

**БУХАРОВ А. А., ШЕСТЕРКИНА А. А., ФРОЛОВ К. А.**

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ДВУКРАТНОГО ЭКСПОНИРОВАНИЯ ОДНОСЛОЙНОГО ФОТОРЕЗИСТА  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЭТ И ФОТОШАБЛОНОВ**

**Аннотация.** Проводится анализ известных фотолитографических методов формирования на поверхности подложек рисунков малоразмерных элементов рельефа, получаемых с использованием двукратного экспонирования фоторезистивных слоев в виде наложения экспозиций фоторезиста и в виде наложения фоторезистивных масок. Отмечены недостатки, присущие указанным методам, а также приведена схема усовершенствованного процесса фотолитографии, позволяющая избежать отмеченных недостатков и получить элементы топологического рельефа с размерами менее 1 мкм.

**Ключевые слова:** фотолитография, однослойный фоторезист, последовательное двукратное экспонирование, малоразмерный элемент, схема фотолитографического процесса.

**BUKHAROV A. A., SHESTERKINA A. A., FROLOV K. A.**

**THE FEATURES OF MONOLAYER PHOTORESIST DOUBLE EXPOSURE  
FOR MANUFACTURING OF SEMICONDUCTOR DEVICES AND PHOTOMASKS**

**Abstract.** The article presents an analysis of popular photolithographic methods of the formation of small-size elements on the substrate surface by using of double photoresist exposure obtained by imposing of photoresist layers and masks. The shortcomings of the methods are pointed out. In this connection, an improved scheme of photolithography technological process is suggested. It allows avoiding the shortcomings and obtaining small-size elements of less than 1 mcm.

**Keywords:** photolithography, monolayer photoresist, serial double exposure, small-size element, photolithography process scheme.

Одним из методов формирования малоразмерных элементов топологии является технология фотолитографии, использующая принцип суперпозиции. При этом возможны два варианта реализации принципа суперпозиции в фотолитографии:

- 1) наложение экспозиций однослойного фоторезистивного покрытия;
- 2) наложение фоторезистивных масок.

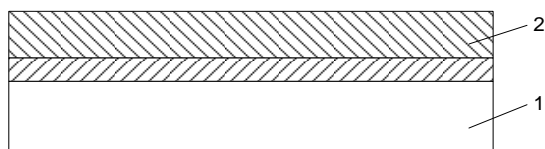
Сущность метода последовательного двукратного экспонирования однослойного резистивного покрытия для получения малоразмерных топологических элементов состоит в следующем [1].

При проведении экспонирования фоторезистивного слоя используется фотошаблон с размерами топологических элементов, превышающими требуемые размеры элементов топологии фоторезистивного рельефа, формируемого на подложке. При этом вначале проводится первое экспонирование фоторезистивного слоя с такой длительностью экспозиции, которая обеспечивает экспонирование фоторезиста в половине объема экспонируемого участка фоторезистивного слоя. Затем проводится второе экспонирование того же самого участка фоторезистивного слоя через тот же самый фотошаблон с той же самой длительностью экспозиции, что и при первом экспонировании, причем во время этого второго экспонирования фотошаблон должен быть смещен относительно того его положения, которое он занимал при первом экспонировании. В результате этого участок фоторезистивного слоя, подвергнутый экспозиции и на первом и на втором этапах экспонирования, получает суммарную длительность экспозиции, достаточную для экспонирования фоторезиста по всему объему экспонируемого участка, а на остальных, однократно экспонированных участках фоторезистивного слоя, длительность экспозиции обеспечивает экспонирование фоторезиста только на половину объема облучаемого участка этого фоторезистивного слоя (см. рис. 1).

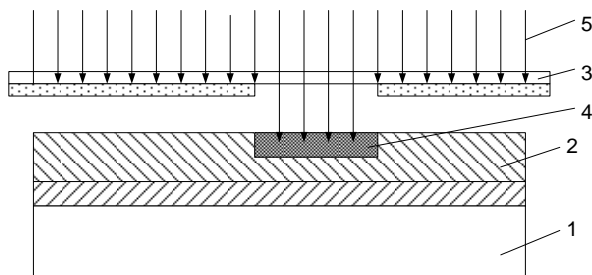
При проявлении такого однослойного фоторезистивного покрытия, подвергнутого подобному последовательному двукратному экспонированию, участок фоторезистивного слоя, экспонированный как на первом, так и на втором этапах, полностью освобождается от фоторезистивного материала, а остальные участки остаются покрытыми этим фоторезистивным материалом.

