



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013119251/28, 25.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.04.2013

(45) Опубликовано: 20.09.2014 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2340041 C1, 27.11.2008. RU 2390880 C1, 27.05.2010. RU 2395868 C1, 27.07.2010. US 7183575 B2, 27.02.2007. US 6979863 B2, 27.12.2005. US 6507046 B2, 14.01.2003. US 6107142 A, 22.08.2000.

Адрес для переписки:

115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ МИФИ, Отдел управления интеллектуальной собственностью Управления научными исследованиями, Бейгул Г.В.

(72) Автор(ы):

**Рыжук Роман Валериевич (RU),
Каргин Николай Иванович (RU),
Гудков Владимир Алексеевич (RU),
Гусев Александр Сергеевич (RU),
Рындя Сергей Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАРБИДОКРЕМНИЕВОГО ДИОДА НА ОСНОВЕ ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ P-N-СТРУКТУР

(57) Реферат:

Изобретение относится к твердотельной электронике, в частности к технологии изготовления высоковольтных карбидокремниевых полупроводниковых приборов на основе p-n-перехода с использованием ионной имплантации. Технический результат, достигаемый при реализации заявленного изобретения, заключается в получении высоковольтного карбидокремниевго диода на основе ионно-легированных p-n-структур с напряжением пробоя ~1200 В. В способе формирования высоковольтного карбидокремниевго диода на

основе ионно-легированных p-n-структур на сильнолегированную подложку 6H-SiC наносят методом химического осаждения из газовой фазы слаболегированный эпитаксиальный слой толщиной 10÷15 мкм, после чего проводят ионное легирование этого слоя акцепторной примесью А1 или В с энергией 80÷100 кэВ и дозой 5000÷7000 мкКл/см², что позволяет максимально увеличить ширину области пространственного заряда p-n-перехода (w~10 мкм), при которой в приповерхностном p-слое не возникает инверсии носителей заряда, при этом достигается величина напряжения пробоя p-n-перехода ~1200 В. 1 ил.

RU 2 528 554 C1

RU 2 528 554 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013119251/28, 25.04.2013

(24) Effective date for property rights:
25.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: 25.04.2013

(45) Date of publication: 20.09.2014 Bull. № 26

Mail address:

115409, Moskva, Kashirskoe sh., 31, NIJaU MIFI,
Otdel upravlenija intellektual'noj sobstvennost'ju
Upravlenija nauchnymi issledovanijami, Bejgul
G.V.

(72) Inventor(s):

Ryzhuk Roman Valerievich (RU),
Kargin Nikolaj Ivanovich (RU),
Gudkov Vladimir Alekseevich (RU),
Gusev Aleksandr Sergeevich (RU),
Ryndja Sergej Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj
issledovatel'skij jadernyj universitet MIFI"
(NIJaU MIFI) (RU)

(54) **METHOD TO MAKE HIGH VOLTAGE SILICON-CARBIDE DIODE BASED ON ION-DOPED P-N-STRUCTURES**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: method to make a high voltage silicon-carbide diode based on ion-doped p-n-structures involves coating of a heavily doped substrate 6H-SiC with low-doped epitaxial layer 10÷15 μm thick by chemical deposition from gas phase, afterwards the said layer is subject to ion-implantation by acceptor impurity Al or V with the energy of 80÷100 keV and dose of 5000÷7000 microcoulomb/cm², that allows for maximal

increase of the width of space charge region of a p-n-junction (w~10 μm) at which no inversion of charge carriers occurs in the near-surface layer, the value of breakdown voltage of the p-n-junction reaches ~1200 V.

EFFECT: production of a high voltage silicon-carbide diode based on ion-doped p-n-structures.

1 dwg

Изобретение относится к твердотельной электронике и, в частности, к технологии изготовления высоковольтных карбидокремниевых полупроводниковых приборов на основе р-n-перехода с использованием ионной имплантации.

