



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01L 29/861 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2016149014, 03.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.04.2017

Дата регистрации:  
23.04.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.04.2017

(45) Опубликовано: 23.04.2018 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

630082, г. Новосибирск, ул. Дачная, 60, АО  
"НЗПП С ОКБ".

(72) Автор(ы):

Скорняков Станислав Петрович (RU),  
Глухов Александр Викторович (RU),  
Глушков Анатолий Евгеньевич (RU),  
Чищин Владимир Фёдорович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"НОВОСИБИРСКИЙ ЗАВОД  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ  
С ОКБ" (АО "НЗПП С ОКБ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2245592 C1, 27.01.2005. RU  
2256257 C1, 10.07.2005. RU 2484553 C2,  
10.06.2013. US 6879003 B1, 12.04.2005.

## (54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области конструирования и производства мощных кремниевых ограничителей напряжения (защитных диодов), преимущественно с напряжениями пробоя от 3 В до 15 В, предназначенных для защиты электронных компонентов - интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) от воздействия мощных импульсных электрических перенапряжений различного рода. Изобретение обеспечивает создание способа изготовления низковольтных ограничителей напряжения на основе одиночных кремниевых р-п-структур с напряжениями пробоя от 3 В до 15 В с р-п-переходами, залегающими на достаточной для силовых приборов глубине - более 10 мкм. Способ изготовления ограничителей напряжения с напряжениями пробоя от 3 В до 15 В, содержащих базовые кристаллы кремния с созданными в них

р-п-переходами, состоящими из р-слоев, легированных примесью р-типа проводимости, и п-слоев, легированных примесью п-типа проводимости, диэлектрической защиты р-п-переходов и металлических омических контактов, металлических теплоотводов, металлических выводов и герметичных корпусов, по которому согласно изобретению базовые кристаллы выполнены из кремния, легированного примесью р-типа проводимости - бором с концентрацией от  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , соответствующей удельному сопротивлению кремния от 0.001 Ом·см до 0.1 Ом·см, а р-п-переходы в базовых кремниевых кристаллах формируют длительной высококонцентрационной диффузией примеси п-типа проводимости - мышьяком из бесконечного источника в вакуированной кварцевой ампуле при температуре  $\sim 1150^\circ\text{C}$  в течение времени от 8 до 48 часов. 1 ил., 2 табл.

RU 2 6 5 1 6 2 4 C 1

RU 2 6 5 1 6 2 4 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01L 29/861* (2017.08)

(21)(22) Application: **2016149014, 03.04.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**03.04.2017**

Registration date:  
**23.04.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **03.04.2017**

(45) Date of publication: **23.04.2018** Bull. № 12

Mail address:

**630082, g. Novosibirsk, ul. Dachnaya, 60, AO "NZPP S OKB".**

(72) Inventor(s):

**Skornyakov Stanislav Petrovich (RU),  
Glukhov Aleksandr Viktorovich (RU),  
Glushkov Anatolij Evgenevich (RU),  
Chishchin Vladimir Fedorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**AKTSIONERNOE OBSHCHESTVO  
"NOVOSIBIRSKIJ ZAVOD  
POLUPROVODNIKOVYKH PRIBOROV S  
OKB" (AO "NZPP S OKB") (RU)**

(54) **METHOD OF VOLTAGE LIMITERS MANUFACTURING**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention relates to the field of high-power silicon voltage limiters (protective diodes) designing and producing, mainly with breakdown voltages from 3 V to 15 V, designed to protect electronic components, that are integrated microcircuits and semiconductor devices in radio electronic equipment (REE) from the impact of powerful pulsed electrical surges of various kinds. Method of voltage limiters manufacturing with breakdown voltages from 3 V to 15 V, containing basic silicon crystals with p-n junctions created in them, consisting of p-layers doped with a p-type conductivity admixture, and n-layers doped with an n-type conductivity admixture, dielectric protection of p-n junctions and metal ohmic contacts, metal heat sinks, metal leads and sealed enclosures, according to which, according to the invention, the base

crystals are made of silicon doped with a p-type conductivity admixture, that is boron with a concentration of  $2 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  up to  $4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , corresponding to the silicon specific resistivity from 0.001 Ohm-cm to 0.1 Ohm-cm, and p-n junctions in basic silicon crystals are formed by long-term high-concentration diffusion of the n-type conductivity admixture, namely, arsenic from an infinite source in an evacuated quartz ampoule at a temperature of  $\sim 1150^\circ\text{C}$  for a period of 8 - 48 hours.

