

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **5321**

(13) **С1**

(51)⁷ **H 01L 21/266**

(54) **МАСКА ДЛЯ ИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ**

(21) Номер заявки: а 19980191

(22) 1998.02.27

(46) 2003.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Телеш Евгений Владимирович; Достанко Анатолий Павлович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(57)

Маска для ионного легирования арсенида галлия, включающая защитный, электропроводящий и задающий конфигурацию легированных областей слой, отличающаяся тем, что защитный и электропроводящий слои выполнены в виде одного слоя из трехокси индия толщиной 0,05-0,1 мкм.

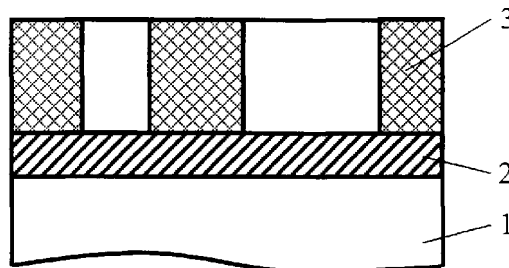
(56)

US 4224733 A, 1980.

FR 2330142 A, 1977.

JP 03171620 A, 1991.

SU 1764466 A, 1992.



Фиг. 1

BY 5321 C1

Маска для ионного легирования арсенида галлия, включающая защитный диэлектрический слой и слой, задающий конфигурацию легированных областей, позволяет проводить ионную имплантацию в горячую подложку [1]. Недостатком такой маски является искривление траекторий внедряемых ионов за счет накопления в диэлектрическом слое положительного электрического заряда. Это приводит к размытию границ легированных областей.

Наиболее близкой по технической сущности к заявляемой является маска для ионного легирования арсенида галлия, включающая защитный электропроводящий и задающий конфигурацию легирующих областей слои [2]. Защитный слой выполнен из диэлектрической пленки, на поверхности которой расположен электропроводящий слой из тонкой металлической пленки. Наличие последней позволяет осуществить снятие электрического заряда с защитной диэлектрической пленки путем заземления электропроводящего слоя в процессе ионной имплантации. Конфигурация легированных областей задается слоем диэлектрика или фоторезиста с вскрытыми в слоях "окнами". Недостатками данной маски являются сложность конструкции из-за наличия трех слоев, а также низкая надежность из-за существенного различия температурных коэффициентов линейного расширения диэлектрика и металла, полупроводника и диэлектрика, что может вызвать растрескивание слоев маски в процессе нагрева при ионном легировании.

В основу изобретения положена задача создания маски для ионного легирования арсенида галлия, которая имела бы более простую конструкцию и обладала бы повышенной надежностью.

Поставленная задача решена за счет использования в конструкции маски пленки из трехокси индия.

Существо изобретения заключается в том, что в известной конструкции маски для ионного легирования арсенида галлия, включающей защитный, электропроводящий и задающий конфигурацию легированных областей слои, защитный и электропроводящий слои выполнены в виде одного слоя из трехокси индия толщиной 0,05-0,1 мкм.

Использование трехокси индия (In_2O_3) в качестве материала слоя обусловлено следующим. Трехокись индия обладает низким удельным сопротивлением порядка 10^{-3} - 10^{-4} Ом·см. Следовательно, в слое из данного материала будет отсутствовать электрический заряд при проведении ионного легирования, если к слою присоединить заземление. Поэтому нет необходимости применять дополнительный металлический электропроводящий слой. Так как In_2O_3 обладает в широком диапазоне температур температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) $7,2 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, который является близким к ТКЛР арсенида галлия ($6,0 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$), то это предотвратит растрескивание и отслаивание слоя в процессе нагрева при ионной имплантации, что повышает надежность маски. Трехокись индия обладает также высокой механической прочностью и твердостью (твердость по минералогической шкале составляет 7,0 условных единиц), пленки из этого материала обладают хорошей адгезией к арсениду галлия. Следовательно, слой из In_2O_3 , будет обладать устойчивостью против механических воздействий (истирание, царапание и т.п.) и, как следствие, повышенной надежностью.

