

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **5561**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **H 01L 21/316**

**(54) ПАССИВИРУЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ПОДЛОЖЕК ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ**

(21) Номер заявки: а 19980235

(22) 1998.03.12

(46) 2003.09.30

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

(72) Авторы: Телеш Евгений Владимирович; Достанко Анатолий Павлович; Юрченко Лариса Григорьевна; Малькевич Владимир Эдуардович (ВУ)

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

(57)

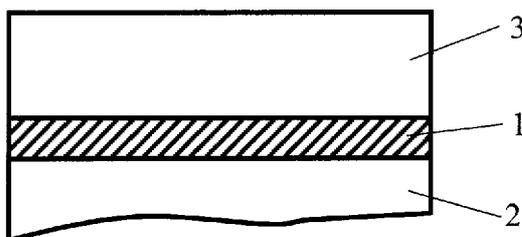
Пассивирующее покрытие для подложек из арсенида галлия, включающее последовательно сформированные нижний слой оксидированного арсенида галлия толщиной 0,004-0,060 мкм, образованного окислением подложки, и верхний слой оксидированного арсенида галлия толщиной 0,1-0,8 мкм, образованного нанесением из внешнего источника.

(56)

JP 60047468 A, 1985.

US 3890169 A, 1975.

JP 02027725 A, 1990.



**ВУ 5561 С1**

# BY 5561 C1

Изобретение относится к области твердотельной электроники, в частности к технологии интегральных схем и полупроводниковых приборов на арсениде галлия, и может быть использовано для защиты от внешних воздействий поверхности полупроводника.

Известно пассивирующее покрытие для подложек из арсенида галлия, включающее нанесенный из внешнего источника на подложку слой диэлектрика, например нитрида кремния [1]. Толщина такого слоя составляет обычно 0,2-0,5 мкм, что позволяет надежно защитить поверхность арсенида галлия от воздействия внешней среды, а также обладает высокой электрической прочностью  $E_{пр} = (3-5) \cdot 10^6$  В/см. Основным недостатком такого покрытия является высокая плотность поверхностных состояний  $N_{ss}$  на границе раздела диэлектрик-полупроводник, которая может достигать до  $10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$ , что приводит к ухудшению характеристик приборов.

Пассивирующее покрытие для подложек из арсенида галлия, включающее сформированный на подложке слой оксидированного арсенида галлия, образованного окислением подложки позволяет снизить плотность поверхностных состояний до  $10^{11}-10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1}$  [2]. Этот слой можно сформировать термическим окислением арсенида галлия, электролитическим и плазменным анодированием. Однако такие слои из оксидированного арсенида галлия (собственные окислы, сокращенно СО) обладают низкой электрической прочностью  $(2-4) \cdot 10^5$  В/см, а также рыхлой, пористой структурой. В процессе эксплуатации они поглощают влагу и другие примеси из окружающей атмосферы, что резко снижает электроизоляционные параметры пассивирующего покрытия, ухудшает характеристики приборов.

Пассивирующее покрытие для подложек из арсенида галлия, включающее последовательно сформированные на подложке нижний слой оксидированного арсенида галлия, образованного окислением подложки и верхний слой диэлектрика, является наиболее близким техническим решением к предлагаемому покрытию [3]. В этом покрытии нижний слой из собственного окисла обеспечивает низкую плотность поверхностных состояний, верхний из нанесенной окиси алюминия - высокое значение электрической прочности структуры. Толщина слоя собственного окисла составляет 0,002-0,001 мкм, а толщина верхнего слоя диэлектрика - 0,0035 мкм и выше.

Недостатком такого покрытия является его низкая надежность из-за значительного различия температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) собственного окисла и окиси алюминия (ТКЛР собственного окисла составляет  $3,7 \cdot 10^5 \text{ град}^{-1}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ ), что может привести к растрескиванию, отслаиванию слоев пассивирующего покрытия, вызвать механические напряжения в приповерхностном слое GaAs, которые могут изменить электрофизические и другие параметры полупроводника. Кроме того, может иметь место взаимная диффузия между элементами нижнего и верхнего слоев, что вызовет ухудшение параметров покрытия.

В основу изобретения положена задача создания пассивирующего покрытия для подложек из арсенида галлия, которое обладало бы повышенной надежностью.

Поставленная задача решена за счет использования в качестве верхнего слоя диэлектрика оксидированного арсенида галлия (или собственного окисла арсенида галлия), сформированного без использования подложки, т.е. нанесенного из внешнего источника.

