

Работа на тему «Применение специфических наноструктур в наноразмерной электронике».
Автор: Степаненко М.Н. группа ИУ4-82, руководитель: Оя Д. Р.

Цель работы

Исследование возможности применения специфических наноструктур в наноразмерной электронике.

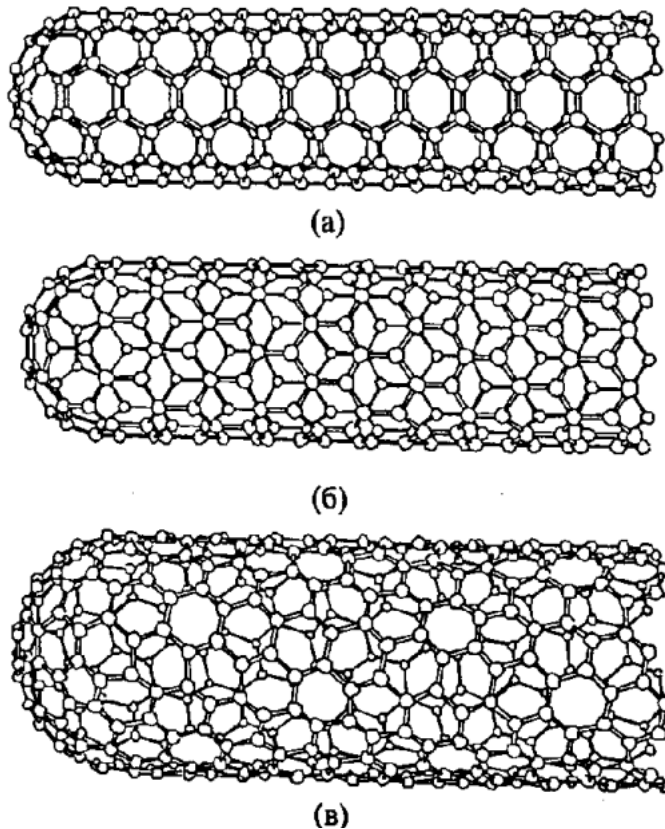
Решаемые задачи

Исследование возможности проектирования транзисторов и др. полупроводниковых устройств меньшего размера и большей производительности.
Изучение способов производства нанотрубок с заданными свойствами.
Исследование особенностей специфических наноструктур.

Новизна работы

Изучение специфических разветвленных нанотрубок, которые могут заменить современные МОП-транзисторы и послужить основой новой элементной базы.

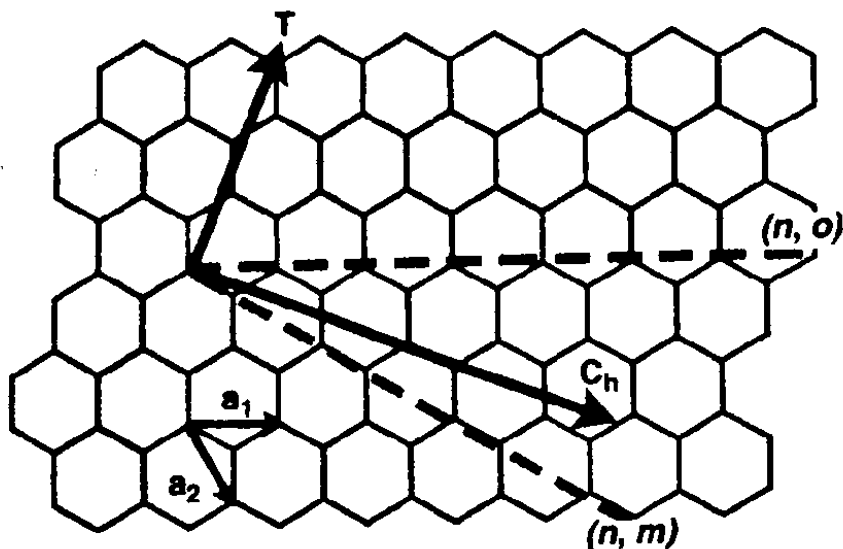
Углеродные нанотрубки



Углеродные нанотрубки - это открытая в 1991г новая форма существования углерода в виде свернутых в трубочку "графитовых" сеток. Так как диаметр таких трубочек составляет считанные нанометры, то "нанометрового масштаба трубки" и стали называть нанотрубками. Углеродную нанотрубку можно представить себе как лист графита, свернутый в цилиндр. На рис.1 показано несколько возможных структур, образованных сворачиванием графитового листа вокруг разных осей.

