

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **19536**

(13) **С1**

(46) **2015.10.30**

(51) МПК

H 01G 4/33 (2006.01)

H 01L 29/00 (2006.01)

(54)

**СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРА
ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ**

(21) Номер заявки: а 20121544

(22) 2012.11.06

(43) 2014.06.30

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

(72) Авторы: Хмыль Александр Александрович; Емельянов Антон Викторович; Алиева Наталья Васильевна; Емельянов Виктор Андреевич; Трусов Виктор Леонидович; Шиколо Владимир Евгеньевич; Сенько Сергей Федорович (ВУ)

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

(56) JPH 10178159 A, 1998.

BY 2639 C1, 1999.

RU 98106626 A, 2000.

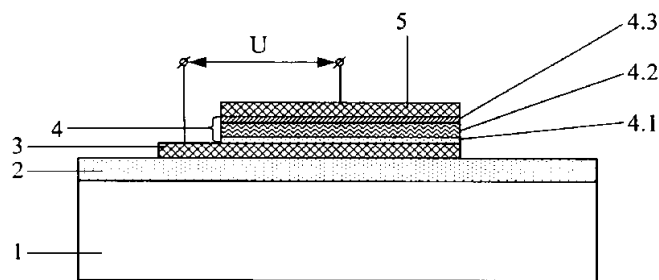
SU 1804664 A3, 1993.

UA 36855 U, 2008.

US 7326626 B2, 2008.

(57)

Способ изготовления конденсатора для интегральной микросхемы, в котором на кремниевой подложке с активными областями формируют нижнюю обкладку конденсатора из моно- или поликристаллического кремния, окисляют ее поверхность до получения на ней слоя диоксида кремния заданной толщины, осаждают на него слой нитрида кремния заданной толщины, окисляют указанный осажденный слой в парах воды при температуре от 800 до 900 °С до формирования слоя оксинитрида кремния толщиной от 1 до 5 нм, а затем формируют на поверхности полученной слоистой структуры верхнюю обкладку конденсатора путем осаждения на нее слоя легированного поликристаллического кремния требуемой конфигурации, а также присоединяют к указанным обкладкам локальные электрические контакты.



Фиг. 1

ВУ 19536 С1 2015.10.30

Изобретение относится к электронной технике, в частности к микроэлектронике, и может быть использовано при изготовлении кристаллов интегральных схем (ИС).

Тонкопленочные конденсаторы широко используются при изготовлении запоминающих ИС. Типовой способ изготовления тонкопленочного конденсатора для ИС описан в [1]. На поверхности полупроводниковой подложки, служащей одной из обкладок конденсатора, формируют диэлектрическую пленку диоксида кремния. На поверхности этой пленки формируют вторую обкладку из легированного поликристаллического кремния. Требуемую емкость задают площадью поликремниевой обкладки и толщиной слоя диэлектрика.

Недостатками рассматриваемого способа являются существенное ограничение конденсатора по емкости, обусловленное невысокой диэлектрической проницаемостью диоксида кремния, необходимость использования большой полезной площади монокристаллической подложки, а также относительно высокая дефектность слоя диэлектрика, обусловленная особенностями технологии его получения. Наличие дефектов накладывает существенные ограничения по минимальной толщине диэлектрика, что не позволяет получать конденсаторы малых размеров приемлемой емкости.

Частичным решением данной проблемы является формирование конденсаторов при изготовлении ИС с использованием тонкопленочных обкладок и многослойных диэлектриков на основе материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

Наиболее близким техническим решением к заявляемому, его прототипом является способ изготовления конденсатора для интегральных микросхем, включающий формирование на полупроводниковой подложке с активными областями и нижней обкладкой конденсатора конденсаторного диэлектрика путем окисления поверхности нижней обкладки при высокой температуре в окислительной среде до достижения толщины диоксида кремния 15 нм и последующего осаждения слоя нитрида кремния толщиной 65 нм аммонолизом дихлорсилана при пониженном давлении, формирование верхней обкладки конденсатора путем осаждения слоя легированного поликристаллического кремния требуемой конфигурации и выполнение межсоединений [2].

