



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G02F 1/0063 (2025.01); G02F 1/0018 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024139868, 26.12.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.12.2024

Дата регистрации:  
06.06.2025

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 26.12.2024

(45) Опубликовано: 06.06.2025 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
105005, Москва, вн.тер.г. Муниципальный  
округ Басманный, ул.2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
ФГБОУ ВО МГТУ им.Н.Э.Баумана, Амелина  
Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):  
Родионов Илья Анатольевич (RU),  
Лотков Евгений Сергеевич (RU),  
Бабурин Александр Сергеевич (RU),  
Амирасланов Али Шихалиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

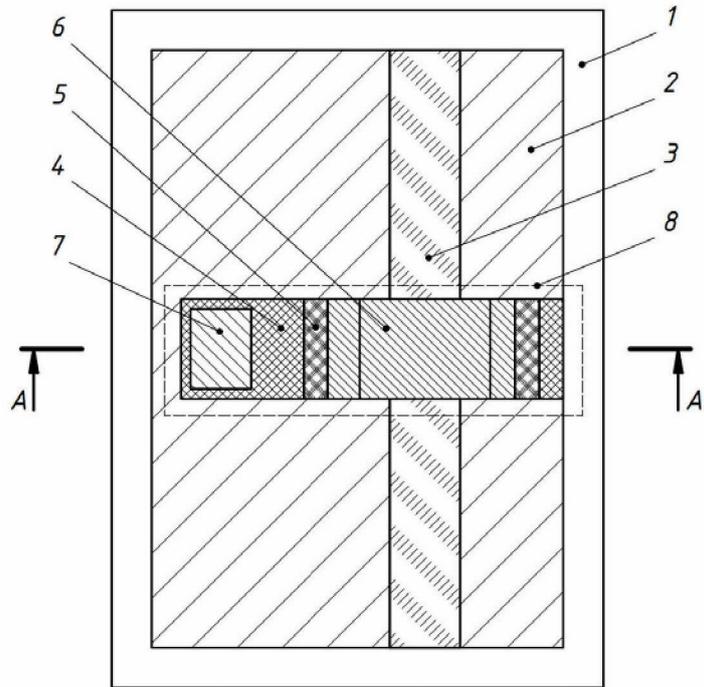
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 10908440 B1, 02.02.2021. US  
10908438 B1, 02.02.2021. US 6845198 B2,  
21.10.2004. CN 112835214 A, 25.05.2021. RU  
187990 U1, 26.03.2019.

(54) Интегральный электрооптический модулятор

(57) Реферат:

Изобретение относится к области фотонных интегральных схем и может быть использовано в устройствах сверхвысокочастотной обработки и передачи информации, а также в вычислительных схемах и системах направления оптического излучения. Технический результат заключается в снижении оптических потерь волноводной схемы модулятора и возможности работать с видимым диапазоном длин волн. Указанный результат достигается за счет то, что в интегральном электрооптическом модуляторе, содержащем подложку 1, на которой последовательно расположены оптическая оболочка 2, удлиненный вдоль координаты Y волновод 3, прозрачный проводящий слой оксида 4, удлиненный вдоль координаты X,

перпендикулярной координате Y, и пересекающий преимущественно под углом 90° волновод 3, слой диэлектрика 5, который совпадает по ширине с прозрачным проводящим слоем оксида 4, оставляет свободными его края и расположен над волноводом 3, металлический электрод 6, который совпадает по ширине со слоем диэлектрика 5 и расположен над волноводом 3, причем прозрачный проводящий слой оксида 4, слой диэлектрика 5 и металлический электрод 6 образуют конденсатор 8, при этом на свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида 4 расположен металлический контакт 7, в качестве материала для волновода 3 используют нитрид кремния. 5 з.п. ф-лы, 12 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G02F 1/0063 (2025.01); G02F 1/0018 (2025.01)*

(21)(22) Application: **2024139868, 26.12.2024**

(24) Effective date for property rights:  
**26.12.2024**

Registration date:  
**06.06.2025**

Priority:

(22) Date of filing: **26.12.2024**

(45) Date of publication: **06.06.2025** Bull. № 16

Mail address:

**105005, Moskva, vn.ter.g. Munitsipalnyj okrug  
Basmannyj, ul.2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,  
FGBOU VO MGTU im.N.E.Baumana, Amelina  
Kseniya Evgenevna**

(72) Inventor(s):