Наиболее важными технологическими операциями при изготовлении карбидокремниевых приборов являются процессы формирования р-n-переходов и качественных омических контактов. Чрезвычайно высокие температуры (более 2000°С) сильно затрудняют технологический процесс создания р-n-перехода в SiC методом диффузии. Метод химического осаждения из газовой фазы, часто используемый для формирования р-n-перехода на основе SiC, предъявляет высокие требования к чистоте теплоизоляции, газам-носителям, материалу держателей подложки, что значительно увеличивает стоимость готовой продукции. В связи с этим особое значение имеют работы по созданию биполярных карбидокремниевых приборов методом ионной имплантации, который позволяет прецизионно управлять концентрацией вводимой примеси и обладает локальностью воздействия.

Например, известны способы изготовления интегрированного диода Шоттки на основе карбида кремния (RU 2395868 C1, US 6573128, RU 2390880 C1), ориентированные на увеличение напряжения пробоя путем создания дополнительных ионно-легированных охранных колец. Отличие таких приборов от предлагаемого заключается в использовании контакта Шоттки и плавающих охранных колец. Недостатком диода Шоттки является процесс необратимого пробоя при кратковременном превышении максимального обратного напряжения и большая температурная зависимость вольт-амперных характеристик. Преимущество предлагаемого способа состоит в том, что увеличение пробивного напряжения достигается не за счет формирования дополнительных охранных колец и, как следствие, усложнения конструкции и технологии прибора, а за счет создания близкой к максимальной ширине области пространственного заряда р-n-перехода $w \sim 10$ мкм путем выбора соответствующих режимов имплантации (дозы и энергии) при отсутствии инверсии носителей заряда в приповерхностном р-слое.

Известен метод изготовления силовых приборов на основе карбида кремния имплантацией и последующей диффузией (US 6107142(A) или JP 2002518828). В данном методе полупроводниковые приборы формируются путем имплантации акцепторной примеси через маску донорных областей. Данный метод ориентирован на создание полевых транзисторов. Затем через те же окна в маске вводят донорную примесь на меньшую глубину. Технология позволяет ограничить процесс последующей активации примеси исключительно в латеральном направлении. Основное отличие предлагаемого метода заключается в том, что активации легирующей примеси может распространяться во всех направлениях. Недостатком описанного способа является необходимость проведения имплантации как донорной, так и акцепторной примесей.

В работах US 6429041 (B1) и US 6653659 (B2) описаны методы создания карбидокремниевых устройств с инверсными каналами без необходимости легирования р-типа. Методы включают формирование эпитаксиального слоя карбида кремния р-типа на подложке из карбида кремния n+-типа. В эпитаксиальном слое SiC р-типа формируется сквозной канал n-типа. Рядом с каналом формируются карманы SiC n-типа, не касающиеся области карбида кремния n+-типа и канала. Затворный контакт наносится на подзатворный диэлектрик. Второй контакт наносится на подложку. Недостатком таких устройств является необходимость в структурах, содержащих достаточно большое количество эпитаксиальных слоев, включая слой р-типа проводимости, что значительно удорожает стоимость такой продукции.

В работе RU 2403646 C1 описано техническое усовершенствование метода легирования. Способ включает создание плазмы внутри рабочей камеры и подачу импульсного ускоряющего напряжения. Имплантацию проводят из импульсной лазерной плазмы, содержащей многозарядные ионы. Импульсное ускоряющее напряжение подают либо на подложку, либо на мишень, при этом задержку между лазерным импульсом и импульсом ускоряющего напряжения определяют по расчетной формуле, связывающей расстояние от мишени до подложки, скорость центра масс компоненты с максимальным зарядом, температуру ионной компоненты с максимальным зарядом, массой и постоянной Больцмана. Изобретение обеспечивает увеличение круга имплантируемых веществ, а также осуществление селективной имплантации многозарядных ионов. Недостатком метода является достаточно сложная система для проведения ионной имплантации, включающая себя создание плазмы внутри рабочей камеры.