Диэлектрическая проницаемость нитрида кремния заметно выше по сравнению с диоксидом кремния. Это позволяет существенно уменьшить размеры конденсатора и/или увеличить его емкость.

Недостатком прототипа является наличие высоких механических напряжений в формируемой структуре, обусловленных присутствием нитрида кремния. Нитрид кремния широко используется в электронной технике в качестве конструктивного материала для формирования активных и пассивных элементов. Особенностью пленок нитрида кремния является наличие в них высоких растягивающих напряжений - до 100 ГПа [3], обусловленных процессами формирования пленки.

Диоксид кремния характеризуется наличием большого количества полиморфных превращений в широком интервале температур. Самая низкая из них составляет всего 115 °С [4]. В связи с этим формирование структур Si-SiO₂ с минимальными остаточными напряжениями достигается выбором условий их охлаждения, учитывающих скорость и обеспечивающих необходимую полноту таких превращений. Нитрид кремния имеет только две устойчивые модификации с температурой перехода 1400 °С [5]. Монокристаллическому кремнию в условиях формирования конденсатора полиморфные превращения вовсе не присущи [6]. Несмотря на небольшое различие в значениях коэффициентов линейного термического расширения (клтп) Si₃N₄ и кремния ($3,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для Si₃N₄ [5] и $3,72 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для Si [6]), использование высоких температур при изготовлении конденсатора и отсутствие полиморфных превращений Si₃N₄ приводит к возникновению высоких механических напряжений на границе раздела Si-Si₃N₄. При использовании в качестве верхней обкладки конденсатора поликристаллического кремния структура оказывается неспособной к релаксации механических напряжений через полиморфные превращения, вследствие чего в

конденсаторе образуются разнообразные дефекты - микропоры и микротрещины, которые приводят к невоспроизводимости емкости, "мягкому" пробоем конденсаторного диэлектрика и выходу из строя всей схемы. Так называемый "мягкий" пробой диэлектрика обусловлен шнурованием тока в местах локализации дефектов при напряжениях значительно ниже пробивных, сильным разогревом этих участков с последующим проплавлением, в результате чего этот дефект "залечивается", а шнурование тока начинается на новом дефекте. Емкость конденсатора уменьшается пропорционально площади проплавленных участков. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) такого конденсатора не имеет четко выраженного напряжения полного пробоя. Выход годных приборов снижается преимущественно из-за отказа конденсатора. Для обеспечения нормальной работы конденсатора, обеспечивающей гарантированное отсутствие пробоя при приложении номинального напряжения, приходится увеличивать толщину диэлектрика, что приводит к уменьшению его емкости. Это, в свою очередь, требует увеличения площади обкладок конденсатора и увеличения размера кристалла, что в большинстве случаев неприемлемо.

Таким образом, прототип характеризуется нестабильностью характеристик конденсатора, обусловленной наличием дефектов, что приводит к снижению выхода годных приборов.

Задачей заявляемого изобретения является повышение воспроизводимости характеристик конденсатора за счет улучшения качества конденсаторного диэлектрика.

Поставленная задача решается тем, что в способе изготовления конденсатора для интегральной микросхемы согласно изобретению на кремниевой подложке с активными областями формируют нижнюю обкладку конденсатора из моно- или поликристаллического кремния, окисляют ее поверхность до получения на ней слоя диоксида кремния заданной толщины, осаждают на него слой нитрида кремния заданной толщины, окисляют указанный осажденный слой в парах воды при температуре от 800 до 900 °С до формирования слоя оксинитрида кремния толщиной от 1 до 5 нм, а затем формируют на поверхности полученной слоистой структуры верхнюю обкладку конденсатора путем осаждения на нее слоя легированного поликристаллического кремния требуемой конфигурации, а также присоединяют к указанным обкладкам локальные электрические контакты.