Сущность метода наложения фоторезистивных масок состоит в следующем [2, с. 1] (см. рис. 2 – 6).

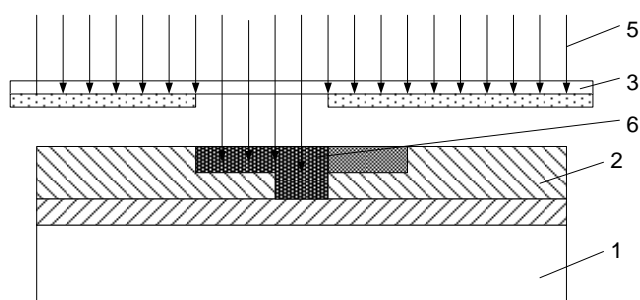
В начале на поверхности подложки создается первый фоторезистивный рельеф, содержащий топологические элементы большого размера. Затем поверх него создается второй фоторезистивный рельеф, который также имеет топологические элементы большого размера. Особенность здесь заключается в том, что топологический рисунок второго фоторезистивного рельефа выполняется смещенным относительно рисунка первого фоторезистивного рельефа. Поэтому образовавшаяся в результате наложения этих двух рельефов результирующая фоторезистивная маска имеет топологические элементы с меньшими размерами, по сравнению с топологическими элементами, как в первом, так и во втором фоторезистивных рельефах.



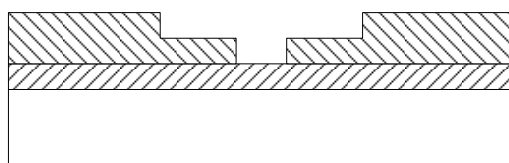
а) подложка со слоем фоторезиста на поверхности



б) первое экспонирование фоторезистивного слоя



в) второе экспонирование фоторезистивного слоя



г) проявление фоторезистивного рельефа и его задубливание

Рис. 1. Формирование фоторезистивного рельефа путем последовательного экспонирования однослойного покрытия из позитивного фоторезиста: 1 – подложка; 2 – позитивный фоторезист; 3 – фотошаблон; 4 – экспонированная область фоторезиста; 5 – актиничное излучение.

Из сравнения рассмотренных процессов можно отметить следующее.

Первый вариант, использующий наложение двух последовательных экспозиций однослойного фоторезистивного покрытия, имеет преимущества перед вторым вариантом, использующим наложение двух фоторезистивных масок в том, что характеризуется малыми материальными, трудовыми и временными затратами. В то же время первый процесс

проигрывает второму в том, что этот первый процесс требует применения специальных технологических режимов проведения операций экспонирования и проявления, предварительного расчета этих режимов и более строго их соблюдения, чем в случае проведения стандартного технологического процесса.

В то же время второй вариант с использованием наложения двух фоторезистивных масок хотя и характеризуется возможностью использования стандартных режимов выполнения операций фотолитографического процесса, а, следовательно, не требует проведения специальных расчетов этих режимов, связан с увеличением материальных, трудовых и временных затрат.

Представляет интерес разработка такого процесса фотолитографии, который имел бы все преимущества, свойственные обоим рассмотренным выше вариантам фотолитографического процесса, и не имел бы присущих этим вариантам недостатков. А именно он должен:

- быть пригодным для реализации при использовании как позитивного, так и негативного фоторезистивного материала;
- позволять использование стандартных режимов проведения всех технологических операций обычного фотолитографического процесса, в частности, операций экспонирования фоторезиста и проявления фоторезистивного рельефа;
- использовать один слой фоторезиста и характеризоваться минимальными затратами материалов, труда и времени.

Схема возможного варианта фотолитографического процесса, способного удовлетворить трем указанным выше требованиям, приведена на рисунках 2–7.

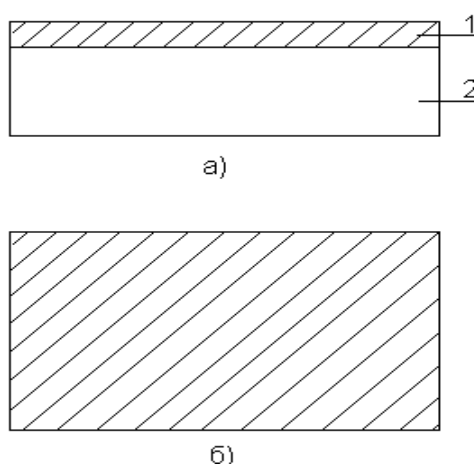
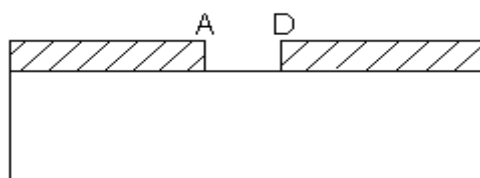
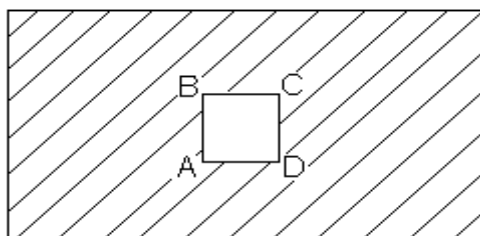


