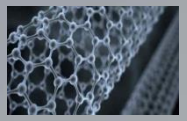
Сумський державний університет
Кафедра електроніки, загальної
та прикладної фізики

Матеріали наноелектроніки

доц. Шумакова Н.І.

СУМИ 2021

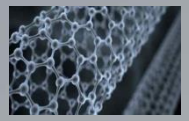


ВСТУП

- **Наноелектроніка** - область науки і техніки, що займається створенням, дослідженням і застосуванням електронних приладів з нанометровими розмірами елементів, в основі функціонування яких

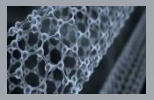
Основні завдання наноелектроніки

- Розробка фізичних основ роботи активних приладів з нанометровими розмірами, в першу чергу квантових;
- розробка фізичних основ технологічних процесів ;
- розробка самих приладів і технологій їх виготовлення;
- розробка інтегральних схем з нанометровими технологічними розмірами і виробів електроніки на основі наноелектронних елементної бази .
- лежать квантові ефекти.



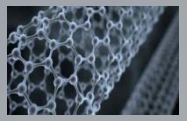
Матеріали наноелектроніки

- **Наноматеріали** - це матеріали, що містять структурні еле менти (кристалітів, волокна, шари, пори), геометричні розміри кото яких хоча б в одному напрямку не перевищують нанотехнологічної кордону - 100 нм (від 1 до 100 нм), що володіють якісно іншими в порівнянні з традиційними матеріалами фізичними, хімічними, механічними і біологічними властивостями, функціона-льними та експлуатаційного характеристиками.
- Верхня межа діапазону обумовлена тим, що істотні трансформаційні зміни властивостей матеріалів починаються при розмірах структурних еле ментів менше 100 нм. Нижня межа діапазону обумовлена крітічес- ким розміром нанокристалічного матеріалу як структурного еле- мента, що має упорядкований будова, тобто кристалічну решітку (наприклад, для заліза цю межу становить 0,5 нм).

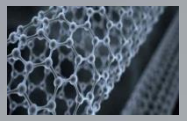


Термін **«наноматеріали»** є об'єднуючим і включає в себе велику групу різних матеріалів - нанокристалічних, нанофазних, нанокомпозитних, нанопористих, а також нанокластери, наночастинки, нанопорошки, нанопокриття, фулерени, нанотрубки і т.д.

- **Нанокристалічні** (наноструктурні, наноструктурірован- ні, нанофазних) матеріали - матеріали, у яких розмір окремих кристалітів або фаз, що складають структурну основу, не перевищує 100 нм хоча б в одному вимірі.
- **Об'ємні** (масивні, компактні) наноматеріали - наномате- ріали, що складаються з великого числа нанорозмірних елементів (кристал літів), тобто полікристалічні матеріали з розміром зерна 1 ... 100 нм.
- **Консолідовані наноматеріали** - компактні наноматеріали, плівки та покриття з металів, сплавів і з'єднань, що отримуються мето- дами порошкової технології, інтенсивної пластичної деформації, контрольованої кристалізації з аморфного стану і разнообраз- ними прийомами нанесення плівок і покриттів.
- **Нанокластери** (атомні кластери, Наночастинки, атомні частиниці) - низькорозмірні структури, що мають характеристичні розміри менше 100 нм (1 ... 100 нм), що складаються з десятків, сотень або тисяч атомів.

