

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду**



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 502/2012

Наталија З. Марјановић

НАНОМАТЕРИЈАЛИ У ВОЈНОЈ ИНДУСТРИЈИ

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Нада Ратковић, доцент – ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да представи и опише наноматеријале. Будући да је реч о напредним материјалима кандидат треба да кроз приказ и анализу општег карактера, покаже структуру, врсте, основне карактеристике и поступке добијања наноматеријала. Исто тако, треба да наведе и опише примену наноматеријала у војној индустрији, као и у другим областима технике и индустрије уопште.

Препоручена литература:

- [1] М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, Крагујевац 2003
- [2] Томислав Филетин: Примена наноматеријала у техници, Загреб 2003

Крагујевац, октобар 2017.

Ментор:
др. Нада Ратковић, доцент

РЕЗИМЕ

У раду су описани наноматеријали, њихова својства, као и области у којима се примењују. Такође су описане и нанотехнологије у војној индустрији као најсавременије.

Кључне речи: Наноматеријали, нанокристали, нанокластери, фулерени, наноботи, нанокоптери, нано војна технологија.

SUMMARY

In this paper I described nano-materials, their characteristics and sphere of usage this materials. Also it described nano-technologies in military industries as high technology.

Key words: Nano-materials, nano-crystals, nano-clusters, fullerenes, nano-bots, nano-copters, nano-military technology.

Садржај

1. Увод	6
2. Развој наноматеријала кроз историју	7
3. Кристалне структуре наноматеријала	8
3.1 Нанокристални и наноаморфни материјали	8
3.2 Наночестице и нанокластери	11
4. Методе производње наноматеријала	13
4.1 Механичко млевење	13
4.2 Синтеза из парне фазе	14
4.3 Синтеза из течне фазе	15
4.3.1 Сол-гел процес	15
4.4 Методе формирања <i>in situ</i>	17
4.5 Распршење плазмом	18
4.6 Ласерска аблација	18
4.7 Екстремна пластична деформација	19
5. Класификација наноматеријала	20
5.1 Класификација на основу величине и морфологије	20
5.3 Класификација на основу хемијског састава	24
5.4 Угљенични наноматеријали	24
5.4.1 Дијамант	25
5.4.2 Графит	26
5.4.3 Фулерен	27
6. Својства наноматеријала	29
6.1 Механичка својства	29
6.2 Структурна својства	30
6.2.1 Полиаморфизам	30
6.2.2 Параметри јединичне ћелије нанокристала и кластера	31
6.2.3 Квантне тачке	32
6.2.4 Наночестичне суперрешетке	33
6.2.5 Температура топљења нанокристалних честица	34
6.3 Електрична својства	35
6.4 Оптичка својства	35
6.5 Магнетна својства	36
7. Примена наноматеријала	36
7.1 Примена наноматеријала у војној индустрији	37
7.1.1 Нано војна технологија и невидљива оружја	37
7.1.2 Наноматеријали као замена за класичне материјале у војној индустрији ...	39
7.1.3 Нанокоптери	39
7.1.4 Микроскопске сонде-убице	40
7.1.5 Наноботи	41
7.1.6 Одела за борбене услове	42

8. Примена наноматеријала у осталим гранама индустрије	43
8.1 Примена у аутоиндустрији	43
8.2 Примена наноматеријала у медицини	44
8.3 Примена у електроници	46
8.3.1 Први транзистор без p-n споја	46
8.3.1.1 Наножице за транзисторе са кратким спојем	47
8.3.1.2 Најмањи транзистор на свету са наноцевчицом	48
8.4 Примена у козметици	48
8.5 Примена у механици	49
8.5.1 Аерогелови	49
8.6 Елиминација загађивача	52
9. Нанотехнологија са економског аспекта у војној индустрији	52
Закључак	54
Литература	55

1. Увод

Од давнина се радило на развоју материјала, унапређењу њихових својстава, у циљу омогућавања примене у различитим делатностима. То је довело да се при избору материјала, као и његове примене у различитим делатностима, посматрају његова својства са физичког, хемијског и механичког аспекта. Материјали се према томе разликују по физичким, хемијским и механичким својствима. Већина материјала које користимо у свакодневном животу у истраживању или пракси, показују одређена одступања од идеалног распореда атома. Савремене технологије зависе од развоја материјала, без обзира да ли је реч о конструкционим материјалима или било којим другим. Сви материјали имају одређену унутрашњу структуру која је дефинисана кристалном решетком односно распоредом честица унутар решетке или аморфним честицама које садрже велики број атома. Стандардни материјали садрже честице различитих димензија, сходно томе унутар материјала јављају се дефекти као што су дислокације или тачкасти дефекти. Тако да је потребно истражити структуру у различитим нивоима од нано честице до макроскопске, како би се предвидело понашање материјала у одређеним условима. Годинама се радило на проучавању структуре кристалних решетки поједних врста материјала, могућности комбиновања и унапређења њихових састава. Тако су откривени наноматеријали.

Наноструктурни или нанофазни материјали се односе на оне материјале чије су димензије фаза (зрна структуре, честица или произведених слојева) реда величина од 1 до 100 нанометара. Ако се узме у обзир да је просечна величина полупречника атома око 0,2 нанометара, онда би нанометарско зрно требало да садржи око 125 атома. Због своје мале величине утицај површине је доминантан над утицајем запремине због чега овакви материјали имају велику површинску енергију што има велики утицај на физичка својства материјала. Наноматеријали могу бити једнокомпонентни или вишекомпонентни материјали код којих је барем једна димензија компоненте у распону од 0,1 до 100 нанометара.

Наноматеријали показују добра физичка и механичка својства, побољшана механичка својстава, већу отпорност и топлотни капацитет у односу на класичне материјале. Разлика између основних материјала и наноматеријала је у томе што наноматеријали на малој површини имају велики број атома.

2. Развој наноматеријала кроз историју

У савременим истраживањима све чешће се примењује префикс “нано”, од наноматеријала, нанотехнологије, наносистема и наномедицине. Реч нано је грчког порекла и значи „патуљак,, и означава нешто што на нивоу величина иде ка све мањем и мањем. Наноматеријали се састоје од наночестица, које представљају милијардити део једне целине. Сходно томе да материјали нанометарске величине показују изузетна физичка својства несвесно су се прво користили у Египту и то за бојење стакла помоћу колоидних наночестица. Римљани су пре више од 2000 година открили да се приликом додавања честица злата стаклу постиже тамно црвена боја уколико се стакло добро термички обради. Након топљења и хлађења на собној температури, злато даје бледо жуту боју стаклу. Слични ефекти се могу постићи помоћу бакра и селена. До овакве појаве долази због стварања честица металних кристала нановеличине.

Наночестице и нанопрахови који се могу произвести у облику колоида односно суспензије, сол-гелова и аерогелова омогућују развој низа нових производа. Ситне честице имају много већу активну површину у односу на њихов обим или масу, што повећава хемијску активност.

Једно од новијих истраживања материјала је математичко моделирање појава на атомском и молекуларном нивоу као и повезивање структуре и жељених својстава. Већ су остварени први производи интеграцијом моделирања према теорији "end-to-end" односно од краја до краја.

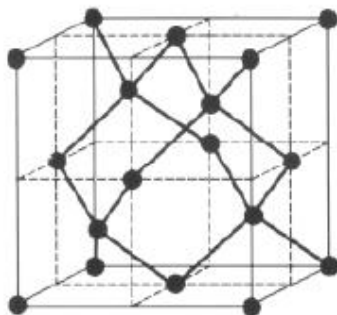
Уколико кренемо од података када се први пут почело помињати нешто тако мало онда се Демокрит сматра праоцем наноматеријала, он је први почео користити реч атом, као нешто што представља најмањи делић неке материје. Ирски хемичар Robert Boyle је 1661. године закључио да се скоро све материје састоје од малих честица које које као целина у различитим комбинацијама представљају све материјале који су откривени. Прва знанствена опажања малих честица могу се приписати шкотском ботаничару Brownu који је 1827. године разматрао кретање честица. Амерички проналазач Eastman је 1884. године развио први рол филм за камеру где је најважнији део био фотоосетљив слој AgBr (сребро-бромид) наночестица на филму. Важна прекретница за будућа истраживања наноматеријала је био развој електронског микроскопа. Година почетка примене наноматеријала сматра се 1981. Када је H. Gleiter на "Second Riso International Symposium on Metallurgy and Materials Science" у Роксиделу у Данској први конкретно поменуо важност једнофазних и вишефазних поликристала са величином кристалита од 1 до 10 nm. Глитер је имао методу добијања наноматеријала која је била једноставна, односно он је убацивањем материје кроз уску сапуницу у изоловани цилиндар добијао честице помћу којих је израђивао таблете (наноматеријале) који су се могли користити за разна мерења, првенствено механичка. Након 1981. године почели су се користити термини нанокристални материјали, односно наноматеријали.

3. Кристалне структуре наноматеријала

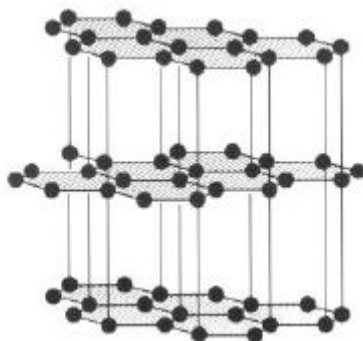
3.1 Нанокристални и наноаморфни материјали

Нанокристалима сматрамо поликристале у којима се величина кристалита смањује на вредности испод 250 нанометара. Неке материјале можемо сврстати у наноматеријале уколико се релативне димензије материјала или бар једна димензија разликује од оног материјала који има макроскопске димензије. Физичко-хемијска својства поликристала неког материјала су сличне, без обзира на величину кристалних зрна, све док се димензије не смање на нанометарске, тада се физичка својства материјала знатно мењају. Физичка својства материјала зависе од координационог броја као и од густине, најближих суседних атома, односно међуатомских сила које су кратког домета, сходно томе интеракција између најближих атома је један од битних фактора. Код наноматеријала се јавља веома велики број атома.

Један од карактеристичнијих примера нанокристала је угљеник. Наноматеријали се темеље на угљенику. Угљеник после водоника броји највише једињења него сви остали елементи када се споје. Разлог је то што се атоми угљеника у једињењима могу међусобно повезати једноструком, двоструком и троструком ковалентном везом на разне начине у прстенове или ланце. Када се угљеник модификује у дијамант постаје један од најтврђих материјала, на слици 1.1 је дат пример кристалне решетке угљеника у модификацији дијаманта, а на слици 1.2 је дат пример кристалне решетке угљеника у модификацији графита. Када се угљеник модификује у графит добија се веома мекан материјал [3].

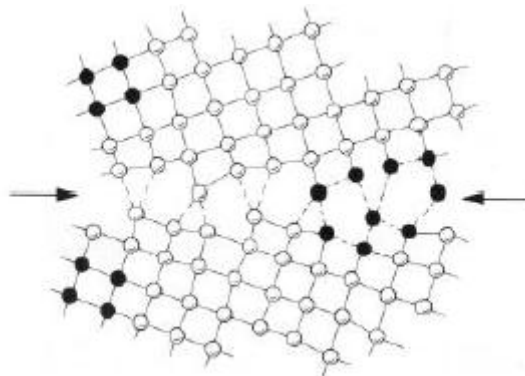


Слика 1.1 Угљеник у модификацији дијаманта [6].



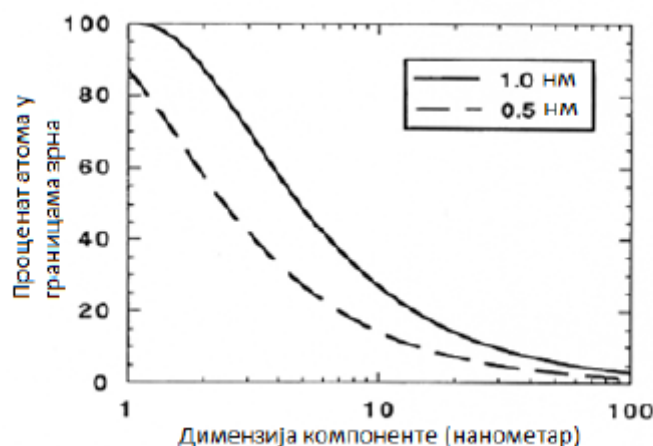
Слика 1.2 Угљеник у модификацији графита [7].

Када су у питању нанокристали код њих се појављују атоми који представљају гранична подручја између појединих кристалита. На слици 1.3 је приказан шематски изглед међукристалног подручја који се назива и интергрануларни простор који се налази између кристалних зрна кубне структуре. На слици су представљени атоми који су обојени тамном бојом односно пуни кружићи, они служе за уочавање разлике у слагању атома у кубној решетки и у граничном подручју.



Слика 1.3 Шематски приказ међукристалног подручја између појединих кристалита [3]

Унутар границе постоје разлике тако да се не може поистоветити са елементарном ћелијом, такође се у међуграничном подручју координациони број и густина битно разликују од кристалне матрице. На основу тога се често каже да се структура граничних подручја разликује од кристалне и аморфне, чинећи треће стање структуре материјала. Ако предпоставимо да је ширина границе 1 нанометар а просечан пречник кристалног зрна 5 нанометра имамо око 50% атома у границама, зависност величине кристалита и димензије компоненти је дата на слици 1.4.