Рис.1

Структура

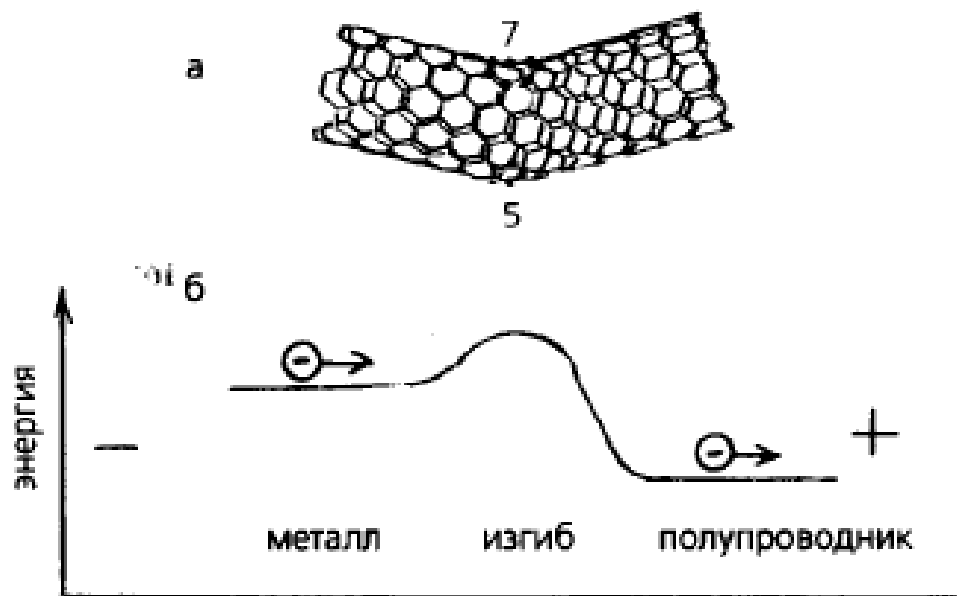


Углеродные нанотрубки могут иметь различную атомную структуру, причем трубки разной структуры имеют разные свойства.

Так, например, нанотрубку можно получить сворачивая графитовый лист вокруг оси T , показанной на рисунке.

Когда вектор T перпендикулярен $C - C$ связям в углеродных шестиугольниках, образуется структура, показанная на рис. 1а и называемая кресельной. Трубки, показанные на рис. 1б и 1в называют соответственно трубками зигзаговой и хиральной структуры.

Изогнутые нанотрубки



Цилиндрические неизогнутые нанотрубки образуются из повторяющихся углеродных шестиугольников. Если углеродный шестиугольник заменить, например, на пятиугольник, семиугольник, как показано на рисунке, нанотрубка изогнется.

С разных сторон относительно изгиба ориентация углеродных шестиугольников окажется различной. Но с изменением ориентации шестиугольников по отношению к оси нанотрубки меняется ее электронный спектр, положение уровня Ферми и т.п.

В частности, для приведенного на рисунке случая слева относительно изгиба нанотрубка должна быть металлической, а справа – полупроводниковой.

Слева это нанотрубка типа кресло, а справа типа зигзаг.