EFFECT: invention provides a low-voltage voltage limiters manufacturing method based on single silicon p-n structures with breakdown voltages from 3 V to 15 V with p-n junctions lying on a sufficient for power devices depth of greater than 10 mcm.

1 cl, 1 dwg, 2 tbl

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к области конструирования и производства мощных кремниевых ограничителей напряжения (защитных диодов), преимущественно с напряжениями пробоя от 3 до 15 В, предназначенных для защиты электронных компонентов - интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) от воздействия мощных импульсных электрических перенапряжений различного рода, - коммутационного характера, действия электростатического разряда или наведенных в электрических сетях вследствие грозовых разрядов, или, например, электромагнитных воздействий ядерного взрыва.

Уровень техники

Кремниевые ограничители напряжения - силовые защитные полупроводниковые приборы (ППП), способные выдерживать неоднократное воздействие мощных импульсов тока (напряжения) без деградации собственных электрических характеристик, что характеризуется, в первую очередь, возрастанием обратного тока (ток утечки) р-п-перехода, лежащего в основе таких приборов. Устойчивость ППП к воздействию таких импульсов тем больше, чем глубже залегание р-п-перехода в кремниевом кристалле. Для силовых приборов достаточной глубиной залегания р-п-переходов следует считать глубину не менее 10 мкм [1]. Относительно высоковольтные р-п-переходы силовых ППП с напряжением пробоя свыше 10...15 Вольт изготавливаются либо длительной высокотемпературной диффузией фосфора или бора в кремний, соответственно п- или р-типа проводимости, или способом толстослойной эпитаксии, что позволяет получать р-п-структуры с практически любой требуемой глубиной залегания р-п-перехода. Для низковольтных р-п-переходов с напряжением пробоя менее 10 В получение таких р-п-структур в кремнии - достаточно серьезная технологическая проблема в связи с тем, что низковольтные р-п-переходы необходимо формировать в сильно легированном кремнии с концентрацией базовой примеси на уровне  $10^{18} \dots 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Причем необходимо использовать легирующую (компенсирующую) примесь с соответствующей высокой предельной растворимостью и, в соответствии с присущим ей коэффициентом диффузии, выбирать специальные режимы (температура, время) диффузии, обеспечивающие требуемые характеристики силового р-п-перехода, в частности глубину его залегания. Фосфор и бор отличаются недостаточной для требуемого уровня предельной растворимостью в кремнии. Техника толстослойной эпитаксии в России также не обеспечивает получение качественных р-п-структур с напряжением пробоя ниже ~15 Вольт.

Задача настоящего изобретения - создание способа изготовления низковольтных ограничителей напряжения на основе кремниевых р-п-структур (кристаллов) с напряжениями пробоя от 3 до 15 В с р-п-переходами, залегающими на достаточной для силовых ППП глубине, т.е. на глубине не менее 10 мкм.

Раскрытие сущности изобретения

Имеются значительные технологические проблемы получения мощных низковольтных ограничителей напряжения - защитных диодов. В основном это касается ограничителей напряжения с напряжением пробоя ниже ~15 В и особенно - ниже ~6 В. Достаточно привести пример значений основных электрических параметров серий выпускаемых в мире ограничителей напряжения, представленных в Data Sheets практически всех зарубежных фирм - производителей мощных (более 0,5 кВт) ограничителей напряжения (transient voltage suppressors) [2, 3]. Все эти серии начинаются с номинала с напряжением пробоя 6.8 В и в основе конструкции таких ограничителей напряжения лежит один кремниевый кристалл (кремниевая р-п-структура). Работа

таких однокристалльных ограничителей напряжения основана на эффекте обратимого электрического пробоя обратно смещенных р-п-переходов. Соответственно, р-п-структуры в конструкциях таких ограничителей напряжения в рабочем положении ориентированы в обратном направлении вольт-амперной характеристики (ВАХ) относительно импульса электрической перегрузки, защитой от которого они служат.