Преимуществом трехокси индия перед другими электропроводящими окислами является относительно низкая стоимость по сравнению с RuO_2 , RhO , IrO_2 , OsO_2 , Re_2O_3 , высокая температура плавления (2000 °C) по сравнению с CrO_2 ($T_{\text{пл}} = 427$ °C), близость температурного коэффициента линейного расширения к ТКЛР арсенида галлия по сравнению с Fe_3O_4 (ТКЛР $\text{Fe}_3\text{O}_4 = (9,3-18,8) \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$). Некоторые проводящие окислы, например PbO_2 , SnO_2 , CdO , ZnO , содержат металлы, которые в процессе нагрева могут неконтролируемо легировать приповерхностную область арсенида галлия. Индий является изовалентной примесью, поэтому изменения в уровне легирования приповерхностной области арсенида галлия будут отсутствовать.

Известно техническое решение [3], в котором пленка $\text{In}_2\text{O}_3 + \text{SnO}_2$ используется в качестве контакта с барьером Шоттки. В этом случае она не выполняет роль защитного слоя, т.е. через нее не проводится имплантация ионов. Известно также применение пленок трехокси индия в качестве защитных и электропроводящих слоев в конструкции невы-

BY 5321 C1

прямым контактом для арсенида галлия [4]. В этом случае пленка In_2O_3 расположена сверху слоев сплава золото-германий и золота. Здесь также не проводится имплантация ионов через пленку триоксида индия, кроме того, защитный слой из In_2O_3 не расположен на поверхности полупроводника.

Сопоставительный анализ предлагаемого решения с прототипом показывает, что заявляемая конструкция маски для ионного легирования арсенида галлия отличается тем, что защитный слой выполнен из материала, который обеспечивает как защитные, так и электропроводящие параметры. Это позволяет упростить конструкцию маски за счет исключения электропроводящего металлического слоя и повысить ее надежность, т.е. достичь поставленной цели.

Выбор толщины слоя In_2O_3 в пределах 0,05-0,1 мкм объясняется следующим. При толщине меньше 0,05 мкм ухудшаются защитные свойства слоя, что может привести к испарению мышьяка из объема арсенида галлия. При толщине слоя более 0,1 мкм необходимы слишком большие энергии легирующих ионов, чтобы пройти защитный слой и внедриться в полупроводник.

Слой, задающий конфигурацию легированных областей, может выполняться из фоторезиста, диэлектрика и металла. Толщина его определяется энергией ионов, родом ионов, а также видом материала из которого выполнен данный слой.

Изложенная сущность изобретения поясняется фигурами. На фиг. 1 изображена конструкция маски, на фиг. 2 показан внешний вид поверхности маски, взятой за прототип, после проведения испытаний на термоустойчивость, на фиг. 3 показан внешний вид поверхности предлагаемой маски после проведения испытаний на термоустойчивость. Маска состоит из слоя триоксида индия 2, выполняющего роль как защитного, так и электропроводящего слоя, и из слоя 3, задающего конфигурацию легированных областей, который может быть изготовлен из фоторезиста, металла, диэлектрика и т.п.

Упрощение конструкции маски достигается за счет исключения дополнительного электропроводящего слоя. Повышенная надежность маски обеспечивается, во-первых, за счет уменьшения количества слоев в ее конструкции, а во-вторых, благодаря высокой адгезии слоя триоксида индия к GaAs и устойчивости In_2O_3 к механическим воздействиям.

Маска для ионного легирования арсенида галлия функционирует следующим образом. Ионы легирующей примеси бомбардируют подложку из арсенида галлия 1 с расположенной на поверхности последней маской. Ионы задерживаются в толстом слое 3, который задает конфигурацию легированных областей. В то же время ионы попадают на слой 2 из триоксида индия, проходят сквозь него и внедряются в подложку из арсенида галлия 1. В процессе ионной имплантации к слою 2 подсоединяется заземление, что обеспечивает эффективное снятие положительного заряда и, соответственно, получение резких границ легированных областей. Кроме того, наличие защитного слоя 2 позволяет осуществлять внедрение ионов при температурах до 400-500 °С, что будет способствовать формированию профиля залегания примеси, близкому к Гауссову, без диффузионных хвостов, а также высокой степени активации примеси.

Предлагаемая маска для ионного легирования арсенида галлия была реализована следующим образом.

Пример 1.

