

# Методы самоформирования в микроэлектронике

методы самоформирования позволяют наиболее просто реализовать элементы интегральных структур с субмикронными размерами особенно в вертикально-интегрированном, трехмерном исполнении.



**"Спейсер"**. Наиболее широко известным элементом, используемым в самоформировании является так называемый "спейсер". В зависимости от назначения "спейсер" может выполнять различные функции, а именно: боковой диэлектрической изоляция проводников; разделения (разнесения) диффузионных областей различного типа проводимости; электрода затвора; торцевого "спейсерного" контакта-источника примеси при формировании самосовмещенной диффузионной области. В качестве формообразующего материала "спейсера" может использоваться оксид кремния, поликристаллический кремний, нитрид кремния и т.д.

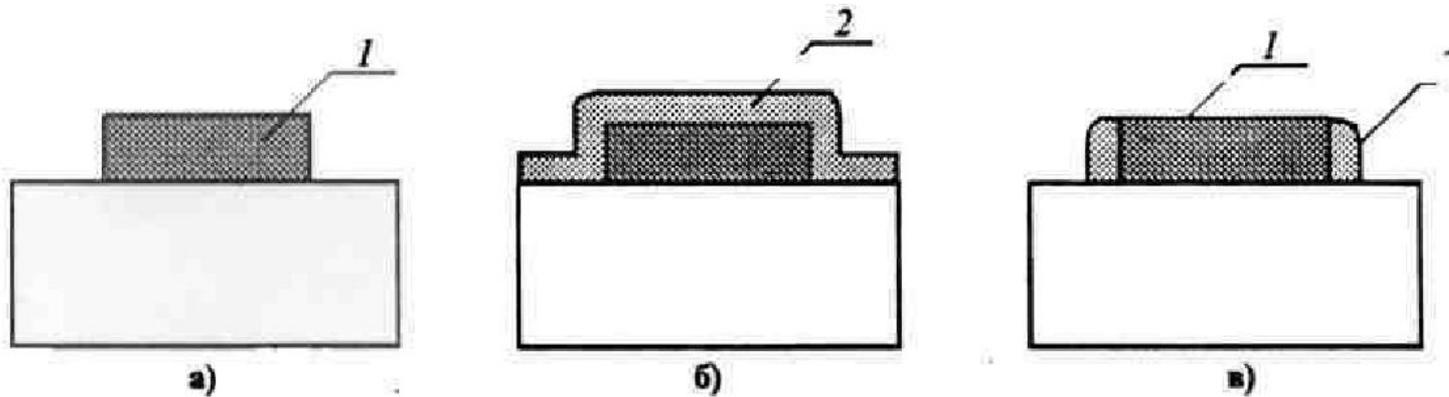
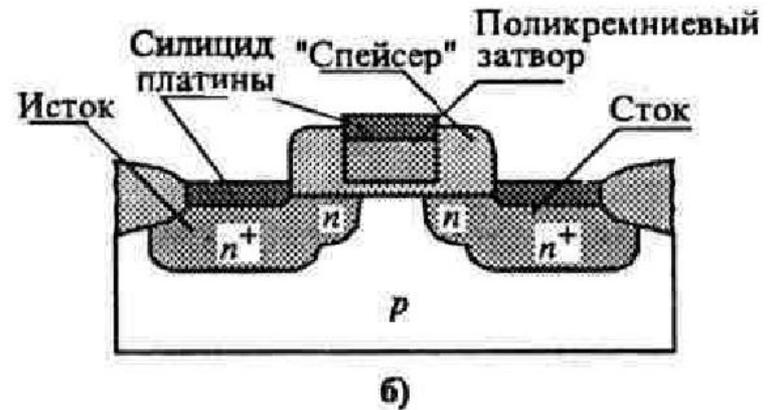
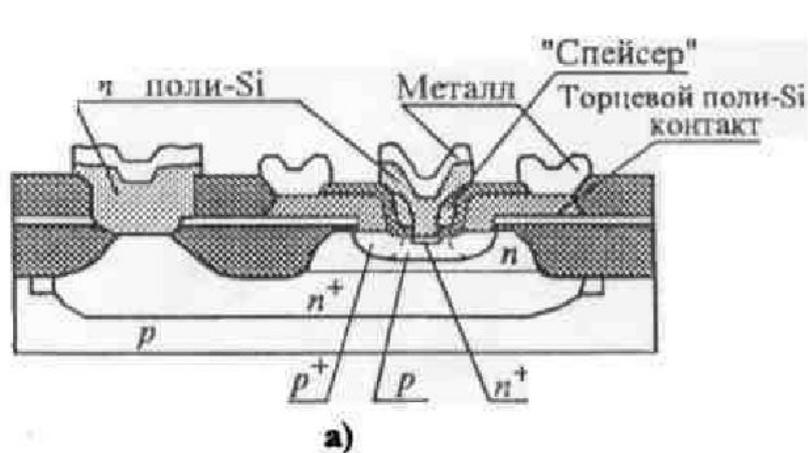
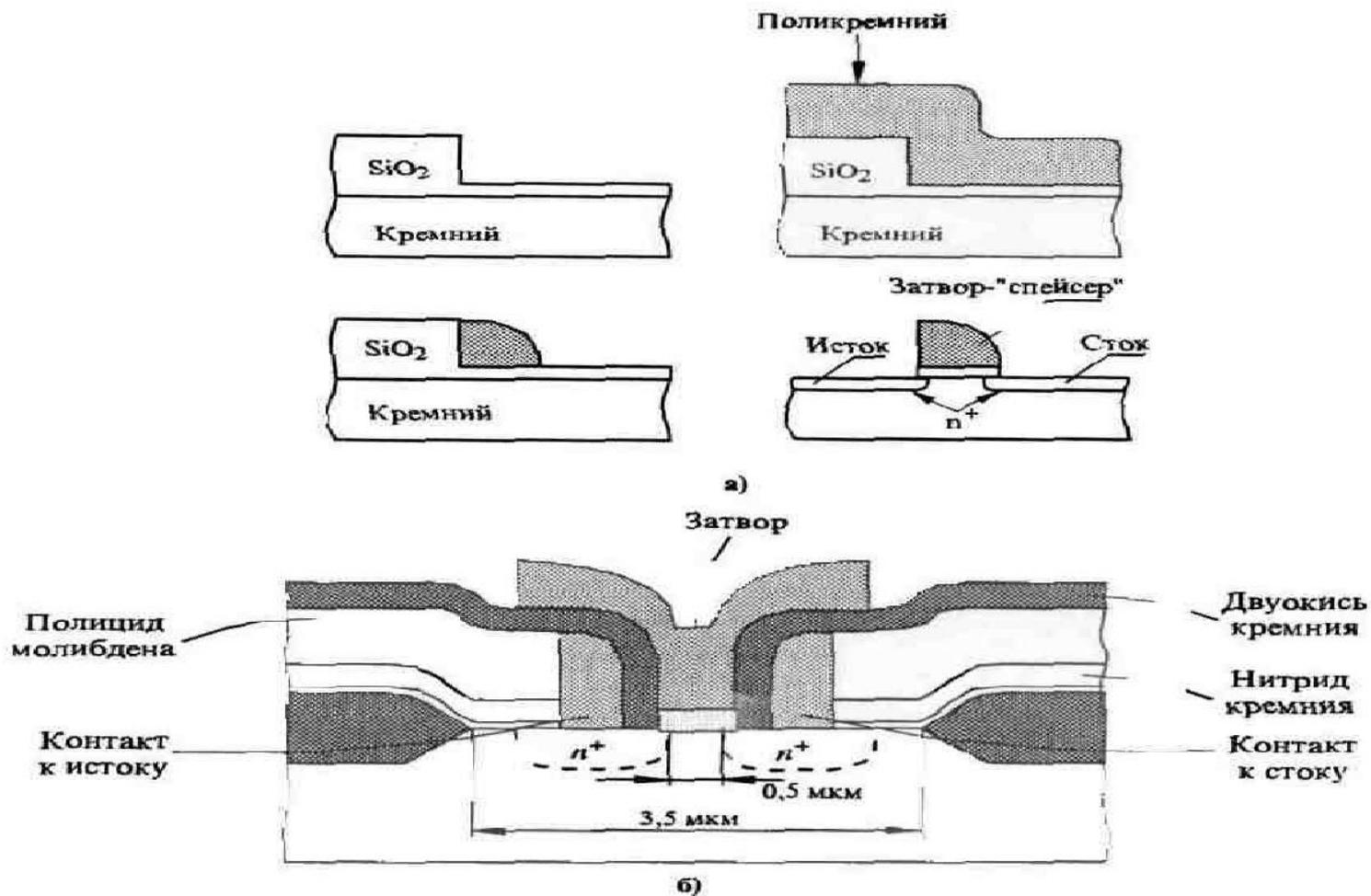


