных поляризационных компонент упомянутого сигнала в обоих путях посредством акустооптического взаимодействия с первой общей акустической волной, объединяют поляризационные компоненты оптического сигнала, отличающийся тем, что последовательно с упомянутыми этапами обеспечивают дополнительный этап превращения неразделенных поляризационных компонент оптического сигнала посредством акустического взаимодействия со второй общей акустической волной, причем вторая акустическая волна обладает частотой, равной частоте первой акустической волны.

30 14. Способ по п.13, отличающийся тем, что тонкая подстройка, по крайней мере, одного из этапов поляризационного превращения включает в себя регулировку температуры подложки с волноводными дорожками.

35 15. Способ по п.13, отличающийся тем, что этап превращения поляризационных компонент посредством акустооптического взаимодействия включает в себя подачу первого электрического сигнала с данной частотой на электроакустический преобразователь (14), причем дополнительный этап поляризационного превращения посредством акустооптического взаимодействия включает в себя подвод второго электрического сигнала той же заданной частоты на второй электроакустический преобразователь (36).

16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что на оба, первый и второй, электроакустических преобразователя (14, 36)

подают единый электрический сигнал данной частоты.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

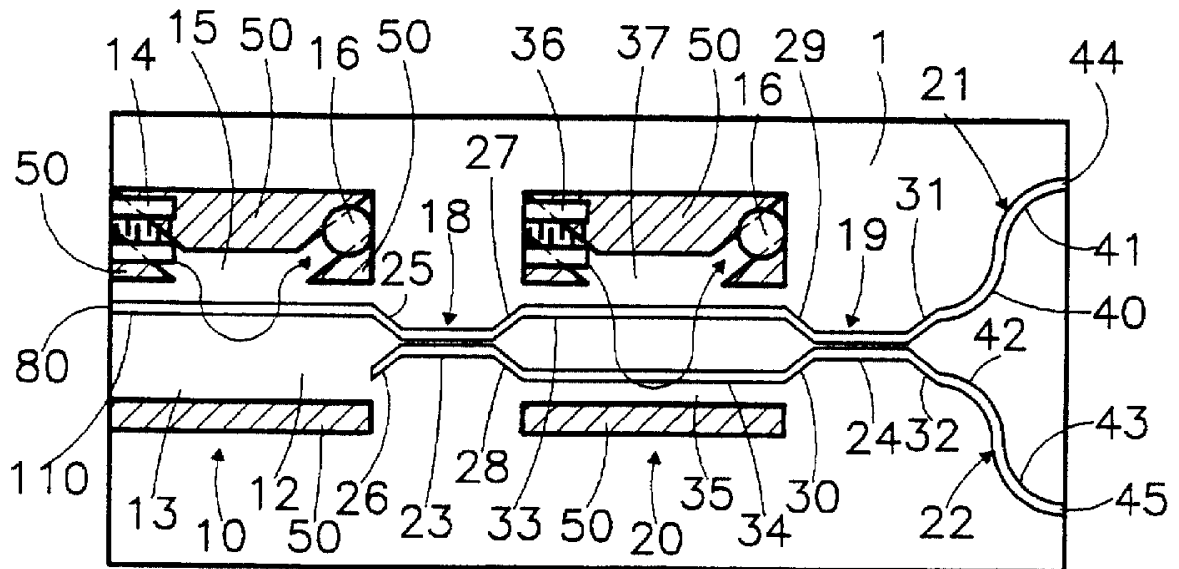
60

RU 2 1 6 1 3 2 4 C 2

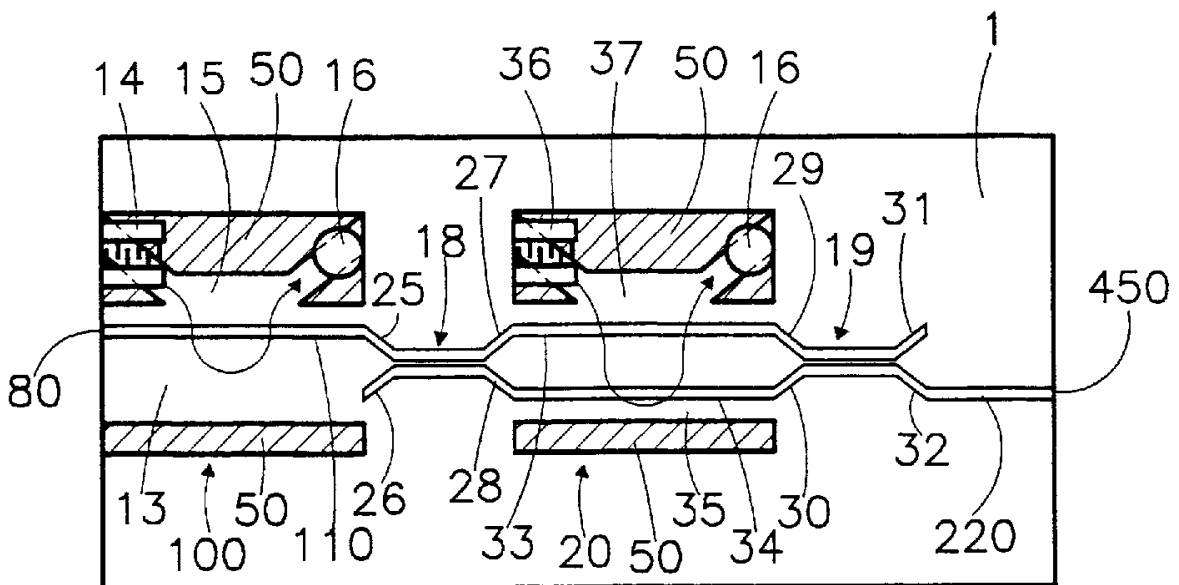
RU 2 1 6 1 3 2 4 C 2

Таблица 1

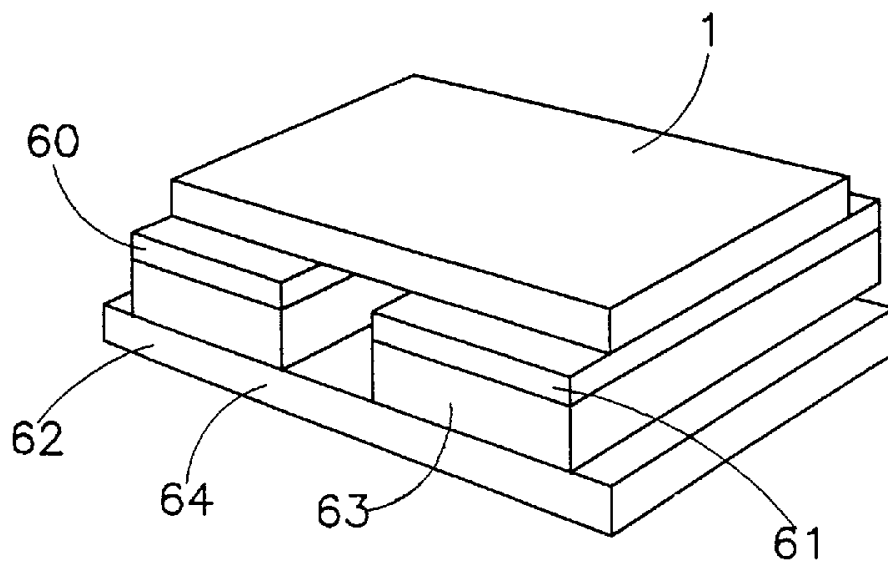
Компонента	поляризации	Распространение	
		коллинеарное	контрालиinearное
поперечная	электрическая	+	-
поперечная	магнитная	-	+



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4