

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02B 6/132 (2026.05)

(21)(22) Заявка: 2025138892, 27.12.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2025Дата регистрации:
11.08.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2025

(45) Опубликовано: 11.08.2026 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн.тер.г. Муниципальный
округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, 5, стр.
1, ФГАОУ ВО "МГТУ", Амелина Ксения
Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Родионов Илья Анатольевич (RU),
Бузаверов Кирилл Алексеевич (RU),
Бабурин Александр Сергеевич (RU),
Авдеев Сергей Сергеевич (RU),
Сергеев Евгений Владимирович (RU),
Крамаренко Алексей Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана
(национальный исследовательский
университет)" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Журнал "Optics Express", статья
Бузаверов К.А. и др. "Low-loss silicon nitride
photonic ICs for near-infrared wavelength
bandwidth", v.31, iss. 10, pp.16227-16242, 2023,
найден в Интернете: <https://doi.org/10.1364/OE.477458>. CN 114400504 A, 26.04.2022. CN
119937090 A, 06.05.2025. WO 2024231800 A1,
14.11.2024. CN 116247108 A, 09.06.2023. CN
(см. прод.)

(54) Способ изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями

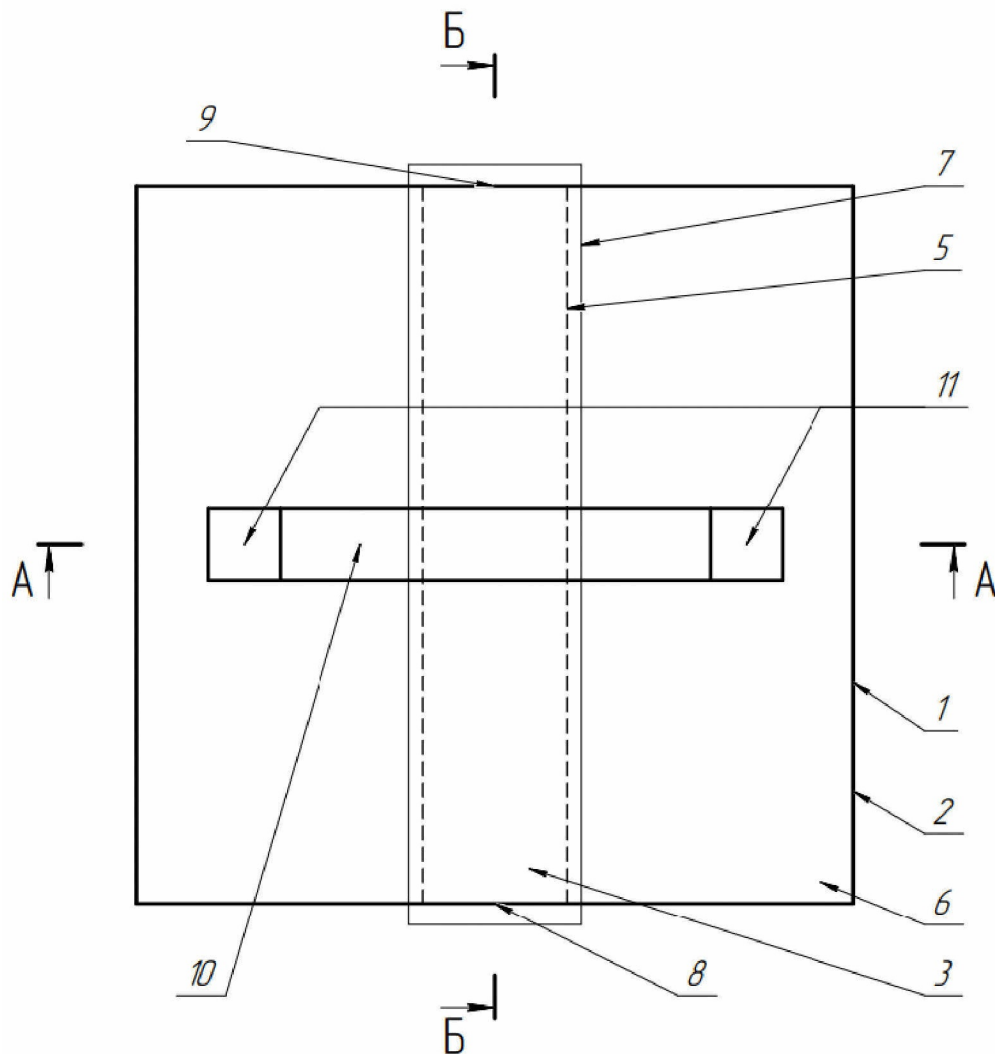
(57) Реферат:

Изобретение относится к области изготовления фотонных интегральных схем, для изготовления волноводных элементов со сверхмалыми потерями. Способ изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями содержит первичную обработку подложки из кремния со слоем диоксида кремния, осаждение слоя нитрида кремния на слой диоксида кремния, нанесение защитной маски на слой нитрида кремния с последующим экспонированием для формирования топологии волноводных элементов, травление слоя нитрида кремния через защитную маску для переноса

топологии волноводных элементов в слой нитрида кремния, осаждение покровного слоя диоксида кремния на слой нитрида кремния для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов. В качестве метода экспонирования используется электронно-лучевая литография через защитную маску с применением методик отведения заряда, в качестве метода травления используется плазменное травление с применением методик снижения шероховатости поверхности, в качестве метода осаждения покровного слоя из диоксида кремния используется химическое осаждение из

газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности, обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов проводят плазменным травлением. Технический

результат – снижение трудоемкости и стоимости изготовления, повышение воспроизводимости размеров и качества изготовления, снижение потерь, снижение трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки. 17 з.п. ф-лы, 13 ил.