Рис. 1. Формирование "спейсера": а - создание опорного элемента 1; б - осаждение формообразующего слоя 2; в - создание "спейсера"



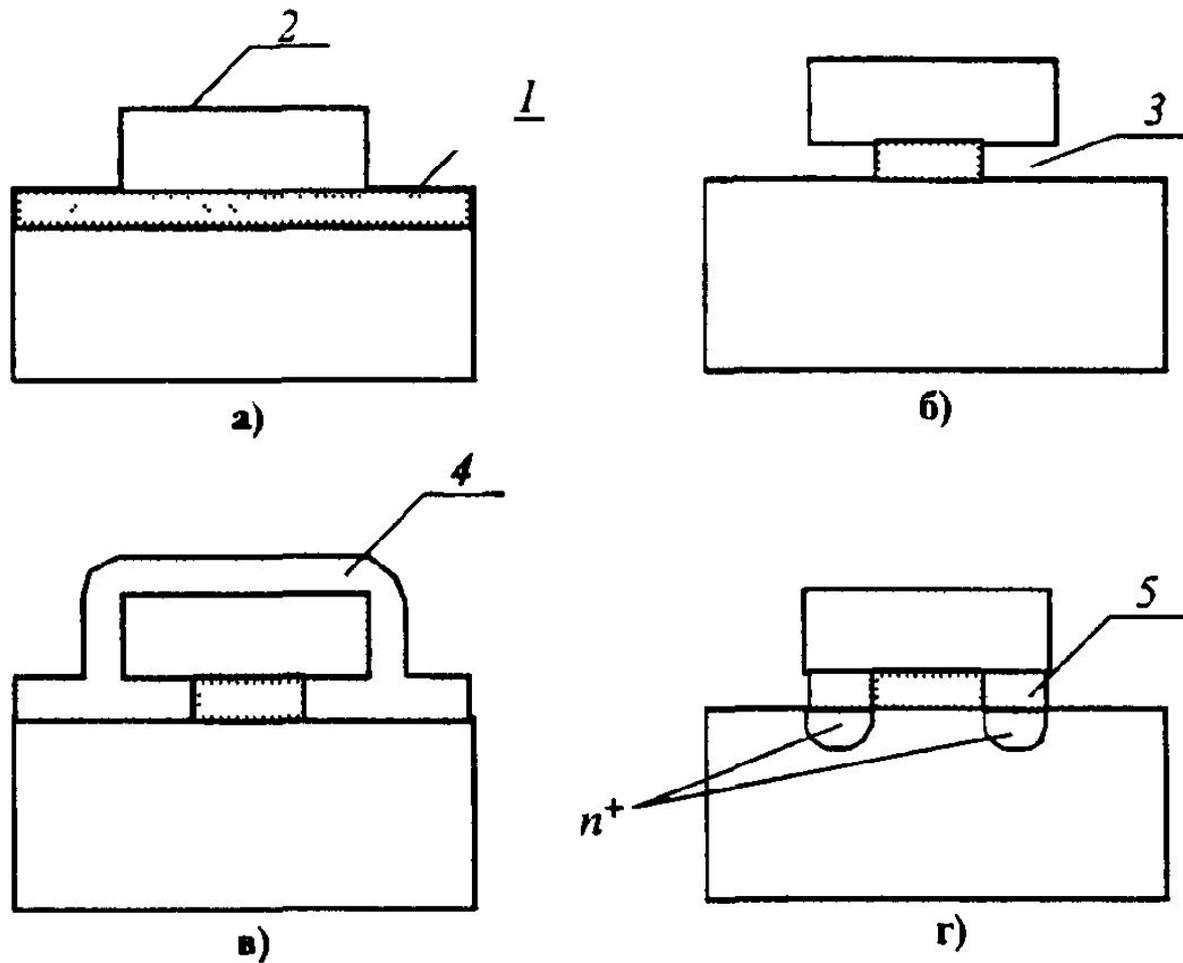
Использование "спейсера" в конструктивных вариантах самосовмещенных транзисторных структур: а - суперсамосовмещенный биполярный транзистор; б - самосовмещенный быстродействующий МОП-транзистор со слаболегированными областями стока, истока



Использование "спейсера" в качестве проводящих электродов в транзисторных структурах: а - МОП-транзистора на основе "спейсера", б - МОП-транзистор с контактами к истоку, истоку, выполненными в виде "спейсера"

При создании "спейсера" предъявляются повышенные требования к отдельным технологическим процессам. Так, например, требуется высокая равномерность и конформность облегания рельефа осаждаемых слоев, являющихся формообразующими для "спейсера". Кроме этого, предъявляются повышенные требования к селективности и анизотропии плазмохимических процессов, используемых при травлении формообразующего слоя.