В работе US 6507046 (B2) описан способ изготовления полупроводниковых структур с высоким напряжением пробоя на основе эпитаксиальных слоев, нанесенных на подложку из высокоомного монокристаллического карбида кремния, включающего компенсирующую примесь (V). Примесь образует энергетические уровни, далеко отстоящие от границ запрещенной зоны карбида кремния. При этом уровни примеси находятся достаточно далеко и от середины запрещенной зоны, что позволяет получить большой разрыв зон на границе эпитаксиальная пленка-подложка. Монокристалл SiC имеет, таким образом, удельное сопротивление 5000 Ом/см при комнатной температуре (298 К). Недостатком метода является то обстоятельство, что ванадий является амфотерной примесью в карбиде кремния, то есть приводит к образованию как донорных, так и акцепторных примесей [А.А. Лебедев. Центры с глубокими уровнями в карбиде кремния // Физика и техника полупроводников. - 1999. - Т. 33. - Вып.2. - С.129 - 155]. Поэтому контролировать процесс создания качественных р-п-переходов с использованием ванадия весьма затруднительно.

Ближайшим к заявленному техническим решением является способ получения высоковольтного диода на основе бН карбида кремния (RU 2340041 C1). Сущность изобретения состоит в формировании высоковольтного диода методом имплантации акцепторной и донорной (для создания низкоомного контакта) примесей в слаболегированные пластины карбида кремния n-типа проводимости. Недостатком метода является возможность образования инверсионного слоя на поверхности р-типа, который увеличит напряжение отпираания изготавливаемого диода и, как следствие, рассеиваемую им мощность. Предлагаемый способ формирования высоковольтного карбидокремниевого диода на основе ионно-легированных р-п-структур позволяет увеличить напряжение пробоя, не создавая при этом инверсию носителей заряда на поверхности подложки. Этот результат позволит уменьшить рассеиваемую мощность прибора по сравнению с рассматриваемым аналогом.

Основной задачей, на решение которой направлен заявленный способ, является увеличение напряжения пробоя карбидокремниевых диодов до величины ~ 1200 В.

Технический результат, достигаемый при реализации заявленного изобретения, заключается в получении высоковольтного карбидокремниевого диода на основе ионно-легированных р-п-структур с напряжения пробоя ~ 1200 В.

Указанный технический результат достигается нанесением методом химического осаждения из газовой фазы на сильнолегированную подложку

бН-SiC (концентрация донорной примеси $10^{18} \div 10^{19} \text{ см}^{-3}$) слаболегированного эпитаксиального слоя (концентрация донорной примеси $5 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) толщиной

10÷15 мкм ионным легированием этого слоя акцепторной примесью А1 или В через маску для создания р-области, последующей кратковременной высокотемпературной обработкой и нанесением омических контактов к р- и n-областям. Ионное легирование акцепторной примесью производят с энергией 80÷100 кэВ и дозой 5000÷7000 мкКл/см², что позволяет максимально увеличить ширину области пространственного заряда р-n-перехода ($w \sim 10$ мкм), при которой в приповерхностном р-слое не возникает инверсии носителей заряда, при этом достигается величина напряжения пробоя р-n-перехода ~ 1200 В.

При увеличении энергии имплантации $E > 100$ кэВ концентрация внедряемой примеси р-типа на поверхности подложки станет меньше концентрации примеси в эпитаксиальном n-слое $N_{D2} \sim 5 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, то есть образуется инверсионный слой, приводящий к дополнительному барьеру в диодной структуре. Этот барьер приведет к увеличению напряжения отпирания диода и, соответственно, рассеиваемой мощности на нем. При меньших энергиях имплантации $E < 80$ кэВ пик концентрации внедренной примеси будет смещаться к поверхности подложки, уменьшая тем самым глубину залегания р-n-перехода. Это обстоятельство приведет к снижению пробивного напряжения диода.

Меньшие дозы имплантации $D < 5000$ мкКл/см² не позволят перекомпенсировать концентрацию донорной примеси эпитаксиального слоя $N_{D2} \sim 5 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, то есть создать р+-слой. Увеличение дозы имплантации $D > 7000$ мкКл/см² нецелесообразно вследствие увеличения количества радиационных дефектов, вносимых внедряемой примесью, которые способствуют возникновению пробоя по радиационным дефектам.