Выпрямляющий диод на изогнутой нанотрубке

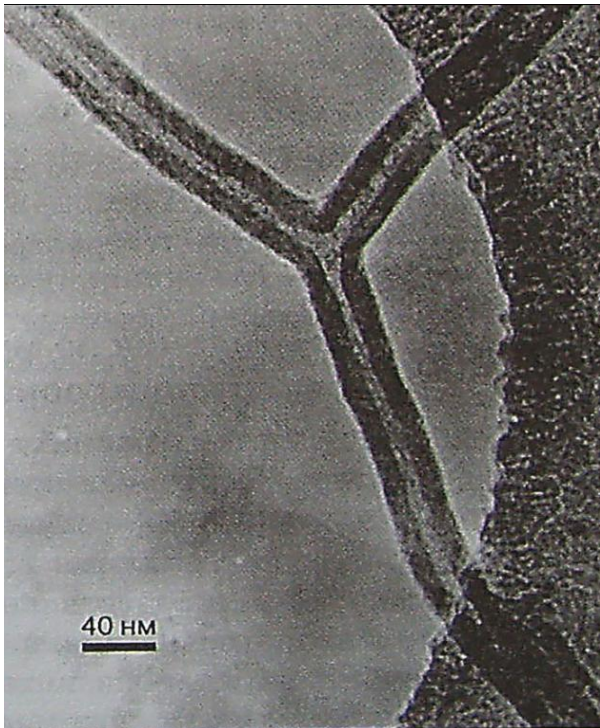


В таком диоде нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводами из золота и платины. Ток через нанотрубку резко возрастает после достижения порогового значения напряжения смещения V , равного +2 В, приложенного к полупроводниковому концу гетероперехода, а при изменении полярности напряжения смещения ток через систему не идет.

Если к подложке, играющей роль затвора, приложить положительное напряжение V_3 , пороговое значение напряжения смещения возрастет, а при отрицательном V_3 - уменьшится. В целом, изменение V_3 сопровождается смещением вольтамперной характеристики по оси V . Наилучшим образом такая система работает как диод при $V_3 = -4\text{В}$, что говорит о том, что дырки являются основными носителями заряда в гетеропереходе полупроводник-металл.

Y- и T- образное соединения нанотрубок

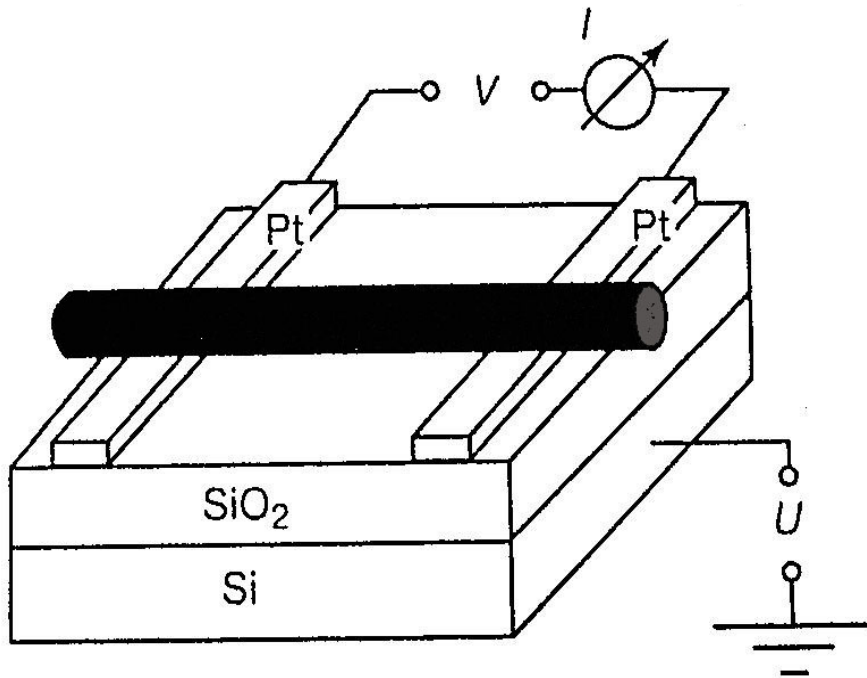
Различные типы ветвлений нанотрубок представляют интерес как структурные элементы объединения различных нанотрубок в сети и в качестве самостоятельных электронных устройств (резисторов, диодов).



За основу брали тонкую алюминиевую пластину, при нагревании которой в ней формируются канальцы (трещинки) разной глубины и геометрии. Предварительно внедрив в областях канальцев небольшие металлические частицы катализатора, образец помещали в нагретый реактор с газообразным углеводородом. В результате в областях разветвлений канальцев выросли нанотрубки, но не прямые, а в виде латинской буквы Y.