**Локальное замещение слоя.** Применение методов самоформирования для создания областей субмикронных размеров во многих технологиях подразумевает использование приема, основанного на самосовмещенном локальном замещении одного слоя другим, что позволяет реализовать самосовмещенные торцевые капиллярные контакты-источники примеси при формировании диффузионных областей. В данном приеме после создания капилляра заданной длины проводится конформное осаждение формирующего слоя с последующим селективным его удалением со всех поверхностей за исключением капилляра. Этот прием, наряду с формированием "спейсера", применяется для создания субмикронных торцевых контактов к диффузионным областям транзисторных структур, а также в вертикально-интегрированных структурах.



Локальное замещение слоя: а - создание опорного слоя 2, легированного примесью, и "жертвенного" слоя 1; б - создание капилляра 3; в - осаждение формообразующего слоя 4; г - создание торцевого контакта 5

**Модификация границ элементов.** Способ модификации границ отдельных областей микроструктур предусматривает локальное изменение свойств исходного слоя или создание многослойных структур с последующим селективным избирательным травлением части одного слоя относительно других слоев. Данный способ позволяет реализовать элементы с размерами меньшими минимального литографического, включающие в себя самосовмещенные функциональные области субмикронных размеров. Например, при создании КМОП-структур для СБИС модификация границ поликремниевого электрода затвора позволяет одновременно с уменьшением длины канала МОП-транзисторов реализовать самосовмещенные относительно краев затвора локальные низколегированные области стока, истока субмикронных размеров

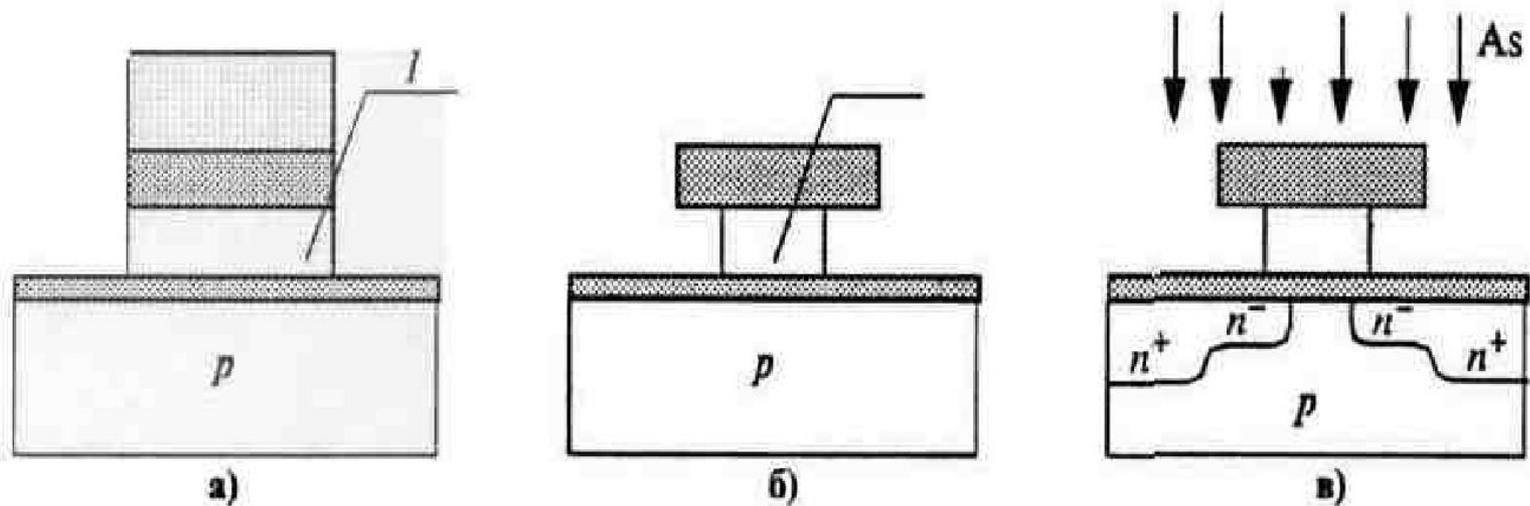
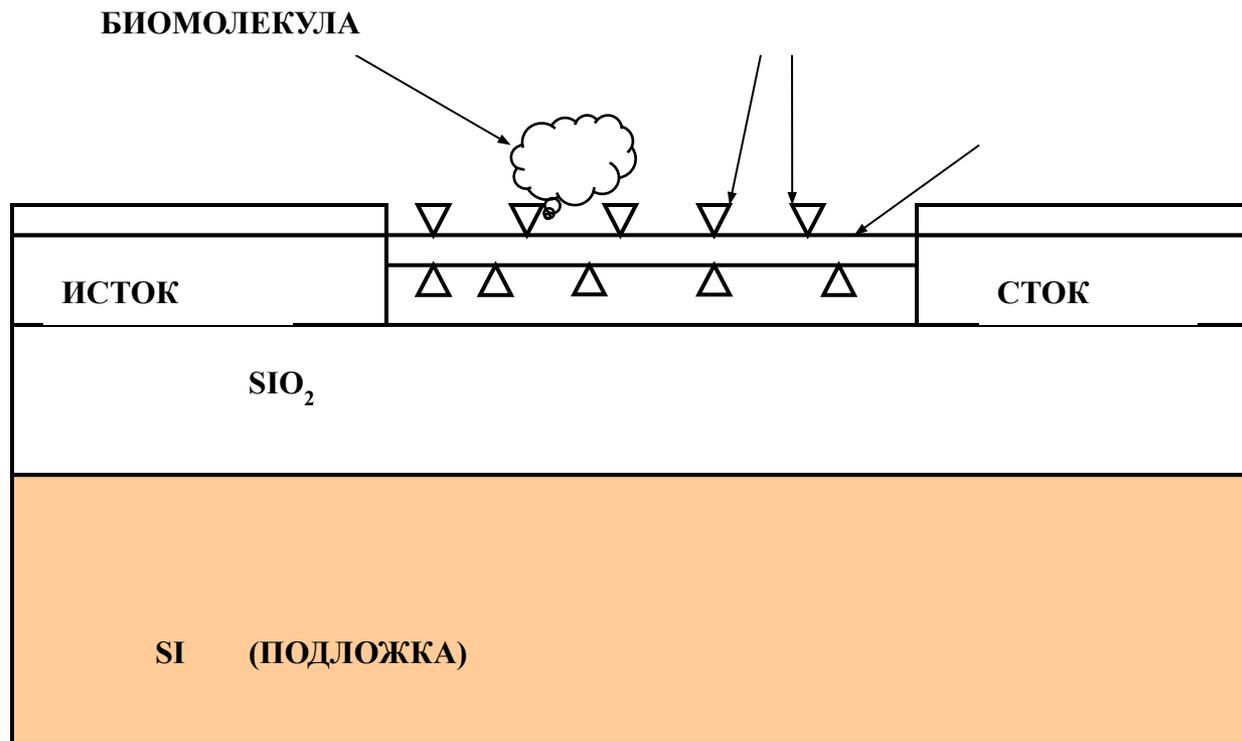


