

УДК 621.382

М.В. Степаненко, В.С. Арыков, А.М. Ющенко, А.Ю. Плотникова, С.В. Ишуткин

Полевой транзистор с субмикронным Т-образным затвором, полученным с использованием пристеночного диэлектрика

Представлены результаты разработки полевых транзисторов с использованием технологии получения оптической литографией Т-образного затвора Шоттки длиной 180 нм. Основной технологии является получение узкой щели в диэлектрике, определяющей размер затвора. Получение узкой щели осуществлялось за счет использования пристеночного диэлектрика.

Ключевые слова: полевой транзистор с затвором Шоттки, оптическая литография, пристеночный диэлектрик, плазмохимическое травление, осаждение.

В настоящее время в различных системах связи и в СВЧ-измерительной технике широко используются монокристаллические интегральные схемы (МИС), работающие в миллиметровом диапазоне длин волн. В качестве активных элементов в данных МИС используют СВЧ-транзисторы, в основном это полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ) с длиной 50–250 нм [1–2]. Широко используемые в СВЧ-промышленности оборудование и методы оптической литографии ограничены длиной волны экспонирования и не позволяют изготавливать затворы столь малых длин. Для получения затворов длиной менее 250 нм обычно используют многослойные резистивные маски и экспонирование электронным лучом. Основными недостатками применения оборудования электронно-лучевой литографии, помимо высокой стоимости самого оборудования, является значительное время экспонирования, что сказывается на цене и объемах выпуска конечной продукции. Одной из альтернативных технологий получения малой длины затвора является использование оптической литографии с применением диэлектриков. Такой косвенный метод формирования субмикронного затвора позволяет уменьшить исходно-получаемую топологическую норму затвора 300–500 нм до значений менее 250 нм. К примеру, фирма TriQuint обладает подобной технологией формирования затворов длиной 130 нм [3].

Цель работы. Целью данной работы являлась разработка технологии формирования субмикронного затвора Т-образной формы, полученного с использованием оптической литографии. Формирование затвора было основано на трех технологических блоках, включающих в себя процессы плазмохимического травления диэлектрика, процессы конформного плазмохимического осаждения диэлектрика и процессов формирования маски верхней части Т-образного затвора методами оптической литографии.

Результаты работы. В разработанной технологии длина и форма ножки затвора определялись щелью, сформированной в диэлектрической пленке нитрида кремния SiN_x. Последовательность операций формирования затвора представлена на рис. 1.

На полупроводниковую пластину осаждался нитрид кремния толщиной 200 нм, далее методом ультрафиолетовой оптической литографии формировалась резистивная маска AZ1505 с размером окна в резисте 600–700 нм и проводилась первая операция плазмохимического травления диэлектрика в атмосфере SF₆/CHF₃ (рис. 1, а). Разработанная операция плазмохимического травления нитрида кремния обладала высокой анизотропией процесса, повторяемой от процесса к процессу скоростью травления, а также высокой селективностью к фоторезистивной маске. На рис. 2 представлена микрофотография полученной щели в диэлектрике.

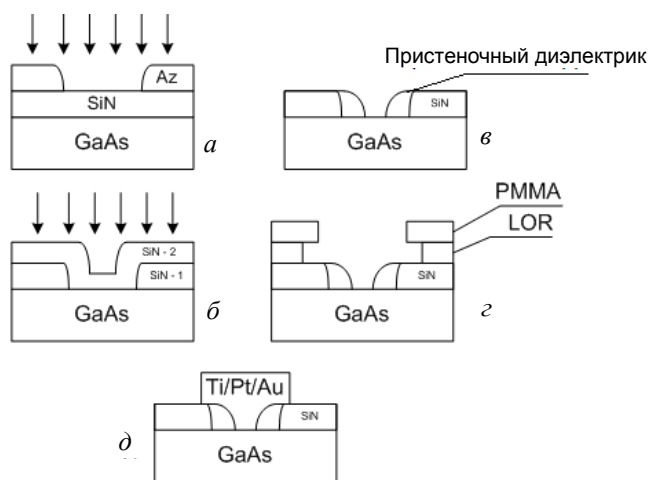


Рис. 1. Схема формирования затвора

После удаления фоторезистивной маски поверх сформированной щели, осаждался нитрид кремния в атмосфере SiH_4/N_2 толщиной от 150 до 300 нм, в зависимости от конечного размера длины затвора, который требовалось получить. Для максимально эффективного уменьшения длины щели по разрабатываемой технологии операция осаждения диэлектрика должна обладать конформностью, стремящейся к единице. На рис. 3 представлена микрофотография скола щели в нитриде кремния с осажденным поверх слоем нитрида кремния.

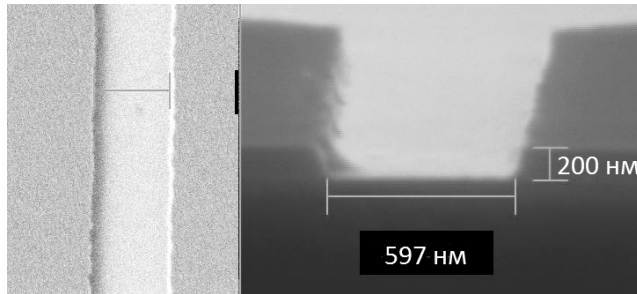


Рис. 2. Микрофотография щели в нитриде кремния

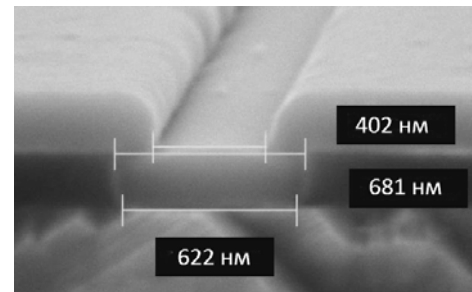


Рис. 3. Микрофотография щели в нитриде кремния с осажденным поверх вторым слоем диэлектрика

Далее проводилась операция плазмохимического травления на глубину осажденного второго слоя нитрида кремния. Разработанный процесс травления второго диэлектрика характеризовался высокой степенью анизотропии, и травление происходило только в вертикальном направлении. Таким образом, осажденный второй слой SiN_x оставался на торцах сформированной щели в первом слое нитрида кремния (рис. 1, в), в результате чего размер получающегося окна в диэлектрических слоях уменьшался на две толщины осажденного второго слоя диэлектрика относительно размера полученной щели в первом слое нитрида кремния.