Фиг. 11

(56) (продолжение):
113703093 А, 26.11.2021.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G02B 6/132 (2026.05)

(21)(22) Application: **2025138892, 27.12.2025**

(24) Effective date for property rights:
27.12.2025

Registration date:
11.08.2026

Priority:

(22) Date of filing: **27.12.2025**

(45) Date of publication: **11.08.2026** Bull. № 23

Mail address:

**105005, Moskva, vn.ter.g. Munitsipalnyj okrug
Basmannyj, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
FGAOU VO "MG TU", Amelina Kseniya
Evgenevna**

(72) Inventor(s):

**Rodionov Ilia Anatolevich (RU),
Buzaverov Kirill Alekseevich (RU),
Baburin Aleksandr Sergeevich (RU),
Avdeev Sergei Sergeevich (RU),
Sergeev Evgenii Vladimirovich (RU),
Kramarenko Aleksei Borisovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) **METHOD FOR MANUFACTURING PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS WITH ULTRA-LOW LOSSES**

(57) Abstract:

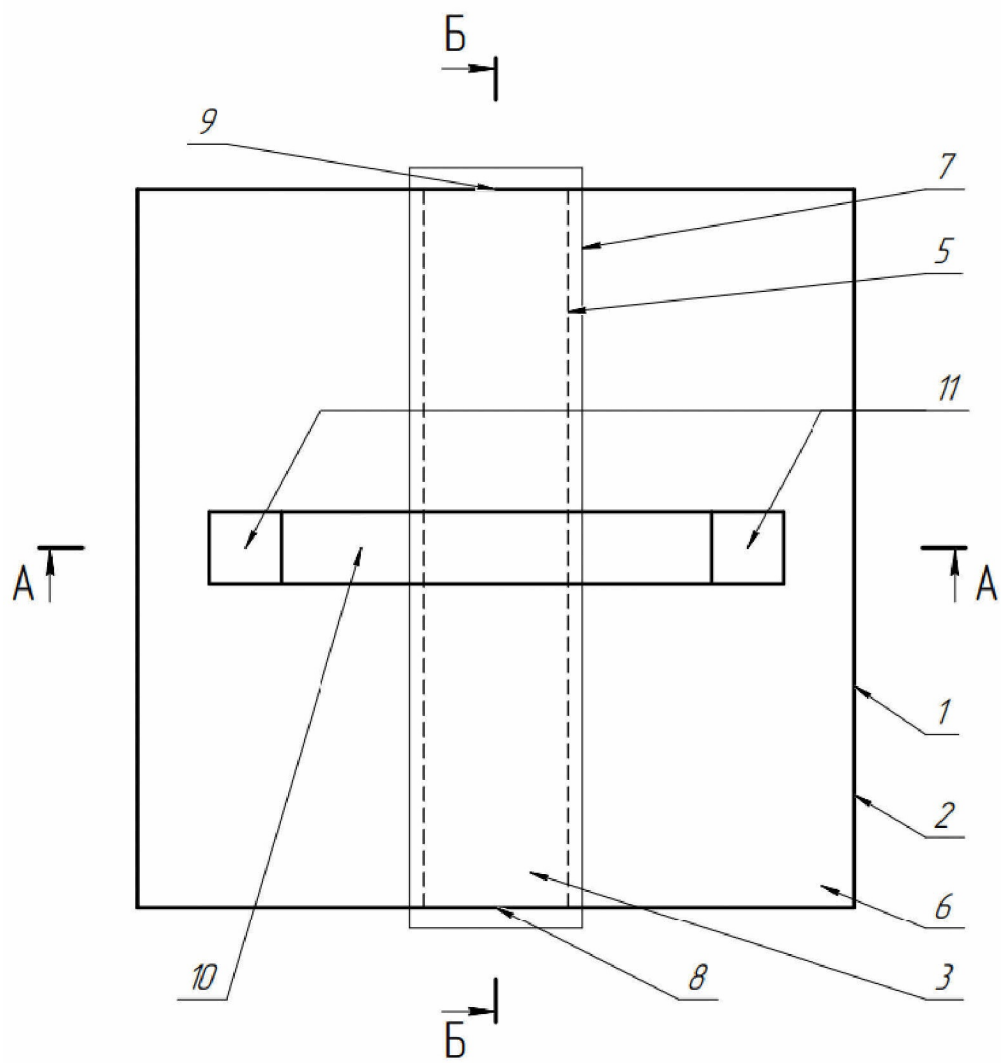
FIELD: electronic engineering.

SUBSTANCE: invention relates to manufacturing photonic integrated circuits for the production of waveguide elements with ultra-low losses. A method for producing ultra-low-loss photonic integrated circuits comprises first processing a silicon substrate with a silicon dioxide layer, depositing a silicon nitride layer on the silicon dioxide layer, applying a protective mask on the silicon nitride layer followed by exposure to form a topology of waveguide elements, etching the silicon nitride layer through the protective mask to transfer the topology of the waveguide elements to the silicon nitride layer, depositing a silicon dioxide cover layer on the silicon nitride layer to form silicon dioxide/silicon nitride/silicon dioxide waveguide elements. Electron beam lithography through a protective mask

using charge removal techniques is used as the exposure method, plasma etching using surface roughness reduction techniques is used as the etching method, low-pressure chemical vapor deposition using conformality enhancing techniques is used as the deposition method of the silicon dioxide coating layer, and the processing of the front and back end surfaces of silicon dioxide/silicon nitride/silicon dioxide waveguide elements is carried out by plasma etching.

EFFECT: reduction in labour intensity and cost of manufacturing, increase in the reproducibility of sizes and quality of manufacturing, reduction in losses, and reduction in the labour intensity of subsequent optoelectronic assembly.

18 cl, 13 dwg



Фиг. 11

Изобретение относится к области изготовления фотонных интегральных схем и оптоэлектронных устройств для оптических сопроцессоров, а именно к системам на основе волноводных элементов из нитрида кремния, и может быть использовано для изготовления волноводных элементов со сверхмалыми потерями на распространение и сверхмалыми вносимыми потерями при вводе и выводе излучения через лицевую и обратную торцевые поверхности волноводных элементов.