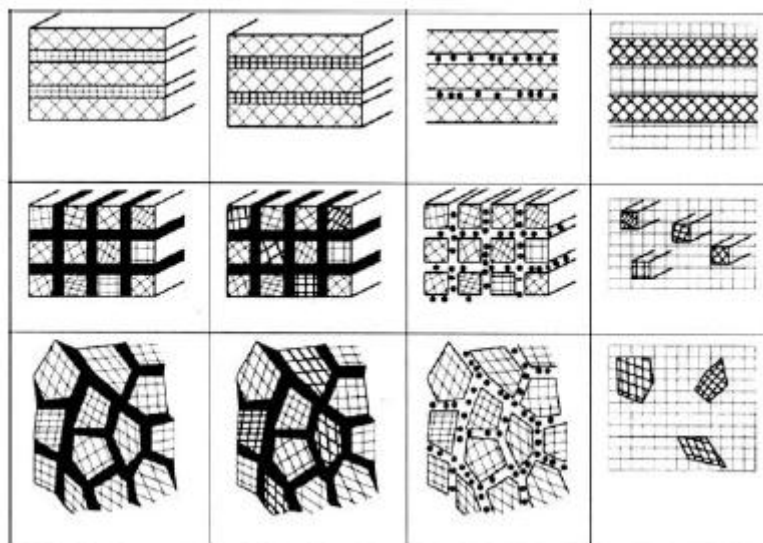
Слика 1.4 Приказ пропорционалности величине кристалита и димензија компоненти [3].

Н. Gleiter је 2000 године предложио да се наноматеријали разврстају према облику, саставу и расподели нанокристалне компоненте у 12 група. Подела је направљена на основу три облика и то су:

- Слојеви.

- Штапићи.
- Једнолика односно еквиаксијална зрна.

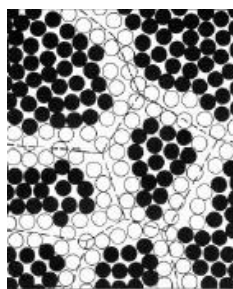
Као и четири врсте по хемијском саставу. Подела је приказана на слици 1.5.



Слика 1.5 Расподела наноматеријала у 12 група [3].

У првој колони су приказани кристалити и границе које имају исти хемијски састав. У другој колони су кристалити различитог хемијског састава. У трећој колони се хемијски састав кристалита и граница разликује, док у четвртој колони имамо нанокристалите који су различитих облика који су распршени у матрици различитог хемијског састава. Дакле, материјале у првој колони називамо једнофазним нанокристалима, док су материјали у другим колонама вишекомпонентни материјали. На слици је приказан нанокомпонентни материјал, односно на слици имамо пет хемијски различитих нанокристалита. Кристалити истог хемијског састава имају различиту кристалну оријентацију што је карактеристично за поликристалне материјале. Када је реч о вишефазним материјалима може се десити да дође до мешања атома у интергрануларном порстору и на границама зрна. На сликама су приказани вишефазни нанокристали са хемијским саставом граница који је другачији од састава самих кристала и неуређену вишеслојну границу која има другачији хемијски састав од матрице.

За нанокристале и наностакла можемо корситити синонине наноматеријали и наноструктуре. На слици 1.6 је дат један пример аморфне матрице.



Слика 1.6 Пример аморфне/наноаморфне матрице [3].

3.2 Наночестице и нанокластери

Наноматеријали као што је већ речено садрже наночестице којима бар једна димензија мора бити у наноподручју односно пречник им је мањи од 100 нанометара. Наночестице се називају суперфиним честицама чија је величина од једног нанометара до сто микрона, односно смањене честице неког елемента које задржавају својства неког елемента и попримиле су још нека посебна својства. Приликом додавања таквих елемената побољшава се чврстоћа, тврдоћа као и друга механичка својства. Наночестице садрже до 10^8 атома или молекула и смањењем димензија честица престаје бити наночестица и добија назив нанокластер или само кластер. Код нанокластера се кристална структура разликује од структуре масивног узорка. Кластер може бити сложенији од индивидуалних атома или индивидуалних наночестица. Како би ове појаве боље разумели узимамо почетни атом или наночестицу и почнемо слагати структуру у облику љуски односно слојеве, али тако да буду што гушће сложени. Први слој око централног атома ће у том случају имати 12 атома, дакле имамо кластер од 13 атома или 13 наночестица. Слагање је могуће вршити до великог броја атома али скуп од, рецимо 10^8 вероватно би било тешко назвати кластером. На слици 2.1 је приказан укупан број атома кластера.

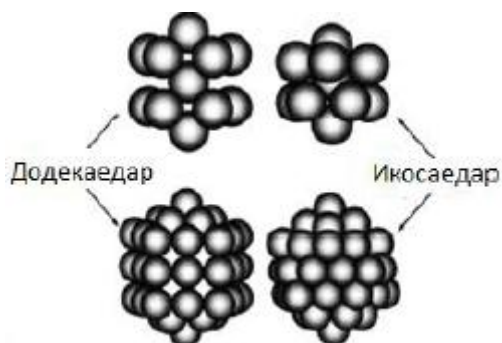
		Укупан број атома	Површински атоми у процентима
Једна љуска		13	92
Две љуске		55	76
Три љуске		147	63
Четири љуске		309	52
Пет љуски		561	45
Шест љуски		923	39
Седм љуски		1415	35

Слика 2.1 Укупан број атома нанокластера [3].

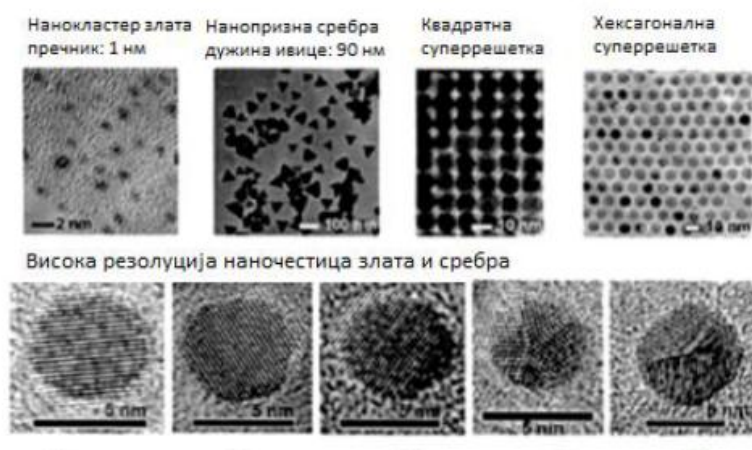
На слици се уочава да кристална наночестица може бити један кристалит, а може и да садржи више кристалита.

Слагање слојева или љуски се може појавити у две модификације у случају 55 атома зове се додекаедар или икосаедар приказани су на слици 2.2. Да кластери могу имати различиту структуру него наночестице показано је на примеру злата где су кластери величине 3 до 5 нанометара и имају икосаедарску структуру. Разлика између наночестица и нанокластера је у величини. Величина кристалита је већа од 2 нанометра док се кластери мањи од 1 нанометра. Нанокластери и нанокристали су приказани на сликама 2.3 и 2.4. Изглед кластера је дат на слици 2.4. Постоје намерно направљене

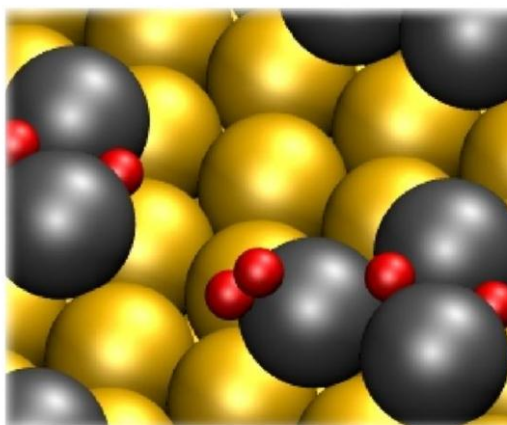
наночестице и случајно направљене наночестице. Намерно направљене наночестице су фулерени, наноцевчице, квантне тачке.



Слика 2.2 Приказ додекаедра и икосаедар [3].



Слика 2.3 Приказ кристалних наночестица [3].



Слика 2.4 Нанокластер [16].

4. Методе производње наноматеријала

Производња наноматеријала се може поделити у две групе. Прва група обухвата производњу наноматеријала "атом по атом" или "слој по слој" а друга група обухвата ломљења микроструктуре у наноструктуру.

У прву групу спадају:

- Електродепозиција,
- магнетронско распршивање,
- кондезација инертним гасом.

У другу групу спадају:

- Механичко млевење,
- кристализација из аморфне фазе,
- интензивна пластична деформација масивних узорака,
- посебне хемијске методе.

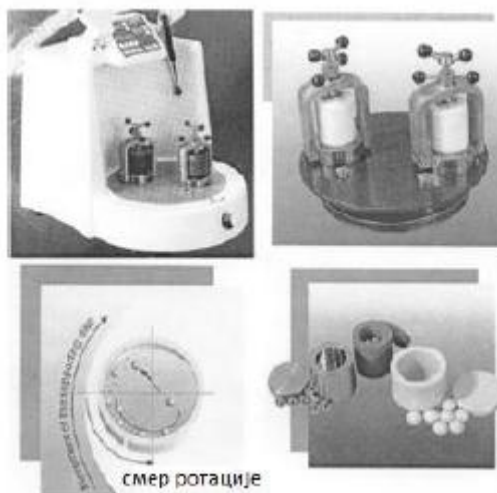
Методе које су најстарије и које се најчешће користе су кондезација инертним гасом и механичко млевење. У почетку примене уочени су недостаци појединих метода. Узорци који су дибијени кондезацијом инертног гаса били су порозни и количине које су се добијале су биле веома мале с обзиром да је опрема веома скупа. Узорци произведени методом механичког млевења су садржали велике количине нечистоћа услед хабања куглица и посуда за млевење. Ове методе се идаље користе упркос својим недостацима који ни данас нису уклоњени, али се ипак тежи на проналажењу других метода које не би имале наведене недостатке. Пажња се усмерава на две методе и то су електродепозиције и интензивне пластичне деформације. Једина метода којом се могу добити велики узорци је метода интензивне пластичне деформације, али овом методом се могу производити кристали испод 100 нанометара, а нема велику употребу у научне сврхе, зато што је опрема веома скупа и распоред кристалита је нехомоген.

С тога се сматра механичко млевење још увек најбољом методом за производњу наноматеријала.

4.1 Механичко млевење

Једна од метода за добијање наноматеријала је метода која се заснива на принципу рада кугличног млина. Куглични млин је релативно малих димензија, јефтин је и једноставан за употребу. Benjamin је седамдесетих година прошлог века применио методу дробљења кугличним млином за ситњење кристалних зрна. Међутим овај механички поступак није привукао пажњу све до 1981. године. Две године након тога, Schwarz и Koch су уочили Benjaminove идеје и данас се ова метода назива механичко дробљење. После 1983. године овај поступак је брзо задобио место у лабораторијама широм света, тако да се данас разликују механичко дробљење од механичког легирања где се у куглични млин стављају елементарне компоненте. Код механичког дробљења се у млин стављају унапред одређени материјали који су припремљени неком другом

методом. Обе методе се могу назвати механичко млевење. Процес млевења се одвија на собној температури, један од уређаја је приказан на слици 3.1. Недостатак овог процеса је велика загађеност материје која се меље. Предност је то што се млевење може зауставити у сваком тренутку како би се извадила одређена количина материјала за структурна и друга испитивања. Затим се млевење наставља до следећег заустављања. Приликом млевења одиграва се низ процеса на макроскопском, микроскопском и атомском нивоу. Постоје различите врсте млинова и то су вибрациони, планетарни и хоризонтални кугличлни млинови [3].



Слика 3.1 Уређај за млевење

4.2 Синтеза из парне фазе

Методе синтезе из гасне фазе се могу поделити на:

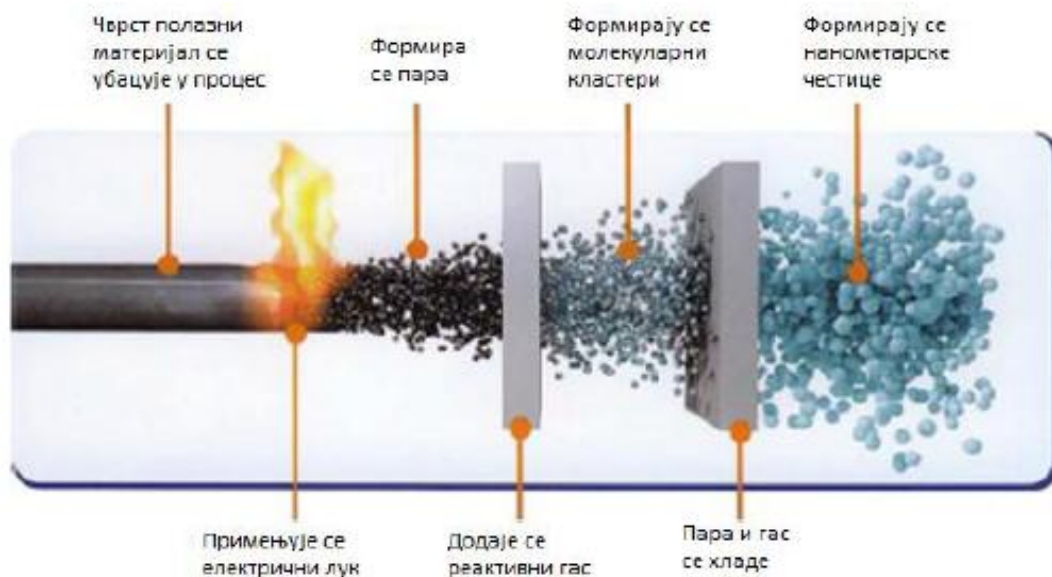
- Методу која укључује испаравање и кондезацију,
- методу код које је синтеза праћена хемијским реакцијама у гасној фази.