**Rodionov Ilia Anatolevich (RU),  
Lotkov Evgenii Sergeevich (RU),  
Baburin Aleksandr Sergeevich (RU),  
Amiraslanov Ali Shikhalievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi  
tekhnikeskii universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyi issledovatel'skii universitet)»  
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **INTEGRATED ELECTROOPTIC MODULATOR**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention relates to photonic integrated circuits and can be used in microwave information processing and transmission devices, as well as in computer circuits and optical radiation direction systems. Integrated electro-optical modulator has substrate 1 on which the following components are arranged in series: optical cladding 2, elongated along Y axis waveguide 3, transparent conducting oxide layer 4, elongated along the X coordinate, perpendicular to the Y coordinate, and crossing mainly at angle of 90° waveguide 3, dielectric layer 5, which coincides in width with transparent conducting layer of oxide 4,

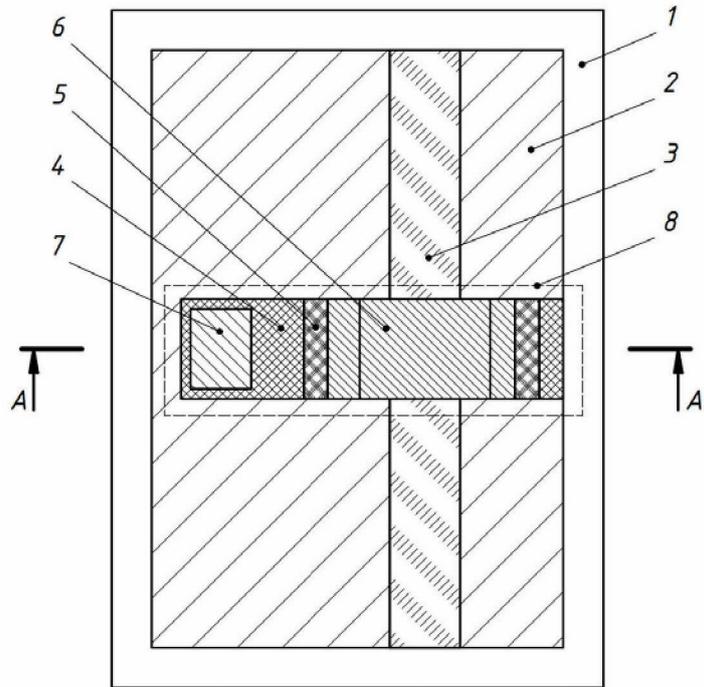
leaves free its edges and is located above waveguide 3, metal electrode 6, which coincides in width with dielectric layer 5 and is located above waveguide 3, wherein transparent conducting oxide layer 4, dielectric layer 5 and metal electrode 6 form capacitor 8, wherein on free edge of transparent conducting oxide layer 4 there is metal contact 7, silicon nitride is used as material for waveguide 3.

EFFECT: reduced optical losses of the waveguide circuit of the modulator and possibility of operating in the visible wavelength range.

6 cl, 12 dwg

**RU 2 841 350 C1**

**RU 2 841 350 C1**



Фиг. 1

Изобретение относится к области фотонных интегральных схем и может быть использовано в устройствах сверхвысокочастотной обработки и передачи информации, а также в вычислительных схемах и системах направления оптического излучения.