Рис. 2. Исходная подложка: а) поперечное сечение; б) вид сверху; 1 – слой диэлектрика-окисла кремния; 2 – пластина кремния.

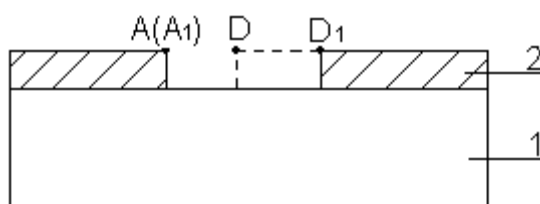


а)

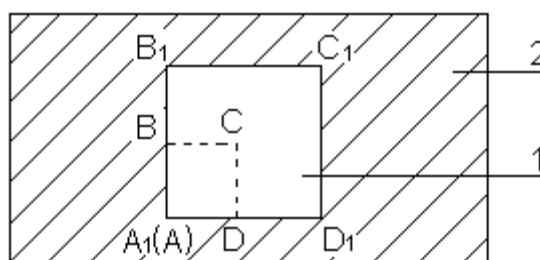


б)

Рис. 3. Окно в слое диэлектрика, подлежащее формированию в процессе фотолитографии: а) поперечное сечение; б) вид сверху.



а)



б)

Рис. 4. Маска на поверхности подложки после первого фотолитографического процесса по окислу кремния: а) поперечное сечение; б) вид сверху; 1 – пластина кремния; 2 – слой диэлектрика-окисла кремния;  $A_1B_1C_1D_1$  – фактическое окно в слое окисла после первого фотолитографического процесса; ABCD – окно, которое должно быть получено.

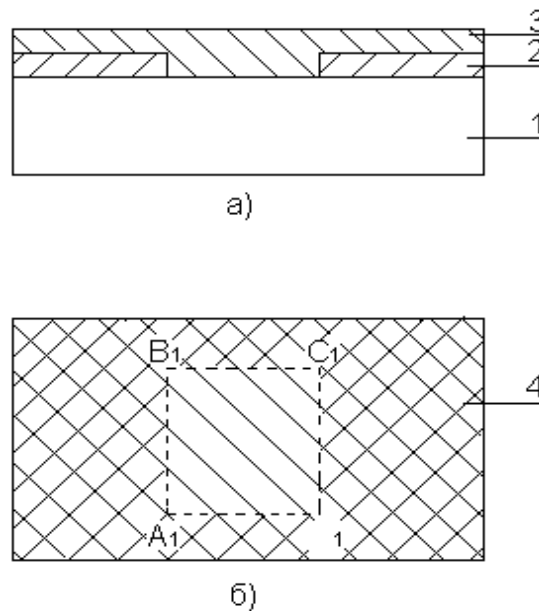


Рис. 5. Подложка после нанесения дополнительного слоя диэлектрика  $\text{Si}_3\text{N}_4$ : а) поперечное сечение; б) вид сверху; 1 – пластина кремния; 2 – слой диэлектрика-оксида кремния; 3 – слой нитрида кремния; 4 – комбинированный слой диэлектрика, состоящий из слоя диоксида кремния и нитрида кремния. Штриховыми линиями показаны границы окна  $A_1B_1C_1D_1$ , созданного на предыдущем этапе в слое оксида кремния и покрытого слоем  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