Известен способ изготовления фотонных интегральных схем, содержащий первичную обработку подложки из кремния со слоем диоксида кремния, осаждение слоя нитрида кремния на слой диоксида кремния с использованием метода плазмохимического осаждения из газовой фазы с источником индуктивно-связанной плазмы при температуре не выше 250 °С с применением дейтерированного силана и азота в качестве прекурсоров, изготовление волноводных элементов с использованием методов экспонирования в глубоком ультрафиолете и плазменного травления, осаждение покровного слоя диоксида кремния с использованием метода плазмохимического осаждения из газовой фазы с источником индуктивно-связанной плазмы при температуре не выше 250 °С с применением дейтерированного силана и кислорода в качестве прекурсоров, обработку лицевой и обратной торцевых поверхностей волноводных элементов дисковой резкой [Патент US 2024/0210625 A1, опубл. 27.07.2024].

Его недостаток заключается в том, что использование дейтерированного силана приводит к повышенным затратам и увеличению трудоемкости и стоимости технологического маршрута из-за необходимости обращения с нестандартными химическими веществами. Другим недостатком является использование низких температур при осаждении нитрида кремния и диоксида кремния, что снижает воспроизводимость и качество осажденных пленок и, как следствие, волноводных элементов, что ведет к возникновению дополнительных источников потерь на распространение в волноводных элементах в широком диапазоне длин волн. Дополнительно, применение дисковой резки для обработки лицевой и обратной торцевых поверхностей волноводных элементов приводит к ухудшению шероховатости поверхности лицевой и обратной торцевых поверхностей, что приводит к увеличению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую и обратную торцевые поверхности волноводных элементов и к увеличению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

Известен также способ изготовления фотонных интегральных схем, содержащий первичную обработку подложки из кремния со слоем диоксида кремния, изготовление траншей под волноводные элементы и траншей под структуры для снятия напряжений в диоксиде кремния с использованием методов экспонирования в глубоком ультрафиолете и плазменного травления, осаждение слоя нитрида кремния в сформированные траншеи в слое диоксида кремния с использованием метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении, осаждение покровного слоя диоксида кремния с использованием метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении, обработку лицевой и обратной торцевых поверхностей волноводных элементов частичным плазменным травлением с последующим шлифованием подложки из кремния [Патент US 2016/0327743 A1, опубл. 10.11.2016].

Этот способ выбран в качестве прототипа предложенного решения.

Его недостаток заключается в том, что процесс осаждения нитрида кремния в траншеи проводят с формированием избыточной толщины, что требует последующей планаризации волноводных элементов методами химико-механической планаризации

и ионно-лучевого травления, что приводит к увеличению трудоемкости и стоимости технологического маршрута, а также ведет к увеличению потерь на распространение в волноводных элементах, связанных с составом суспензии, необходимой для проведения процесса. Данный способ также приводит к неоднородности заполнения при осаждении нитрида кремния в траншеи, особенно в узких или глубоких структурах, что отрицательно сказывается на воспроизводимости размеров и качестве волноводных элементов. Еще одним недостатком является применение длительной высокотемпературной обработки выше 1200 °С в течение более 24 часов для оплавления сформированных траншей в нижнем слое диоксида кремния и устранения избыточных водородных связей, присутствующих в пленках нитрида кремния и верхнем слое диоксида кремния из-за используемых методов осаждения пленок. Вследствие высокой температуры и большой длительности процесса, возникают дополнительные термические напряжения, происходит диффузия кремния из подложки в нижний слой диоксида кремния и образование кластеров кремния в пленках диоксида кремния и нитрида кремния, что приводит к увеличению потерь на распространение в волноводных элементах. Другой недостаток заключается в том, что обработка лицевой и оборотной торцевых поверхностей волноводных элементов частичным плазменным травлением подложки из кремния на глубину 250 мкм с последующим удалением оставшейся толщины подложки из кремния с помощью шлифования с обратной стороны приводит к ухудшению шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей, что приводит к увеличению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую и оборотную торцевые поверхности волноводных элементов и к увеличению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

Технические результаты изобретения заключаются в снижении трудоемкости и стоимости технологического маршрута, повышении воспроизводимости размеров и качества изготовления волноводных элементов, снижении потерь на распространение в волноводных элементах и вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую и оборотную торцевые поверхности волноводных элементов и снижении трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, содержащем первичную обработку подложки из кремния со слоем диоксида кремния, осаждение слоя нитрида кремния на слой диоксида кремния, нанесении защитной маски на слой нитрида кремния с последующим экспонированием для формирования топологии волноводных элементов, травление слоя нитрида кремния через защитную маску для переноса топологии волноводных элементов в слой нитрида кремния, осаждение покровного слоя диоксида кремния на слой нитрида кремния для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, в качестве метода экспонирования используется электронно-лучевая литография через защитную маску с применением методик отведения заряда, в качестве метода травления используется плазменное травление с применением методик снижения шероховатости поверхности, в качестве метода осаждения покровного слоя из диоксида кремния используется химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности, после формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов проводят обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных

элементов плазменным травлением.

Существует вариант, в котором в качестве защитной маски используется или электронный резист, или фоторезист, или хром, или молибден, или диоксид кремния, или поликристаллический кремний, или комбинация вышеперечисленных материалов.

5 Существует также вариант, в котором в качестве методик отведения заряда при использовании метода электронно-лучевой литографии через защитную маску используется или дополнительный токоснимающий слой под защитной маской, или металлическая рамка, закрепленная над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами.

10 Существует также вариант, в котором в качестве материала токоснимающего слоя под защитной маской используется или проводящий полимер, или хром, или титан, или алюминий, или золото.

Существует также вариант, в котором в качестве материала металлической рамки, закрепленной над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными
15 элементами, используют дюралюминий.