Микрофотография щели в SiN_x , полученной с помощью разработанных операций изображена на рис. 4. Толщина второго слоя SiN_x для данного изображения равнялась 200 нм.

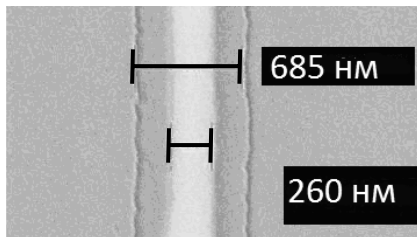


Рис. 4. Микрофотография щели в нитриде кремния

После изготовления уменьшенной щели в SiN_x , для получения Т-образного затвора, формировалась двухслойная резистивная маска LOR/PMMA, определяющая размер и положение «шляпки» затвора. В дальнейшем с использованием электронно-лучевого напыления системы металлов Ti/Pt/Au и операции удаления резистивной маски (см. рис. 1, з и д) был получен Т-образный затвор.

Фотография затвора, полученного с помощью разработанной технологии при толщине второго слоя диэлектрика, равном 250 нм, представлена на рис. 5, длина полученного

затвора составила 180 нм. Максимальный ток и крутизна передаточной характеристики изготовленного транзистора при напряжении сток-исток $U_{ds}=5$ В имели значения 430 мА/мм и 500 мСм/мм соответственно, максимальная рабочая частота равнялась 50 ГГц.

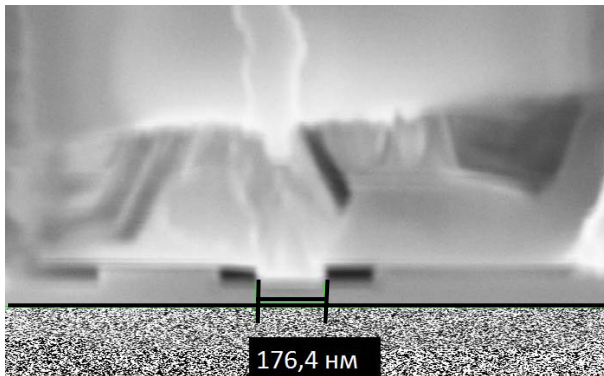


Рис. 5. Микрофотография Т-образного затвора

Заключение. В ходе выполнения работы была разработана технология изготовления Т-образного затвора длиной 180 нм при исходной топологической норме литографии 500–600 нм, а также изготовлен транзистор с крутизной 500 мСм/мм и рабочей частотой 50 ГГц. Использование разработанного косвенного метода получения субмикронных затворов позволяет значительно ускорить процесс изготовления конечных приборов по сравнению с аналогами, полученными с использованием электронно-лучевой литографии.

Литература

1. Официальный сайт конференции GaAs Symposium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.munich-symposium.org, свободный (дата обращения: 15.11.2013).
 2. A 200-GHz True E-Mode Low-Noise МНЕМТ / Н. Maher, I.E. Makoudi, P. Frijlink, D. Smith et al. // IEEE Transactions On Electron Devices. – 2007. – Vol. 54, № 7. – P. 1626–1632.
 3. Официальный сайт фирмы TriQuint [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.triquint.com, свободный (дата обращения: 22.10.2013).
-

Степаненко Михаил Валерьевич

Аспирант каф. физической электроники (ФЭ) ТУСУРа
Тел.: +7-923-409-05-07
Эл. почта: stepanenko@micran.ru

Арыков Вадим Станиславович

Канд. техн. наук, главный конструктор НПК «Микроэлектроника» ЗАО «НПФ «Микран»
Тел.: +7-903-953-10-37
Эл. почта: arykov@micran.ru

Ющенко Анастасия Михайловна

Инженер-технолог ЗАО «НПФ «Микран»
Тел.: +7-909-538-21-87
Эл. почта: namix@micran.ru

Плотникова Александра Юрьевна

Инженер-технолог ЗАО «НПФ «Микран»
Тел.: +7-923-402-39-60
Эл. почта: alpl@micran.ru

Ишуткин Сергей Владимирович

Аспирант каф. ФЭ ТУСУРа
Тел.: +7-923-482-68-02
Эл. почта: ishutkin@micran.ru

Stepanenko M.V., Arykov V.S., Yushenko A.M., Plotnikova A.Yu., Ishutkin S.V.

Field effect transistor with submicron T-shaped Schottky gate fabricated by using sidewall dielectric

Abstract: The results of T-shaped Schottky gate fabrication with use of optical lithography are presented. The technique of gate formation is based on etching of a narrow gap in the first dielectric layer, subsequent deposition and etching of the second dielectric layer such that it remains on the gap sidewalls. Produced dielectric layer structure defines the gate length. Using this technique the gate length of 180 nm was obtained.

Keywords: field-effect transistor, optical lithography, sidewall dielectric, plasma etching, deposition.