Подложки из арсенида галлия АГП-2 (100), легированные хромом, обезжиривались в изопропиловом спирте, освежались в аммиачно-перекисном травителе, промывались деионизованной водой, высушивались на центрифуге. В вакуумной установке методом реактивного ионно-лучевого распыления мишени из индия на поверхность подложки из арсенида галлия нанесли защитный электропроводящий слой из пленки In_2O_3 толщиной 0,1 мкм. Удельное поверхностное сопротивление слоя составляло около 70 Ом/□. Затем провели испытания полученной структуры на надежность, которые включали исследования адгезии и термоустойчивости. Адгезию слоя окиси индия к арсениду галлия определяли методом нормального отрыва. Она составила величину порядка 18,5 МПа. Для оценки термоустойчивости была применена методика, основанная на термоциклических ис-

ВУ 5321 С1

пытаниях изделий в лучевой печи, снабженной фокусирующим рефлектором и источником излучения в виде кварцевой галогенной лампы мощностью 1000 Вт. Средняя удельная мощность источника излучения составляла около 40 Вт/см^2 . Термоустойчивость структуры определялась количеством циклов нагревание-охлаждение. Продолжительность одного цикла составляла 90 с, из них 30 с - нагревание и 60 с - охлаждение. Через каждые 15 мин испытаний образец помещался в поле оптического микроскопа с увеличением в 200 раз. Фиксировались изменения, видимые на поверхности защитного электропроводящего слоя: трещины, отслоения, вздутия, шелушения и т.п.. Количество циклов, вызывающие указанные изменения, использовали как характеристику термоустойчивости. Данная структура выдержала около 1500 циклов. Затем создавался слой, задающий конфигурацию легированных областей. Он представлял собой пленку фоторезиста ФП-383 толщиной 1,2 мкм, в которой имелись "окна" размером $5 \times 5 \text{ мм}^2$, через которые осуществлялось ионное внедрение ионов кремния на установке "Везувий-9". Энергия ионов составляла 250 кэВ, доза - $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, температура подложки - $100 \text{ }^\circ\text{C}$. В процессе имплантации слой In_2O_3 заземлялся. После проведения легирования фоторезист удаляли в кипящем диметилформамиде, а трехокись индия - в соляной кислоте. Затем на поверхности подложки формировали пленку нитрида кремния толщиной 0,3 мкм и проводили термообработку в вакууме при $820 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. После удаления пленки нитрида кремния проводили измерение электрохимических параметров легированного слоя с использованием измерителя электрофизических параметров полупроводниковых имплантированных слоев ИПП-ИС-1. Глубина залегания ионов кремния составила около 0,12 мкм, максимальная концентрация электронов $2,7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Степень активации примеси составила около 34 %, подвижность - $3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{см}$.

Пример 2.

На подложки из арсенида галлия АГП-2 (100), прошедшие химическую очистку аналогично примеру 1, нанесли слой In_2O_3 толщиной 0,05 мкм путем ионно-лучевого распыления порошковой мишени из трехоксида индия. На часть подложек были последовательно нанесены ионно-лучевым распылением слои двуоксида кремния и никеля толщиной 0,05 и 0,03 мкм соответственно, т.е. сформировали защитный и электропроводящий слои в соответствии с прототипом. Удельное поверхностное сопротивление слоя трехоксида индия составило $125 \text{ Ом}/\square$, а никеля - $15 \text{ Ом}/\square$. Температура подложек в процессе нанесения вышеуказанных слоев составляла $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем полученные структуры прошли испытания на адгезию и термоустойчивость. Адгезия слоя In_2O_3 к GaAs составила 21 МПа, слоя SiO_2 к GaAs - 7,5 МПа, никеля к SiO_2 - 10,5 МПа. Термоустойчивость структуры $\text{In}_2\text{O}_3/\text{GaAs}$ составила 2200 циклов. Структура $\text{Ni}/\text{SiO}_2/\text{GaAs}$ выдержала всего лишь 750 циклов. На фиг. 2 и 3 представлен внешний вид поверхности обеих структур после проведения испытаний на термоустойчивость.

После создания на поверхности защитного и электропроводящего слоя формировался слой, задающий конфигурацию легированных областей, представляющий собой пленку из двуоксида кремния толщиной 0,5 мкм, в которой также имелись окна размером $5 \times 5 \text{ мм}^2$. Ионную имплантацию осуществляли на установке "Везувий-9" при следующих режимах: энергия ионов - 120 кэВ, доза - $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$, температура подложки - $400 \text{ }^\circ\text{C}$. После удаления защитного и задающего конфигурацию легированных областей слоев, соответственно в соляной кислоте и р-травителе, формировали покрытие из нитрида алюминия толщиной 0,3 мкм. Постимплантационный отжиг проводился в атмосфере форминг-газа при $850 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. После травли пленки AlN осуществлялось измерение электрофизических параметров ионнолегированных слоев. Глубина залегания примеси составила 0,24 мкм, максимальная концентрация электронов была на глубине 0,10 мкм и составила $9 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, подвижность была около $4000 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{см}$, степень активации примеси $\approx 50 \%$.