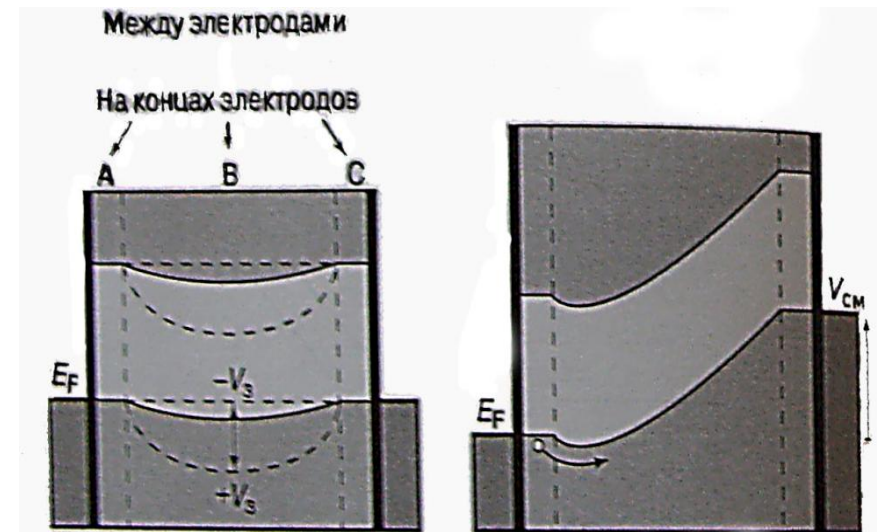
При приложении отрицательного напряжения к «ручке» вилки ток нарастает, а при положительном значении напряжения он вообще отсутствует – барьер из дефектов в структуре вилки пропускает ток только в одну сторону. К одному зубцу нановилки можно подать управляющее напряжение, влияющее на высоту барьера.

Транзистор на полупроводниковой нанотрубке



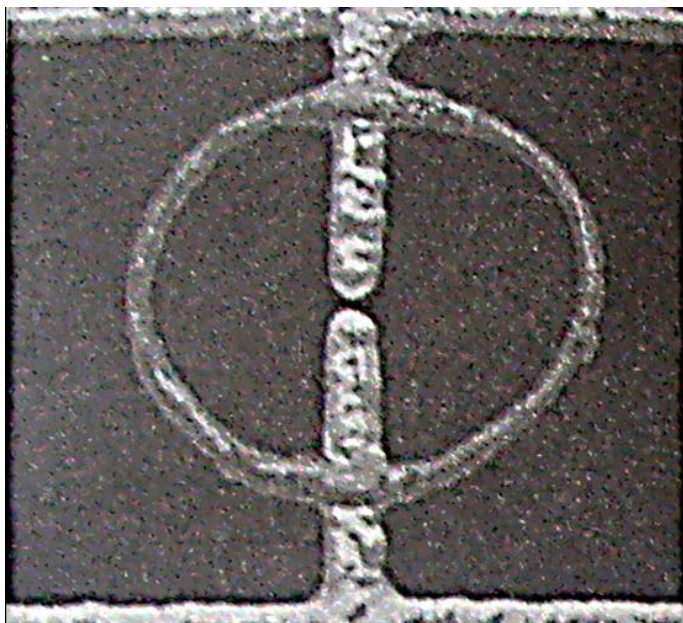
Нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводниками, в качестве третьего электрода (затвора) используется кремниевый слой.

При подаче на затвор электрического потенциала V_z в области нанотрубки возникает электрическое поле, и меняется изгиб энергетических зон. Включение отрицательного потенциала затвора V_z приводит к возрастанию, а положительного – к убыванию тока через нанотрубку, что говорит о том, что дырки являются основными носителями заряда в транзисторе.