Известен полупроводниковый оптический модулятор, который представляет собой кремниевый гребневый волновод, сформированный на скрытом оксидном слое. Волновод сформирован путем травления кремния пластины кремний-на-изоляторе (КНИ). Размеры волновода могут находиться в диапазоне от примерно 150 нм до примерно 1000 нм в обоих поперечных измерениях. Таким образом, кремниевый слой на скрытом оксидном слое имеет выступающий из него кремниевый волновод. Диэлектрическая оболочка, например,  $\text{SiO}_2$  может окружать полупроводниковый волновод с одной или нескольких его сторон. Структура представляет собой ряд слоев, образующих конденсатор, который имеет вход, выход, изолятор и внутри резистивный материал, который вносит основную резистивную функцию элемента. Вся секция волновода может быть легирована, т. е. вся секция волновода внутри модулятора может быть легирована по всему его поперечному сечению. Тонкий диэлектрический слой, также известный как «слой диэлектрика затвора», сформирован на одной или нескольких сторонах волновода. В вариантах реализации изобретения диэлектрический материал затвора имеет высокую диэлектрическую проницаемость, т. е. в диапазоне около 4-10 или больше. Кроме того, в вариантах реализации изобретения диэлектрический материал затвора является прозрачным на рабочих длинах волн модулятора. Диэлектрический материал с высокой диэлектрической проницаемостью слоя диэлектрика расположен так, чтобы контактировать, например, с покрытием, непосредственно прилегающим к легированному полупроводниковому слою на одной или нескольких сторонах волновода. Прозрачный проводящий слой расположен так, чтобы находиться в контакте со слоем диэлектрика затвора, например, в виде покрытия, расположенного на одной или нескольких непосредственно смежных сторонах волновода. Прозрачный проводящий слой не обязательно должен покрывать весь слой диэлектрика затвора. В некоторых вариантах реализации изобретения прозрачный проводящий слой находится на «верхней» стороне волновода, а также на двух его боковых «сторонах», но не на его «нижней» стороне, которая является частью волновода, наиболее близкой к слою кремния, волновод которого образован на скрытом оксидном слое. Первый электрический контакт, т. е. так называемый «нижний» контакт, с низким сопротивлением к легированному полупроводниковому слою, который простирается в кремниевом слое, выходящим из волновода, может быть сформирован на легированном кремниевом слое вблизи волновода. Например, нижний контакт может быть сформирован как можно ближе к остальной части структуры модулятора без образования короткого замыкания между нижним контактом и остальной частью структуры модулятора, например, прозрачным проводником и/или вторым контактом [Патент US 10,908,438].

Недостаток этого устройства заключается в высоких оптических потерях кремниевого волновода на всей фотонной схеме и невозможности работы с видимым диапазоном.

Известен также интегральный электрооптический модулятор, содержащий подложку, на которой последовательно расположены оптическая оболочка, удлиненный вдоль координаты Y волновод, прозрачный проводящий слой оксида, удлиненный вдоль координаты X, перпендикулярной координате Y, и пересекающий преимущественно под углом  $90^\circ$  волновод, слой диэлектрика, который совпадает по ширине с прозрачным проводящим слоем оксида, оставляет свободными его края, и расположен над волноводом, металлический электрод, который совпадает по ширине со слоем диэлектрика, и расположен над волноводом, причем прозрачный проводящий слой

оксида, слой диэлектрика и металлический электрод образуют конденсатор, при этом на свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида расположен металлический контакт [Патент US 10,908,440 B1]. Недостаток этого устройства заключается в высоких оптических потерях кремниевого волновода на всей фотонной схеме и невозможности

5 работы с видимым диапазоном.

Это устройство выбрано в качестве прототипа предложенного решения.

Технический результат изобретения заключается в снижении оптических потерь волноводной схемы модулятора и возможности работать с видимым диапазоном длин волн.

10 Сущность изобретения заключается в том, что в интегральном электрооптическом модуляторе, содержащем подложку, на которой последовательно расположены оптическая оболочка, удлинённый вдоль координаты Y волновод, прозрачный проводящий слой оксида, удлинённый вдоль координаты X, перпендикулярной координате Y, и пересекающий преимущественно под углом 90° волновод, слой

15 диэлектрика, который совпадает по ширине с прозрачным проводящим слоем оксида, оставляет свободными его края, и расположен над волноводом, металлический электрод, который расположен над волноводом, причем прозрачный проводящий слой оксида, слой диэлектрика и металлический электрод образуют конденсатор, при этом на свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида расположен металлический

20 контакт, в качестве материала для волновода используют нитрид кремния.

Существует вариант, в котором волновод имеет прямоугольное поперечное сечение и расположен на оптической оболочке.

Существует также вариант, в котором волновод имеет прямоугольное поперечное сечение и углублен в оптическую оболочку.

25 Существует также вариант, в котором волновод имеет уширение по координате X, расположенное под прозрачным проводящим слоем оксида.

Существует также вариант, в котором прозрачный проводящий слой оксида, пересекает волновод под углом 45°.

30 Существует также вариант, в котором металлический электрод выходит за пределы слоя прозрачного проводящего оксида, по меньшей мере, с одной стороны волновода.

На фиг. 1 изображена схема интегрального электрооптического модулятора (вид сверху).

На фиг. 2 изображено сечение А-А по фиг. 1.