Метод који укључује испаравање и кондезацију је метод код ког се превођење полазног материјала у гасну фазу испарењем и то без укључивања хемијских реакција. Након испарења следи кондезација, при којој се стварају честице које се након тога издвајају из гасне фазе применом уређаја за сепарацију.

Метод код којег је синтеза праћена хемијским реакцијама. У гасној фази прахови се синтетишу хемијским реакцијама између полазног материјала и одговарајућих компоненти у гасној фази. Ове технике су развијене из метода наношења превлака и филмова. Подешавањем услова синтезе тако да спречи раст филма и повећа брзину хомогеног раста честица могу се добити веома чисте наночестице.

За синтезу из парне фазе могу се користити различити извори енергије за активирање самог процеса односно превођење у гасно стање као што су ласери, микрокристали, плазма, електронски сноп или сагоревање у пламену. Овим методама се добијају веома fine, оксидне и неоксидне честице велике хомогености и чистоће као и могућност минимализовања контаминације саме површине честице, што је најчешћи

проблем који се јавља код синтезе у течной фази. На слици 3.2 је приказан шематски приказ процеса добијања наноматеријала из парне фазе.



Слика 3.2 Процес добијања наноматеријала из парне фазе

4.3 Синтеза из течне фазе

Синтеза из течне фазе обухвата хидротермалне методе, сол-гел методе и друге. У основи ових метода је мешање раствора различитих јона у тачно дефинисаним односима под одређеном температуром и притиском. Размена топлоте се подстиче формирањем нерастворљивих комплекса који су добијени таложењем из раствора. Након тога се материјал сакупља филтрирањем или сушењем чиме се добија прах. Предности ових процеса је у томе што се оваквим путем могу добити велике количине неорганских и органских материјала уз коришћење релативно приступачне опреме. Такође је важан фактор могућност прецизног контролисања расподеле величине честица.

4.3.1 Сол-гел процес

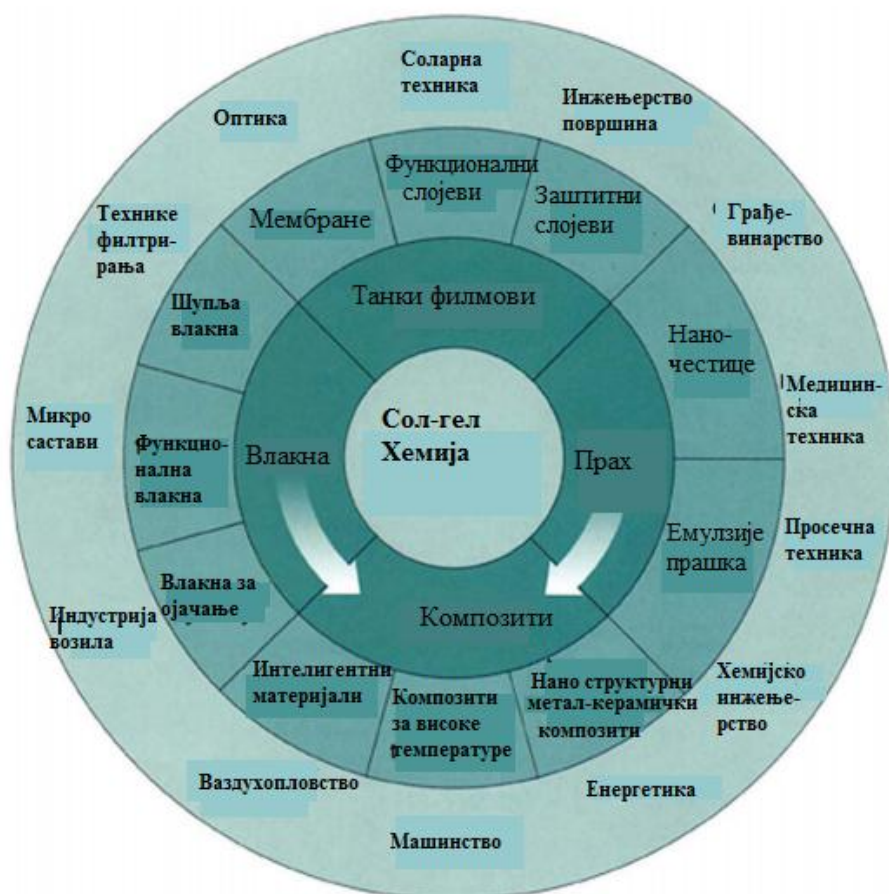
Сол-гел је процес који омогућује стварање органско-неорганских хибрида у облику прахова, мембрана, слојева, влакана, композитних структура и других облика материјала за различита подручја даље примене. Иако је откривен крајем 19. века, али је великим делом истражен тридесетих година 20. века, нови интерес за овим поступком почиње седамдесетих година прошлог века када су формирани монолитни неоргански гелови на ниским температурама. У току овог процеса могу се произвести хомогени неоргански метални оксиди тражених својстава тврдоће, оптичке прозирности, хемијске отпорности, итд.

Сол-гел поступак укључује настајање неорганских мрежа преко гелирања сола до формирања мреже у течной фази (гел). Гел представља колоидну суспензију при којој настаје желатинаст материјал ког одликује велика кртост. Полазни материјал за

синтезу тог колоида састоји се од атома метала окружених различитим реактивним атомима који су везани за централни атом [2]. На слици 3.3 су приказане могућности примене сол-гел поступка.

За описивање функционалности сол-гел поступка важне су три реакције и то су:

- Хидролиза,
- кондезација алкохола,
- кондезација воде.



Слика 3.3 Могућности примене сол-гел поступка [2].

Поступак осигурава многе могућности за индустријску примену као једна од метода за формирање превлака на различитим материјалима подлоге. Овај поступак прилагођен припреми танких оксидних превлака има многе предности:

- висока хомогеност превлаке,
- ниска температура поступка,
- висока флексибилност,
- лака изводљивост,
- није потребна употреба вакуума,
- ниска цена,
- добијање једнолике дебљине превлака,

- добијање врло глатких превлака.

Сол-гел поступци техником ваљања, притискања и хемијског превлачења имају примену у индустрији стакла. Једна од најстаријих и најраспрострањенијих примена сол-гел процеса је наношење антирефлексних слојева на стакла наочара [2].

Постоји неколико техника превлачења сол-гел поступком:

- урањање,
- ротирање,
- капиларно превлачење,
- ваљање,
- хемијско превлачење.

4.4 Методе формирања *in situ*

Методе формирања *in situ*, односно на лицу места укључује процесе литографије, вакуумског таложења и технологију спојених премаза. Ове методе су погодне за добијање електронских компоненти. Не користе се за добијање прахова услед мале ефикасности. Намене су за добијање наноструктурних слојева и премаза, а могу се користити и за производњу наноматеријала скидањем ових наночестица са колектора [2].

4.5 Распршење плазмом

Ова метода се заснива на гасној варијацији кондензације изузимајући чињеницу да изворни материјал циљ распршења које користи различите гасове и састојке. Они су праћени нагомилавањем како би се произвео наноматеријал. Директна струја и радио фреквенција се користе за синтезу наночестица. Поновним распршивањем долази до прављења легура и/или оксида, карбида, нитрида материјала. Овај метод је погодан за припрему ултрачистих и ненагомиланих наночестица метала. На слици 3.4 приказан је распршивач.



Слика 3.4 Уређај за распршивање методом плазме [2].

4.6. Ласерска аблација

Ова метода се најчешће користи за припрему наночестица и честица филмова. Ласерски сноп се користи као примарни извор аблације за стварање кластера директно из чврстог узорка. Овај метод је веома ефикасан алат за производњу керамичких честица и премаза, таквим га чине мале димензије честица и могућност формирања густих филмова. На слици 3.5 је приказано на ком принципу се одиграва ласерска аблација. Ласерски распршивач може се користити за производњу филмова и порозност може бити измењена.

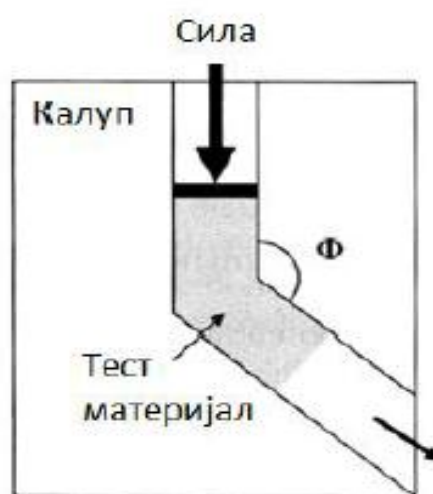


Слика 3.5 Ласерска аблација [2].

4.7 Екстремна пластична деформација

Екстремна пластична деформација се односи на деформацију масивних узорака чији кристали се током овог процеса смањују на нано димензије. Постоје два поступка у оквиру ове методе и то су:

- Где се узорак у облику диска потискује више пута кроз цев помоћу хидростатичког потискивања. На тај начин кристали се могу смањити до 50 нанометара.
- Где се узорак клипом притиска под великим притиском, уз истовремено ротирање клипа тако да се узорак деформише смицањем. Оваквим поступком се може произвести материјал са нанокристалима величине 10 нанометара. Функционисање овог процеса приказано је на слици 3.6.



Слика 3.6 Потискивање хидростатичким притиском

5. Класификација наноматеријала

Једна од основних класификација наноматеријала је на основу величине и морфологије, порекла као и хемијског састава.

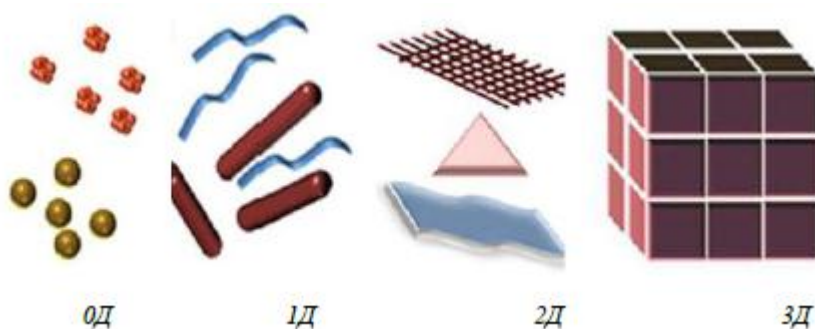
Могуће је класификовати наноматеријале према:

- морфологији и величини,
- према пореклу,
- према хемијском саставу.

5.1 Класификација на основу величине и морфологије

Класификацију наноматеријала на основу величине су први предложили Pokropivny и Skorokhod. На слици 4.1 је приказана класификација наноматеријала према величини и морфологији. Како је величина ових материјала јако битна што показује сам назив нано, наноматеријале можемо сврстати у четири групе и то су:

- нултодимензионални (0Д) ,
- једнодимензионални (1Д) ,
- дводимензионални (2Д) ,
- тродимензионални (3Д) .



Слика 4.1 Класификација наноматеријала према величини [18].

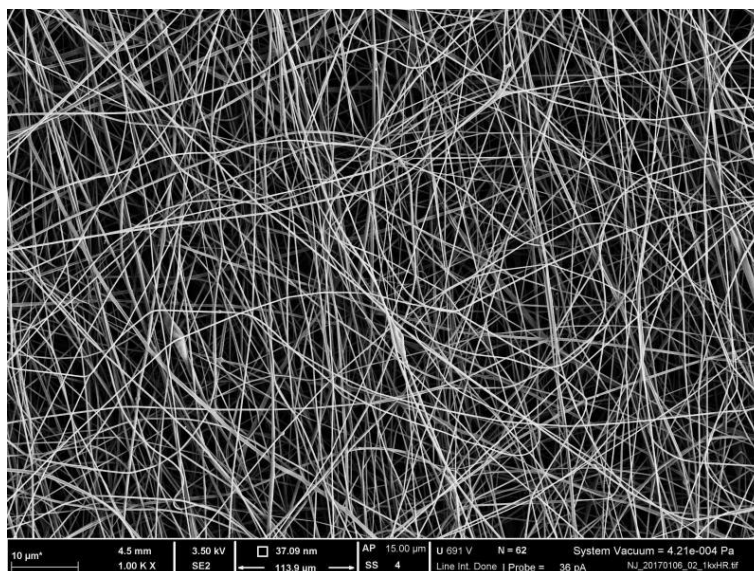
Нултодимензионале наноструктуре представљају све димензије мање од 100 нанометара, једнодимензионалне наноструктуре су оне које имају бар једну димензију већу од 100 нанометара. Постоје различити морфолошки облици једнодимензионалних наноструктура од којих су најчешће проучавани:

- нановлакна (nanofibers),
- наножице (nanowires),
- нанотраке (nanobelts),
- нанопрстенови (nanorings),
- наношипке (nanorods) и

- наноцеви (nanotubes)

- **Нановлакна**

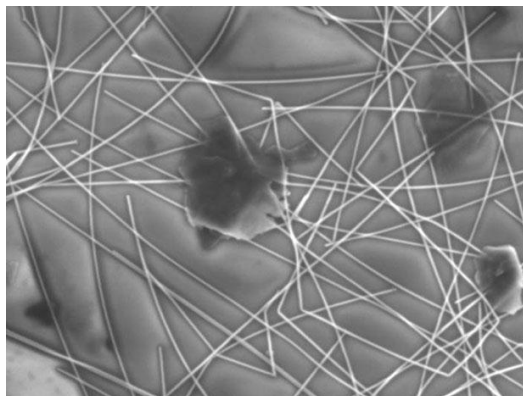
Нановлакна су цилиндричне, једнодимензионалне наноструктуре пречника до 100 нанометара и дужине од неколико микрометара до једног милиметра. Основну структурну јединицу чине графитна плоча која се састори од sp^2 хибризованих угљеникових атома који су међусобно повезани у шестоугаоник. На слици 4.2 су приказана нановлакна.