Существо изобретения заключается в том, что в известной конструкции пассивирующего покрытия для подложек из арсенида галлия, включающего последовательно сформированные нижний слой оксидированного арсенида галлия, образованного окислением подложки, толщиной 0,004-0,06 мкм и верхний слой оксидированного арсенида галлия, образованного нанесением из внешнего источника, толщиной 0,1-0,8 мкм. Этот слой может быть сформирован путем реактивного ионно-лучевого распыления мишени из полупроводникового арсенида галлия ионами аргона и кислорода [4]. Проведенные ранее исследования показали, что собственный окисел, полученный таким методом, обладает высокой электрической прочностью  $(5-8) \cdot 10^6$  В/см и плотной аморфной структурой. ИК-

# BY 5561 C1

спектроскопия показала отсутствие поглощения связи О-Н в спектре такой пленки из оксидированного арсенида галлия даже после 24-часовой выдержки при 50 °С и 98 %-й влажности. Поэтому, в случае применения такого окисла в качестве верхнего слоя диэлектрика, пассивирующее покрытие будет обладать как высокими электроизоляционными характеристиками, так и повышенной надежностью. Последнее достигается за счет практически равных температурных коэффициентов линейного расширения верхнего и нижнего слоев покрытия, что исключает растрескивание, отслаивание, шелушение верхнего слоя диэлектрика. Наличие в слоях пассивирующего покрытия одних и тех же химических элементов (Ga, As, O) не будет вызывать заметной интердиффузии последних, что обеспечит временную и температурную стабильности характеристик слоев и тем самым также будет способствовать повышению надежности покрытия.

Изложенная сущность изобретения поясняется фигурой, где изображена предлагаемая конструкция пассивирующего покрытия.

Пассивирующее покрытие состоит из нижнего слоя оксидированного арсенида галлия 1, образованного окислением подложки из арсенида галлия 2 и верхнего слоя оксидированного арсенида галлия 3, нанесенного из внешнего источника. Повышение надежности покрытия достигается за счет повышения адгезии и механической прочности верхнего слоя, благодаря близости ТКЛР верхнего и нижнего слоев, а также за счет устранения взаимной диффузии между элементами, входящими в состав слоев.

Пассивирующее покрытие функционирует следующим образом. Нижний слой 1 из оксидированного арсенида галлия обеспечивает высокую стабильность и низкий уровень Nss, а верхний слой 3 из оксидированного арсенида галлия - требуемое значение электрической прочности. Толщина верхнего слоя составляет 0,1-0,8 мкм, а нижнего - обычно 0,005-0,006 мкм. Для верхнего слоя она определяется необходимостью получения беспористой пленки с малыми внутренними механическими напряжениями, т.к. при толщине верхнего слоя менее 0,1 мкм он не обеспечивает эффективную защиту от внешней среды из-за наличия пор, а при толщине свыше 0,8 мкм в пленке окисла могут возникнуть внутренние механические напряжения, которые приведут к отслаиванию верхнего слоя. Собственный окисел толщиной менее 0,005 мкм затруднительно выращивать контролируемо. С ростом толщины оксидированного арсенида галлия свыше 0,06 мкм резко падают ее изоляционные свойства [5].

Предлагаемое пассивирующее покрытие для арсенида галлия было реализовано следующим образом.

## **Пример 1.**

Подложки из арсенида галлия типа n-n<sup>+</sup> с концентрацией электронов в n-слое  $7,2 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup> обезжиривались в растворителях, промывались в деионизованной воде, затем освежались в травителе состава H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O = 4:1:5, опять промывались в деионизованной воде, потом травились в растворе HCl с целью снятия окисной пленки, промывались в деионизованной воде и высушивались на центрифуге. К n<sup>+</sup>-слою формировался омический контакт путем нанесения в вакууме пленки сплава Ag-Sn (90:10) и вжигания в вакууме при температуре 620 °С в течение 10 минут. Формирование нижнего слоя оксидированного арсенида галлия осуществляли анодным окислением в электролите, содержащем винную кислоту и пропиленгликоль в соотношении 1:2. Окисление проходило в гальваностатическом режиме при плотности тока 1 мА/см<sup>2</sup> и температуре электролита около 30 °С. Толщина полученного оксидированного слоя арсенида галлия составила 0,004 мкм. Затем провели отжиг подложек в среде азота при 250 °С в течение 1 часа для снижения уровня Nss. После термообработки нижнего слоя на него методом реактивного ионно-лучевого распыления мишени из полуизолирующего арсенида галлия был нанесен слой из оксидированного арсенида галлия толщиной 0,15 мкм. Температура подложек в процессе нанесения составляла 100 °С, содержание кислорода в рабочем газе - 75 %, ускоряющее напряжение - 3 кВ, ток компенсатора - 7,5 А, потенциал мишени - 350 В. Затем

# BY 5561 C1

часть полученных структур прошли тест на термоустойчивость по методике, основанной на термоциклических испытаниях в лучевой печи, снабженной фокусирующим рефлектором и источником излучения в виде кварцевой галогенной лампы мощностью 1 кВт. Средняя удельная мощность источника излучения составляла 40 Вт/см<sup>2</sup>. Продолжительность одного цикла составляла 90 с, из них 30 с - нагревание, 60 с - охлаждение. Структуры прошли 1500 циклов, после чего были помещены в камеру тепла и влаги (T = 50 °C, влажность - 98 %), где находились в течение 24 часов.