35 На фиг. 3 изображена схема интегрального электрооптического модулятора с углубленным волноводом (сечение)

На фиг. 4 изображена схема интегрального электрооптического модулятора с трапецевидными элементами (вид сверху)

На фиг. 5 изображена схема интегрального электрооптического модулятора с наклоном прозрачного проводящего оксида под углом 45° (вид сверху)

40 На фиг. 6 изображена схема интегрального электрооптического модулятора с выводом верхнего металлического электрода за пределы прозрачного проводящего оксида и диэлектрика (вид сверху)

45 На фиг. 7 изображена схема интегрального электрооптического модулятора с расположением металлического электрода и металлического контакта по обе стороны от волновода (вид сверху)

На фиг. 8 изображена схема формирования выступающего волновода через резистивную маску (сечение)

На фиг. 9 изображена схема формирования углубленного волновода с помощью

процесса химико-механической планаризации (сечение)

На фиг. 10 изображена схема формирования слоя прозрачного проводящего оксида методом электронно-лучевого испарения  $\text{In}_2\text{O}_3$  или  $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}$  из тигля и ассистированием ионами газов Ar и  $\text{O}_2$  через ионный источник (сечение)

На фиг. 11 изображена схема формирования структур диэлектрика (сечение)

На фиг. 12 изображена схема формирования металлического электрода и металлического контакта через резистивную маску (сечение)

Интегральный электрооптический модулятор содержит подложку 1 (фиг. 1, фиг. 2), на которой последовательно расположены оптическая оболочка 2, удлинённый вдоль координаты Y волновод 3, а также прозрачный проводящий слой оксида 4, удлинённый вдоль координаты X, перпендикулярной координате Y. В качестве подложки 1 можно использовать кремний. Оптическая оболочка 2 может быть изготовлена из оксида кремния. Длина волновода 3 может быть в диапазоне от 10 мкм до 1 м. Ширина волновода 3 по координате X может быть в диапазоне от 2300 до 3500 нм. Толщина волновода 3 по координате Z может быть в диапазоне от 300 до 600 нм. Материалом прозрачного проводящего слоя оксида 4 может быть оксид индия или оксид индия-олова. Длина прозрачного проводящего слоя оксида 4 может быть в диапазоне от 25 до 200 мкм. Ширина прозрачного проводящего слоя оксида 4 по координате Y может быть в диапазоне 1.55 до 15.5 мкм. Толщина прозрачного проводящего слоя оксида 4 по координате Z может быть в диапазоне от 10 до 30 нм. При этом прозрачный проводящий слой оксида 4 пересекает преимущественно под углом  $90^\circ$  волновод 3. На прозрачном проводящем слое оксида 4 расположен слой диэлектрика 5, который совпадает с ним по ширине, оставляет свободными его края, и расположен над волноводом 3. В качестве материала диэлектрика 5 можно использовать оксид алюминия или оксид гафния. Длина диэлектрика 5 по координате X может быть в диапазоне от 4 до 100 мкм. Толщина диэлектрика 5 по координате Z может быть в диапазоне от 10 до 30 нм. На диэлектрике 5 расположен металлический электрод 6, который совпадает по ширине со слоем диэлектрика 5 и расположен над волноводом 3. В качестве материала металлического электрода 6 можно использовать золото, алюминий или серебро. Длина металлического электрода 6 по координате X может быть в диапазоне от 4 до 10 мкм. Толщина металлического электрода 6 по координате Z может быть в диапазоне от 40 до 300 нм. Прозрачный проводящий слой оксида 4, слой диэлектрика 5 и металлический электрод 6 образуют конденсатор 8. На свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида 4 расположен металлический контакт 7, изготовленный, например, из золота, алюминия или серебра. Размеры металлического контакта 7 по координатам X, Y и Z могут быть соответственно в диапазонах от 10 до 80 мкм, от 1 до 15 мкм, от 40 до 300 нм. В качестве материала для волновода 3 используют нитрид кремния.

Существует вариант, в котором волновод 3 (фиг. 2) имеет прямоугольное поперечное сечение и расположен на оптической оболочке 2.

Существует также вариант, в котором волновод 3 (фиг. 3) имеет прямоугольное поперечное сечение и углублен в оптическую оболочку 2.

Существует также вариант, в котором волновод 3 (фиг. 4) имеет уширение 9 по координате X, расположенное под прозрачным проводящим слоем оксида 4. Размеры уширения 9 по координатам X и Y могут быть соответственно в диапазонах от 2900 до 4000 нм, от 10 до 30 мкм. Уширение 9 может начинаться, как указано на фиг. 4 и выходить на полную ширину под конденсатором 8.