Слика 4.2 Нановлакна [8].

- **Наножице**

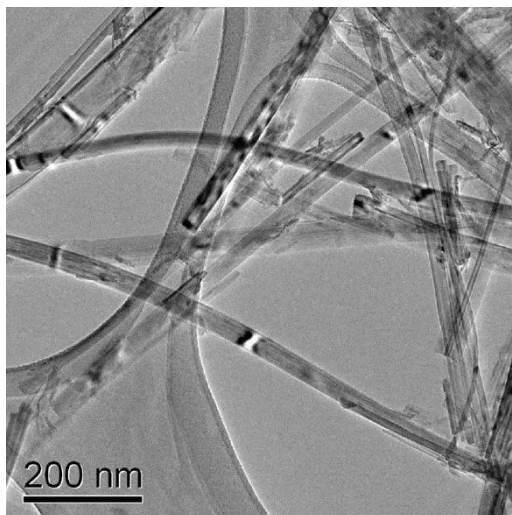
Наножице су по облику исте као и нановлакна, али се разликују по односу димензија дужина-пречник, то су кристалне структуре проводничких и полупроводничких електричних својстава и састоје се од органских и неорганских молекула који се понављају у низу. На слици 4.3 приказан је увећан изглед наножице.



Слика 4.3 Наножице [9].

- **Нанотраке**

Нанотраке су дводимензионалне структуре у облику трака. Спонтаним увијањем нанотрака настају нанопрстени који налазе велику примену као сензори и поседују пиезоелектрични ефекат. На слици 4.4 су приказане нанотраке.



Слика 4.4 Нанотраке [10].

- **Наношипке**

Наношипке се разликују од предходно споменутих по несавитљивим спољашњим зидовима и представљају морфолошки облик структуре на наноскали. Све димензије наношипки се крећу у интервалу од једног до сто нанометара, тачније однос дужина/пречник износи 3-5. Синтерују се од метала или полупроводничког материјала и њихова употреба је нађена на пољу ласера и микромеханичких прекидача.

- **Наноцеви**

Наноцеви представљају шупље цилиндричне једнодимензионалне наноструктуре. Прво су синтетисане угљеничне наноцеви, а затим и халогенидне, а последњих неколико година добијене су и од керамичких материјала. Наноцеви поседују велики спектар примене у разним областима науке као и инжењерства. Они су идеални носачи за имобилизацију бимолекула као што су протеини, антигени, витамини, хромни, антибиотици и друго. Идеални су носачи зато што поседују велику механичку чврстоћу, одличну термичку и електричну проводљивост као и велики однос површине према запремини и минимална дифузиона ограничења. Наноцеви су нашле примену у авио, текстилној, електротнској али и у многим другим индустријама. На слици 4.5 је приказана наноцев.

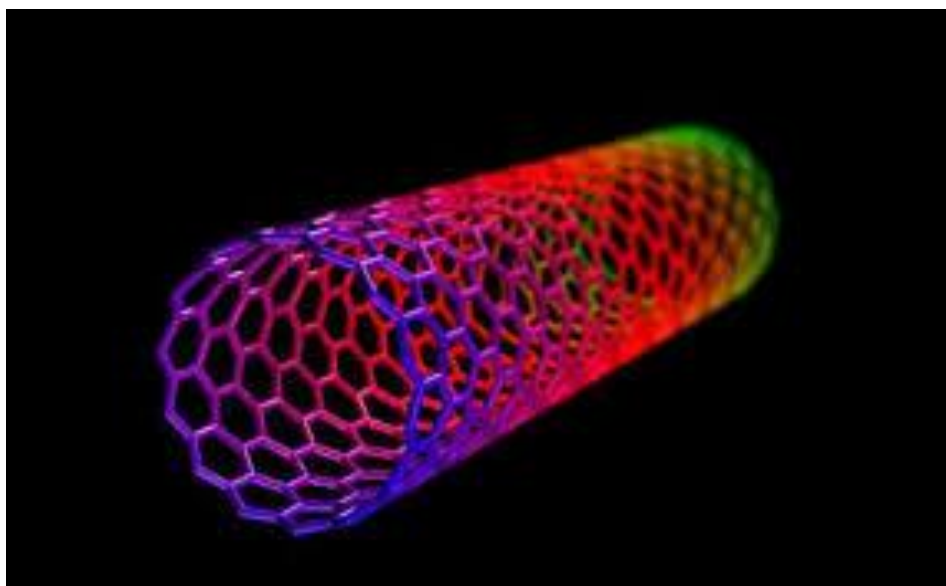
Наноцеви се деле на:

- једнослојне угљеничне наноцеви,
- двослојне угљеничне наноцеви,
- вишеслојне угљеничне наноцеви.

Могу се добити следећим техникама:

- електричним пражњењем,
- хемијском депозицијом из парне фазе,
- ласерском аблацијом.

У природне наноматеријале можемо сврстати фулерен, чај, макромолекулске колоиде, органске материје. Њихово природно порекло може бити од комета и астероида који су из космоса стигли на повешину земље, а могу се и формирати из полицикличних ароматичних угљоводоника из алги у току метаморфозе на температурама између 300 и 500 °C у присуству елементарног сумпора или током природних процеса сагоревања. Наноматеријали антропогеног порекла могу да се формирају случајно током разних активности (производња хране, електричне енергије, дизел горива) или могу бити произведени за различите намене. Пример који карактеришу ову групу наноматеријала су нефункционализоване и функционализоване наноцеви (carbon nanotubes, CNT), метали и метални оксиди (на пример, елементарно сребро, титанијум-диоксид). Истраживање и примена неорганских наночестица се тек очекује у будућности. Повећана потрошња биомасе и фосилних горива, у последњих неколико година, драстично је повећала унос угљеника у животну средину.



Слика 4.5 Наноцев [10].

5.3 Класификација на основу хемијског састава

На основу хемијског састава наноматеријале можемо поделити на органске и неорганске. У органске спадају материјали који садрже угљеник. Један од најзначајних је нано дијамант фулерен C60, угљеничне наноцеви и нановлакна. Угљенични наноматеријали могу бити у облику шупље сфере, елипсоида или цеви. Сферни и елипсоидни се називају фулерени. Неоргански наноматеријали су честице базиране на металним оксидима као што су цинк-оксид, гвожђе-оксид, титанијум-диоксид и метали као што су злато, сребро, гвожђе и кобалт. У табели 1 су приказани примери примене органских и неорганских наноматеријала.

Табела 1 Приказ примера примене органских и неорганских наноматеријала.

Наноматеријали	Примена
Титанијум-диоксид	Уклањање кадмијума и живе Уклањањ шестовалентног хрома у воденом раствору Антибактеријско средство
Полиетилен модификован акрилатом наночестице	Ефикасно средство у биоразградњи
Наночестице гвожђа	Ефикасан у трансформацији и ремедитацији животне средине
Угљеничне наноцеви	Ефикасан апсорбент за уклањање органских полутаната
Силикати нанокомпозита	Велика ефикасност у уклањању живиних пара

5.4 Угљенични наноматеријали

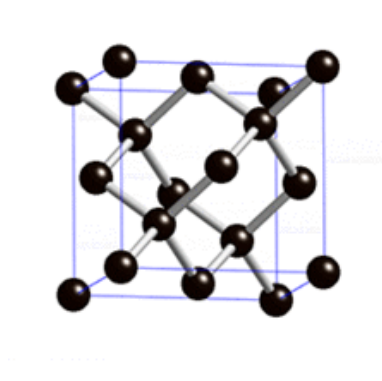
У природи угљеник се може наћи у облику једињења или у слободном стању. Угљеник је саставни део биљног и животињског света. Угљеник после водоника има највише једињења у односу на остале хемијске елементе. Разлог тога је што се угљеникови атоми у једињењима могу међусобно повезати једноструким, двоструким и троструким ковалентним везама на различите начине у дугачке ланце и прстенове. У саставу са кисеоником у атмосфери се налази као угљен-диоксид, у системима као карбонат, најчешће калцијум и магнезијума. Електрична, физичка и хемијска својства угљеничних наноматеријала су уско повезана са структурном конформацијом угљеника, а тако и са типом хибридизације. У свом основном стању угљеник има шест електрона и електронску конфигурацију $1s^2 2s^2 2p^2$. Мала разлика енергије између 2s и 2p нивоа олакшава побуђивање једног електрона из s орбитале у празну p орбиталу вишег енергетског нивоа. У зависности од везивања са суседним атомима, ово побуђивање доводи до sp , sp^2 или sp^3 хибридизације на угљениковом атому. Енергија добијена из ковалентног везивања са суседним атомима компензује енергију преласка електрона у више енергетско стање.

Хибридизације угљеника објашњавају разноврсност органских једињења, као и разлику у конфигурацијама угљеника. Као што је поменуто угљеник се јавља у више модификација:

- као аморфни угљеник,
- дијамант и
- графит.

5.4.1 Дијамант

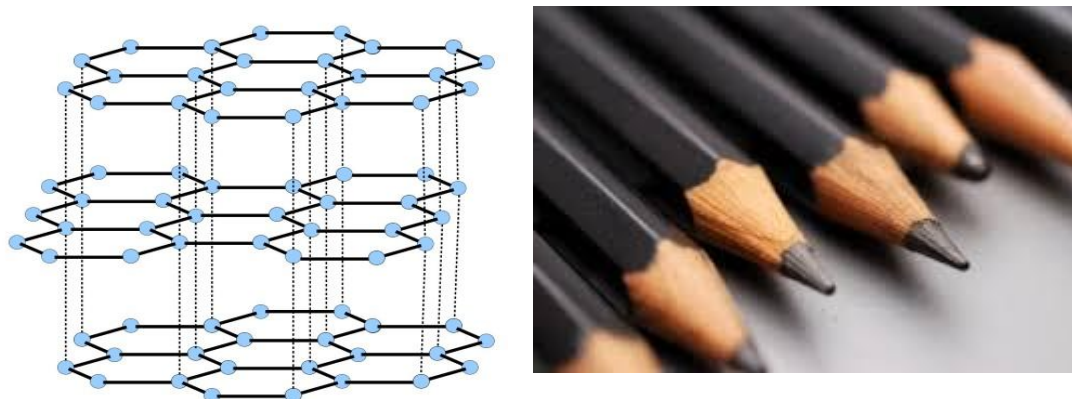
Дијамант се сматра најтврђим минералом који се може наћи у природи. Међутим када се дијамант нађе на атмосферском притиску и собној температури постаје термодинамички нестабилан па конвергира у графит. Та конверзија је веома спора па се дијамант сматра кинетички стабилном супстанцом. Због своје тврдоће, дијамант се користи за резање, бушење, брушење и полирање. Резањем и полирањем се добија брилијант који се користи при изради накита. На слици 4.6 су приказани дијамант као и његова структура.



Слика 4.6 Структура и изглед дијаманта [11]

5.4.2 Графит

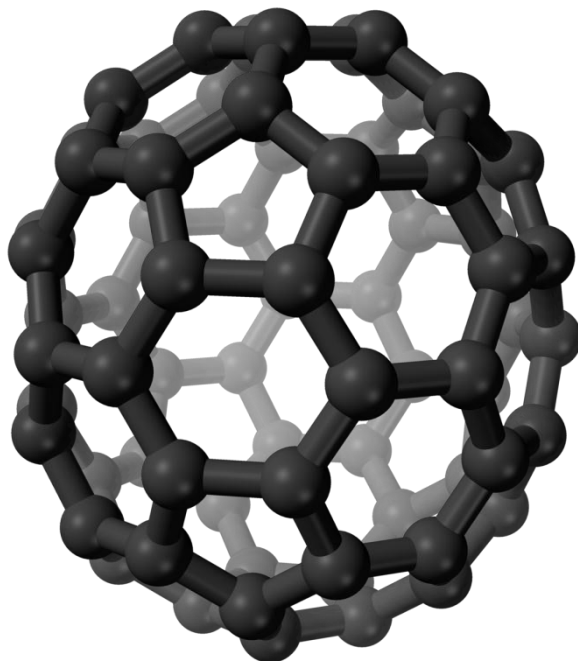
Графит је најмекши и најстабилнији познати минерал који се јавља као једна од три алотропске модификације угљеника. Графит је сиве боје и једини неметал који је добар проводник електричне струје и топлоте. Употребљава се за подмазивање, у електролизи за контакте у електричним моторима, итд. У Кини се налазе највећи рудници графита. На слици 4.7 је приказана структура графита као и пример графита.



Слика 4.7 Структура графита и пример графита [12].

5.4.3 Фулерен

Фулерени су форма угљеника као што су дијамант и графит и представљају фамилију угљеничних кластера, откривн је 1985. године. Фамилија фулерена су сферни молекули који представљају трећу модификацију угљеника, а најстабилнији представник групе фулерена C_{60} . Фулеренима се назива читава група затворених, сферних угљоводоничних структура. Кристалну форму која по својој симетричности спада у најуређенији управо молекул C_{60} , он има 60 угљеникових атома и налик је фудбалској лопти. Први назив овог молекула је био фудбален док се данас за целу класу ових угљеника користи назив фулерен. Протеклих 20 година истраживања, фулерен је захваљујући хемијским својствима својих деривата, као и својим магнетитом, електронским и проводним карактеристикама, заузео значајно место на подручју наноматеријала. На слици 4.8 је приказан Фулерен C_{60} [2].