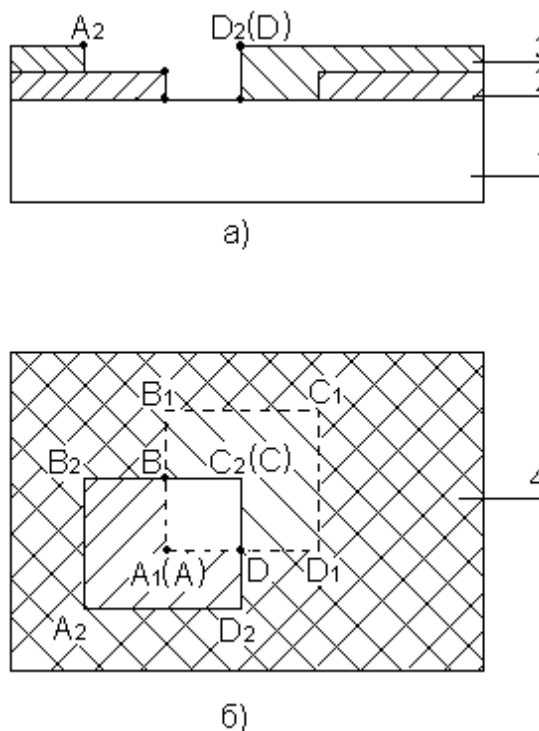
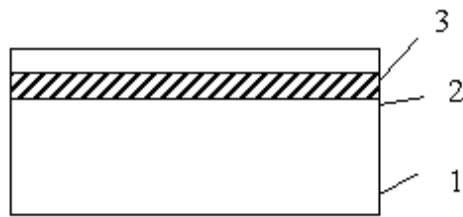
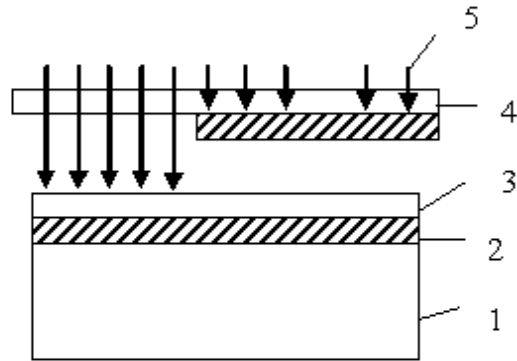


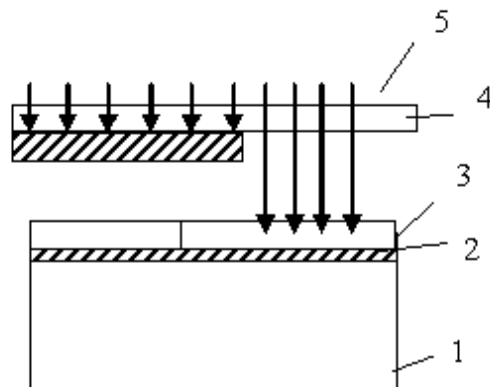
Рис. 6. Подложка после проведения второго фотолитографического процесса в слое  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – окно в форме квадрата  $A_2B_2C_2D_2$ : а) поперечное сечение; б) вид сверху; 1 – пластина кремния; 2 – слой диэлектрика-оксида кремния; 3 – слой нитрида кремния; 4 – комбинированный слой диэлектрика, состоящий из слоя диоксида кремния и нитрида кремния. Результирующее окно в диэлектрической маске – квадрат ABCD.



а) подложка с фоторезистивным слоем



б) первое экспонирование



в) второе экспонирование

Рис. 7. Начальный этап схемы экспериментального фотолитографического процесса:

1 – подложка; 2 – технологический слой; 3 – слой фоторезиста; 4 – фотошаблон;

5 – актиничное излучение.

На завершающем этапе экспериментального процесса выполняются стандартные операции фотолитографии – проявление и задубливание фоторезистивного рельефа, травление подложки через фоторезистивную маску и удаление фоторезистивной маски с поверхности подложки.

Рассмотренная схема процесса характеризуется простотой реализации, так как все операции в ней выполняются по стандартным технологическим режимам, а также малыми

материальными и трудовыми затратами, так как в ней используется однослойное фоторезистивное покрытие. Она позволяет изготовить образцы подложек, содержащие на поверхности рельефные рисунки из окисла кремния, металлического хрома и других материалов с минимальными размерами элементов, меньшими 1 микрометра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Способ фотолитографии: патент 2 399 116 С1 Российская Федерация: МПК7 Н01 L 21/ 308 / Бухаров А. А., Начкин В. В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Морд. государственный университет им. Н. П. Огарева». – № 2 009 126 338/28, заявл. 08.07.2009; опубл. 10.09.2010.
2. Способ фотолитографии: патент 2 325 000 С1 Российская Федерация: МПК7 Н01 L 21/ 308 / Бухаров А. А., Шарамазанова М. М.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Морд. государственный университет им. Н. П. Огарева». – № 2 006 141 106/28, заявл. 20.11.2006, опубл. 20.05.2008.