Ниже приведен пример конкретной реализации способа.

Схема высоковольтного карбидокремниевого диода на основе ионно-легированных р-n-структур представлена на Фиг.1. Здесь: 1 - омический контакт к р-области, 2 - омический контакт к n-области, 3 - ионно-легированный р-слой, 4 - эпитаксиальный n-слой, 5 - сильнолегированная подложка n-типа.

Такая структура получена нанесением методом химического осаждения из газовой фазы на сильнолегированную подложку 6H-SiC с концентрацией донорной примеси $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ слаболегированного эпитаксиального слоя с концентрацией донорной примеси $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ толщиной ~ 10 мкм, ионным легированием этого слоя акцепторной примесью бора В через маску для создания р-области с энергией 80 кэВ и дозой 5000 мкКл/см², последующей кратковременной высокотемпературной обработкой при температуре 1750°С в течение 25 секунд при избыточном давлении аргона 1,5 атм и нанесением омических контактов на основе соединений Al/Ti и Ni/Ti к р- и n-областям соответственно.

Таким образом, напряжение пробоя высоковольтного карбидокремниевого диода на основе ионно-легированных р-n-структур было повышено до 1200 В.

Формула изобретения

Способ формирования высоковольтного карбидокремниевого диода на основе ионно-легированных р-n-структур, включающий ионное легирование р-области с последующей кратковременной высокотемпературной обработкой, нанесение омических контактов к р- и n-областям, отличающийся тем, что в качестве подложки используют сильнолегированный 6H-SiC, на которую методом химического осаждения из газовой фазы наносят слаболегированный эпитаксиальный слой толщиной 10÷15 мкм, после

чего проводят ионное легирование этого слоя акцепторной примесью А1 или В с энергией 80÷100 кэВ и дозой 5000÷7000 мкКл/см².

5

10

15

20

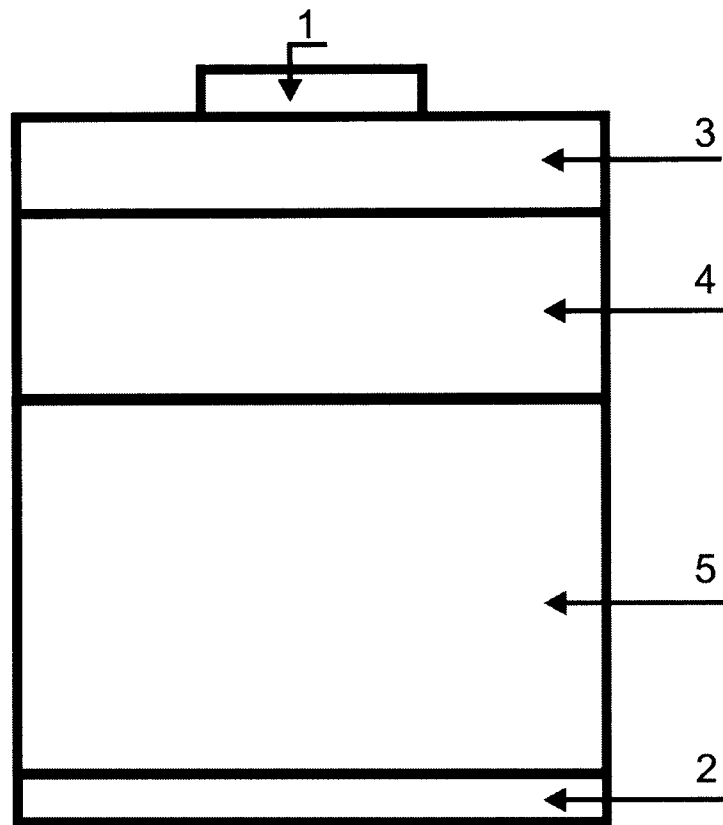
25

30

35

40

45



Фиг. 1