Слика 4.8 Фулерен [2].

5.4.3.1 Структурне карактеристике фулерена

До сада смо знали за кристале као најуређеније структуре а сада се појављује нова форма материје која то превазилази. Да би се створила таква структура морала се формирати оса петог реда, које у кристалографији нема а овај молекул је поседује.

Као индивидуални ентитет, молекул C_{60} , је тврђи од дијаманта, међутим, када кристалише, кристална решетка му је мекана као код графита. Симетрија молекула је икосаедронска док су кристали молекула C_{60} централно кубични. При нормалним условима притиска и температуре у унутрашњости молекула је вакуум, док је около електронски облак. То је последица просторног попуњавања орбитала[2]. Структурне трансформације фулерена су могуће на четири нивоа:

- ковалентно везивање атома или молекула за фулеренски угљенични скелет ,
- замена угљеникових атома са површине сфере другим атомима при чему се формирају хетерофулерени,
- стварање ендохедралних комплекса,
- формирање међумолекуларних веза – Фулерен подлеже различитим типовима хемијских реакција адиције, што омогућава настајање метанофулерена или фулероида.

Фулерен има сличности атому. Молекул C_{60} је могуће везивати са другим молекулима и то на два начина:

- јаким ковалентним везама,
- слабирм π везама.

6. Својства наноматеријала

За истраживаче су увек интересантна физичка и механичка својства наноматеријала. Због тога су тежили да их упоређују са другим својствима кристалних материјала истог хемијског састава. Gleiterova верзија о посебним физичким својствима наноматеријала показала се као исправна.

Последњих година развој наноматеријала је изузетно напредовао услед потенцијалне технолошке примене у широком спектру као што су електроника, керамике, катализатори, структурне компоненте, итд. Посебно су интересантни аморфни материјали јер у поређењу са кристалним материјалима не поседују кристалите, међукристалне границе, дислокације и тачкасте дефекте. У наредним ставкама размотрићемо основна својства наноматеријала.

6.1 Механичка својства

Механичка својства су одувек на неки начин, за разлику од других својстава, везана за свакодневни живот. На основу тога, разумљиво је да су се проучавала више него остала својства. Хуков закон је пронађен управо у подручју механичких својстава. Услед тога, о механичким својствима се знало више него о другим, многе књиге су се бавиле том проблематиком и знало се све о механичком понашању неког материјала. Али зашто се неки материјал понашао тако како се понашао, било је потпуно необјашњиво до средине тридесетих година прошлог века. Материјали са бољим механичким својствима су се добијали искључиво на темељу многобројних експеримената [3].

За практичну примену неког материјала се тражи да под утицајем силе:

- има што већу границу еластичности,
- буде чврст/жилав,
- не пукне приликом деформације,
- може да се обликује.

Последњих година се у литератури успоставила следећа терминологија:

- нанокристални материјали са просечном величином кристалита испод 100 нанометара,
- ултрафини кристални материјали са просечном величином кристалита између 100 нанометара и 1 микрометра,
- микрокристални материјали са просечном величином кристалита већом од 1 микрометра.

Испитивање механичких својства наноматеријала обухвата метале и керамике, утицајем порозности, утицај величине зрна, суперпластичност, полимерне композите, наноцеви на бази композита. Расправа о механичким својствима наноматеријала је, у извесној мери, само основа интересовања, из разлога што постоје потешкоће да се произведу макроскопска тела са високом густином и величином зрна у распону мањем од 100 nm. Међутим, два материјала, од којих ниједан није произведен пресовањем или

синтерованем, су привукли много већу пажњу јер се не сумња да ће имати велики индустријски значај.

Ови материјали су полимери који садрже наночестице или наноцеви који показују запањујућа својства. Експерименталне студије на механичка својства наноматеријала су показале да постоје проблеми у производњи примерака са тачно дефинисаним величинама зрна и порозношћу. Дакле, молекуларне динамичке студије су од огромног значаја за разумевање механичких својстава наноматеријала.

Полимери пуњени наночестицама доводе до великих побољшања механичких својстава. Таква побољшања, у великој мери, зависе од врсте филтера и начина на који се пуњење обавља. Ово друго је нарочито важно јер као и било која друга предност наночестица, пуњење може бити прекинуто ако уметак за пуњење прави агрегате, чиме опонашају велике честице. Полимерни нанокомпозити испољавају широк спектар предности и недостатака. То зависи од облика за пуњење, честица и од степена нагомилавања. У овој групи материјала, полимери који су пуњени силикатима показују најбоља механичка својства и од великог су привредног значаја. Што је веће нагомилавање честица, лошији су резултати који се притом добијају. Иако, потенцијално, најбољи композити су они који се испуњавају нанофибером, пракса је показала да такви композити имају слабу растегљивост. С друге стране, коришћењем угљеничних наноцеви је могуће произвести композитна влакна која имају веома високу чврстоћу и деформацију при кидању. Међу најинтересантнијим нанокомпозитима су полимерно-керамички нанокомпозити. Показује изузетна механичка и термичка својства.

6.2 Структурна својства

У структурна својства наноматеријала спадају:

- полиаморфизам,
- ћелије нанокристала и кластера,
- квантне тачке,
- наночестице суперрешетке,
- температура топљења нанокристалних честица.

6.2.1 Полиаморфизам

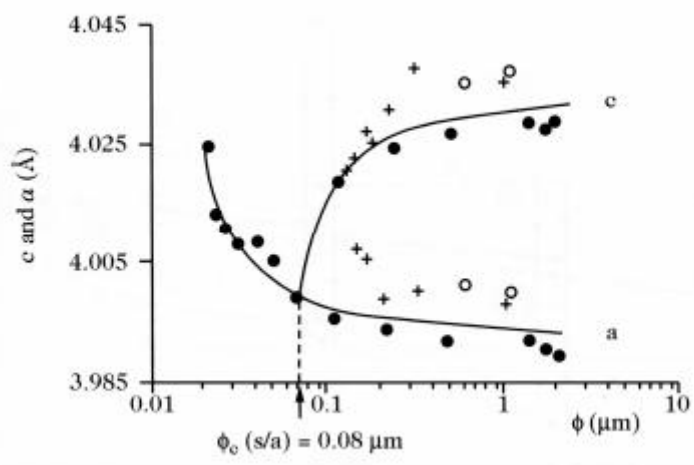
Полиаморфизам је појава да кристални материјал може у истом хемијском саставу постојати у више кристалних фаза, што зависи од температуре или притиска. Да би се разликовали према кристалним материјама појава је названа полиаморфизам. Полиаморфизам би требала бити способност аморфног материјала да постоји у различитим аморфним облицима уз хемијски састав који остаје непромењен. Код аморфних материјала полиаморфизам се појављује само под високим притисцима, али од великог значаја би било када би се аморфне фазе могле задржати и на стандардном притиску. Такве фазе би имале одлична механичка и електрична својства, што би знатно допринело науци. Приликом примене високог притиска уочено је да се густина повећава више него уобичајено, што се тумачи променом структуре [3].

6.2.2 Параметри јединичне ћелије нанокристала и кластера

Почетком 1990-их година уочено је да се параметри јединичне ћелије нанокристала разликују од вредности микрокристалних узорка. У табели 2 су приказане промене параметара у процентима јединичне ћелије нанокристалних узорка у поређењу са микрокристалним узорцима, такође су приказане величине кристалита. Видно је повећање параметара јединичне ћелије са смањењем величине кристалита без обзира на методу настанка узорка. Али то није случај код паладијума. Код њега се параметар јединичне ћелије смањује. Параметар “с” се смањује када је реч тригонским и тетрагонским материјалима. Да смањење величине кристалита стварно повећава укупну запремину јединичне ћелије показано је на примеру селена, где је појава уочена на нанокристалу селена добијена са две различите технике и то су кристализација аморфне фазе и интензивно млевење [3].

Супротно од нанокристала у кластерима се уочава супротан ефекат. Параметар јединичне ћелије се у кластерима смањује обрнуто пропорционално приликом промене кластера. Ова појава се објашњава утицајем површинских напона.

Ако претпоставимо да има велико кристално зрно које се смањује, онда се утицај површинског напона више не може занемаривати. Сваки атом на површини кластера половином своје површине доприноси укупној површини кластера, односно укупној површинској енергији. Услед те енергије долази до контракције читавог кластера, а самим тим и до промене запремине јединичне ћелије. На слици 5.1 је приказано понашање кристалне решетке нанокристала и нанокластера. До смањења величине кристалита повећава се укупан волумен јединичне ћелије, показано примером Se, где је појава уочена у селену добијеном двема потпуно различитим техникама, кристализацијом аморфне фазе односно интензивним млевењем. Међутим код BaTiO_3 иако се ако уочимо на слици параметар “с” много више смањује него “а”, волумен елементарне ћелије ($V=a^2 c$) остаје константан.



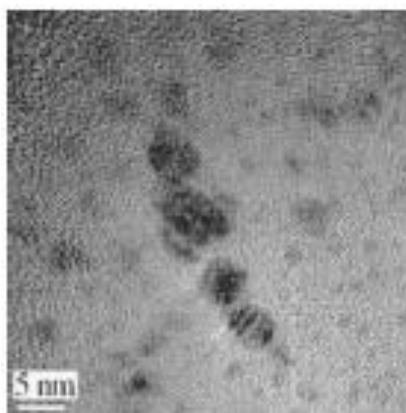
Слика 5.1 Понашање кристалне решетке нанокристала и нанокластера [3].

Табела 2. Промене параметара јединичне ћелије нанокристалних узорака [3]

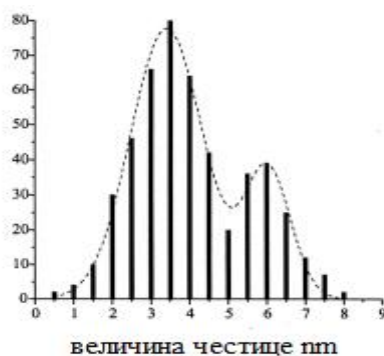
Пример	Пречник (Нанометар)	Синтеза	Δa , Δc
Cr	11	UFP	$\Delta a = +0.04\%$
Fe	8	BM	$\Delta a = +0.09\%$
Cu	85	SPD	$\Delta a = 0\%$
Cu	11	BM	$\Delta a = +0.06\%$
Cu	27	ED	$\Delta a = +0.06\%$
Pd	8	UFP	$\Delta a = -0.04\%$
Si	8	BM	$\Delta a = +0.20\%$
Ge	4	BM	$\Delta a = +0.20\%$
Se	13	XL	$\Delta a = +0.30\%$ $\Delta c = -0.12\%$
Se	14	BM	$\Delta a = +0.15\%$ $\Delta c = -0.01\%$
Ni ₃ P	7	XL	$\Delta a = +0.21\%$ $\Delta c = -0.13\%$
Fe ₂ B	23	XL	$\Delta a = +0.20\%$ $\Delta c = -0.23\%$

6.2.3 Квантне тачке

Металне наночестице (Au, Ag, Cu) које су уграђене у диелектричну матрицу показују се као технолошки занимљив материјал услед специфичне оптичке апсорпције, тако да такви материјали могу да се примене за фотоничке уређаје. Наночестице се најчешће убацују методом јонске имплантације. На слици 5.2 је приказана наночестица Ag(сребра) која је имплантирана у силикатно стакло, а на слици 5.3 је приказана расподела честица по величини (хистограм) и видљиво је да су имплантиране честице груписане око двеју средњих димензија 3.5 и 6 нанометара те да има много више мањих него већих честица. Ако посматрамо структурно квантне тачке су кристалне наночестице или нанокластери величине од 2 до 10 нанометара (око 50 атома па на више) који су уграђени у кристалну или аморфну матрицу неког другог материјала [3].



Слика 5.2 Приказ наночестице сребра у силикатном стаклу [3]



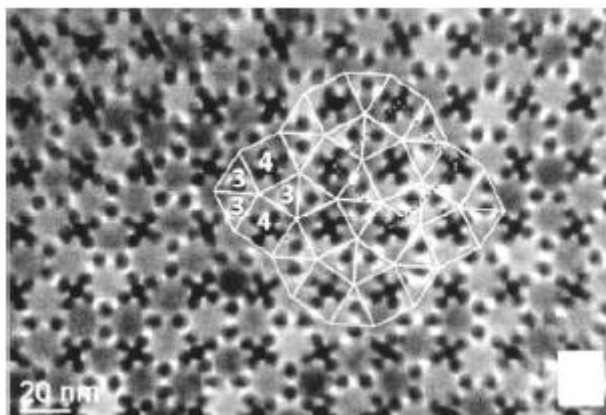
Слика 5.3 Расподела наночестица по величини [3].

Данашња технологија омогућава производњу наночестица различитих материјала (наночестице Ag и Au димензија 10 до 30 nm). Само име квантне тачке звучи врло егзотично, али ако посматрамо структурно то су у ствари кристалне наночестице или нанокластери, типичне величине 2 до 10 nm односно око 50 атома па на више, који су уграђени у кристалну или аморфну матрицу неког другог материјала. Ако узмемо у обзир основно својство класичног полупроводника да у принципу имају одређену минималну енергију потребну за побуђивање електрона. Настала шупљина и побуђени електрон називају се екситон. Ако имамо нанокристал из полупроводничког материјала у матрици другачијег параметра решетке и ако је димензија полупроводног нанокристалита довољно мала и приближава се екситонском радијусу, енергетски нивои се више не могу сматрати континуиранима већ дискретнима. Појава се назива квантно ограничење и полупроводни кристалит се назива квантна тачка. Посебно велика очекивања примене квантних тачака је у оптоелектроници; инфрацрвени детектори и камере, ласери, диоде и соларне ћелије, итд. На примеру соларних ћелија може се уочити предност квантних тачака пред класичним полупроводницима.