Рис.6. Модификация границ поликремниевого электрода затвора: а - формирование электрода затвора  $I$ ; б - модификация границ электрода затвора  $I$ ; в - создание самосовмещенных  $n^-$  и  $n^+$ -областей стока, истока

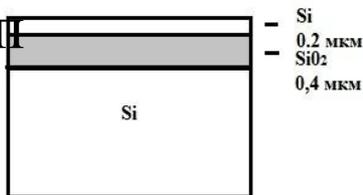
# Принцип работы биосенсора с использованием полевых транзисторных структур на кремниевых нанопроволоках (Si-NW FET)



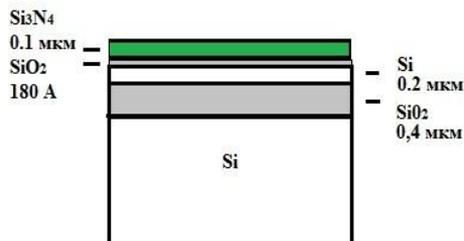
# Формирование кремниевой нанопроволочной

## СТРУКТУРЫ

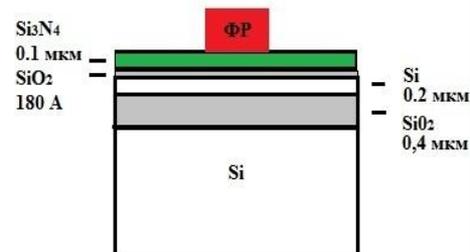
1-ый  
этап



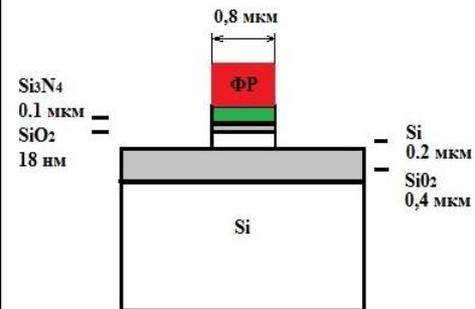
Исходная КНИ структура



Осаждение слоев  $\text{SiO}_2, \text{Si}_3\text{N}_4$

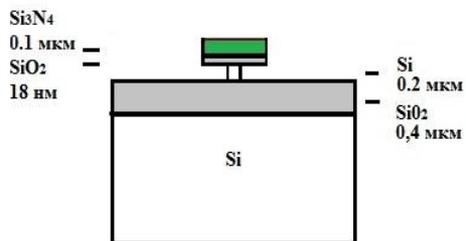


Операция фотолитографии

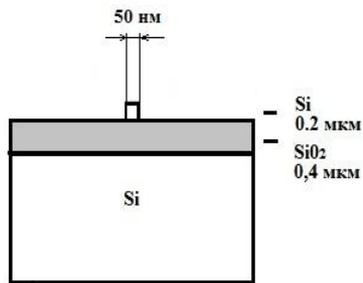


Операция РИТ  $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiO}_2 - \text{Si}$  до подслоя  $\text{SiO}_2$

2-ой  
этап



Изотропное ПТ Si через “жесткую” маску  $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{SiO}_2$



Si нанопроволочная структура после удаления “жесткой” маски

# Результаты экспериментов

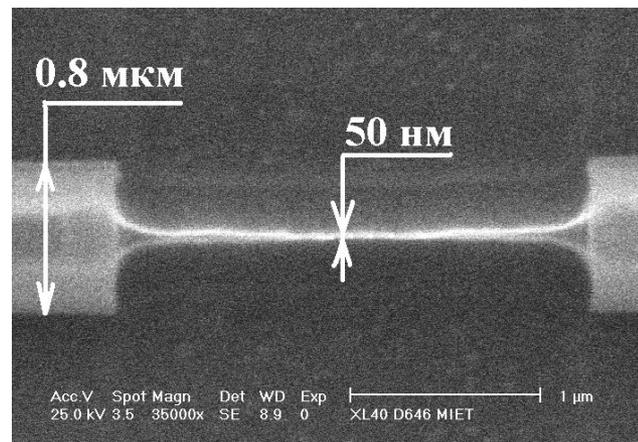
## Операционные параметры оптимизированного процесса изотропного плазменного травления Si

- ВЧ-мощность - 90 Вт,
- рабочее давление - 45 Па,
- расход газа (SF<sub>6</sub>) - 3 л/ч