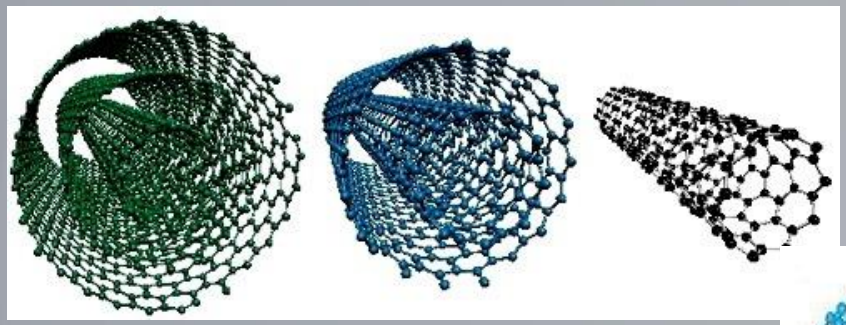


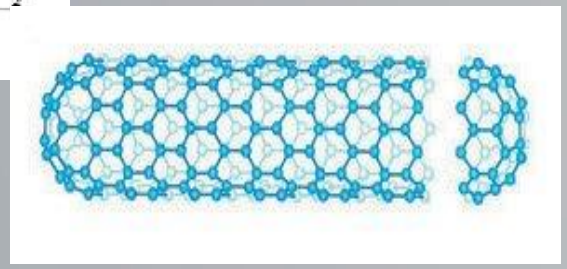
- **Фулерени** - особливий вид нанокластерних структур; стабільні замкнуті сферичні і сфероїдальні багатоатомні молекули, по-поверхню яких утворена правильними многогранниками з атомів вуглецю (або іншого елемента), що проявляють істинно нанорозмірні ефекти.
- **Нанотрубки** - ниткоподібні наночастинки з атомів вуглецю або інших елементів діаметром не більше 100 нм, що містять протяжну внутрішню порожнину.
- **Нановолокна** - ниткоподібні частинки діаметром не більше 100 нм, що не мають внутрішньої порожнини. Квантові точки, дроту, ями - штучно створені клас- терни наноструктури з розмірним квантуванням руху носіїв заряду в трьох, двох і одному напрямках відповідно.
- **Нанопорошки** (ультрадисперсні порошки) - порошки з розміром частинок менше 100 нм.
- **Наноструктурні** (нанопокриття) покриття - покриття нанометрової товщини (нанослойние покриття); покриття з нанометровим розміром кристалітів (нанокристалічні покриття).
- **Нанокомпозити** - композиційні матеріали з металевою, полімерною, керамічної матрицею і наповнювачем у вигляді наночастинок, нановолокон, наношарів, а також композиційні матеріали зі складним використанням нанокомпонентів.

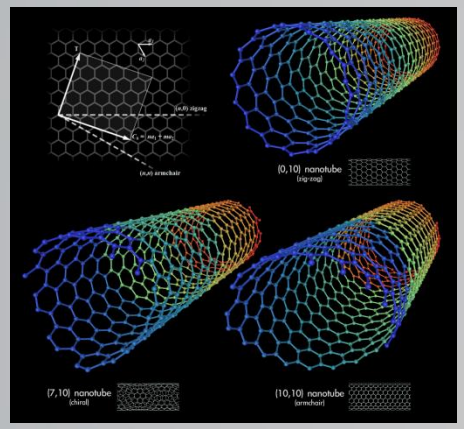


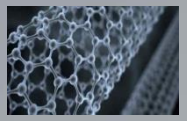
Типи нанотрубок

- **Вуглецеві нанотрубки** - циліндричні кристали, що складаються з одних лише атомів вуглецю. Зовні виглядають як згорнута в циліндр графітова площина. Завдяки тому, що питома провідність порівнянна з провідністю металу, а максимальна щільність струму - в десятки разів вище, ніж у металу, вуглецеві нанотрубки розглядаються як заміна металевих провідникам в мікросхемах нових поколінь.
- **Нітрид-борні нанотрубки** (англ. Boron nitride nanotubes) - аналогічні вуглецевих нанотрубок за будовою, але складаються із з'єднання NB.
- **Невуглецеві нанотрубки** або неорганічні нанотрубки - порожниста квазіодномірна структура діаметром від 5 до 100 нм на основі неорганічних речовин і матеріалів.

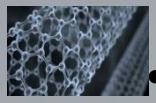








- Відомо безліч способів застосування вуглецевих нанотрубок в електроніці, але тільки невелика частина з них можуть виявитися реалізованими. В останні роки найбільший інтерес викликає використання ВНТ в якості термостійкого межфазного матеріалу, а також їх застосування в прозорих провідниках.
- Можливо, основним застосуванням ВНТ в електроніці є створення польових транзисторів з нижнім затвором на основі окремих одношарових вуглецевих нанотрубках (SWNT-FET). Висока рухливість носіїв зарядів в ВНТ робить їх потенційними кандидатами для використання в високочастотних транзисторах.
- Використання ВНТ для сенсорів є одним з найбільш цікавих їх застосувань в електроніці. І одностінні, і багатостінні нанотрубки (як модифіковані під конкретні застосування, так і універсальні) були досліджені як окремі об'єкти і як частина функціональних систем.
- Завдяки хорошій електропровідності, хімічної інертності, фізичної міцності, ВНТ можуть використовуватися в багатьох технологіях, пов'язаних з автоелектронної емісією і служити основою для створення НВЧ-генераторів, Рентгенівських інструментів і т.д.
- Вуглецеві нанотрубки можуть бути використані для заміни пористого вуглецю в складі електрод-біполярних пластин в паливних елементах на мембранах протонного обміну, які зазвичай виготовляються з металу або графіту / вуглецевої сажі.



- Нанотрубки з нітриду бору по суті є структурними аналогами вуглецевих нанотрубок. Нітрид бору в природі не існує, його отримують синтетичним шляхом.
- Вуглецеві трубки руйнуються при температурі близько 500-600 ° С, а нанотрубки з нітриду бору «стоять» і при 1000-1100 ° С. Нанотрубки з нітриду бору прямі, еластичні, їх розташуванням легше керувати, домагаючись рівномірної і відповідно більш міцної текстури матеріалу.
- Можлива сфера застосування нанотрубок з нітриду бору - воднева енергетика.
- Одне з найбільш перспективних застосувань нанотрубок з нітриду бору - створення композиційних матеріалів на основі легких металів та їх сплавів, в першу чергу алюмінію.