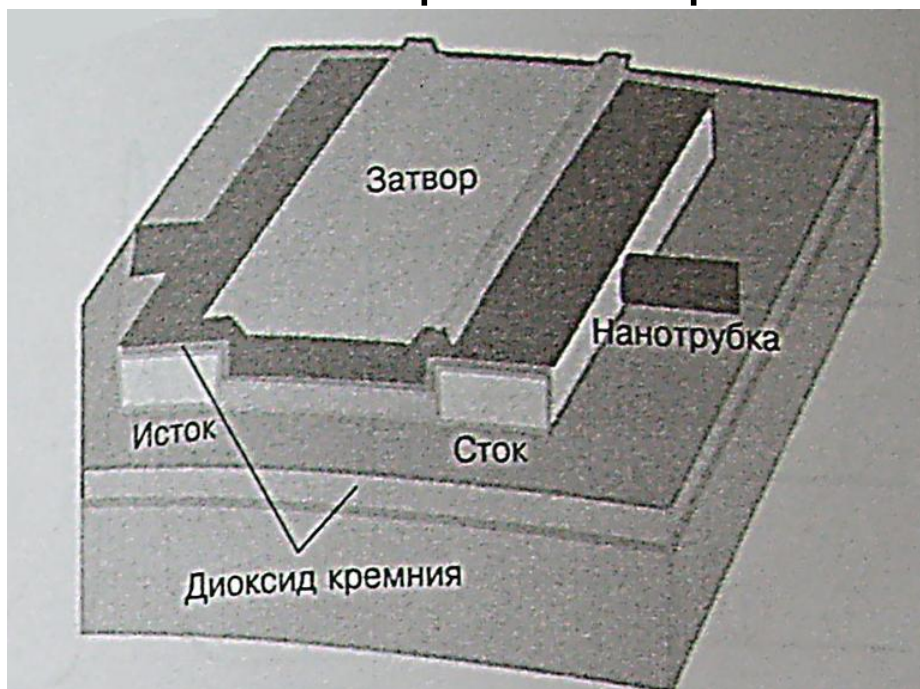
Транзистор на кольцевой нанотрубке

Полевой транзистор с резко выраженными эффектами включения построен и на кольце, изготовленном из углеродной нанотрубки.



Использование колец вместо линейных нанотрубок может быть более удобно, т.к. диаметр колец легче контролировать, чем длину нанотрубок. Для такого транзистора при нулевом потенциале затвора вольтамперная характеристика практически линейна, и величина тока через систему уменьшается на несколько порядков при изменении потенциала затвора с нуля до 5 В. Кроме того, наблюдаются эффекты включения: например, при потенциале затвора 5 В и напряжении смещения < 1 В ток через систему практически не идет ($< 0,1$ нА), а затем резко возрастает, достигая значения 100 нА при напряжении смещения 1,5-2,0 В.