Существует также вариант, в котором прозрачный проводящий слой оксида 4 (фиг.

5), пересекает волновод 3 под углом  $45^\circ$ . Этот вариант является оптимальным, но могут быть и иные углы расположения прозрачного проводящего слоя оксида 4 относительно волновода 3.

5 Существует также вариант, в котором металлический электрод 6 выходит за пределы слоя прозрачного проводящего оксида 4 (фиг. 6), по меньшей мере, с одной стороны волновода 3. При этом выходящая часть металлического электрода 6 может иметь С-образную форму с двумя выходами (как указано на фиг.6), но также могут быть и другие формы, например, Г-образная с одним выходом.

10 Существует также вариант, в котором металлический электрод 6 выходит за пределы слоя прозрачного проводящего оксида 4 (фиг. 7) с двух сторон волновода 3. При этом выходящие части металлического электрода 6 могут иметь С-образные формы с двумя выходами (как указано), но также могут быть и другие формы, например, Г-образная с одним выходом.

15 Способ изготовления интегрального электрооптического модулятора может состоять из следующих операций. Методом термического окисления в парах воды на кремниевую подложку 1 наносится оптическая оболочка из оксида кремния 2, толщиной единицы микрометров. Затем методом химического осаждения из газовой фазы при низком давлении наносится слой нитрида кремния. Далее формирование волновода 3 из нитрида кремния происходит с помощью электронно-лучевой литографии и плазменно-  
20 химического травления (ПХТ) через первую резистивную маску 10 (Фиг. 8) [подробнее см. в Liu, J., Huang, G., Wang, R.N. et al. Nat Commun 12, 2236 (2021)]. На этой стадии также могут быть сформированы уширения 9. В случае конструкции с углубленным волноводом 3 в оптическую оболочку 2 последовательность операций может быть следующая. После нанесения оптической оболочки 2 в ней методами литографии и  
25 ПХТ формируются прямоугольные канавки для будущих волнопроводов; затем выполняется нанесение пленки из нитрида кремния методом осаждения из газовой фазы при низком давлении; далее поверхность из нитрида кремния планаризуется вплоть до стенок оптической оболочки методом химико-механической планаризации шлифовальной подушкой 11 так, чтобы остался только волновод 3 в канавках (Фиг.  
30 9) [подробнее см. в Churaev M. et al. Nat Commun. 14, 1 (2023)]. Затем проводятся операции формирования конденсатора 8. Через заранее сформированную вторую резистивную маску 12 происходит осаждение слоя прозрачного проводящего оксида 4 из оксида индия-олова или оксида индия, например, методом электронно-лучевого испарения из тигля 13 при ассистировании ионами кислорода и аргона из источника ионов 14 (Фиг.  
35 10) [подробнее см. в Lotkov, E.S., Baburin, A.S., Ryzhikov, I.A. et al. Sci Rep 12, 6321 (2022)]. Далее методом атомно-слоевого осаждения наносится оксид алюминия или оксид гафния с последующим жидкостным травлением слоя диэлектрика 5 через третью резистивную маску 15 (Фиг. 11). Затем вакуумным осаждением наносят структуры металлического электрода 6 и металлического контакта 7 через четвертую резистивную  
40 маску 16, подготовленную электронно-лучевой литографией (Фиг. 12) [подробнее см. в Amin, R., Maiti, R., Gui, Y. et al. Sci Rep 11, 1287 (2021)]. Для всех описанных конструкций операции формирования слоев конденсатора 8 будут аналогичными. Ввод сигнала может осуществляться в торцевые или вертикально-решетчатые элементы, изготовленные на стадии формирования волновода 3 и, при необходимости, посредством  
45 полировки поверхности торца волновода 3 [подробнее см. в Mu, X., Wu, S., Cheng, L., & Fu, H. Y. Applied Sciences, 10(4), 1538, (2020)].