Затем на поверхности верхнего слоя оксидированного арсенида галлия у всех структур формировались контакты размером 0,5×0,5 мм<sup>2</sup> из алюминиевой пленки толщиной 0,3 мкм и осуществлялись измерения электрической прочности E<sub>пр</sub> и C-V - измерения на частоте 1 МГц на приборе АМЦ 1515 с последующим вычислением N<sub>ss</sub>. Результаты измерений приведены в таблице.

## Пример 2.

Подложки из арсенида галлия n-n<sup>+</sup> с концентрацией электронов в n-слое 7,2·10<sup>16</sup> см<sup>-3</sup> прошли химобработку и формирование омического контакта к n<sup>+</sup>-слою аналогично примеру 1. Затем на поверхности n-слоя формировался нижний слой оксидированного арсенида галлия методом анодирования в кислородной плазме. Давление кислорода составляло 10<sup>-3</sup> мм рт.ст., температура подложки - 40 °C, плотность тока анодирования - 1 мА/см<sup>2</sup>, толщина оксидированного слоя - около 0,006 мкм. Был проведен отжиг полученных структур в атмосфере азота при 350 °C распылением мишени из полуизолирующего арсенида галлия при режимах, аналогичных примеру 1, были нанесены верхние слои диэлектрика из оксидированного арсенида галлия различной толщины 0,08, 0,1, 0,8 и 1,0 мкм. На другую часть подложек была нанесена пленка из алюминия толщиной 0,0025 мкм, которая затем была окислена в кислородной плазме, т.е. было сформировано пассивирующее покрытие в соответствии с прототипом. Половина тех и других полученных структур прошли термоциклический нагрев и испытания в камере тепла и влаги в течение 24 ч. Покрытия, которые имели верхний слой толщиной 1,0 мкм, не прошли вышеуказанных испытаний из-за разрушения и отслоения верхнего слоя. После нанесения на поверхность верхнего слоя всех остальных структур контактов из алюминия были проведены измерения и вычисления E<sub>пр</sub> и N<sub>ss</sub>, результаты которых приведены в таблице.

Анализ результатов, приведенных в таблице, показывает, что предлагаемое пассивирующее покрытие для подложек из арсенида галлия обеспечивает как хорошие параметры границы раздела (N<sub>ss</sub>), так и высокую электрическую прочность E<sub>пр</sub>. В то же время данное покрытие обладает повышенной надежностью по сравнению с прототипом, т.к. нет значительного изменения характеристик покрытия после проведенных испытаний на термоциклирование и во влажной атмосфере. Это достигается благодаря хорошей адгезии из-за близости температурных коэффициентов линейного расширения нижнего и верхнего слоев покрытия, наличия плотной, безпористой структуры верхнего слоя, отсутствия значительной взаимной диффузии между элементами, входящими в состав верхнего и нижнего слоев. Поэтому применение данного покрытия позволит повысить процент выхода годных кристаллов на стадии изготовления микросэлектронных изделий, увеличить время безотказной работы в процессе эксплуатации последних.

# BY 5561 C1

## Результаты измерений $E_{пр}$ и $N_{ss}$

Конструкция пассивирующего покрытия	Метод получения нижнего слоя	Толщина нижнего слоя, мкм	Толщина верхнего слоя, мкм	Параметры покрытия до испытаний в камере тепла и влаги		Параметры покрытия после испытаний в камере тепла и влаги	
				$E_{пр}$ , В/см	$N_{ss}$ , см <sup>2</sup> ·эВ <sup>-1</sup>	$E_{пр}$ , В/см	$N_{ss}$ , см <sup>2</sup> ·эВ <sup>-1</sup>
CO/CO/GaAs	анодирование в электролите	0,004	0,15	$6,9 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^{11}$	$6,6 \cdot 10^6$	$8,8 \cdot 10^{11}$
CO/CO/GaAs	плазменное анодирование	0,008	0,08	$7,1 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^{12}$
CO/CO/GaAs	плазменное анодирование	0,008	0,8	$6,4 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$6,2 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^{12}$
CO/CO/GaAs	плазменное анодирование	0,008	1,0	$5,0 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^{12}$	-	-
CO/CO/GaAs	плазменное анодирование	0,008	0,1	$7,0 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^{12}$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CO/GaAs	плазменное анодирование	0,008	≈ 0,04	$5,8 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$3,5 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^{13}$

Источники информации:

1. Заявка Японии 57-207668, МПК Н 01L 21/318, 29/80, 1984.
2. Заявка Великобритании 2046014, МПК Н 01L 21/316, 1981.
3. Заявка Японии 60-47468, МПК Н 01L 29/78, 1985.
4. А.с. 1499626, СССР, МПК С23С 14/08, Н 01L 21/316, 1989.
5. Овчинников В.В., Бобко В.В., Борисова Н.В., Соколовская Л.Д. Формирование двойного диэлектрика методом термического окисления // Весці Акадэміі навук БССР. Сер. фізіка-тэхнічных навук. - № 1. - 1986. - С. 106-109.