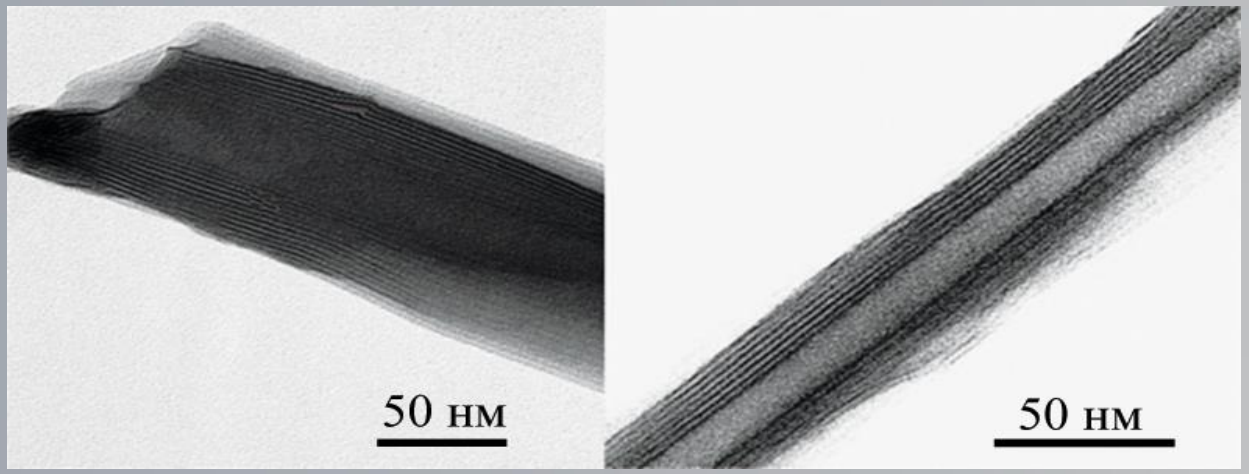
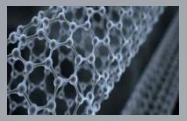


Рисунок - Нанотрубка на основі оксиду ванадію, отримана гідротермальною обробкою кристалічного оксиду ванадію з гексадеціламіном.



Наносенсори

- **Наносенсори** є нанорозмірними пристроями, які вимірюють фізичні величини і перетворюють їх у сигнали, які можна виявити та проаналізувати. Сьогодні пропонується кілька способів виготовлення наносенсорів; до них належать літографія зверху вниз, збірка знизу вгору, і молекулярна самозбірка. На ринку існують різні типи наносенсорів, що розробляються для різних застосувань, особливо в оборонній, екологічній та медичній галузях. Ці датчики мають однаковий основний робочий процес: селективне зв’язування аналіту, генерація сигналу внаслідок взаємодії наносенсора з біоелементом та обробка сигналу в корисні показники.

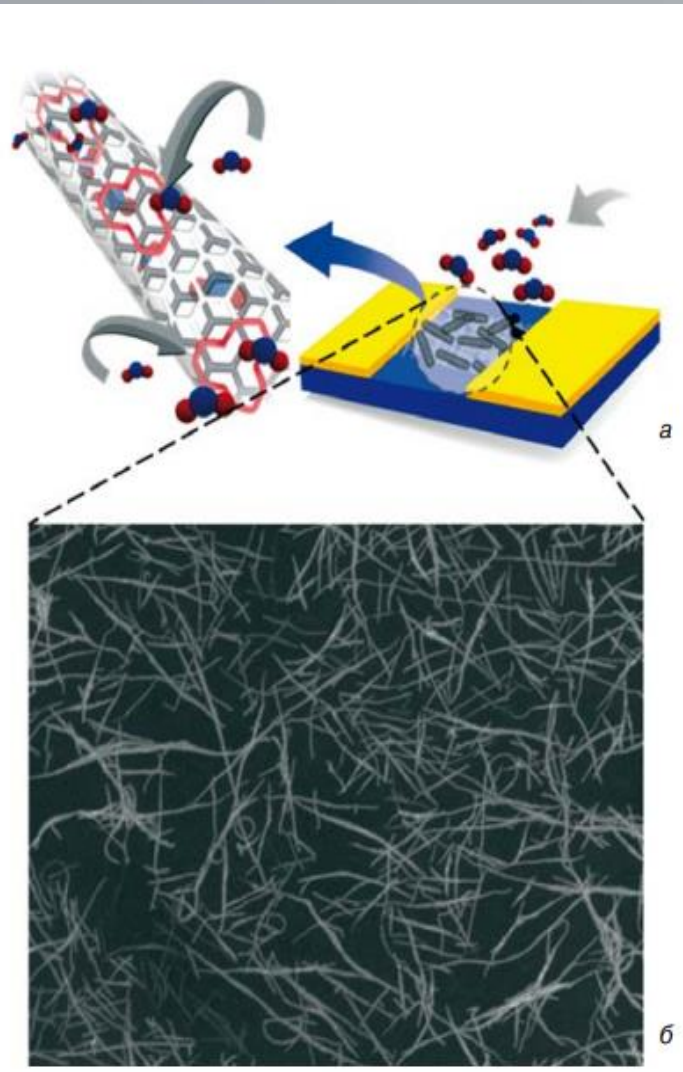
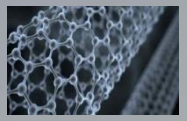