Канальный транзистор

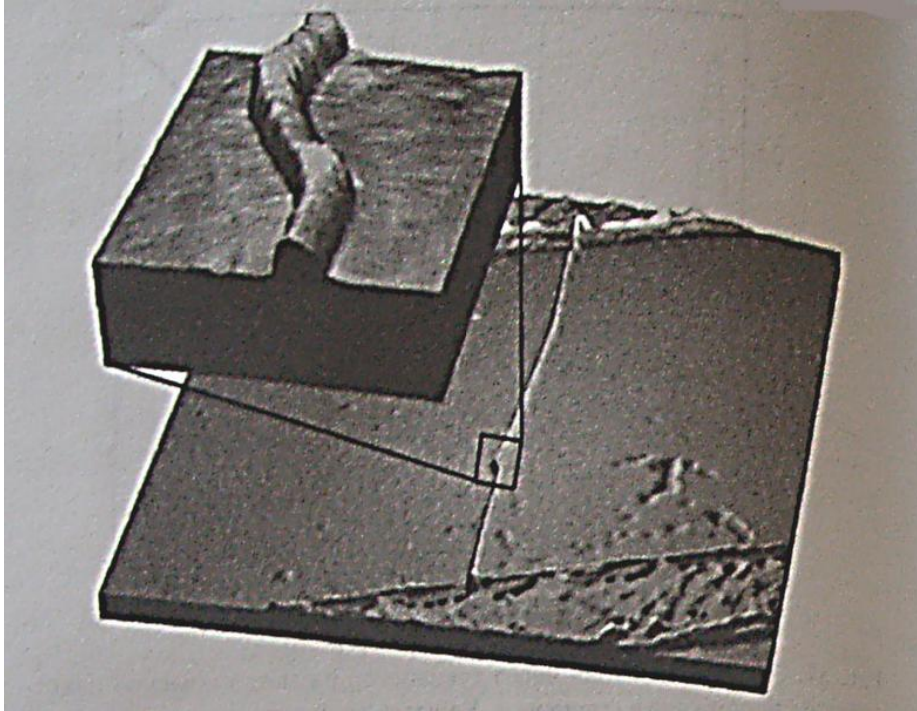


- Его структура аналогична структуре обычного МОП-транзистора, где затвор (металл) и проводящий канал (полупроводник) разделены тонким слоем диэлектрика (оксида). В новой структуре затвор размещается поверх нанотрубки, а в качестве тонкого изолирующего слоя между ними используется диоксид кремния, поэтому внешне он выглядит как кремниевый транзистор, но вместо плоской пластины кремния в нем используется нанотрубка.

Одноэлектронный транзистор - на металлической нанотрубке.

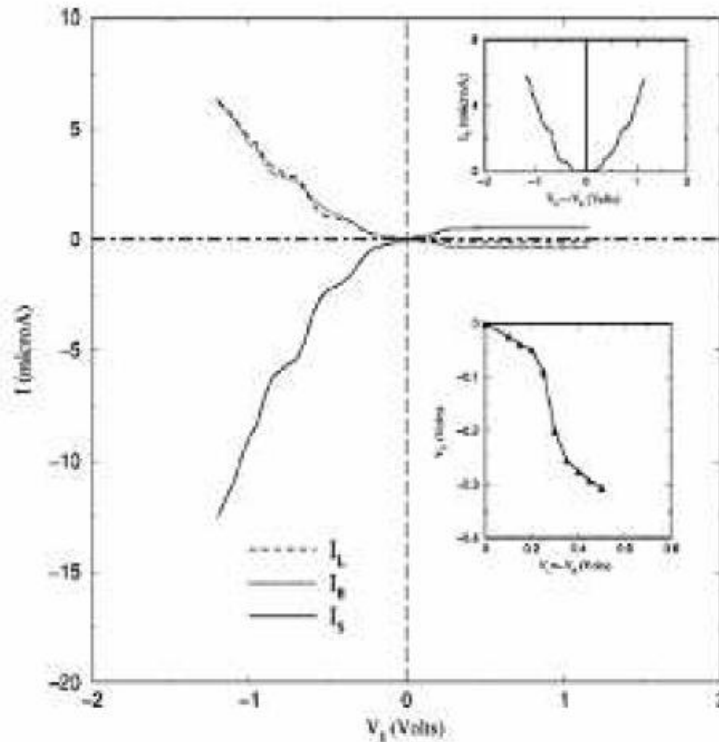
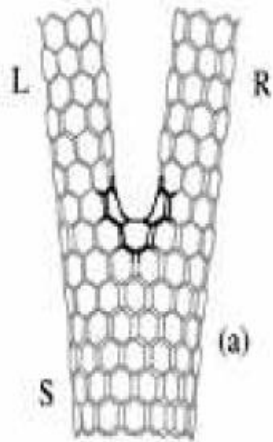
При этом используются эффекты туннельного переноса электронов через нанотрубку по отдельным одноэлектронным уровням (молекулярным орбиталям). Соответственно, такой транзистор иногда называют одноэлектронным.

Одноэлектронный транзистор



- Создание на нанотрубке небольшого «островка», ограниченного с двух сторон энергетическими барьерами. Тогда при достаточно малой длине островка расстояния между делокализованными в его области электронными уровнями могут быть большими, и именно эти локализованные состояния будут определять перенос электронов вдоль всей нанотрубки.