Проблемы получения низковольтных, с напряжением пробоя от 3 до 15 В, однокристалльных ограничителей напряжения обусловлены в основном тем, что р-п-переход в кристалле силовых полупроводниковых приборов, каковыми являются ограничители напряжения и которые по своему предназначению должны многократно ограничивать напряжение перегрузки и рассеивать (отводить) мощности импульсных воздействий значительной величины, в частности, порядка от 0,5 до 5,0 кВт, что характерно для наиболее распространенных типов ограничителей напряжения, должен быть расположен на как можно большей глубине, минимум - на глубине ( $X_j$ ) порядка 10 мкм [1]. В случае низковольтных ограничителей - в сильно легированном кремнии, т.е. с концентрацией базовой примеси ( $N_x$ ) на уровне и выше  $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Создать р-п-переход, т.е. перекомпенсировать базовую легирующую примесь такой величины и до такой глубины общепринятыми способами и с применением типичных легирующих примесей - фосфора или бора практически невозможно.

Известна фирма, презентующая производство 1,5 кВт-ных ограничителей напряжения с  $U_{проб}$  ниже 6,8 В, а именно ограничителей напряжения с  $U_{проб}$  6,2 В, предназначенных для защиты РЭА с напряжением питания 5 В [4]. Примечательно, что эти ограничители представлены вне типового ряда серий ограничителей, начинающихся с номинала 6,8 В, что, очевидно, свидетельствует о неких особенностях технологии их производства. Информация об этих технологиях в свободном доступе отсутствует. Известно только, что это - также однокристалльные приборы, в основе конструкции которых - кремниевые р-п-структуры, работающие на эффекте обратимого электрического пробоя при воздействии импульсного перенапряжения на обратно смещенный р-п-переход.

Для формирования сверхнизковольтных р-п-структур, т.е. с напряжением пробоя менее 6 В, предназначенных для защиты РЭА с напряжениями питания менее 5 В, например, 3 В, необходим кремний с концентрацией базовой примеси более  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ , что находится практически на пределе уровня легирования кремния. Для перекомпенсации базовой примеси такого уровня, т.е. для создания сверхнизковольтных р-п-переходов, требуется легирующая примесь противоположного типа проводимости, предельная растворимость которой в кремнии на один-два порядка выше концентрации базовой легирующей примеси, а условия формирования низковольтного р-п-перехода ограничителя напряжения диффузией должны обеспечивать предельно высокие концентрации компенсирующей примеси на глубине до и более 10 мкм. Анализ известных методов формирования р-п-структур: диффузия в газовой фазе, диффузия из стеклообразующих пленок, из твердых источников, выявляет определенные ограничения по удовлетворению требований к технологии получения низковольтных силовых р-п-структур по обеспечению предельно высокой поверхностной концентрации легирующей примеси и значительной глубины залегания р-п-переходов. Получение силовых р-п-структур с напряжением пробоя от 6 В и более и ограничителей напряжения на их основе является практически пределом возможностей этих технологий.

Отечественное производство эпитаксиальных р-п-структур обеспечивает получение силовых р-п-структур с воспроизводимым минимальным напряжением пробоя лишь порядка 15 В.

Прогрессивный метод ионного легирования также не обеспечивает требования к

низковольтным р-п-структурам силовых полупроводниковых приборов: получение достаточно высоких уровней легирования и достаточных глубин залегания р-п-переходов, - даже при предельно достижимых в настоящее время энергиях и дозах легирования

5 Наиболее близким по достигаемой цели, т.е. получения низковольтных, в том числе с напряжениями пробоя ниже 6,0 В, кремниевых ограничителей напряжения, который можно считать прототипом, является способ изготовления низковольтных ограничителей на основе принципа последовательного соединения определенного количества кремниевых р-п-структур, ориентированных, в рабочем положении, в прямом направлении вольт-амперной характеристики (ВАХ).

10 Производитель низковольтных ограничителей, использующий этот принцип, - фирма General Semiconductor Industries, Inc. [5]: серия 1,5 кВт-ных ограничителей напряжения типов от GHV-2 до GHV-16 (напряжения пробоя от 1.33 В до 10.7 В) с симметричной ВАХ. Многокристальная конструкция ограничителей этого рода представляет собой

15 два, включенных навстречу друг другу "столба" из ряда соединенных последовательно кремниевых р-п-структур, ориентированных в прямом направлении ВАХ. Результирующее напряжение пробоя таких низковольтных ограничителей есть, таким образом, сумма падений прямых напряжений ряда р-п-переходов, смещенных в прямом направлении. Значение величины падения прямого напряжения каждого из таких р-п-переходов находится на уровне от 0,6 В до 0,7 В. Т.е., например, конструкция каждого

20 из "столбов" ограничителя напряжения на основе прямосмещенных кремниевых р-п-структур с напряжением пробоя 3,3 В включает пять диодных кристаллов, конструкция с напряжением пробоя 6,7 В - десять кристаллов. Два встречно включенных "столба" - вдвое большее количество кристаллов.