Существует также вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности при использовании метода плазменного травления используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного
20 разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газов в газовой смеси, или регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует также вариант, в котором в качестве методик повышения конформности при использовании метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении используют или двухстадийное осаждение с промежуточной химико-
25 механической полировкой или двухстадийное осаждение с промежуточным плазменным травлением, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует также вариант, в котором перед обработкой лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид
30 кремния волноводными элементами формируют нагреватели с линиями управления.

Существует также вариант, в котором в качестве материала нагревателей используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или нитрид титана, или ниобий, или оксид индия олова.

Существует также вариант, в котором в качестве материала линий управления
35 используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или ниобий.

Существует также вариант, в котором перед обработкой лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят лазерную литографию через защитную маску с использованием методик снижения шероховатости поверхности лицевой и
40 оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов.

Существует также вариант, в котором в качестве материала защитной маски используют или фоторезист, или диоксид кремния, или нитрид кремния, или комбинацию вышеперечисленных материалов.

45 Существует также вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов при проведении лазерной литографии через защитную маску используют или антиотражающее покрытие, или линзу с

увеличенным фокусным расстоянием, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует также вариант, в котором лазерную литографию проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, или только с нижней стороны подложки из кремния, или с обеих сторон с применением методик совмещения.

Существует также вариант, в котором обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят с использованием методик снижения воздействия температуры на защитную маску, а также методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов.

Существует также вариант, в котором в качестве методик снижения воздействия температуры на защитную маску, используют или нанесение под подложку из кремния промежуточного слоя с высокой теплопроводностью, или циклическое управление мощностью высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует также вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов при обработке плазменным травлением используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газов в газовой смеси, или регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует также вариант, в котором обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, или только с нижней стороны подложки из кремния, или с обеих сторон.

На фиг. 1 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, первичная обработка подложки из кремния со слоем диоксида кремния.

На фиг. 2 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, осаждение слоя нитрида кремния на слой диоксида кремния.

На фиг. 3 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, нанесение защитной маски на слой нитрида кремния.

На фиг. 4 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, экспонирование защитной маски для формирования топологии волноводных элементов с использованием метода электронно-лучевой литографии с применением методик отведения заряда.

На фиг. 5 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, травление слоя нитрида кремния через защитную маску для переноса топологии волноводных элементов в слой нитрида кремния с использованием метода плазменного травления с применением методик снижения шероховатости поверхности.

На фиг. 6 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, осаждение покровного слоя диоксида кремния на

слой нитрида кремния для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов с использованием метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности.

5 На фиг. 7 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, формирование нагревателей.

На фиг. 8 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, формирование линий управления.

10 На фиг. 9 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, лазерная литография через защитную маску.

На фиг. 10 изображен этап способа изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, а именно, обработка лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением.

15 На фиг. 11 изображена топология диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов после обработки лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением.

20 На фиг. 12 изображено поперечное сечение диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводного элемента после обработки лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением.

На фиг. 13 изображено продольное сечение диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводного элемента после обработки лицевой и оборотной торцевых
25 поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением. Представлен вариант, в котором глубина обработки лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением совпадает с толщиной подложки из кремния и диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных
30 элементов. Однако существует вариант, в котором глубина обработки лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением меньше толщины подложки из кремния или точно соответствует диаметру оптического волокна или высоте массива волокон.

35 Способ изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями реализуют следующим образом.

Проводится первичная обработка подложки из кремния 1 с диаметром от 25 мм до 300 мм и толщиной кремния от 430 мкм до 650 мкм со слоем диоксида кремния 2 толщиной от 2 мкм до 15 мкм, полученного методом термического окисления (фиг. 1). Первичная обработка включает в себя выдержку подложки из кремния 1 со слоем
40 диоксида кремния 2 в изопропиловом спирте в течение 5 минут, обработку в растворе $\text{DiW:H}_2\text{O}_2:\text{NH}_4\text{OH}$ (деионизованная вода : перекись водорода : гидроксид аммония) в концентрации 20:1:1 в течение 10 минут, обработку в растворе $\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{SO}_4$ (перекись водорода : серная кислота) в концентрации 1:4 в течение 10 минут, обработку в деионизованной воде в течение 10 минут. Далее следует осаждение слоя нитрида кремния
45 3 толщиной от 100 нм до 450 нм на слой диоксида кремния 2 (фиг. 2) методом химического осаждения из газовой фазы с использованием аммиака (NH_3) и дихлорсилана (SiH_2Cl_2). Далее следует нанесение защитной маски 4 толщиной от 300

нм до 1,5 мкм на слой нитрида кремния 3 (фиг. 3). После этого проводят экспонирование защитной маски 4 для формирования топологии волноводных элементов 5 шириной от 70 нм до 10 мкм с использованием метода электронно-лучевой литографии с применением методик отведения заряда (фиг. 4), травление слоя нитрида кремния 3 через защитную маску 4 для переноса топологии волноводных элементов 5 в слой нитрида кремния 3 с использованием метода плазменного травления с применением методик снижения шероховатости поверхности с последующим удалением защитной маски 4 в растворителе (ацетон) в течение 3 часов (фиг. 5), осаждение покровного слоя диоксида кремния 6 толщиной от 100 нм до 6 мкм на слой нитрида кремния 3 для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 шириной от 70 нм до 10 мкм с использованием метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности (фиг. 6). После этого проводят обработку лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением (фиг. 10, фиг. 11, фиг. 12, фиг. 13).

Существует вариант, в котором в качестве защитной маски 4 используют резист, например, электронный резист или фоторезист, или металлическую пленку, например, пленку хрома, молибдена, или неметаллическую пленку, например, пленку диоксида кремния, пленку поликристаллического кремния, или используют комбинацию вышеперечисленных материалов.

Существует вариант, в котором в качестве методик отведения заряда при использовании метода электронно-лучевой литографии через защитную маску 4 используют или дополнительный токоснимающий слой под защитной маской 4 или металлическую рамку, закрепленную над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами 7.