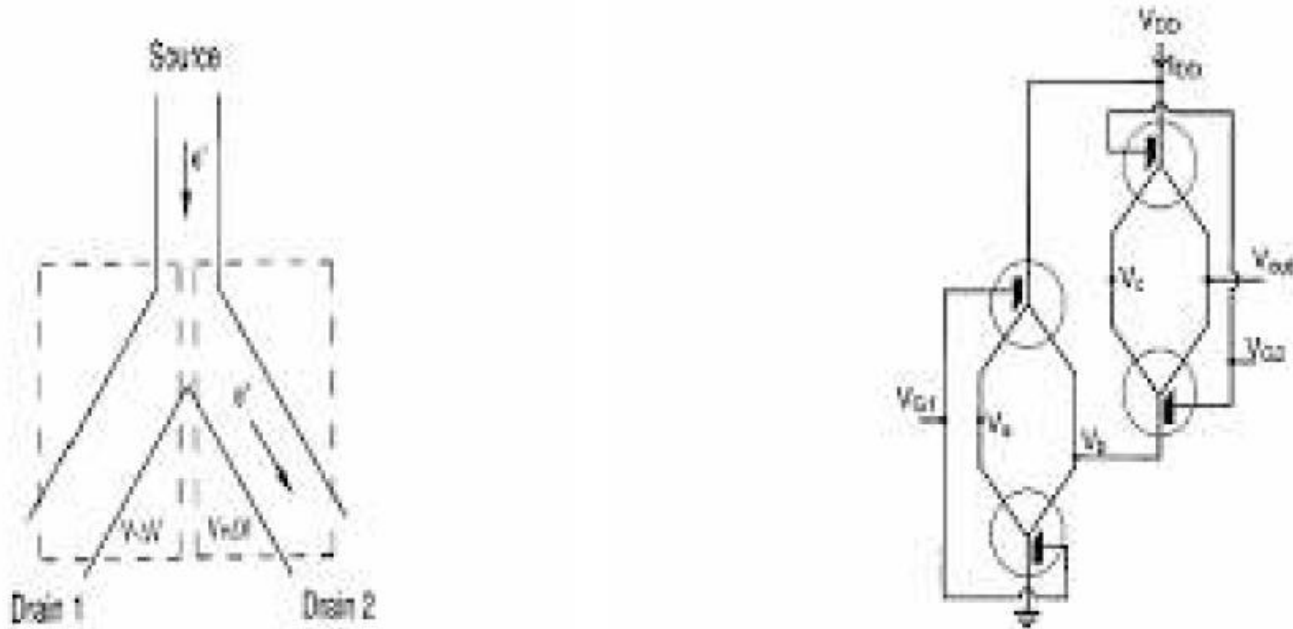
Y- и T- образное соединения нанотрубок



- Симметричные Y –ветви показывают выпрямляющее поведение, а асимметричные служат как обычные соединения.