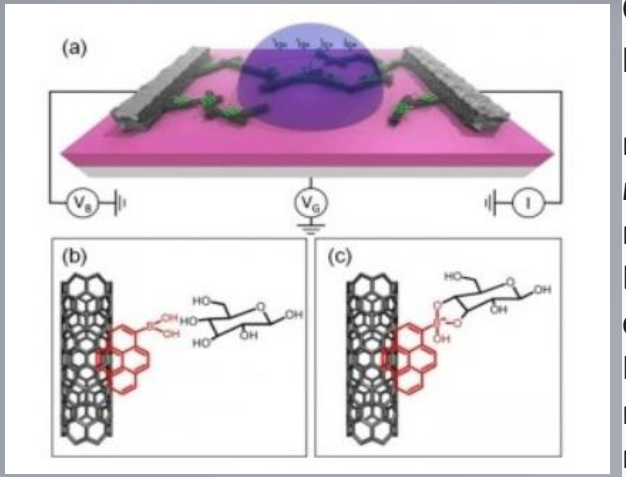
Рис. 3. Модель сенсора на основі ОВНТ, функционализированих дефектами

Датчик на основі одношарових ВНТ, що містять вакансійні дефекти поверхні, які утворилися в результаті дії високих температур в діапазоні 300-800 ° С. Вимірювання активності таких сенсорів щодо NO2, NH3 і H2 показали більш високу чутливість датчиків з дефектами в порівнянні з бездефектними при кімнатній температурі.

Отже, датчики сорбційної типу на основі УНТ мають високу чутливість, але при цьому мають ряд недоліків: - відсутність здатності ідентифікації газів з низькими адсорбційними енергіями; - відсутність селективності; - висока чутливість нанотрубок до змін зовнішніх умов (вологості, температури, швидкості газового потоку); - тривалий час спрацьовування (від десятків секунд до декількох хвилин); - тривалий час регенерації чутливого елемента (від одиниць хвилин до декількох годин); - можливі незворотні зміни провідності ВНТ при хемосорбції.



Транзистори на основі нанотрубок дозволяють створити відмінні датчики



Свою роботу вони почали з виготовлення тисяч пар металевих електродів, розташованих на відстані 10 мкм на поверхні кремнієвої пластини.

Далі на цю підкладку з комерційно-доступного розчину осаджувалися напівпровідникові вуглецеві нанотрубки, що призвело до ліквідації розривів між електродами шляхом створення тисяч майже ідентичних, але незалежних один від одного електронних схем.

Щоб зробити ці електронні схеми чутливими до глюкози, нанотрубки оброблялися складом, відомим як пірен борної кислоти.

Молекули цього складу прикріплялися до бічних стінок нанотрубки одним кінцем, маючи можливість утворювати ковалентний зв'язок з молекулами глюкози з іншого кінця.

На основі транзисторів з вуглецевих нанотрубок група вчених із США створила дуже чутливий електронний датчик, здатний виявити гранично низькі концентрації глюкози. Оскільки пристрій цілком може виявити глюкозу в людській слині, на думку дослідників, такі датчики можуть стати реальною альтернативою звичайним глюкометри, які працюють на основі зразка крові. Коли створена структура поміщається в розчин, що містить глюкозу, її молекули дифундують до датчика і утворюють пару ковалентних зв'язків з піреном борної кислоти. За рахунок явища, відомого, як розсіювання носіїв (електронів і дірок провідності), створене з'єднання перешкоджає проходженню вільних носіїв заряду через вуглецеву нанотрубку. В результаті опір ланцюга збільшується, а значить, зменшується повний струм, що проходить через пристрій. Оскільки датчик складається з тисяч однакових ланцюгів, падіння струму залежить від концентрації молекул глюкози в розчині. Чим вона вища, тим більше ланцюгів припиняють проводити електричний струм. Таким чином, по падінню струму можна зробити однозначні висновки про концентрацію молекул глюкози в розчині.

Дякую за увагу!