

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 9178

(13) U

(46) 2013.04.30

(51) МПК

H 01L 29/94 (2006.01)

(54)

## КОНДЕНСАТОР ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

(21) Номер заявки: u 20120965

(22) 2012.11.06

(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; Трусков Виктор Леонидович; Шиколо Владимир Евгеньевич; Сенько Сергей Федорович (ВУ)

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

(57)

Конденсатор для интегральных микросхем, содержащий нижнюю обкладку из легированного поликристаллического кремния, расположенную на диэлектрической пленке, сформированной на полупроводниковой подложке с активными элементами, пленку конденсаторного диэлектрика, состоящую из слоя диоксида кремния и слоя нитрида кремния, и верхнюю обкладку из легированного поликристаллического кремния, отличающийся тем, что дополнительно содержит слой оксинитрида кремния толщиной 1-5 нм, расположенный между слоем нитрида кремния и верхней обкладкой.

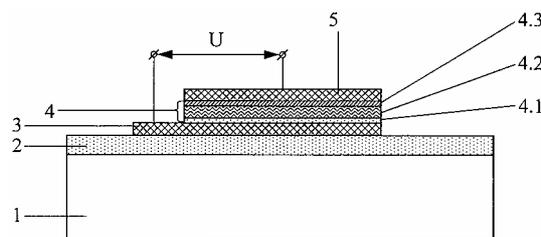
(56)

1. Черняев В.Н. Технология изготовления интегральных схем и микропроцессоров. - М.: Радио и связь, 1987. - С. 390.

2. Патент РБ 9129, 2007 (прототип).

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.



Фиг. 1

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.

---

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

Тонкопленочные конденсаторы широко используются при изготовлении запоминающих ИС. Типовая конструкция тонкопленочного конденсатора для ИС описана 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 рассматриваемой конструкции являются существенное ограничение по емкости конденсатора, 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 конденсатор для интегральных микросхем, содержащий обкладку из легированного поликристаллического кремния, расположенную на диэлектрической пленке, сформированной на полупроводниковой подложке с активными элементами, пленку конденсаторного диэлектрика, состоящую из слоя диоксида кремния и слоя нитрида кремния, и верхнюю обкладку из проводящего материала [2]. Толщина слоев диоксида и нитрида кремния, как следует из описания, составляет 15 и 65 нм соответственно. 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 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-SiO<sub>2</sub> 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 значении коэффициентов линейного термического расширения (клтр) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и кремния ( $3,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [5] и  $3,72 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  для Si [6]), использование высоких температур при изготовлении конденсатора и отсутствие полиморфных превращений Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> приводит к возникновению высоких механических напряжений на границе раздела Si-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. 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" пробоя 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. Вольтамперная 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 заявляемой полезной модели является повышение воспроизводимости характеристик конденсатора за счет улучшения качества конденсаторного диэлектрика.

Поставленная задача решается тем, что конденсатор для интегральных микросхем, содержащий нижнюю обкладку из легированного поликристаллического кремния, расположенную на диэлектрической пленке, сформированной на полупроводниковой подложке с активными элементами, пленку конденсаторного диэлектрика, состоящую из слоя диоксида кремния и слоя нитрида кремния, и верхнюю обкладку из легированного поликристаллического кремния, дополнительно содержит слой оксинитрида кремния толщиной 1-5 нм, расположенный между слоем нитрида кремния и верхней обкладкой.

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

Слой оксинитрида кремния в заявляемой конструкции 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 оксинитрида кремния как материала дополнительного слоя конденсаторного диэлектрика обусловлен комплексом его электрофизических свойств и технологией получения. Типичным способом его формирования является термическое окисление нитрида кремния. Эта операция в настоящее время хорошо отработана и не требует проведения дополнительных исследований. Ее введение в маршрут изготовления интегральных схем, содержащих накопительный конденсатор, обычно не приводит к увеличению трудоемкости изготовления приборов в целом, т.к. она может быть успешно совмещена с другими технологическими операциями.