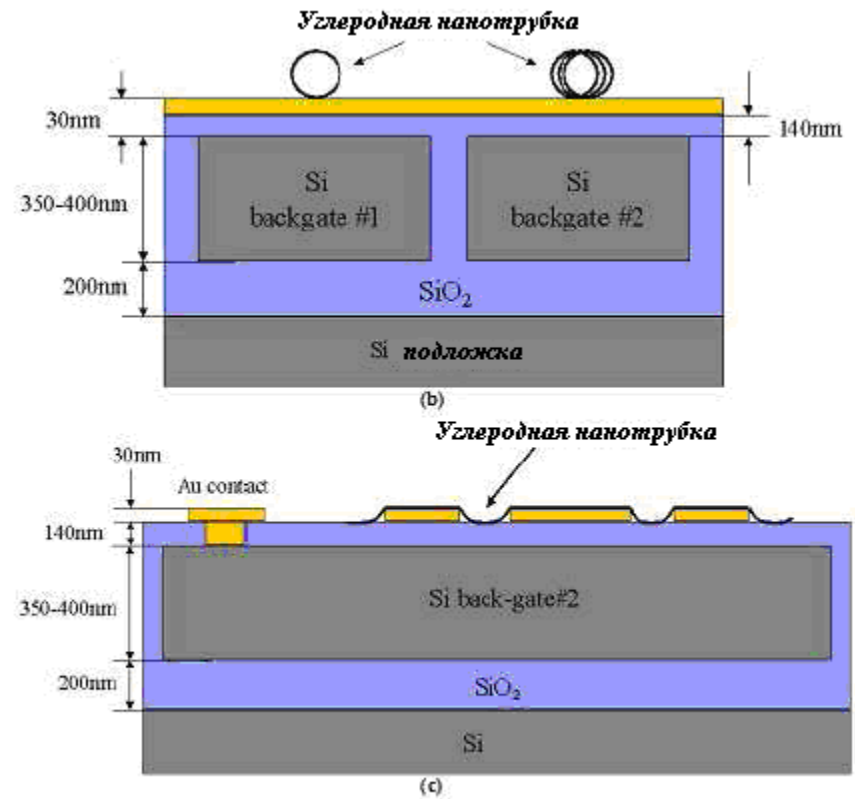
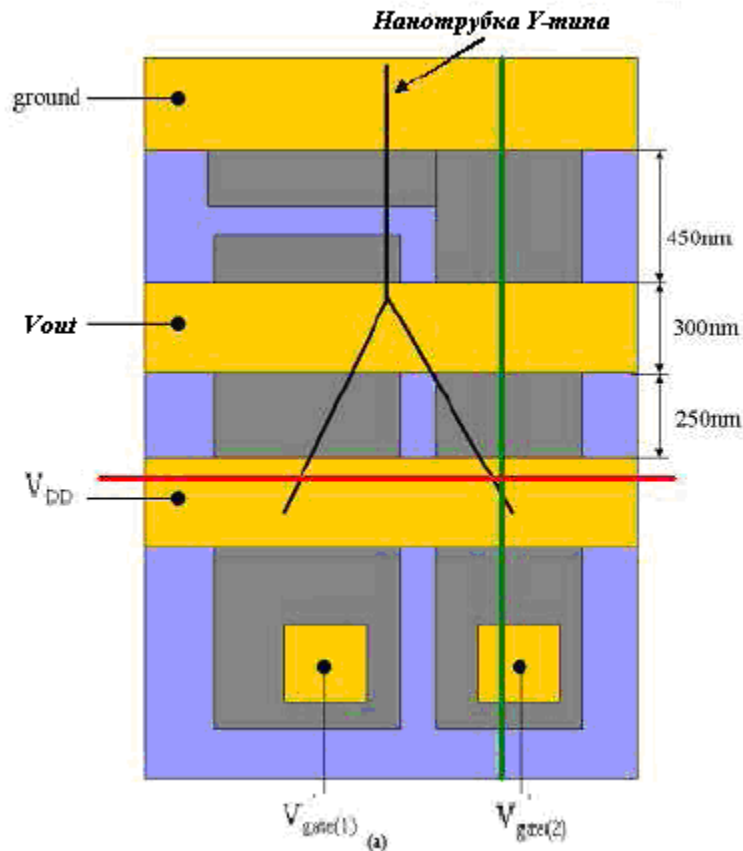
Слева симметричная Y-ветвь. Справа график тока через ствол I_S и ветви I_L I_G

Нанотрубки У-типа



- Слева модель переключателя из Y-ветви. Справа конструкция вентиля из Y-ветвей, использующая 2 инвертора.

Пример устройства



Конечное наноустройство. (a) Вид сверху (b) Разрез по красной линии (c) Разрез по зеленой линии

ИТОГИ

В результате проделанной работы была осуществлена оценка применимости различных видов углеродных нанотрубок.

Транзисторы на нанотрубках обладают рядом улучшенных характеристик и преимуществ по сравнению с традиционными кремниевыми. А именно:

- Повышенное быстродействие (транзистор на основе нанотрубки способен переключаться с частотой не менее единиц ТГц – это в тысячу раз больше частоты работы самых совершенных микропроцессоров на кремниевой основе)
- Термо- и радиационная стойкость (определяется уникальными механическими свойствами нанотрубок и их миниатюрностью)
- миниатюрность
- Низкое энергопотребление и как следствие – тепловыделение

Особо следует выделить специфические наноструктуры, которые, обладая всеми прочими преимуществами наноструктур, в силу своего строения могут представлять собой почти идеальные готовые логические элементы.

Спасибо за внимание.

Благодарности:

Автор благодарит научного руководителя Оя Д.Р. за руководство работой и весь преподавательский состав кафедры за трудные, но нужные и прекрасные годы учебы.