Интегральный электрооптический модулятор функционирует следующим образом:  
При приложении электрического потенциала между металлическим электродом 6 и

металлическим контактом 7, на границе слоя диэлектрика 5 и прозрачного проводящего оксида 4 в конденсаторе 8 образуется слой накопления заряда толщиной в единицы нанометров, где концентрация электронов значительно увеличивается по сравнению с исходной. В области накопления заряда прозрачный проводящий слой оксида 4  
5 изменяет действительную и мнимую часть диэлектрической проницаемости из-за эффекта дисперсии свободных носителей заряда и, следовательно, действительную и мнимую часть показателя преломления. Зависимость диэлектрической проницаемости от концентрации электронов в прозрачных проводящих оксидах определяется моделью Друде-Лоренца. Оптическая мода, которая из волновода 3 попадает в конденсатор 8,  
10 локализуется в слоях прозрачного проводящего слоя оксида 4 и слоя диэлектрика 5, так что ее объем пересекает объем слоя накопления заряда. Поэтому она поглощается или меняет фазу в зависимости от исходных характеристик слоя прозрачного проводящего слоя оксида 4, а также может изменять положение локализации. Таким образом, возможно управлять как интенсивностью, так и фазой излучения, проходящего  
15 через модулятор.

То, что в интегральном электрооптическом модуляторе, содержащем подложку 1, на которой последовательно расположены оптическая оболочка 2, удлиненный вдоль координаты Y волновод 3, прозрачный проводящий слой оксида 4, удлиненный вдоль координаты X, перпендикулярной координате Y, и пересекающий преимущественно  
20 под углом  $90^\circ$  волновод 3, слой диэлектрика 5, который совпадает по ширине с прозрачным проводящим слоем оксида 4, оставляет свободными его края и расположен над волноводом 3, металлический электрод 6, который совпадает по ширине со слоем диэлектрика 5, и расположен над волноводом 3, причем прозрачный проводящий слой оксида 4, слой диэлектрика 5 и металлический электрод 6 образуют конденсатор 8, при  
25 этом на свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида 4 расположен металлический контакт 7, в качестве материала для волновода 3 используют нитрид кремния, дает снижение оптических потерь волноводной схемы модулятора с не более  $0,1$  дБ/см до не более  $0,01$  дБ/см из-за отсутствия свободных носителей заряда и примесей в нитриде кремния и, следовательно, уменьшенного коэффициента поглощения  
30 материала и возможность работать с диапазоном длин волн от  $400$  до  $8000$  нм.

То что волновод 3 имеет прямоугольное поперечное сечение и расположен на оптической оболочке 2, дает возможность максимально локализовать излучение внутри волновода 3, улучшить сопряжение мод между волноводом 3 и конденсатором 8 и, следовательно, уменьшить оптические потери, вносимые сопряжением.

То что волновод 3 имеет прямоугольное поперечное сечение и углублен в оптическую оболочку 2, устраняет возможность появления оптических мод других поляризаций  
35 внутри конденсатора 8 из-за отсутствия условий для распространения на боковых стенках волновода 3, что приводит к снижению оптических потерь, вносимых нарушением поляризации, и повышению эффективности устройства из-за увеличения степени локализации полезной оптической моды.

То что волновод 3 имеет уширение 9 по координате X, расположенное под прозрачным проводящим слоем оксида 4, позволяет увеличить эффективный показатель преломления оптической моды внутри волновода 3 и улучшить сопряжение мод между волноводом 3 и конденсатором 8 и, следовательно, уменьшить оптические потери,  
45 вносимые сопряжением.

То что прозрачный проводящий слой оксида 4, пересекает волновод 3 под углом  $45^\circ$ , дает возможность уменьшить емкость конденсатора 8 из-за уменьшения площади перекрытия металлического электрода 6 и прозрачного проводящего слоя оксида 4 и,

тем самым, увеличить быстродействие устройства из-за уменьшения времени зарядки.

То что металлический электрод 6 выходит за пределы слоя прозрачного проводящего оксида 4, по меньшей мере, с одной стороны волновода 3, дает возможность получить необходимое значение импеданса металлического электрода 6 и металлического контакта 7, уменьшить паразитные отражения высокочастотного сигнала от металлического электрода 6 и металлического контакта 7, и, следовательно, увеличить эффективность модуляции на высоких частотах из-за увеличенной доли полезного сигнала.