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 заявляемого конденсатора, на фиг. 2 приведено схематическое изображение конденсатора-прототипа, на фиг. 3 приведена фотография проплавленной дефектной области после подачи на конденсатор рабочего напряжения.

На чертежах 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  $U$ .

Как видно из фиг. 1, заявляемый конденсатор содержит обкладки из поликристаллического кремния 3 и 5 и конденсаторный диэлектрик 4 содержит последовательно расположенные слои диоксида 4.1, нитрида 4.2 и оксинитрида кремния 4.3. Наличие слоя оксинитрида 4.3 обеспечивает отсутствие дефектов 6.

Конденсатор работает следующим образом.

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 невоспроизводимости значений емкости конденсатора, а также к ее деградации в процессе эксплуатации прибора, что отрицательно сказывается на надежности ИС в целом. Наличие слоя 4.3 оксинитрида кремния предупреждает появление дефектов 6 в конденсаторном диэлектрике. Поэтому пробой заявляемого конденсатора наступает только при значении напряжения, макси-

мально приближенном к теоретическому, которое значительно превышает рабочее. В результате воспроизводимость значений емкости и надежность ИС существенно возрастает.

Таким образом, в прототипе напряжение пробоя конденсаторного диэлектрика определяется характером распределения дефектов, образованных в результате релаксации механических напряжений на границе раздела Si-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, и их размером, а в заявляемом конденсаторе - только толщиной диэлектрика.

Заявляемую конструкцию конденсатора 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<sup>+</sup> и p<sup>+</sup>-типов, локального оксида кремния, активных областей n<sup>+</sup> и p<sup>+</sup>-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 при температуре 850 °С. Толщина слоя оксинитрида приведена 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.

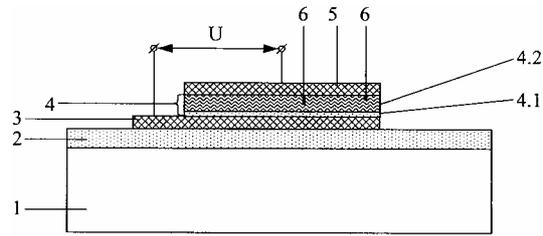
Из приведенных данных видно, что использование заявляемой конструкции конденсатора позволяет стабилизировать значение его емкости и увеличить выход годных приборов. Использование дополнительного слоя оксинитрида кремния в составе конденсаторного диэлектрика предотвращает появление "эффекта залечивания",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

### Влияние конструктивных особенностей конденсатора на его электрические характеристики и выход годных приборов

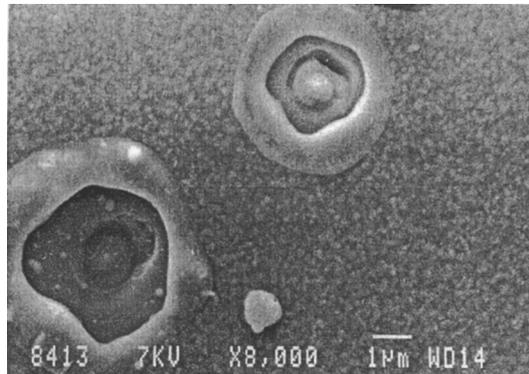
№ п/п	Толщина слоя оксинитрида, нм	Среднее значение емкости конденсатора, пф	Разброс значений емкости конденсатора, пф	Наличие "эффекта залечивания"	Выход годных кристаллов, %	Примечание
1	0,5	480	28	отдельные случаи	87,2	
2	1,0	485	22	нет	90,5	
3	3,0	482	19	нет	91,2	
4	5,0	478	17	нет	89,9	
5	10,0	469	18	нет	90,1	Высока трудоемкость формирования структур
6	Прототип	480	42	Практически все структуры	81,3	

# BY 9178 U 2013.04.30

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



Фиг. 2



Фиг. 3