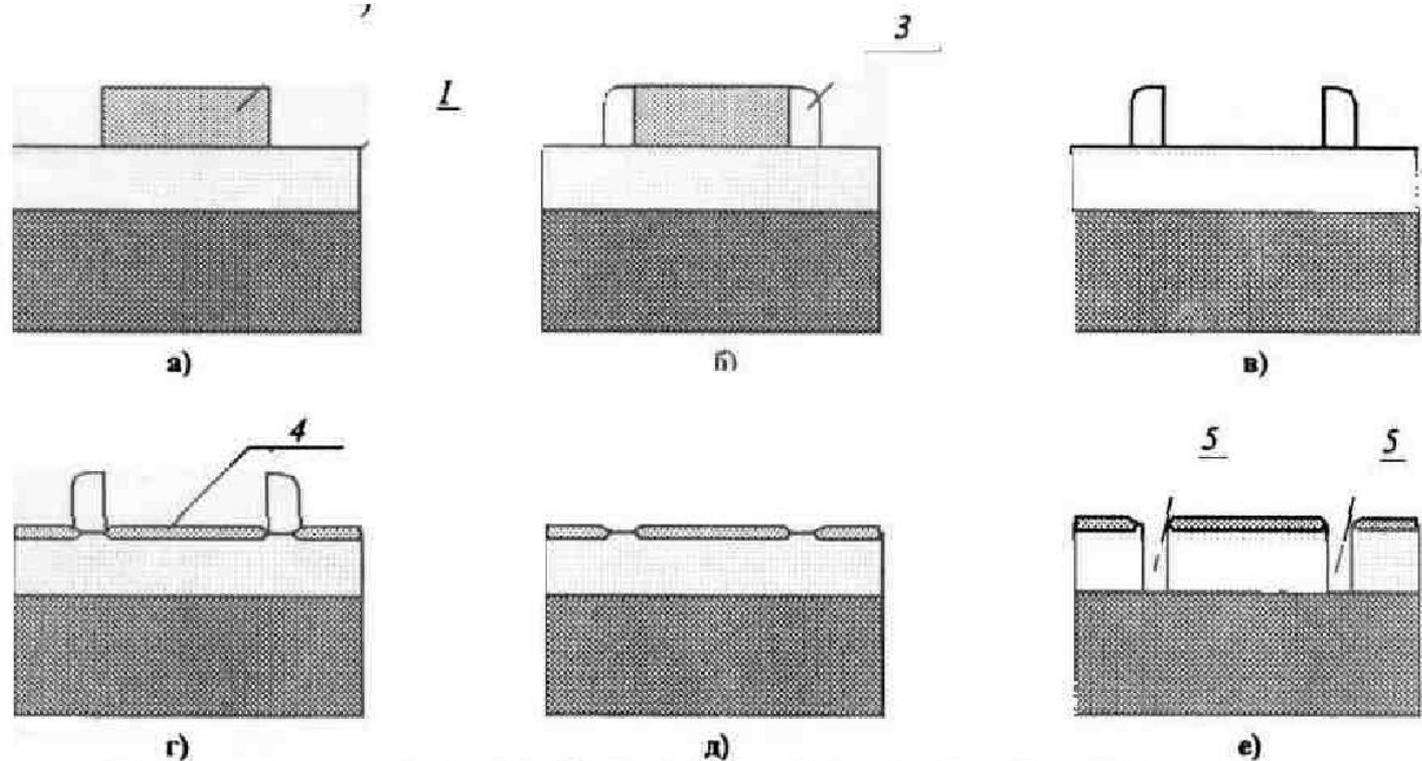
## Технологические характеристики процесса изотропного плазменного травления Si

- скорость травления Si - 0,7 мкм/мин  
(в горизонтальном направлении)
- селективность к фоторезисту - 8,5  
(марка Rohm Raas S1813 Sp15)
- селективность к Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - 11
- селективность к SiO<sub>2</sub> - 45

## Микрофотография Si нанопроволочной структуры



**Модификация области структуры.** Данный прием метода самоформирования позволяет косвенным способом реализовать отдельные субмикронные самосовмещенные области структуры с заданными свойствами. Так, например, отдельные изолирующие области субмикронных размеров в поликремниевой разводке могут быть выполнены в следующей последовательности: создание опорного контура для "спейсера", формирование "спейсера", селективное удаление опорного контура, модификация поверхности исходного слоя поликремния посредством, например, окисления или имплантации примеси, селективное удаление "спейсера", селективное анизотропное плазмохимическое удаление немодифицированных областей пленки поликремния



*Рис. 7. Модификация областей при создании высокоплотной поликремниевой разводки: а - создание опорного контура 2 ( $\text{SiO}_2$ ) на исходном слое 1 (поли-Si); б - создание "спейсера" 3 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ); в - удаление опорного контура 2; г - избирательная модификация поверхности исходного слоя поликремния с образованием слоя 4 ( $\text{SiO}_2$ ); д - удаление "спейсера"; е - создание изолирующих областей 5 в слое поликремния 1*

Таким образом, использование методов самоформирования при изготовлении элементов интегральных схем, не заменяя полностью традиционных методов литографии и не требуя уникального сверхточного оборудования, позволяет:

- ~~субмикронных размеров, области~~ ~~сверхструктурирует~~ площадь, занимаемую интегральными структурами, и повышает степень интеграции ИС;

- ~~субмикронных областей~~ ~~структур~~ при формировании ряда

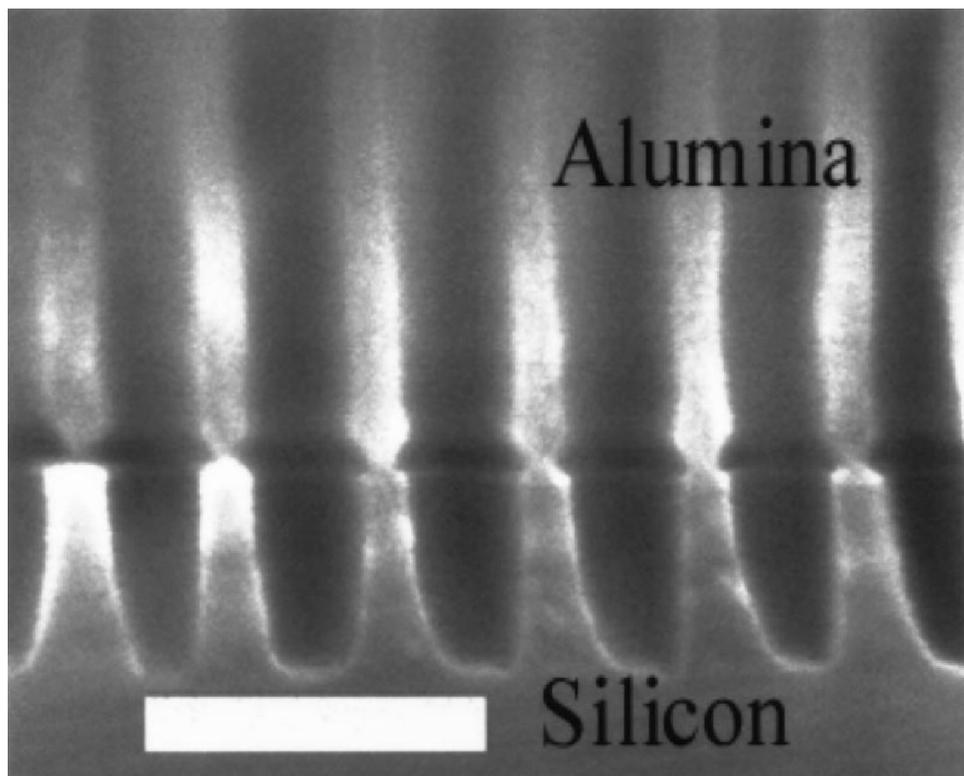
- ~~микронных размеров,~~ способ обработки

- ~~технологического цикла;~~ литографических процессов

- ~~субмикронных областей~~ полного самосовмещения отдельных ~~микронных областей~~ интегральных планарных и вертикально-интегрированных структур.