(57) Формула изобретения

1. Интегральный электрооптический модулятор, содержащий подложку, на которой последовательно расположены оптическая оболочка, удлинённый вдоль координаты Y волновод, прозрачный проводящий слой оксида, удлинённый вдоль координаты X, перпендикулярной координате Y, и пересекающий преимущественно под углом 90° волновод, слой диэлектрика, который совпадает по ширине с прозрачным проводящим слоем оксида, оставляет свободными его края и расположен над волноводом, металлический электрод, который расположен над волноводом, причем прозрачный проводящий слой оксида, слой диэлектрика и металлический электрод образуют конденсатор, при этом на свободном крае прозрачного проводящего слоя оксида расположен металлический контакт, отличающийся тем, что в качестве материала для волновода используют нитрид кремния.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что волновод имеет прямоугольное поперечное сечение и расположен на оптической оболочке.

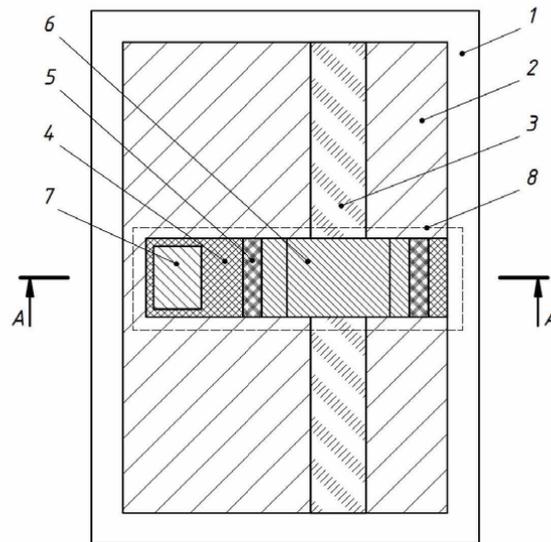
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что волновод имеет прямоугольное поперечное сечение и углублен в оптическую оболочку.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что волновод имеет уширение по координате X, расположенное под прозрачным проводящим слоем оксида.

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что прозрачный проводящий слой оксида пересекает волновод под углом 45°.

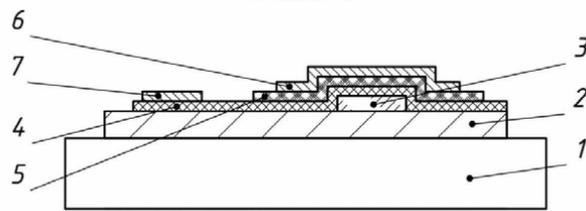
6. Устройство по п.1, отличающееся тем, что металлический электрод выходит за пределы слоя прозрачного проводящего оксида по меньшей мере с одной стороны волновода.