Сущность заявляемого технического решения заключается в обеспечении релаксации механических напряжений в структуре через полиморфные превращения слоев диэлектрика, что позволяет минимизировать их толщины и исключить появление дефектов для повышения емкости и уменьшения размеров конденсатора, а также повысить выход годных приборов.

Слой оксинитрида кремния в получаемой структуре является демпфирующим. Его можно рассматривать как совокупность нитрида и диоксида кремния переменного состава. Наличие диоксида кремния на границе раздела слоя нитрида с верхней обкладкой конденсатора обеспечивает протекание полиморфных превращений в условиях формирования конденсатора и максимально возможную релаксацию механических напряжений. За счет этого резко снижается дефектность многослойного конденсаторного диэлектрика в целом и повышается воспроизводимость его характеристик. "Мягкий" пробой конденсаторного диэлектрика исчезает, емкость формируемого конденсатора стабилизируется. В итоге это позволяет уменьшить толщину диэлектрика и уменьшить площадь, занимаемую конденсатором, а также повысить выход годных приборов.

Выбор условий окисления нитрида кремния обусловлен, с одной стороны, его высокой стойкостью к окислению, а с другой - сохранностью характеристик активных элементов в полупроводниковой подложке и недопустимостью ненормативной разгонки легирующих примесей. Максимальная скорость окисления нитрида кремния достигается во влажной атмосфере, например в чистых парах воды или в смеси кислорода с парами воды, что реализуется в типовых процессах пирогенного окисления. Однако во избежание повреждения активной структуры температуру окисления следует выбирать минималь-

ной. Так, при температуре ниже 800 °С, например 700 °С, окисление нитрида кремния практически не происходит, а при температуре выше 900 °С, например 950 °С, начинают слишком быстро протекать диффузионные процессы, приводящие к изменению характеристик активных элементов.

Выбор толщины слоя оксинитрида кремния в многослойном конденсаторном диэлектрике обоснован следующими факторами. При толщине менее 1 нм, например 0,5 нм (т.е. примерно 5 атомных слоев), общее количество оксинитрида оказывается недостаточным для свободного протекания полиморфных превращений и релаксации механических напряжений. Толщина более 5 нм, например 10 нм, неприемлема по причине общего увеличения толщины диэлектрика, что приводит к уменьшению емкости конденсатора без дальнейшего снижения дефектности. Кроме того, значительно увеличивается время окисления нитрида, что приводит к бесполезному увеличению трудоемкости формирования структур.

Заявляемое техническое решение поясняется фиг. 1, где приведено схематическое изображение структуры конденсатора, полученного по заявляемому способу; фиг. 2, где приведено схематическое изображение структуры конденсатора, полученного по способу-прототипу, и фиг. 3, где приведена фотография проплавленной дефектной области после подачи на конденсатор рабочего напряжения.

На фигурах приняты следующие обозначения: 1 - полупроводниковая подложка с активными элементами, 2 - диэлектрическая пленка, в частности диоксид кремния, 3 - нижняя обкладка конденсатора, выполненная из легированного поликристаллического кремния, 4 - конденсаторный диэлектрик, состоящий из слоя диоксида кремния 4.1, слоя нитрида кремния 4.2 и слоя оксинитрида кремния 4.3, 5 - верхняя обкладка конденсатора, выполненная из легированного поликристаллического кремния, 6 - дефекты конденсаторного диэлектрика. На обкладки конденсатора подается напряжение U .