25 Идентичный принцип используется отечественными производителями при конструировании сверхнизковольтных стабилизаторов (стабисторов) с напряжениями стабилизации 0.7 В, 1.3 В, 1.9 В - стабисторы 2С107А, 2С113А, 2С119А [6].

Недостатки конструкции и технологии изготовления мощных низковольтных ограничителей напряжения на основе способа последовательной сборки кристаллов с

30 прямосмещенными р-п-переходами (GHV-2÷GHV-16 Series [5]) - многокристальность конструкции, т.е. высокая себестоимость прибора и низкая его эксплуатационная надежность. Быстродействие таких ограничителей напряжения, характеризуемое временем включения  $1 \cdot 10^{-8}$  с, также значительно уступает быстродействию

35 однокристалльных ограничителей, время включения которых  $\sim 1 \cdot 10^{-12}$  с, работающих на эффекте физического обратимого пробоя р-п-перехода, что, с точки зрения эффективности защиты электронного оборудования от импульсных электрических перегрузок, имеет весьма существенное значение.

Задача настоящего изобретения - создание способа изготовления низковольтных ограничителей напряжения на основе кремниевых р-п-структур (кристаллов) с

40 напряжениями пробоя от 3 В до 15 В с р-п-переходами, залегающими на достаточной для силовых приборов глубине - более 10 мкм.

Указанная задача решается тем, что предложен способ изготовления ограничителей напряжения с напряжениями пробоя от 3 В до 15 В (фиг.), содержащих базовые кристаллы 1 легированного кремния с созданными в них р-п-переходами 2, состоящими

45 из р-слоев 3, легированных примесью р-типа проводимости, и п-слоев 4, легированных примесью п-типа проводимости, диэлектрической защиты р-п-переходов 5 и металлических омических контактов 6, металлических теплоотводов 7, металлических выводов 8 и герметичных корпусов 9, по которому, базовые кристаллы 1 выполнены

из кремния, легированного примесью р-типа проводимости - бором с концентрацией от  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , соответствующей удельному сопротивлению кремния от 0.001 Ом·см до 0.1 Ом·см, а р-п-переходы 2 в базовых кремниевых кристаллах 1 формируют длительной высококонцентрационной диффузией мышьяка из бесконечного источника в эвакуированной кварцевой ампуле при температуре  $\sim 1150^\circ\text{C}$  в течение времени от 8 до 48 часов.

Краткое описание чертежей

На чертеже изображена схема конструкции однокристалльного ограничителя напряжения:

1 - базовый кристалл; 2 - р-п-переход; 3 - р-слой; 4 - п-слой; 5 диэлектрическая защита; 6 - металлический омический контакт; 7 - металлический теплоотвод; 8 - металлический вывод; 9 - герметичный корпус.

Осуществление изобретения

Пример.

На основе кремниевых пластин р-типа проводимости с удельными сопротивлениями ( $R_v$ ) в диапазоне от 0.001 Ом·см до 0.07 Ом·см (концентрации базовой примеси ( $N_x$ ) - бора соответственно в диапазоне от  $1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  до  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  в режимах диффузии при температуре  $1150^\circ\text{C}$  в течение времени 8, 24, 48 ч изготовлены образцы ограничителей напряжения с напряжениями пробоя от 3.3 В до 15 В и глубинами залегания ( $X_j$ ) от 9 до 16 мкм (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты изготовления по предлагаемому способу образцов низковольтных ограничителей напряжения

$R_v$ , Ом·см	$N_x$ , $\text{см}^{-3}$	Упроб, В t = 8 ч	$X_j$ , мкм	Упроб, В t = 24 ч	$X_j$ , мкм	Упроб, В t = 48 ч	$X_j$ , мкм
0.001	$1 \cdot 10^{20}$	<b>3.3</b>	8.8	<b>3.6</b>	11.5	<b>4.4</b>	14.2
0.005	$2 \cdot 10^{19}$	<b>4.9</b>	10.8	<b>5.4</b>	13.0	<b>6.0</b>	15.2
0.01	$1 \cdot 10^{19}$	<b>6.0</b>	11.3	<b>6.5</b>	13.7	<b>7.3</b>	15.5
0.03	$3 \cdot 10^{18}$	<b>7.5</b>	11.6	<b>8.4</b>	14.0	<b>10</b>	15.7
0.07	$2 \cdot 10^{16}$					<b>15</b>	16.0

Проведены сравнительные исследования образцов ограничителей напряжения с напряжением пробоя 5.4 В, изготовленных по предлагаемому способу, и образцов ограничителей напряжения GHV-6 фирмы General Semiconductor Industries, Inc. [5] с аналогичным напряжением пробоя (5.4 В).