## Особенности плазменного травления с использованием периодических наноразмерных алюмооксидных масок

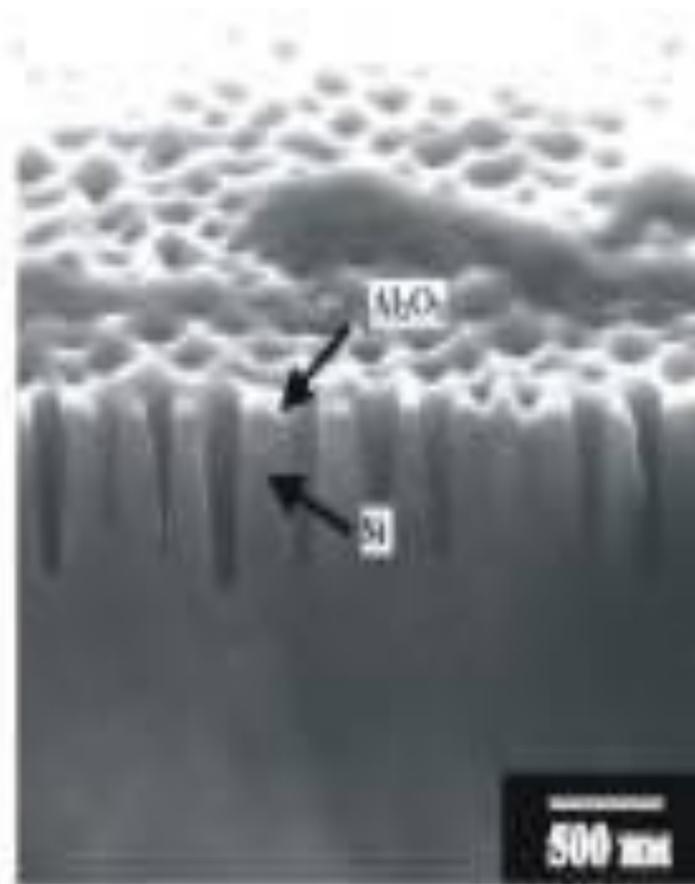
- Применение ПАОА (пористый анодный оксид алюминия) в качестве маски для локальной модификации поверхности полупроводников и металлов (для создания элементов интегральной оптики, запоминающих сред и др. наноэлектронных приборов.)
- нанесение квантовых точек Ag, Ni, ZnO, Si:Er через маску ПАОА.
- применение ПАОА в качестве маски для имплантации, позволяющей создавать легированные области нанометровых размеров
- использование ПАОА в качестве маски для изготовления микроканальных пластин (Микроканальные пластины (МКП) являются базовым элементом ряда приборов вакуумной электроники, таких как электронно-оптические преобразователи, усилители потока фотоэлектронов в приборах ночного видения и т.д. )



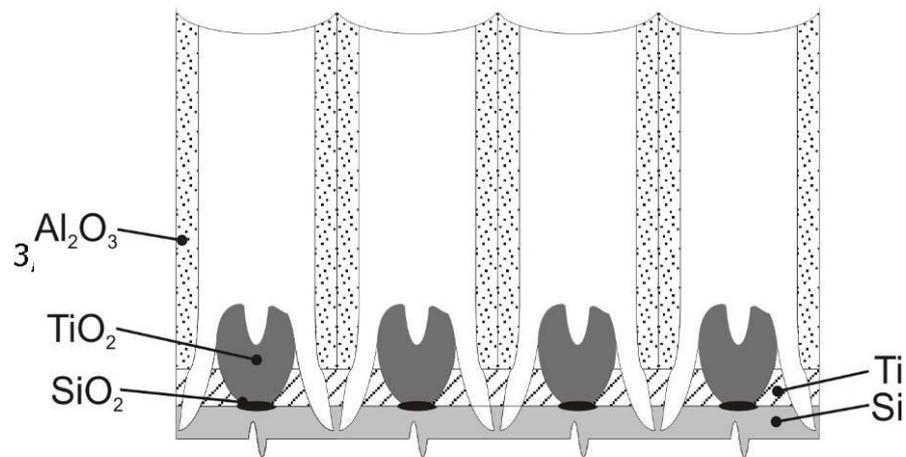
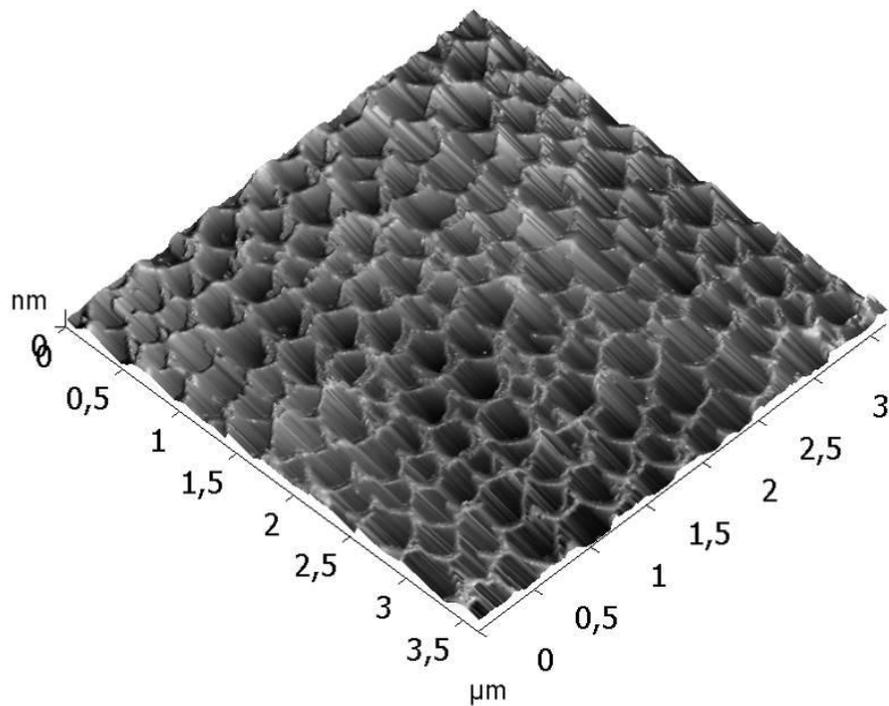
Массив нанометровых пор в кремнии, сформированных плазменным травлением через маску пористого оксида