При охлаждении структур после формирования конденсатора вследствие различия коэффициентов линейного термического расширения между кремнием и нитридом кремния, а также из-за наличия "исходных" напряжений в слое нитрида кремния, обусловленных процессом его формирования, в них возникают механические напряжения, которые релаксируют через полиморфные превращения в слое оксинитрида кремния 4.3 в случае заявляемого технического решения или через образование структурных дефектов 6 в диэлектрике в случае прототипа. Напряжение пробоя конденсатора в целом определяется напряжением пробоя его наиболее "слабого" участка. При подаче напряжения U на конденсатор в процессе его работы ток через диэлектрик практически не течет, пока это напряжение не достигнет значения, близкого к напряжению пробоя U_1 в области наиболее грубого дефекта. В это время дефектная область начинает быстро разогреваться, приводя к увеличению тока через структуру. В следующий момент времени при повышении напряжения на обкладках конденсатора происходит проплавление дефектной области с образованием характерной воронки (фиг. 3). Ток через структуру резко снижается, но площадь обкладок конденсатора при этом уменьшается на площадь проплавленной области, которая может составлять несколько процентов от общей площади. Дальнейшее повышение напряжения на конденсаторе от значения U_1 до значения U_2 , соответствующего пробоя в области более мелкого дефекта, приводит к повторению предыдущего сценария. Дефектная область разогревается и проплавляется с дальнейшим уменьшением площади обкладок конденсатора и, соответственно, емкости. При достижении максимального напряжения U_0 , равного напряжению пробоя бездефектной структуры, площадь обкладок конденсатора становится существенно ниже за счет последовательного проплавления дефектных участков. Поскольку дефекты на поверхности диэлектрика расположены неоднородно и характеризуются различными размерами, это приводит к невозпроизводимости значений емкости конденсатора, а также к ее деградации в процессе эксплуатации прибора, что отрицательно сказывается на надежности ИС в целом. Наличие слоя оксинитрида

ВУ 19536 С1 2015.10.30

кремния 4.3 предупреждает появление дефектов б в конденсаторном диэлектрике. Поэтому пробой такого конденсатора наступает только при значении напряжения, максимально приближенном к теоретическому, которое значительно превышает рабочее. В результате воспроизводимость значений емкости и надежность ИС существенно возрастают.

Таким образом, при использовании способа-прототипа напряжение пробоя полученного конденсаторного диэлектрика определяется характером распределения дефектов, образованных в результате релаксации механических напряжений на границе раздела Si-Si₃N₄, и их размером, а при использовании заявляемого способа - только толщиной диэлектрика.

Заявляемый способ испытывали при изготовлении интегральных схем типа IZ2802A-5. На пластинах 150 КДБ-12 (100) стандартными методами химической обработки, окисления, термообработки, ионного легирования, диффузии, фотолитографии, травления формировали области кармана, охранных областей n⁺- и p⁺-типов, локального оксида кремния, активных областей n⁺- и p⁺-типов. Затем формировали подзатворный диэлектрик путем термического окисления кремния и осаждали слой поликристаллического кремния толщиной 400 ± 40 нм, который затем легировали фосфором. Далее формировали рисунок областей затвора и нижней обкладки конденсатора. После проведения ионного легирования требуемых областей ионами бора и фосфора поверхность поликристаллического кремния окисляли до достижения толщины диоксида кремния 2,7 ± 0,3 нм при температуре 800 °С в атмосфере кислорода с азотом. Затем осаждали слой нитрида кремния толщиной 37 ± 2 нм. После этого проводили сначала термообработку в атмосфере азота при температуре 1000 °С в течение 120 мин, а затем окисление нитрида кремния до требуемой толщины во влажном кислороде. Режимы окисления и толщина полученного слоя оксинитрида приведены в таблице. При изготовлении структур в соответствии с прототипом слой оксинитрида не формировали. После этого осаждали слой поликристаллического кремния толщиной 200 ± 20 нм, проводили его легирование и формировали рисунок верхней обкладки конденсатора. Далее завершали формирование активных областей, формировали межуровневый диэлектрик, металлическую разводку на основе алюминия и защитное пассивирующее покрытие. После этого осуществляли контроль электрофизических характеристик и функционирования приборов. Результаты контроля приведены в таблице.