Существует вариант, в котором в качестве материала токоснимающего слоя под защитной маской 4 используют или токоснимающий полимер толщиной от 10 нм до 50 нм, или металлическую пленку толщиной от 5 нм до 30 нм, например, пленку хрома, пленку титана, пленку алюминия, пленку золота.

Существует вариант, в котором в качестве материала металлической рамки, закрепленной над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами 7 используют металлические сплавы, например дюралюминий.

Существует вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности при использовании метода плазменного травления используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов в диапазоне от 50 Вт до 80 Вт и от 300 Вт до 600 Вт, соответственно, или регулировку рабочего давления в диапазоне от 5 мТорр до 15 мТорр, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газа в газовой смеси в диапазоне от 0,75 до 0,85, или регулировку температуры подложкодержателя в диапазоне от 5°C до 15°C, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует вариант, в котором в качестве методик повышения конформности при использовании метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении используют или двухстадийное осаждение с промежуточной химико-механической полировкой, или двухстадийное осаждение с промежуточным плазменным травлением, или комбинацию вышеперечисленных методов. Первую стадию осаждения покровного слоя диоксида кремния 6 проводят до формирования покровного слоя диоксида кремния 6 слоя толщиной от 100 нм до 500 нм над слоем нитрида кремния 3. Промежуточную химико-механическую полировку или плазменное травление проводят

до утонения покровного слоя диоксида кремния 6 до толщины 50 нм над слоем нитрида кремния 3. Вторую стадию осаждения покровного слоя диоксида кремния 6 проводят до формирования покровного слоя диоксида кремния 6 слоя толщиной от 100 нм до 6 мкм над слоем нитрида кремния 3.

5 Существует вариант, в котором перед обработкой лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводят формирование нагревателей 10 шириной от 2 мкм до 10 мкм с линиями управления 11 шириной от 10 мкм до 50 мкм с использованием методов лазерной литографии и методов осаждения тонких пленок, например, магнетронного распыления, электронно-лучевого испарения (фиг. 7, фиг. 8).

10 Существует вариант, в котором в качестве материала нагревателей 10 используют металлическую пленку толщиной от 100 нм, например, пленку алюминия, пленку титана, пленку золота, пленку платины, пленку ниобия или тонкие пленки проводящих оксидов толщиной от 10 нм, например, пленку оксида индия олова.

15 Существует вариант, в котором в качестве материала линий управления 11 используют металлическую пленку толщиной от 200 нм, например, пленку алюминия, пленку титана, пленку золота, пленку платины, пленку ниобия.

20 Существует вариант, в котором перед обработкой лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводят лазерную литографию через защитную маску 12 толщиной от 3 мкм до 12 мкм с использованием методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 (фиг. 9).

25 Существует вариант, в котором в качестве защитной маски 12 используют резист, например, фоторезист, или неметаллическую пленку, например, пленку диоксида кремния, пленку нитрида кремния, или используют комбинацию вышеперечисленных материалов.

30 Существует вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 при проведении лазерной литографии через защитную маску 12 используют или антиотражающее покрытие толщиной до 200 нм, или линзу с увеличенным фокусным расстоянием до 10 мкм, или комбинацию вышеперечисленных методов.

35 Существует вариант, в котором лазерная литография через защитную маску 12 проводится или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, или только с нижней стороны подложки из кремния 1, или с обеих сторон с применением методик совмещения, в качестве которых используют, например, метки совмещения, сформированные в слое нитрида кремния 40 3 плазменным травлением.

45 Существует вариант, в котором обработка лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводится с использованием методик снижения воздействия температуры на защитную маску 12, а также методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 с последующим удалением защитной маски 12 в растворителе (ацетон) в течение 3 часов.

Существует вариант, в котором в качестве методик снижения воздействия

температуры на защитную маску 12 используют или нанесение под подложку из кремния 1 промежуточного слоя с высокой теплопроводностью, в качестве которого используют, например, вакуумное масло, или циклическое управление мощностью высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов в диапазоне от 0 Вт до 100 Вт и от 0 Вт до 2000 Вт, соответственно, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует вариант, в котором в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 при обработке плазменным травлением используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов в диапазоне от 5 Вт до 100 Вт и от 1500 Вт до 2000 Вт, соответственно, или регулировку рабочего давления в диапазоне от 10 мТорр до 50 мТорр, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газа в газовой смеси в диапазоне от 0 до 1, или регулировку температуры подложкодержателя в диапазоне от -20°C до 10°C, или комбинацию вышеперечисленных методов.

Существует вариант, в котором обработка лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводится или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, или только с нижней стороны подложки из кремния 1, или с обеих сторон.

То, что в способе изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, включающем первичную обработку подложки из кремния 1 со слоем диоксида кремния 2, осаждение слоя нитрида кремния 3 на слой диоксида кремния 2, нанесении защитной маски 4 на слой нитрида кремния 3 с последующим экспонированием для формирования топологии волноводных элементов 5, травление слоя нитрида кремния 3 через защитную маску 4 для переноса топологии волноводных элементов 5 в слой нитрида кремния 3, осаждение покровного слоя диоксида кремния 6 на слой нитрида кремния 3 для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, обработку лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, в качестве метода экспонирования используется электронно-лучевая литография через защитную маску 4 с применением методик отведения заряда, в качестве метода травления используется плазменное травление с применением методик снижения шероховатости поверхности, в качестве метода осаждения покровного слоя из диоксида кремния 6 используется химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности, обработку лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 проводят плазменным травлением, приводит к снижению трудоемкости и стоимости технологического маршрута, повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, снижению потерь на распространение в диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементах 7 и вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и оборотную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижении трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами. Это достигается благодаря тому, что способ изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями не требует дорогостоящего оборудования и использования нестандартных материалов, применение методик отведения заряда при проведении электронно-лучевой литографии обеспечивает снижение количества