В таблице 2 приведены экспериментальные значения основных функциональных параметров исследованных ограничителей напряжения - напряжения пробоя (Упроб), напряжения ограничения (Uогр.и), коэффициента ограничения ( $K_{огр.и} = U_{огр.и} / U_{проб}$ ), предельно допустимого импульсного тока ( $I_{огр.и.max}$ ), свидетельствующие превосходство низковольтных ограничителей напряжения, изготовленных по предлагаемому способу по сравнению с зарубежными аналогами. Параметры Uогр.и,

Когр.и характеризуют величину остаточного перенапряжения, т.е. эффективность защиты электронных компонентов от импульсных электрических перегрузок [7].

Таблица 2 – Экспериментальные значения основных функциональных параметров ограничителей напряжения GHV-6 [5] и аналогичных по напряжению пробоя ограничителей напряжения, изготовленных по предлагаемому способу

Тип ограничителя напряжения	Напряжение пробоя, Упроб, В, при токе, Iпроб, 10 мА	Напряжение ограничения импульсное, Uогр.и, В, при Iогр.и. 100 А	Коэффициент ограничения, Когр.и, при Iогр.и. 100 А	Предельно допустимый импульсный ток, Iогр.и.max, А
GHV-6	5.4	<b>18</b>	<b>3.3</b>	100
Ограничители по предлагаемому способу	5.4	<b>7</b>	<b>1.3</b>	300

#### Литература

1. Лаев С.А. Исследование лавинного пробоя кремниевых р-п- и р-п-р-структур в широком диапазоне напряжений и токов и разработка мощных ограничителей напряжения и стабилитронов. - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Всесоюзный электротехнический институт им. В.И. Ленина. - Москва 1973, 148 с.

2. Data Sheet. 1500 Watt Unidirectional and Bidirectional Transient Voltage Suppressors. M1.5KE6.8A ÷ M1.5KE400CA Series, Microsemi Corporation, - Rev. E 11/15/2013, p. 1-7.

3. Data Sheet. 1500 Watt Peak Power Zener Transient Voltage Suppressors 1.5SMC6.8AT3 ÷ 1.5SMC91AT3 Series, ON Semiconductor, Rev.7, 2007, p. 1-8.

4. Data Sheet. 1500 Watt Low Voltage Transient Voltage Suppressors 1N5907, 1N5908, Microsemi Corporation, Rev. A, 2003, p. 1-3.

5. Data Sheet. Bidirectional Surge Suppressors GHV-2 ÷ GHV-16 Series, General Semiconductor Industries, Inc. 2003, p. 1-3.

6. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник. - М.: Энергоиздат, 1982. - 744 с.

7. Кадуков Андрей "TVS-диоды - полупроводниковые приборы для ограничения опасных перенапряжений в электронных цепях"//Компоненты и Технологии, №10, 2001, с. 32-36.

#### (57) Формула изобретения

Способ изготовления ограничителей напряжения, содержащих кристаллы кремния с созданными в них р-п-переходами, состоящими из р-слоев, легированных примесью р-типа проводимости, и п-слоев, легированных примесью п-типа проводимости, диэлектрической защиты р-п-переходов и металлических омических контактов, металлических теплоотводов, металлических выводов и герметичных корпусов, отличающийся тем, что согласно изобретению с целью изготовления ограничителей

напряжения с напряжениями пробоя от 3 В до 15 В с р-п-переходами, залегающими на достаточной для силовых приборов глубине - более 10 мкм, базовые кристаллы выполнены из кремния, легированного примесью р-типа проводимости - бором с концентрацией от  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , соответствующей удельному сопротивлению кремния от 0.001 Ом·см до 0.1 Ом·см, а р-п-переходы в базовых кремниевых кристаллах формируют длительной высококонцентрационной диффузией примеси п-типа проводимости - мышьяком из бесконечного источника в эвакуированной кварцевой ампуле при температуре  $\sim 1150^\circ\text{C}$  в течение времени от 8 до 48 часов.

10

15

20

25

30

35

40

45

Способ изготовления  
ограничителей напряжения