Используют кремниевые пластины, на которые с помощью магнетронного распыления были нанесены послойно пленки титана и алюминия толщиной 30 нм и 2 мкм, соответственно. Введение пленки титана обусловлено необходимостью обеспечения повышенной адгезионной способности вышележащего слоя и обеспечения воспроизводимости процесса оксидирования на всю толщину слоя алюминия. Двухстадийным анодированием напыленной алюминиевой пленки формируют маску пористого оксида алюминия. Такой процесс обеспечивает повышенную упорядоченность структуры формируемой твердой маски оксида алюминия. Первую стадию проводят в 1 М водном растворе ортофосфорной кислоты при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> в течение десяти минут при этом напряжение между анодируемым образцом и катодом составляло 120 В. Слой анодного оксида удаляли в смеси H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и CrO<sub>3</sub> селективно по отношению к алюминию. Второе анодирование проводят при тех же условиях до полного окисления алюминиевой пленки. Момент окончания процесса анодирования пленки определяют по резкому возрастанию величины напряжения между анодируемым образцом и катодом, обусловленного началом формирования беспористого слоя оксида титана

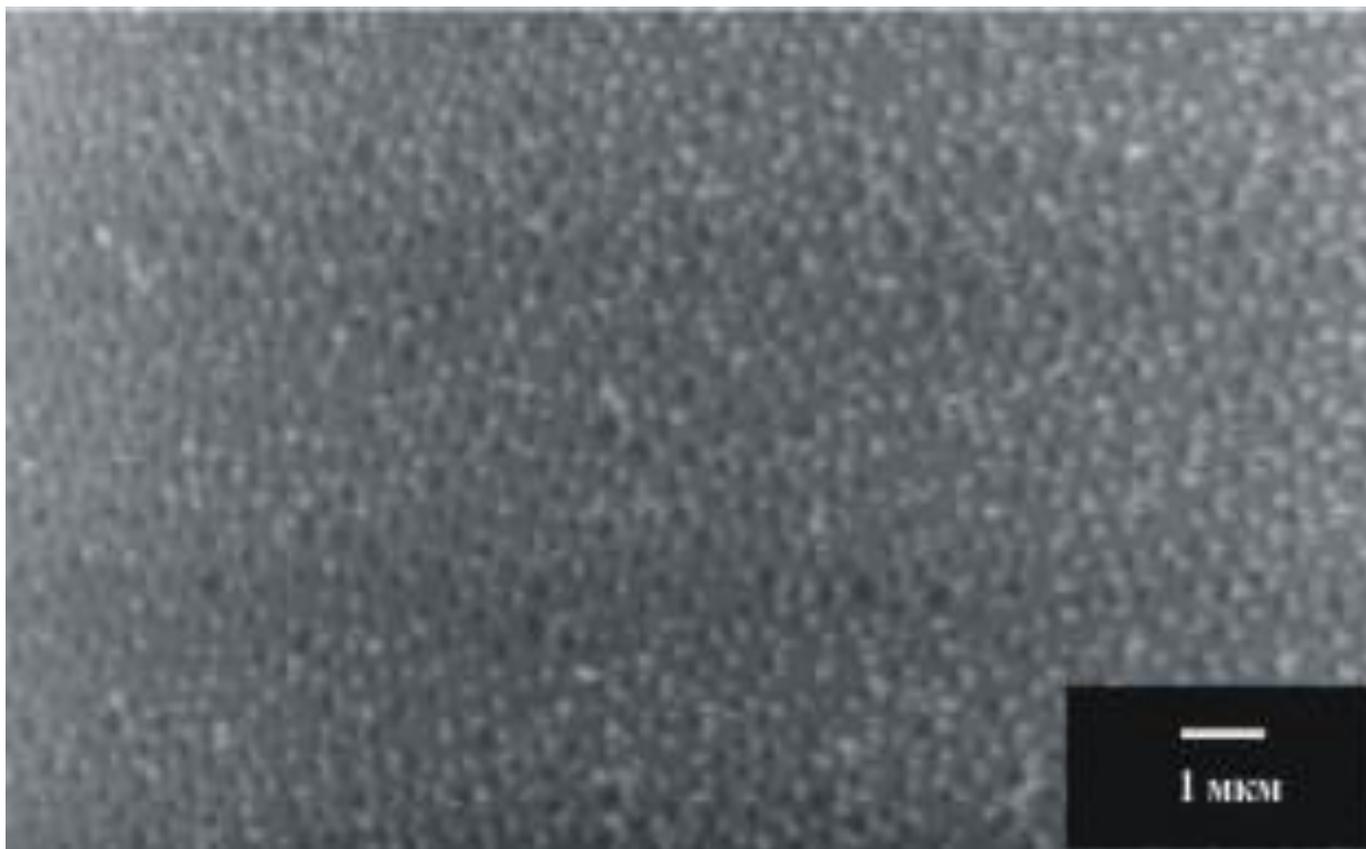
Полученные структуры подвергают обработке в установке ионного травления в среде аргона. В процессе травления рабочее давление в камере  $2 \times 10^{-3}$  Торр. Ионный ток составляет 0,1 А при разгоняющем напряжении 7 кВ. На пути транспортировки заряженных ионов был расположен разогретый термоэмиссионный вольфрамовый катод, обеспечивающий нейтрализацию ионов. Таким образом, бомбардировку структуры осуществляют ускоренными нейтральными частицами. Это предотвращает поляризацию оксида алюминия и обеспечивает эффективный доступ бомбардирующих частиц к донной части пор оксида.