ошибок при экспонировании, применение методик снижения шероховатости поверхности при проведении плазменного травления обеспечивает меньшее рассеяние излучения при распространении в диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементах 7, применение методик повышения конформности при проведении осаждения покровного слоя снижает дефектность в зазорах между диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами 7, обработка лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением позволяет проводить групповую обработку фотонных интегральных схем и обеспечивает высокое оптическое качество поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве защитной маски 4 используют или электронный резист, или фоторезист, или хром, или молибден, или диоксид кремния, или поликристаллический кремний, или комбинацию вышеперечисленных материалов приводит к тому, что электронно-лучевую литографию можно проводить для любого технологического маршрута изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что ведет к повышению гибкости технологического маршрута и к повышению качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве методик отведения заряда при использовании метода электронно-лучевой литографии через защитную маску 4 используется или дополнительный токоснимающий слой под защитной маской 4, или металлическая рамка, закрепленная над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами 7 приводит к увеличению оттока заряда, скапливающегося на поверхности слоя нитрида кремния 3, что ведет к повышению разрешения, уменьшению размеров сшивок между рабочими полями, а также к устранению эффекта близости, и, как следствие к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве материала токоснимающего слоя под защитной маской 4 используется или проводящий полимер, или хром, или титан, или алюминий, или золото приводит к тому, что обеспечивается равномерное отведение заряда, скапливающегося на поверхности слоя нитрида кремния 3, для любого технологического маршрута изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 без ухудшения адгезии защитной маски 4, что ведет к повышению гибкости технологического маршрута и, как следствие, к повышению качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве материала металлической рамки, закрепленной над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами 7, используют дюралюминий приводит к повышению стабильности положения фотонной интегральной схеме в процессе электронно-лучевой литографии и снижению ошибок позиционирования, а также к равномерному отведению заряда, скапливающегося на поверхности слоя нитрида кремния 3, что ведет к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности при использовании метода плазменного травления используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газов в газовой смеси, или

регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов приводит к улучшению качества поверхности и боковых стенок при переносе топологии волноводных элементов 5 в слой нитрида кремния 3, формированию топологии волноводных элементов 5 в слое нитрида кремния 3 с углом профиля 90°, а также повышению селективности травления к защитной маске 4, что ведет к снижению потерь на распространение в диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементах 7, а также к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве методик повышения конформности при использовании метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении используют или двухстадийное осаждение с промежуточной химико-механической полировкой или двухстадийное осаждение с промежуточным плазменным травлением, или комбинацию вышеперечисленных методов приводит к повышению равномерности покрытия слоя нитрида кремния 3 покровным слоем диоксида кремния 6 и устранения воздушных полостей в зазорах между соседними элементами в топологии волноводных элементов 5 в слое нитрида кремния 3, что ведет к снижению потерь на распространение в диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементах 7, а также к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что перед обработкой лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением формируют нагреватели 10 с линиями управления 11 приводит к возможности управления фазой и амплитудой сигнала за счет термооптического эффекта в диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементах 7 без внесения дополнительных потерь и возможности гибкого использования изготовленных фотонных интегральных схем для широкого круга приложений, что ведет к снижению стоимости технологического маршрута.

То, что в качестве материала нагревателя 10 используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или нитрид титана, или ниобий, или оксид индия олова приводит к тому, что обеспечивается необходимая мощность нагрева для сдвига фазы на 2π и изменение амплитуды сигнала на более чем 30 дБ при использовании распространенных материалов, что ведет к снижению трудоемкости и стоимости технологического маршрута.

То, что в качестве материала линий управления используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или ниобий приводит к тому, что обеспечивается повышенная прочность соединения линий управления с внешними платами управления с низким влиянием на электрические свойства нагревателей, что ведет к повышению воспроизводимости и качества изготовления.

То, что перед обработкой лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводят лазерную литографию через защитную маску 12 с использованием методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, приводит к тому, что обеспечивается высокое оптическое качество поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что приводит к снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и оборотную 9 торцевые

поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

То, что в качестве материала защитной маски 12 используют или фоторезист, или диоксид кремния, или нитрид кремния, или комбинацию вышеперечисленных материалов приводит к тому, что лазерную литографию можно проводить для любого технологического маршрута обработки лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что ведет к снижению трудоемкости и стоимости технологического маршрута и повышению качества изготовления лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 при проведении лазерной литографии через защитную маску 12 используют или антиотражающее покрытие, или линзу с увеличенным фокусным расстоянием, или комбинацию вышеперечисленных методов приводит к тому, что обеспечивается высокое оптическое качество поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, повышение разрешения, а также возможность обработки лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 на подложках из кремния 1 с толщиной более 500 мкм, что ведет к снижению трудоемкости и стоимости технологического маршрута, повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

То, что лазерную литографию проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, или только с нижней стороны подложки из кремния 1, или с обеих сторон с применением методик совмещения приводит к тому, что обеспечивается высокое оптическое качество поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что ведет к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и оборотную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

То, что обработку лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводят с использованием методик снижения воздействия температуры на защитную маску 12, а также методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 приводит к повышению стойкости защитной маски 12, обеспечению высокого оптического качества поверхности лицевой 8 и оборотной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что ведет к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую

8 и обратную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

То, что в качестве методик снижения воздействия температуры на защитную маску 12 используют или нанесение под подложку из кремния 1 промежуточного слоя с высокой теплопроводностью, или циклическое управление мощностью высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или комбинацию вышеперечисленных методов приводит к тому, что обеспечивается увеличение рабочего диапазона температур защитной маски 12, устранение перегрева и деформации лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 в процессе плазменного травления, что ведет к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и обратную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7.

То, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 при обработке плазменным травлением используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газов в газовой смеси, или регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов приводит к обеспечению высокого оптического качества поверхности лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, а также к повышению селективности травления к защитной маске 12 и формированию лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 с углом профиля 90° , что ведет к снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и обратную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

То, что обработку лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 плазменным травлением проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, или только с нижней стороны подложки из кремния 1, или с обеих сторон приводит к тому, что обеспечивается высокое оптическое качество поверхности лицевой 8 и обратной 9 торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, что ведет к повышению воспроизводимости размеров и качества изготовления диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7, снижению вносимых потерь при вводе и выводе излучения через лицевую 8 и обратную 9 торцевые поверхности диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов 7 и снижению трудоемкости последующей оптоэлектронной сборки с одиночными волокнами или волоконными массивами.