Пример 3.

Подложки из арсенида галлия типа n-n⁺ с толщиной активного слоя 0,8 мкм и концентрацией $4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ прошли химобработку аналогично примеру 1. Затем путем реактивного

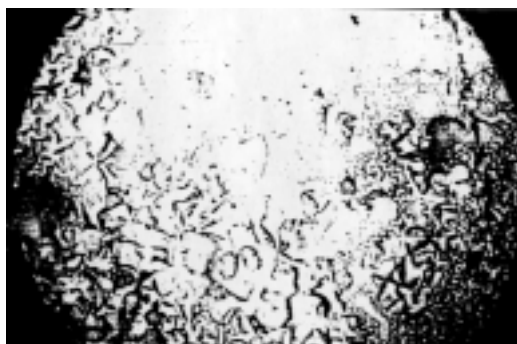
BY 5321 C1

ионно-лучевого распыления индиевой мишени нанесли пленку In_2O_3 толщиной 0,07 мкм. Температура подложки составляла 150 °С, удельное поверхностное сопротивление - 85 Ом/□. Слой, задающий конфигурацию легированных областей, формировали из пленки никеля толщиной 0,6 мкм. Размеры "окон" составляли $1 \times 1 \text{ мм}^2$. Часть полученных структур подвергли испытаниям на термоустойчивость. Структуры выдержали 1900-2000 циклов. Затем провели имплантацию ионов углерода в подложку, находящуюся при температуре 200 °С. Энергия ионов составляла 200 кэВ, доза $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. После удаления слоев триоксида индия и никеля поверхность арсенида галлия покрывалась слоем Si_3N_4 толщиной 0,3 мкм. Постимплантационный отжиг проводили в атмосфере азота при температуре 900 °С в течении 25 мин. После отжига пленка нитрида кремния удалялась в плазме CF_4 . Потом осуществлялась химическая очистка, освежение поверхности GaAs в аммиачно-перекисном травителе, формирование омических контактов к полученному p-n-n⁺-переходу. В качестве контакта к p-области использовался сплав Ag-Zn, а к n⁺ - GaAs - Ag-Sn. Вжигание контактов осуществляли при 620 °С в течение 5 мин в атмосфере азота. Измерение вольтамперных характеристик полученных диодов показало, что последние имеют малые токи утечки $\approx 15 \text{ мкА}$ при обратном напряжении 40 В. Пробой наблюдался при обратном напряжении 45 В, причем нарастание обратного тока происходит очень быстро. Это свидетельствует о резких боковых границах p-n-перехода, т.е. при ионной имплантации через слой In_2O_3 не происходит размытия границ ионнолегированных областей.

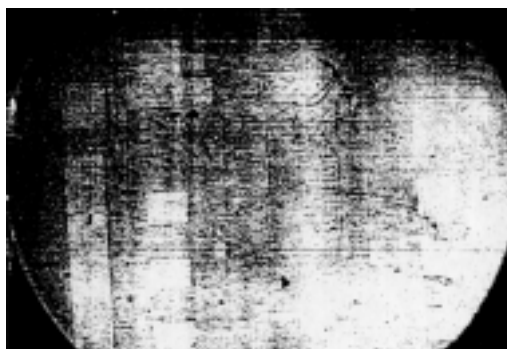
Приведенные примеры реализации предложенной маски для ионного легирования арсенида галлия иллюстрируют высокие параметры триоксида в качестве материала защитного и электропроводящего слоя. Использование данного изобретения позволяет упростить конструкцию маски и повысить ее надежность. Применение такой маски при легировании арсенида галлия позволяет осуществить имплантацию ионов в горячую подложку, избежать размытия границ легированных областей, осуществить управление процессом ионного легирования путем приложения электрического потенциала к защитной пленке.

Источники информации:

1. FR 2330142.
2. FR 2406302.
3. Parker D.G. Electronic Letters, 1985. - V. 21. - № 18. - P. 778.
4. SU 1764466.



Фиг. 2



Фиг. 3