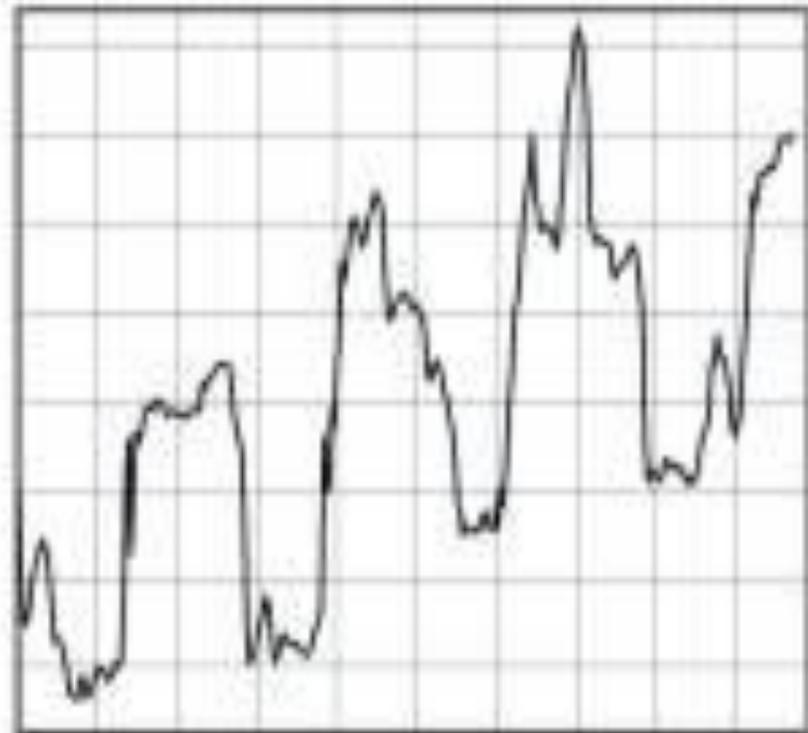
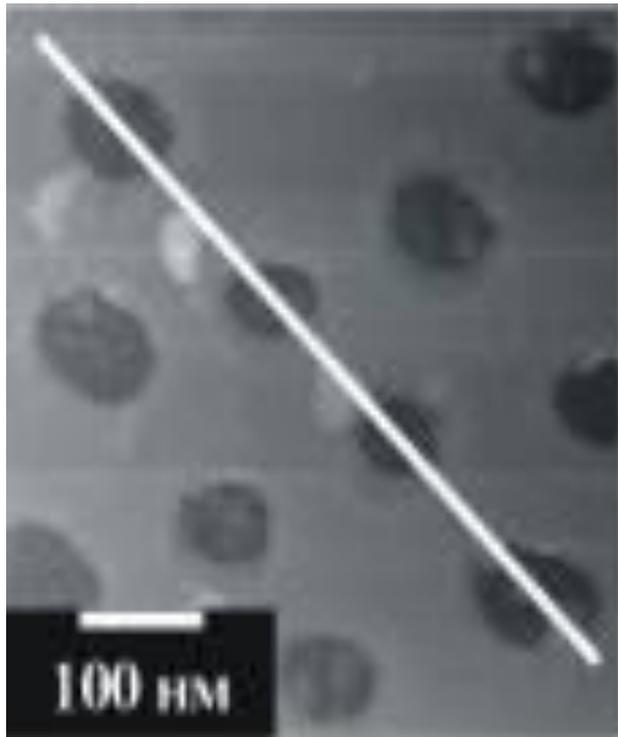
Изображение поверхности твердой маски пористого оксида алюминия после ионного травления структуры (а) и РЭМ-микрофотография поперечного скола этой структуры (б).



АСМ изображение структуры (а) и ее схематичное поперечное сечение (б) после анодирования и «сухого» травления.

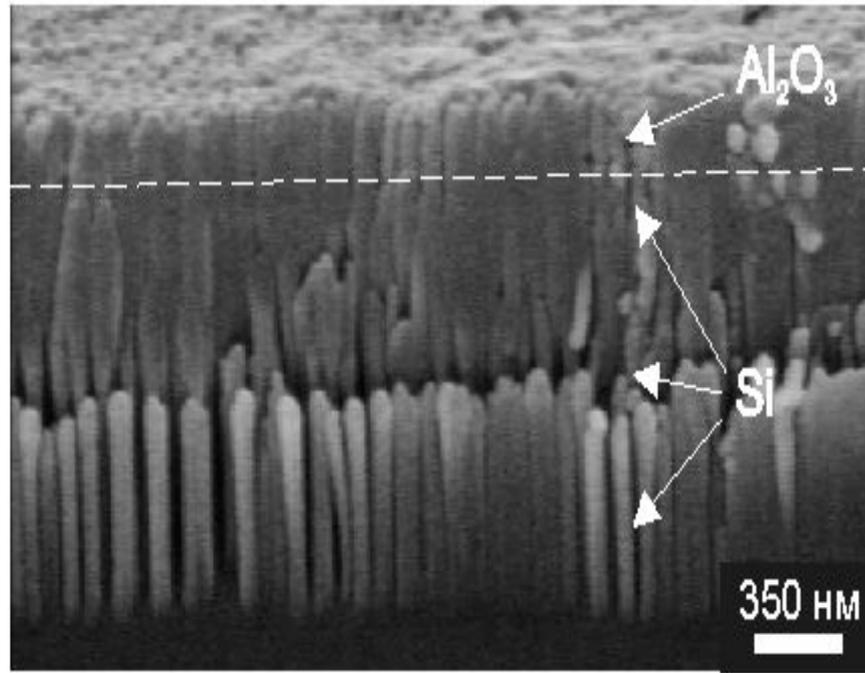
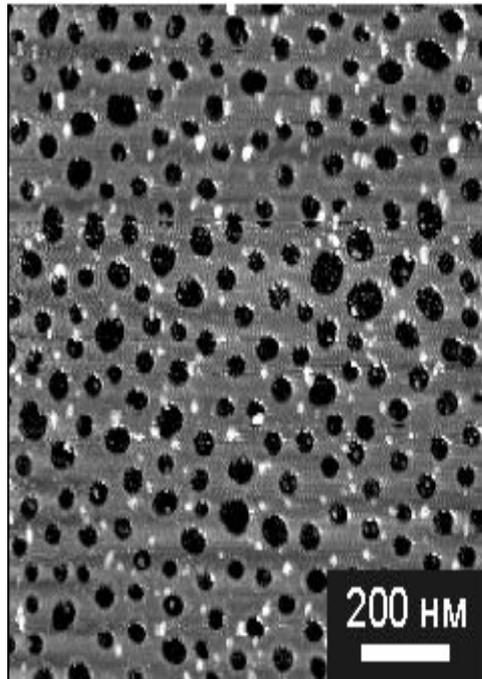


АСМ - изображение поверхности кремниевой подложки после удаления твердой оксидной маски площадью  $15 \times 8$  мкм



АСМ - изображение поверхности кремниевой подложки после селективного удаления с нее твердой оксидной маски ( а) и профиль поперечного сечения этой структуры ( б).  
Данным способом не удастся получить развитого рельефа в кремнии. В лучшем случае глубина рельефа составляет десятые доли микрометра

Для расширения диапазона глубины травления кремния после первоначальной обработки структуры в установке ионного травления в среде аргона проводят дальнейшее травление образцов в реакторе высокоплотной плазмы в смеси гексафторида серы и  $\text{CSL}_4$ . Плотность мощности плазмы составляла  $2 \text{ Вт/см}^2$ , суммарный расход газа – 5 л/час, рабочее давление в камере – 3 Па. Травление осуществляли в течение 10 минут.



АСМ-изображение поверхности кремния (а) и РЭМ микрофотография поперечного сечения кремниевой подложки (б), содержащей слой оксида алюминия, после реактивно- ионного травления

Таким образом на кремниевой подложке удастся сформировать рельефную поверхность, углубления в которой повторяют в целом рисунок пор твердой маски оксида алюминия. Глубина рельефа при выбранных режимах реактивно-ионного травления составила  $\sim 3,5$  мкм, а аспектное отношение углублений  $\sim 50$  .