(57) Формула изобретения

1. Способ изготовления фотонных интегральных схем со сверхмалыми потерями, содержащий первичную обработку подложки из кремния со слоем диоксида кремния,

осаждение слоя нитрида кремния на слой диоксида кремния, нанесени защитной маски на слой нитрида кремния с последующим экспонированием для формирования топологии волноводных элементов, травление слоя нитрида кремния через защитную маску для переноса топологии волноводных элементов в слой нитрида кремния, осаждение покровного слоя диоксида кремния на слой нитрида кремния для формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, отличающийся тем, что в качестве метода экспонирования используется электронно-лучевая литография через защитную маску с применением методик отведения заряда, в качестве метода травления используется плазменное травление с применением методик снижения шероховатости поверхности, в качестве метода осаждения покровного слоя из диоксида кремния используется химическое осаждение из газовой фазы при пониженном давлении с применением методик повышения конформности, после формирования диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов проводят обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве защитной маски используют или электронный резист, или фоторезист, или хром, или молибден, или диоксид кремния, или поликристаллический кремний, или комбинацию вышеперечисленных материалов.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве методик отведения заряда при использовании метода электронно-лучевой литографии через защитную маску используют или дополнительный токоснимающий слой под защитной маской, или металлическую рамку, закрепленную над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что в качестве материала токоснимающего слоя под защитной маской используют или проводящий полимер, или хром, или титан, или алюминий, или золото.

5. Способ по п.3, отличающийся тем, что в качестве материала металлической рамки, закрепленной над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами, используют дюралюминий.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности при использовании метода плазменного травления используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газа в газовой смеси, или регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве методик повышения конформности при использовании метода химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении используют или двухстадийное осаждение с промежуточной химико-механической полировкой, или двухстадийное осаждение с промежуточным плазменным травлением, или комбинацию вышеперечисленных методов.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед обработкой лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением над диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводными элементами формируют нагреватели с линиями управления.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве материала нагревателей используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или нитрид титана, или ниобий, или оксид индия олова.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве материала линий управления

используют или алюминий, или титан, или золото, или платину, или ниобий.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед обработкой лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят лазерную литографию через защитную маску с использованием методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что в качестве материала защитной маски используют или фоторезист, или диоксид кремния, или нитрид кремния, или комбинацию вышеперечисленных материалов.

13. Способ по пп.11, 12, отличающийся тем, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов при проведении лазерной литографии через защитную маску используют или антиотражающее покрытие, или линзу с увеличенным фокусным расстоянием, или комбинацию вышеперечисленных методов.

14. Способ по пп.11, 12, 13, отличающийся тем, что лазерную литографию проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, или только с нижней стороны подложки из кремния, или с обеих сторон с применением методик совмещения.

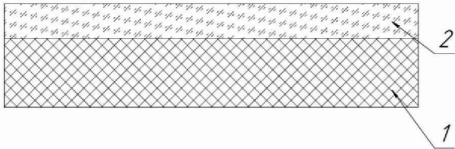
15. Способ по п.1, отличающийся тем, что обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят с использованием методик снижения воздействия температуры на защитную маску, а также методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что в качестве методик снижения воздействия температуры на защитную маску используют или нанесение под подложку из кремния промежуточного слоя с высокой теплопроводностью, или циклическое управление мощностью высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или комбинацию вышеперечисленных методов.

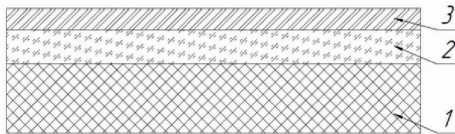
17. Способ по п.15, отличающийся тем, что в качестве методик снижения шероховатости поверхности лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов при обработке плазменным травлением используют или регулировку мощности высокочастотных генераторов ёмкостного и индуктивного разрядов, или регулировку рабочего давления, или регулировку соотношения травящего и пассивирующего газа в газовой смеси, или регулировку температуры подложкодержателя, или комбинацию вышеперечисленных методов.

18. Способ по пп.15, 16, 17, отличающийся тем, что обработку лицевой и оборотной торцевых поверхностей диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов плазменным травлением проводят или только с верхней стороны диоксид кремния/нитрид кремния/диоксид кремния волноводных элементов, или только с нижней стороны подложки из кремния, или с обеих сторон.