6.2.4 Наночестичне суперрешетке

Наночестице као што је већ поменуто се могу уредити у правилне структуре, тако рећи у суперрешетке. У основи се структура наночестичне структуре може дефинисати као правилно кристално уређење у ком свака индивидуална наночестица садржи од неколико стотина до хиљаду атома. Основни начин добијања бинарне наночестичне суперрешетке састоји се у урањању површине у колоидни раствор у који се мешају претходно одрађеним поступком припремања наночестице. Запремински удео наночестице у раствору треба да износи најмање 55%. Занимљиво је да се поједине наночестичне компоненте понашају као чворови кристалне решетке. На слици 5.4 су приказани примери бинарних наночестичних суперрешетки.

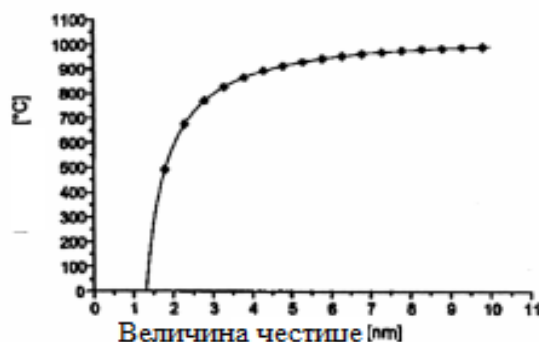
Недавно су добијене и квазикристалне наночестичне суперрешетке (9 nm PbS i 3 nm Pd). Ова појава указује да стварање односно сакупљање наночестица у квазикристалне нису потребна међучестична деловања, већ то спада у проблем слагања малих сферних објеката вођени ентропијом и једноставним потенцијалом.



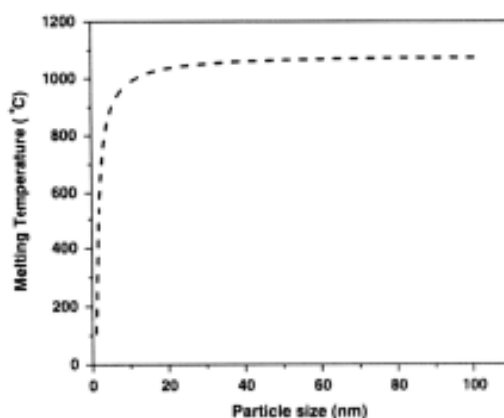
Слика 5.4 Бинарне наночестичне суперрешетке [3].

6.2.5 Температура топљења нанокристалних честица

Температура топљења нанокристалних честица је једно својство где се уочава, могло би се рећи, спектакуларна разлика између масивних материјала и наноматеријала. Наиме, уочено је да температура топљења нанокристала веома зависи од величине честица, без обзира на врсту материјала. На слици 5.5 је приказана температура топљења наночестица злата, на слици 5.6 је приказана температура топљења наночестица бакра [3].



Слика 5.5 Температура топљења наночестица злата [3]

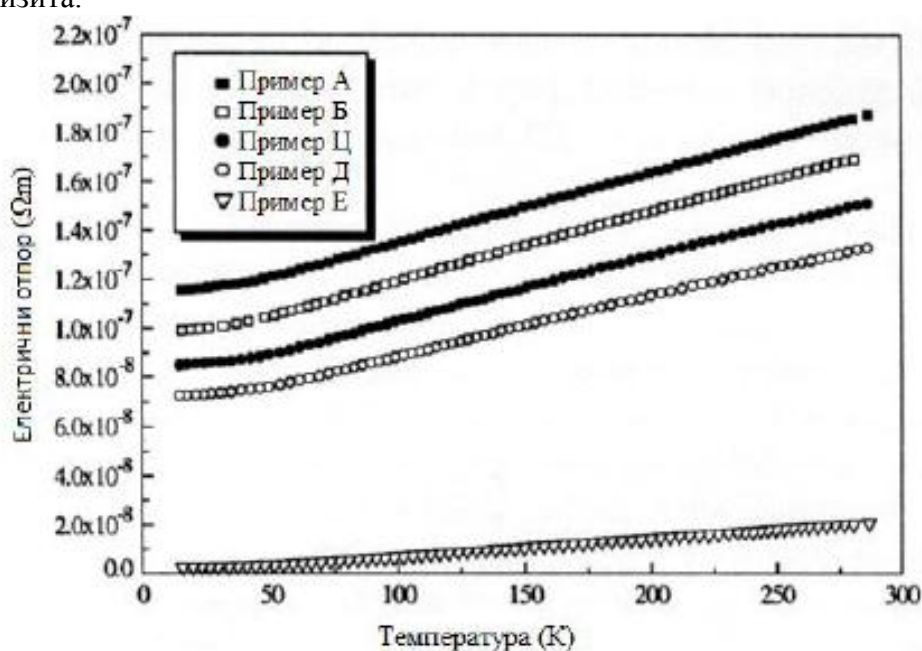


Слика 5.6 Температура топљења наночестица бакра [3].

6.3 Електрична својства

Пре него што је започела производња нанокристалних материјала, истраживаче је занимало каква зависност се јавља између електричне отпорности и величине кристалита. Приликом таквих истраживања добијали су се различити резултати а сматра се да је последица тога различита микроструктура узорака, односно број дислокација, дезорјентација кристалита, итд. С обзиром на то да се електрони распршују на поменутим дефектима они повећавају електричну отпорност. Међутим, мерећи отпорност, на пример нанокристала бакра, уочава се велика зависност отпорности и микродеформација. Смањењем микродеформација смањује се и отпорност, то можемо уочити на наредном дијаграму, слика 5.7.

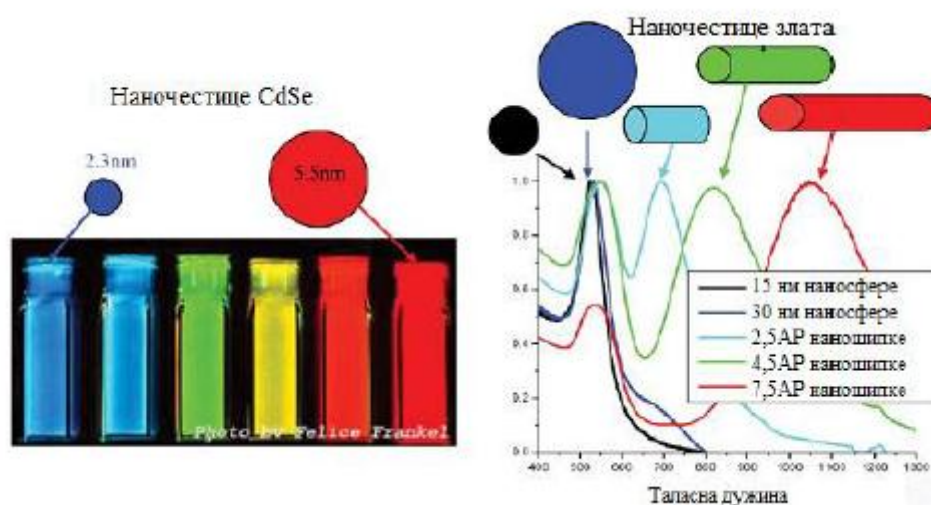
Електрична својства наноматеријала се базирају на електричној проводљивости у наноцевима, угљеничним наноцевима, наношипкама, електричној проводљивости нанокомпозита.



Слика 5.7 Зависност отпорности и микродеформације од температуре [3].

6.4 Оптичка својства

Оптичка својства наноматеријала се сматрају једним од најкориснијих и најфасцинантнијих. У апликације које су засноване на оптичким својствима наноматеријала спадају оптички детектори, ласери, сензори, соларне ћелије, фотокатализација и биомедицина. Оптичка својства наноматеријала зависе од функције, облика и површинских карактеристика, као и од осталих параметара који обухватају интеракцију са окружењем. На слици 5.8 је дата разлика оптичких својстава метала и полупроводничких наночестица. Са CdSe полупроводничким наночестицама, једноставном променом величине мењају се и оптичка својства наноматеријала. Када се металне наночестице увећавају, њихова оптичка својства се мењају мало, као и посматрање различитих узорака злата на слици. Међутим, када се анизотропија додаје наночестицама, оптичка својства наноматеријала се знатно мењају.



Слика 5.8 Разлика оптичких својстава метала и полупроводничких наночестица [3].

6.5 Магнетна својства

Као што је познато злато и платина немају магнетна својства, али када се смање на нановеличину постају магнети. Површински атоми нису толико различити од групе атома, али они могу бити модификовани помоћу интеракција са другим хемијским врстама, а то се постиже прекривањем наночестица. Овај феномен отвара могућност промене физичких својстава наночестица помоћу прекривања истих са одговарајућим молекулима. Заправо, било би могуће да се неферромагнетни материјали понашају попут ферромагнетних, онда када се налазе у нано опсегу. Од немагнетних материјала се могу добити магнетне наночестице паладијума, платине и, на опште изненађење, злата. У случају паладијума и платине, ферромагнетизам настаје услед структурних промена у вези са ефектима величина. Међутим, наночестице злата постају ферромагнетне када су прекривене одређеним молекулима: пуњење је локализовано на површини честице која доводи до повећања ферромагнетних својстава.

7. Примена наноматеријала

Као што је већ речено наноматеријали заузимају широк спектар примене због својих својстава, односно физичких, хемијских и механичких својстава, могу се наћи у електроници, медицини, аутоиндустрији, војној индустрији, итд. Најширу примену наноматеријали су нашли у медицини. Примери примене наноматеријала:

- оптички материјали,
- нанокристални хибриди и наноцевчице као резервоари водоника,
- горива и експлозививи,
- елиминација штетних емисија,
- батерије високе густине енергије,
- снажни магнети,
- високоосетљиви сензори,
- делови авионских конструкција,

- трајни имплантанти у медицини,
- електрохромна стакла.

7.1 Примена наноматеријала у војној индустрији

Од када се бави истраживањима и развитком војне опреме и наоружања, војна наука непрекидно настоји да пронађе савременије и ефикасније начине којима би остварила надмоћност и победу над противником. Сваки проналазак у тој области је изменио саму технологију ратовања и сматра се епохалним. Барут је, у савременој историји ратовања, променио у значајној мери развој и производњу наоружања, а рат учинио знатно динамичнијим.

Тек касније, при увођењу тенкова, бродова и подморница као и авиона, проширило се ратовање у више димензија (вода, копно, ваздух). Још једну димензију донео је компјутер – виртуелна реалност. Ракета је омогућила да се ратовање пресели у космос. Ласерска, компјутерска и електромагнетска технологија су побољшале могућности усавршавања и развијања технике ратовања и војне опреме до неслућених могућности.

Војни стручњаци су, заснивајући своја сазнања на достигнутом степену развоја науке и материјала, планове производње савременог ратовања сачинили са великом прецизношћу до 2025. године.

Ако посматрамо примену наноматеријала у војне сврхе, можемо рећи да ни ту нема области у којој није могуће користити најновија сазнања, како данас тако и у будућности. Међутим, многи пројекти нису занимљиви због своје сложености и примене у областима које нису толико атрактивне, колико нанотехнолошка оружја или оруђа. Међу такве скупе пројекте спадају истраживања нових материјала за производњу војне технике, наоружања и опреме. Ти материјали дају неке нове квалитете војној техници и невероватне могућности примене и војне сврхе.

7.1.1 Нано војна технологија и невидљива оружја

Нанотехнологија је врста савремене технологије чије поље деловања су величине реда милијардитог дела метра. То су технологије које манипулишу молекулима и појединачним атомима. Реч је о примењеној науци која се односи на производњу уређаја чије су димензије 100 нанометара и мање. Нанотехнологију научници дефинишу као вештину израде малих ствари које је могуће посматрати само помоћу микроскопа. Такође представља способност израде веома малих машина помоћу компјутерске технологије, атом по атом. Често се нанотехнологија назива и молекуларном нанотехнологијом.

Када је реч о примени нанотехнологије у војне сврхе нема области у којој нанотехнологија није примењена. Међутим многи пројекти због своје сложености и примене нису занимљиви колико и нанотехнолошка оружја или оруђа. Наноматеријали дају нове квалитете војној техници и неслућене могућности примене у војне сврхе. На пример научници из Политехничког института у Ренселеру и Рајсовог универзитета (САД), истражујући у области нанотехнолошких материјала, открили су црну материју која упија 99,99% светлости. Та материја је 90 пута тамнија од угљениковог материјала, који је као што је већ поменуто најтамнији материјал.

Реч је о малом премазу сачињеном од мноштво густо испреплетаних длачица направљених од наночестица. Тај премаз на некој површини истовремено упија електромагнетско зрачење и уопште га не одбија. О том откићу још нема информација али се претпоставља да ће се у будућности користити за израду такозваних невидљивих авиона, бродова или неких других средстава. До недавно су многи пројекти развоја војне опреме и наоружања били везани за класичне технологије. Како су се истраживања и резултати у примени нових врста технологија унапредили, већина пројеката се модификује и сагледава кроз призму примене нових сазнања у области нано-технологије. Схватајући да ће у ратовима и у будућности човек бити и даље основно оружје борбе, војни стручњаци највише пажње посвећују повећању његове заштите, борбених способности, убојитијем наоружању као и могућности преживљавања у веома сложеним условима. То треба да омогући одећа за преживљавање од апсорбованих наноматеријала, механички активни материјали и уређаји, сензори са способношћу противактивности, нано-уређаји од биоматеријала као и материјали који ће моћи сами да се репродукују и замењују.