1

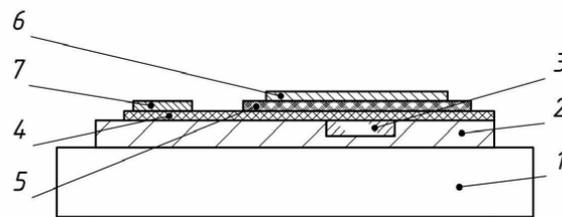


Фиг. 1

Сечение А-А

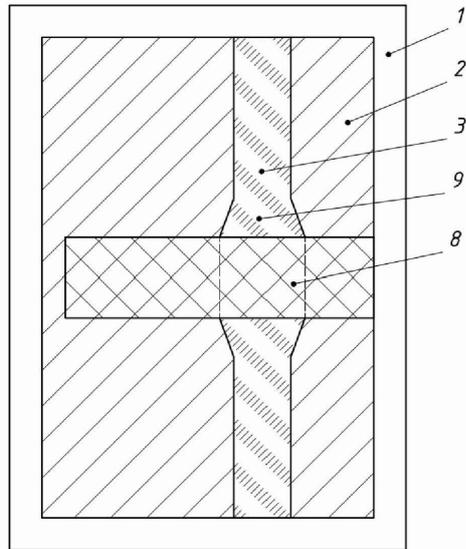


Фиг. 2

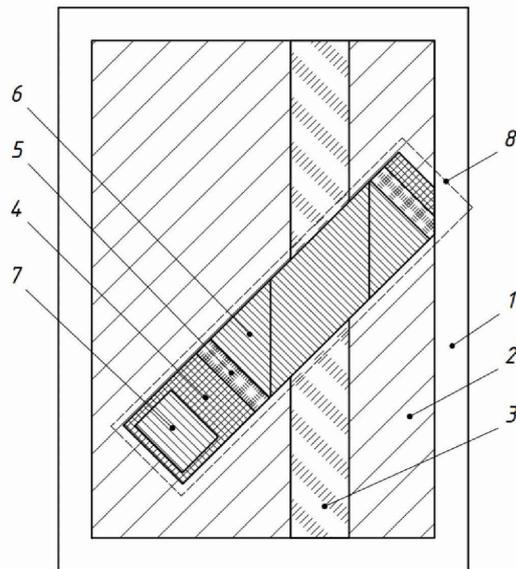


Фиг. 3

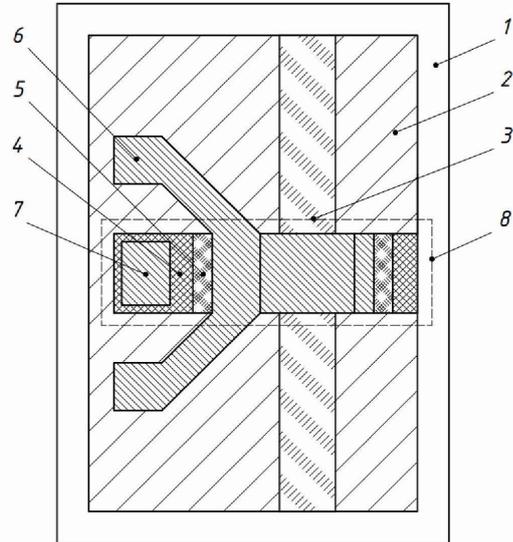
2



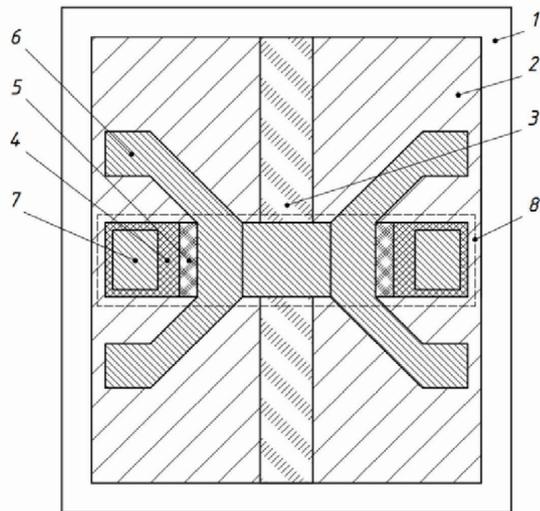
Фиг. 4



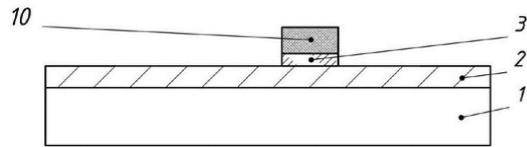
Фиг. 5



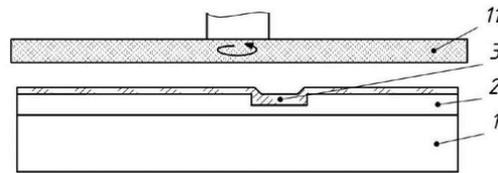
Фиг. 6



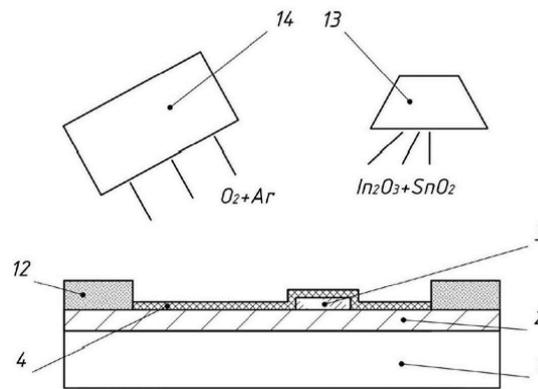
Фиг. 7



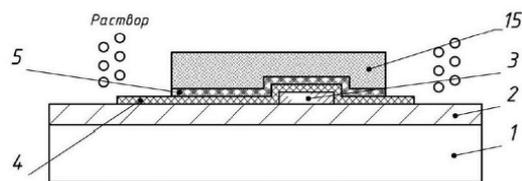
Фиг. 8



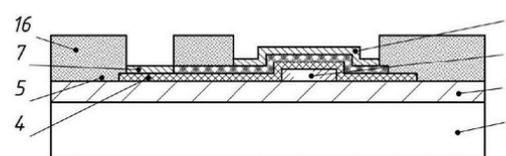
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12