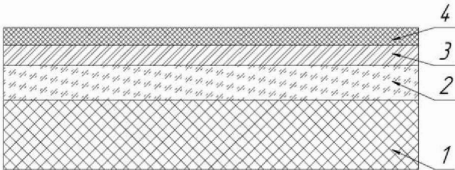
1



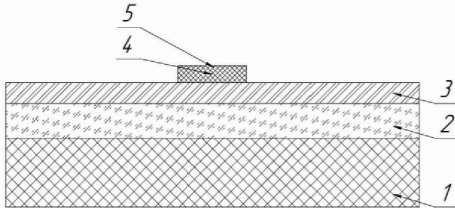
Фиг. 1



Фиг. 2

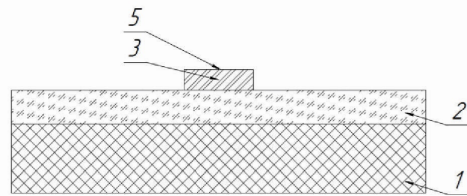


Фиг. 3

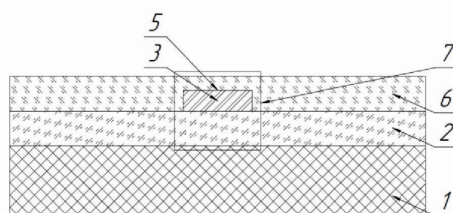


Фиг. 4

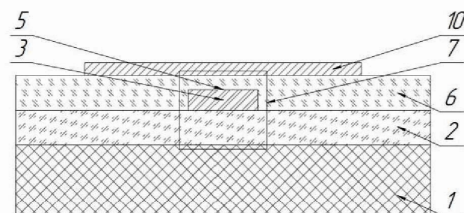
2



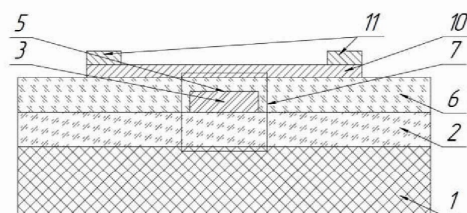
Фиг. 5



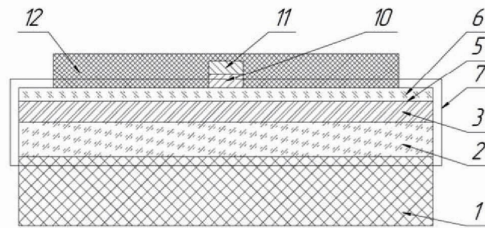
Фиг. 6



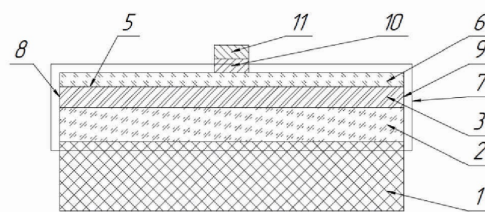
Фиг. 7



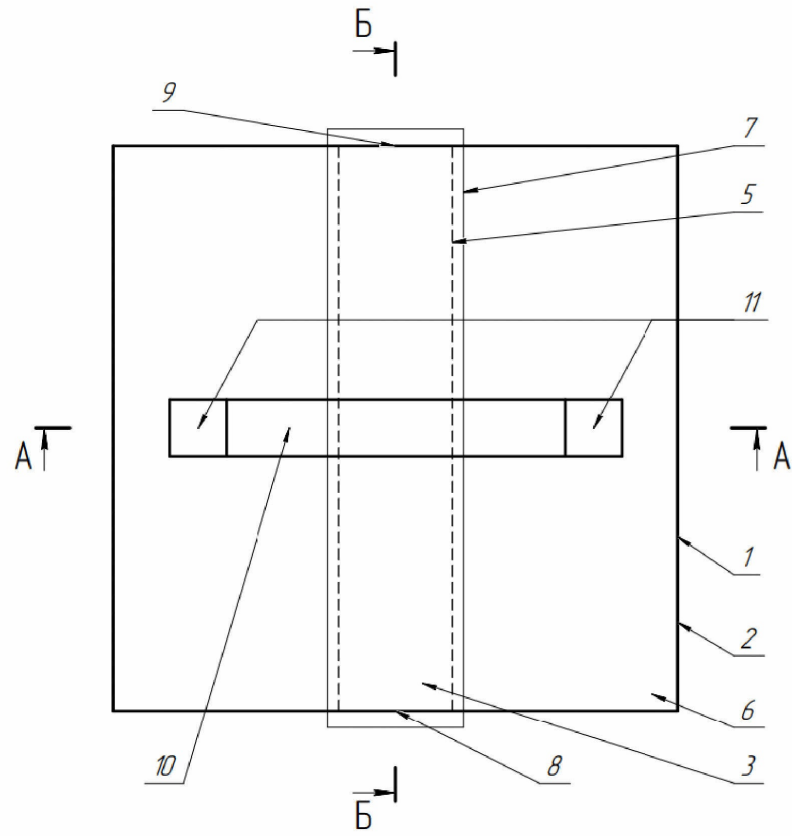
Фиг. 8



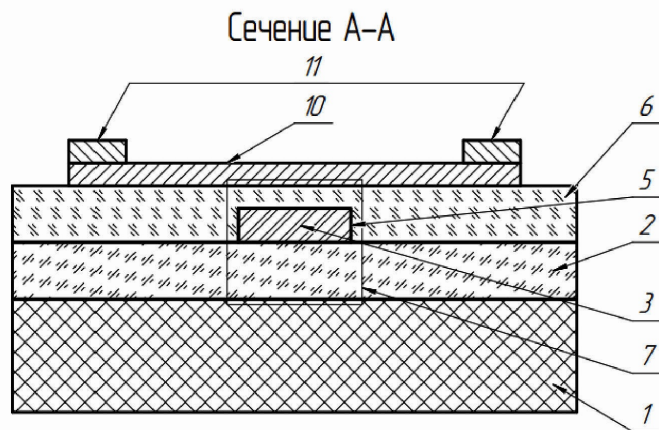
Фиг. 9



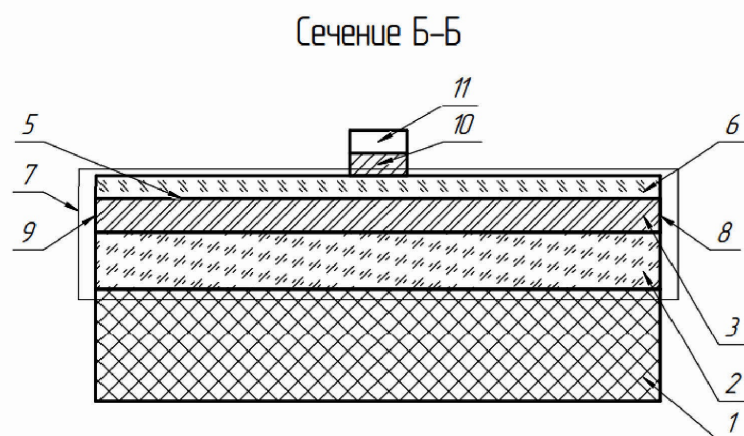
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13