Стручњаци Масиалчуететског института за нанотехнологију, формирани у тимове, конструишу нове униформе, шлемове, рукавице, чизме и друге делове војничке одеће који ће имати функцију механичке и балистичке заштите од противничке муниције.

Истраживања у области активних нано-детектора су у надлежности трећег тима. Они треба да створе такве нано-детекторе који ће открити крварење, преломе костију и инфекције и предузети неопходне мере заштите. Постоји могућност да су научници на трагу откића наночестица које могу да изазову зацељивање повреда или зарастање ломова костију, као и спречавање респираторних инфекција.

Један од тимова ради на развоју батерије и изворе енергије за војничко одело и системе које ће војници користити. Батерије треба да буду направљене тако да обезбеде велику аутономност и непрекидност рада, као да буду способне самообнављању енергије. Већ сада постоје батерије које се могу пунити 20 000 пута.

Покретне лабораторије служе за решавање проблема на лицу места. Почетком 2009. године амерички војници су користили фотоћелије од наноматеријала добијеног на основу титанијум диоксида са способношћу апсорпције светлосне енергије. Како знамо да фото-ћелије трансформишу светлост у електролит неопходан за пуњење батерија или напајање електронских и рачунарских уређаја. Хибридне наноћелије треба да поседују способност већу од 20 одсто како би обезбедиле неопходну дневну потрошњу за електричном енергијом војничких система за микроклиматизацију, комуникацију, сензоре, нишањење, итд [14].

7.1.2 Наноматеријали као замена за класичне материјале у војној индустрији

Пример промене и унапређења која пружа нанотехнологија видљив је у развоју пројекта „Заједнички беспилотни борбени ваздухопловни систем” (Joint Unmanned Combat Air System J-UCAS). Коришћењем најновијих сазнања у области невидљивости технологије требао је да обезбеди већу употребљивост најновијег типа беспилотне летелице. Ниво невидљивости требао је бити такав да летелица не би имала системе за електронско ометање. Те летелице су требале бити без вертикалних и хоризонталних стабилизатора, малих димензија и посебног облика које би имале мали радарски одзив. На слици 6.1 је приказана једна таква летелица.



6.1 Летелица од наноматеријала [14]

Када се радило на анализирању и напредку у микроелектроници и нанотехнологији нових материјала, стручњаци су дошли до закључка да се боја летелице може мењати током лета како би се боја летелице стопила са околином. Нова технологија високоефикасних ЛЕД диода контролисаних рачунаром, учинила је визуелну невидљивост могућом. Експериментални авион Boeing са визуелном невидљивошћу користећи маскирне премазе на бази наночестица, које би смањиле сенку на трупу.

У случају летелице са премазима чини се да је смањена могућност визуелног откривања. Ти нанопремази су постојани и када је летелица на висини изнад 23 300 метара. Обично на тим висинама је непрекидно мрак и ту не лети ни један ловачки авион [14].

7.1.3 Нанокоптери

Данас се у продавницама играчака или већим маркетима могу купити такозвани нанокоптери, минијатурне летелице чија је величина нешто већа од кутије шибице, са роторима промера до тридесетак cm. Њима се управља даљински управљачима односно бежичним командама а имају аутономност лета од 20-30 минута. Погон им може бити електрични или бензиски мотор. То је само реплика већ произведених нанокоптера за војне намене. Тако је војска Израела користећи нанотехнологију развио минијатурну беспилотну летелицу на даљинско управљање величине стршљена, чије име и носи. Та летелица има могућност детектовања, фотографисања па чак и да усмрти мету.

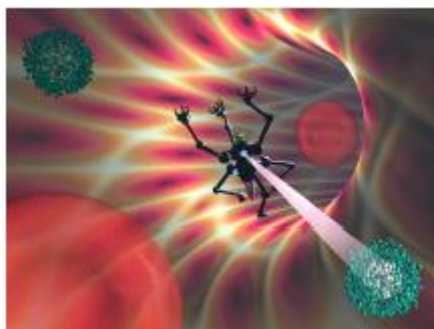
Сићушна летелица названа БИОНИЧКИ СТРШЉЕН, је смртоносна направа, способна да испаљује минијатурне ракете [14]. На слици 6.2 је приказан нанокоптер.



Слика 6.2 Нанокоптер [14]

7.1.4 Микроскопске сонде-убице

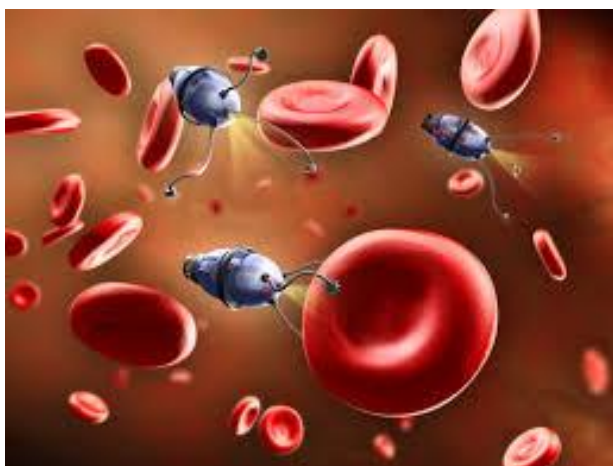
Нано оружја могу изгледати као микроскопске сонде. Њихов циљ је да уђу у људски организам противника и размноже се у довољном броју да га ликвидирају. Нано сонде могу ући у тело на безброј начина. На пример авиони који избацују контејнере нано сонди на пољу, спремишта хране, воде, итд. Сонде су неактивне све док не уђу у организам и док их људски електрицитет не активира. Након тога се реплицирају односно размноже док их не буде довољно да зауставе рад срца. Нанотехнологија је најнапреднија и најпотребнија у медицини и микробиологији. Свакако се употребљава у хуманој медицини [14]. На слици 6.3 је приказана сонда у организму.



Слика 6.3 Сонда убица у организму [14]

7.1.5 Наноботи

Наше представе о роботима увелико су подложне мењању под утиском нових технологија. То више нису гломазне машине које обављају бројне физичке активности у индустрији на основу задатог програма. Наноботи су системи на молекуларном нивоу. Као такви могу продрићи у људски организам. Овако би било олакшано лечење, убризгавали би смо наноробота у организам. Ови роботи ће бити програмирани за борбу против различитих штетних ћелија на пример ћелија рака или паразита. Нанороботи би могли да чисте запушене крвне судове, водиле борбу са бактеријама и вирусима, обнављали оштећене органе. На слици 6.4 је приказано како би то изгледало у организму. Научници тврде да би такви производи довели до побољшања општег физичког и психичког здравственог стања. Међутим у војној примени ови роботи би се убризгавали војницима у организам као вакцина. На слици 6.5 је приказан модел нанобота у облику мушице. Наноробот може да личи на муву или шкорпиона и да носи малу шпијунску камеру. Оператер минијатурног робота неопажано робота уводу у противничку команду где га спушта на невидљиво место. Одатле дискретно треба да сними садржај говора или да сними догађај. Добијене податке може одмах емитовати и сними у меморију и онда да се врати, како би оперативци извукли и анализирали забележене податке.



Слика 6.4 Наноботи у организму [17].



Слика 6.5 Нанобот у облику мушице [14]

Опаснији сценарио примене наноробота који се распршује као споре или аеросоли. Шта је све могуће постићи код противника, на његовој територији, са интелигентним аеросолима, односно роботима који имају вештачку интелигенцију, омогућује им да препознају противника, да онеспособе његову борбеност и да унапреде послушност. Међутим и на овим роботима се ради као и на осталим системима заштите [14].

7.1.6 Одећа за борбене услове

До недавно су многи пројекти развоја војне опреме и наоружања били везани за класичне технологије. Али како напредује наука и развој технологија, тако напредују и истраживања у овој области. Већина пројеката се базира на новим сазнањима нанотехнологије. Тако је најзначајнији пројекат америчког Министарства одбране „Борбене снаге будућности ” (Future force warrior), као и борбени системи будућности добијају сасвим другачију филозофију када се посматра кроз призму примене нове технологије. Схватајући да ће и у ратовима будућности, човек бити основа оружане борбе, војни стручњаци највише пажње посвећују његовој заштити, повећању борбене способности, убојитијем наоружању, као и могућностима преживљавања у веома сложеним борбеним условима. То треба да омогући одећа од апсорпционих наноматеријала, механички активних материјала и уређаји, сензори са способношћу противактивности, наноуређаји од биоматеријала као и материјали који ће моћи да се репродукују и замењују. Тако већ данас тимови стручњака раде на томе, односно конструишу шлемове, рукавице као и нове униформе које ће имати функцију механичке и балистичке заштите од противничке муниције. Такође се ради и на проналажењу материјала за војничку одећу која ће у оружаном борби, пружити и висок ниво сигурности од биолошких агенаса или хемијских супстанци, обзиром на то да се претпоставља да ће различити нановируси и микроскопске бактерије бити употребљене од стране противника [14]. На слици 6.6 је приказано шта све војник има од опреме на себи.



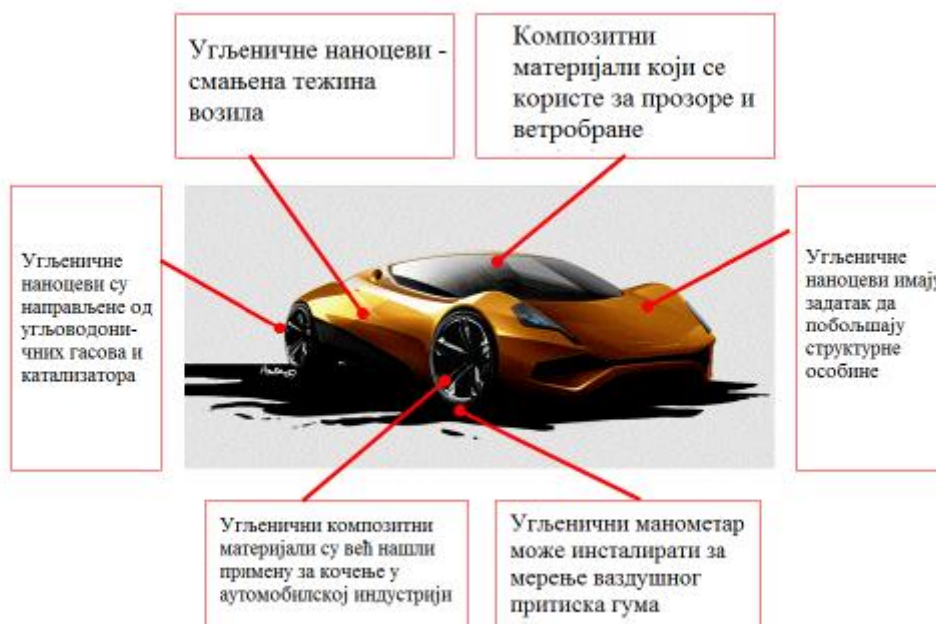
Слика 6.6 Наноопрема војника[14].

8. Примена наноматеријала у осталим гранама индустрије

8.1 Примена у аутоиндустрији

Нанообоје су данас веома заступљене зато што садрже неорганске силиконске честице повезане органским полимером и у знатној мери се повећава површинска тврдоћа боје и на тај начин се омогућава веће индивидуализирање аутомобила. Разлика нанообоје од обичне боје која је сачињена од органских молекула са дугачким ланцима угљеника је у томе што се код нанообоје путем нанотехнологије могу брзо повезати неорганске честице тако да површина лака постаје врло тврда и имуна на огреботине. Нанообоје су вишеструко отпорније на корозију од класичних боја. Она има способност

да на површинском делу формира мрежу ћелија чија пигментација зависи од напона који влада у саставу, па се лако може мењати нијанса боје. Нова боје ће у великој мери бити отпорнија на прљање, а за то постоји логично решење. Наиме, површина класичног лака, колико год нама изгледалаfino и глатко, заправо представља врло храпав "терен". На те неравнине се хвата нечистоћа, а то ће код нанотехнологије бити неколико пута мање. Поред нанобоја, примена наноматеријала на пољу аутоиндустрије се још огледа у савременијим деловима који сачињавају аутомобил. На слици 6.7 је приказано где се све наноматеријали могу применити на аутомобилу.



Слика 6.7 Примена наноматеријала у аутоиндустрији

8.2 Примена наноматеријала у медицини

Физичка и хемијска својства материјала изузетно се мењају када се број атома који чини материјал знатно смањи. Мали број условљава другачији распоред и међурастојање за површинске атоме. Развој нанотехнологије, првенствено захваљујући свом потенцијалу да искористи открића молекуларне биологије, почео је да мења основе дијагностике, терапије и превенције болести. Примена нанотехнологије у третману, дијагнози, контроли и праћењу биолошких система недавно је дефинисана под називом **наномедицина**. Методе конвенционалне медицине покушавају да лоше ћелије отколне сечењем-хирургија, да их спрже радиотерапијом или да их отрују хемотерапијом, наномедицина покушава или да отклони одређене ћелије или да их репарира ћелију по ћелију.