Влияние режимов формирования конденсатора на его электрические характеристики и выход годных приборов

№ п/п	Температура окисления, °С	Толщина слоя оксинитрида, нм	Среднее значение емкости конденсатора, пф	Разброс значений емкости конденсатора, пф	Наличие "эффекта за-лечивания"	Выход годных кристаллов, %	Примечание
1	700		480	39	практически все структуры	79,3	окисление не протекает
2	800	3,0	479	17	нет	92,1	
3	850	3,0	482	19	нет	91,2	
4	900	5,0	478	15	нет	91,8	
5	950		470	22	нет	71,0	повреждение активной структуры
6	850	0,5	480	28	отдельные случаи	87,2	

Продолжение таблицы

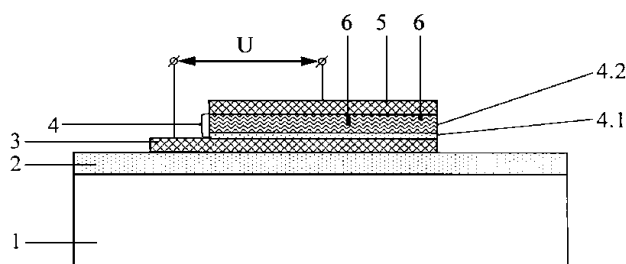
№ п/п	Температура окисления, °С	Толщина слоя оксинитрида, нм	Среднее значение емкости конденсатора, пф	Разброс значений емкости конденсатора, пф	Наличие "эффекта залечивания"	Выход годных кристаллов, %	Примечание
7	850	1,0	485	22	нет	90,5	
8	850	5,0	478	17	нет	89,9	
9	850	10,0	469	18	нет	90,1	велико время окисления нитрида
10		прототип	480	42	практически все структуры	81,3	

Из приведенных данных видно, что использование заявляемого способа изготовления конденсатора позволяет стабилизировать значение его емкости и увеличить выход годных приборов. Использование дополнительного слоя оксинитрида кремния в составе конденсаторного диэлектрика предотвращает появление "эффекта залечивания", что свидетельствует о снижении его дефектности.

Таким образом, заявляемое техническое решение позволяет повысить воспроизводимость характеристик конденсатора за счет улучшения качества конденсаторного диэлектрика.

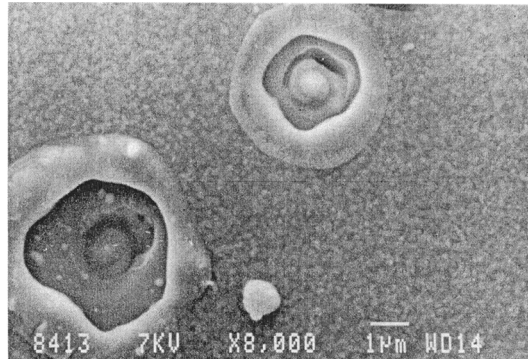
Источники информации:

1. Черняев В.Н. Технология изготовления интегральных схем и микропроцессоров. - М.: Радио и связь, 1987. - С. 390.
2. JPH 10178159? 1998.
3. Технология СБИС: В 2-х кн. Кн. 1: Пер. с англ. / Под ред. С. Зи. - М.: Мир, 1986. - С. 161.
4. Сахаров В.В. Кремния диоксид. Химическая энциклопедия. Т. 2. - М.: Советская энциклопедия, 1990. - С. 517-518.
5. Кислый П.С. Кремния нитрид. Химическая энциклопедия. Т. 2. - М.: Советская энциклопедия, 1990. - С. 519.
6. Мильвидский М.Г. Кремний. Химическая энциклопедия. Т. 2. - М.: Советская энциклопедия, 1990. - С. 508-509.



Фиг. 2

BY 19536 C1 2015.10.30



Фиг. 3