Наномедицина је веома широка област и бави се проучавањем наночестице које делују као биолошки миметици, нановлакна и полимерне наноконструкте које служе као биоматеријали, као и разне уређаје који делују на нано нивоу. Такође, постоји широко поље нанотехнологија способних за циљану испоруку лекова, генетског материјала и дијагностичких агенаса управо и представља један од главних циљева наномедицине. Он обухвата прецизну идентификацију мета у одређеним клиничким стањима, као и избор одговарајућих наноносилаца који треба да обезбеде постизање

жељеног циља уз што мање нежељених ефеката. Мононуклеарни фагоцити, дендритичне ћелије и туморске ћелије представљају главне мете у оваквом приступу.

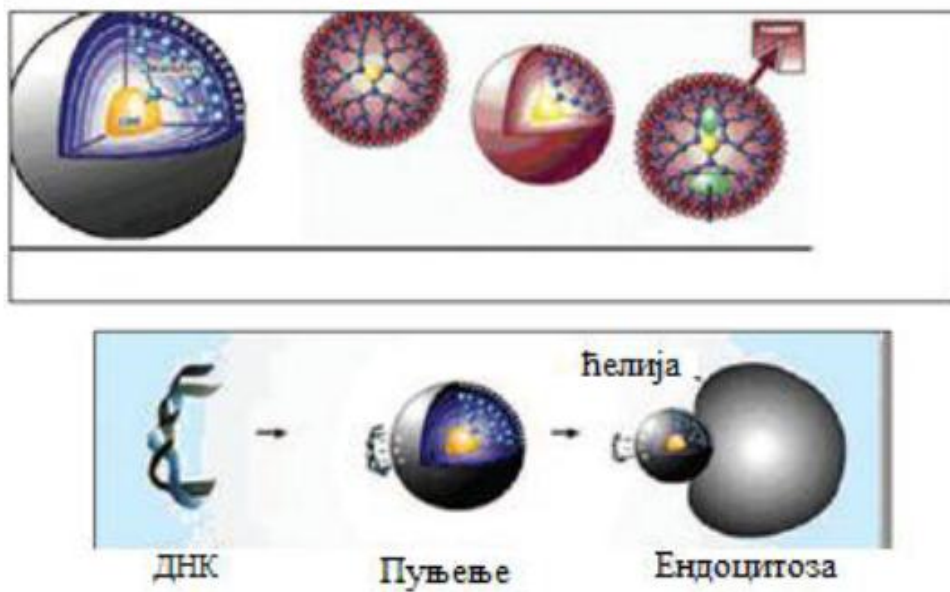
Примена наноматеријала у медицинским наукама је веома обећавајућа. Али, "нано" је промовисано са толико ентузијазма да медијска бука око тога може превазићи реалност, нарочито када имамо у виду огроман временски размак између открића и стварних производа у биомедицинским наукама.

У ширем смислу, наномедицина представља примену у медицинској пракси. Користи се за дијагностику, превенцију у лечењу болести и за стицање знања комплексних механизма који су у основи болести. Тренутно наномедицина подразумева откривање честица, системе испоруке лекова, емулзије и носаче за испоруку вакцина. Ради се на истраживању и формирању нанодетектора, њихова улога је да открију крварењем, преломе костију и инфекције и одмах предузму адекватне мере да се то имболише и неутралише. Има индиција да су научници на трагу наночестица које могу да изазову зацељивање повреда или зарастање ломова костију и да спречи сваку респираторну инфекцију.

Очекује се да ће у наредним годинама бити предузета значајна истраживања у следећим правцима наномедицине:

1. Синтеза и употреба нових наноматеријала и наноструктура, па израда мултифункционалних биолошких наноструктура, уређаја и система за дијагностиковање и комбиновану испоруку лекова.
2. Развијање аналитичких метода и инструмената за изучавање појединачних биомолекула и производња нано алата са побољшаном сензитивношћу и резолуцијом за молекулско снимање и испитивање патолошких процеса
3. Конструкција уређаја и наносензора за рано откривање болести и нано уређаја осетљивих на надражаје и физички усмерена лечења.
4. Идентификација нових биолошких циљева за снимање, дијагностиковање и терапију, те дефинисања нанотехнологије ткивног инжењеринга и регенеративне медицине.

Уређаји за доставу медикамената на бази наночестица који су приказани на слици би омогућили бржу ресорпцију лекова, контролисано ослобађајући довољну дозу као и заштиту од имуног система организма, и тако повећавајући дејство постојећих лекова. Истраживачи се баве испитивањима нових третмана коришћењем наночестица као што су дендримери и средства за испоруку уређаја за убацивање гена у ћелије. Принцип убацивања гена у ћелије је дат на следећој слици 6.8 [15].

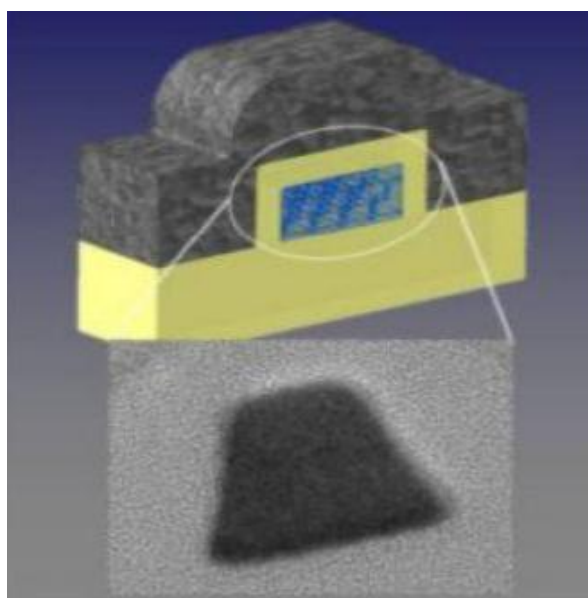


Слика 6.8 Принцип убацивања гена у ћелију [15].

8.3 Примена у електроници

8.3.1 Први транзистор без p - n споја

Тим научника са Tyndall National института су пројектовали и произвели први транзистор без p - n споја. Овај транзистор би могао бити кључан у револуционарној производњи микрочипова у полупроводничкој индустрији, захтева знатно мању потрошњу и једноставнију производњу од транзистора на силицијумском чипу. На слици 6.7 је приказан први транзистор без p - n споја.



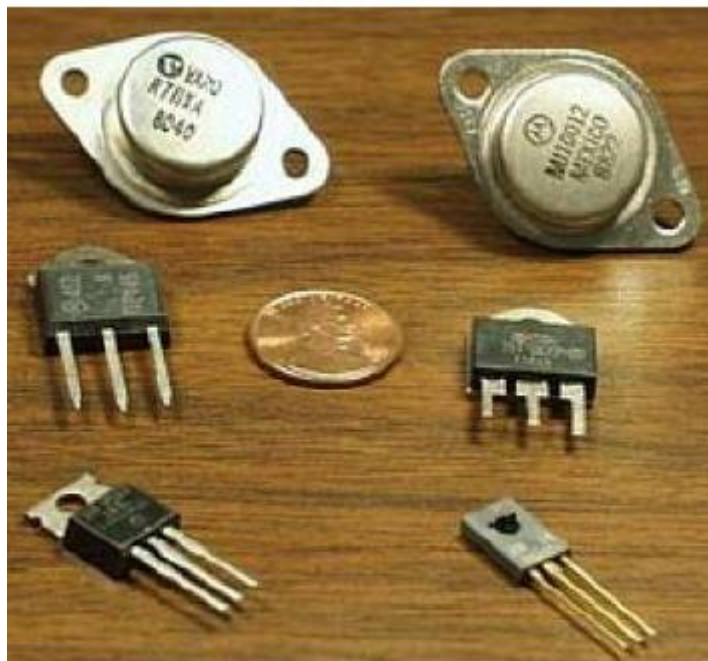
Слика 6.7 први транзистор без p - n споја.

Рад транзистора се одвија на следећи начин:
Струја тече кроз танак слој силицијума и проток струје се савршено контролише помоћу прстенасте структуре која се стеже око тог слоја и тако контролише промену јачине струје. Веома су једноставне структуре, тако да их је лако израдити чак и на јако минијатурним скалама што доводи до велике уштеде на трошковима и доводи до смањења потрошње енергије. Научници сматрају да овакав транзистор има готово идеалне електричне карактеристике.

8.3.1.1 Наножице за транзисторе са кратким спојем

Транзистори су толико мали, али се сваким новим даном ради на прављењу све мањих и мањих уређаја. Оно што представља одређени вид потешкоће је стварање високо квалитетних спојева. Конкретно, веома је тешко променити концентрацију материјала у опсегу краћим од око 10 нанометара. На слици 6.8 су приказане наножице за транзисторе са кратким спојем.

То потенцијално може да се одрази на бржи рад и коришћење мање енергије. Уређај се састоји од силицијумових наножица у којима се ток савршено контролише помоћу силицијумовог улазног кола које је одвојено од наножица танким изолационим слојем. Цела силицијумова наножица је п-спој и веома је добар проводник. Међутим, улазно коло је р-спој и његово присуство има ефекат смањења броја електрона у наножици. Уређај има скоро идеална електрична својства и понаша се као најсавршенији транзистор. Ради брже од конвенционалних уређаја, троши мање енергије и не страда од губитка струје.

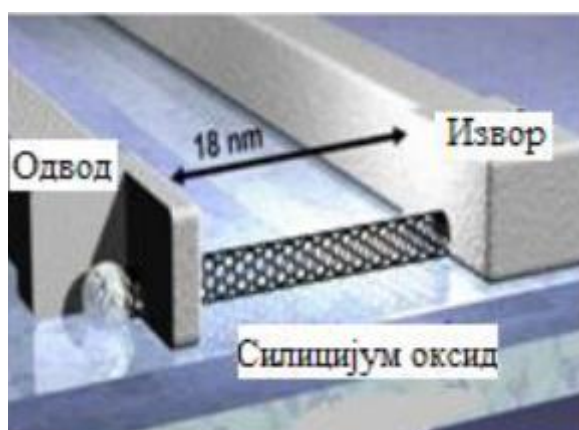


Слика 6.8 Наножице за транзистор са кратким спојем

8.3.1.2 Најмањи транзистор на свету са наноцевчицом

У напору и трци за производњом што мање и савршеније структуре, Infineon Technologies из Немачке је направила корак напред и произвела најмањи транзистор на свету са наноцевчицом. Дужина његовог канала износи свега 18 нанометара што је око четири пута мање него код данашњих најнапреднијих транзистора. За изградњу овакве врста транзистора наночестице радијуса величине од 0,7 до 1,1 нанометара постављају се између одвода и извора. Када би то посматрали кроз неки пример, можемо рећи да је та величина око 100000 пута тања него влас косе. Са комбинацијом флексибилности, једноставности израде и ниском потрошњом енергије ови нанокристални склопови отварају пут ка производњи неких нових врста уређаја и сензора који би могли имати биомедицинске или сигурносне сврхе.

Угљеникове наноцевчице преносе електроне готово без трења по својој површини захваљујући кретању електрона и на тај начин може пренети до 1000 пута више него бакарна жица. На слици 6.9 је приказан транзистор са наноцевчицом.



Слика 6.9 Транзистор са наноцевчицом

8.4 Примена у козметици

Наноматеријали су првенствено своју примену пронашли у козметици. Козметика се заснивала на истраживању и развоју апликација коришћењем патентиране нанотехнологије. Апликације покривају формулацију производа, паковања и опрему за производњу козметике. У козметичким производима наноматеријали се користе као:

- носачи,
- израђивачи помоћних средстава које ће побољшати ефикасност производње.

Кад је Европска унија 2009. године усвојила Уредбу за козметичке производе по први пут је законски садржала посебне захтеве за наноматеријалима, укључујући техничке дефиниције овог појма. Године 2012. Комисија Европске уније је основала малу радну групу која има мандат да ради док не нађе начин како ове дефиниције ускладити да би 2013. године на снагу ступио закон који се односи на наноматеријале у козметици.

Једна од примена које се налазе под применом у козметици јесте она која се односи на лосионе против опекотина од сунчеве светлости.

Свако продужено излагање ултраљубичастим зрацима може довести до опекотина а у неком каснијем стадијуму и до канцера коже. Помоћу лосиона против опекотина од Сунца који садрже нано-титанијум оксид који обезбеђује бољу заштиту од сунчеве светлости. Поред тога, имамо и елиминацију лепљивости. Додатна предност јесте што не продире у кожу.

8.5 Примена у механици

Наноматеријали пружају многе могућности примене, а једна од њих огледа се кроз примену у техници. За будуће техничке примене предвиђа се огроман потенцијал.

8.5.1 Аерогелови

Аерогел је најлакши чврсти материјал изванредних карактеристика. Садржај ваздуха у физичко-хемијском саставу аерогела варира од 50 до 99,5%, а ипак и са тако специфичном карактеристиком може да носи тежину која је од 400 до 4000 пута већа од његове. Технички, дефиниција каже да је то чврста пена, средњих пора, састављена од мреже међусобно повезаних наноструктура, чија порозност није мања од 50%, док у пракси њихова порозност буде између 90 и 99%. Унутрашња специфична површина аерогела се креће у границама од 250 до 3000 m^2/g , што значи да би коцка аерогела димензија 2,5x2,5x2,5 cm у развијеном облику имала већу површину него фудбалски терен. Екстремно лаган материјал чије су перформансе у погледу топлотне изолације и трансмисије светлости 2-4 пута боље од свих производа који су тренутно доступни на тржишту. У односу на фиберглас панеле, панели испуњени аерогелом су неупоредиво бољи звучни изолатори. С обзиром на чињеницу да је трајно хидрофобичан, отпоран је на влагу [13]. Плавкасте је боје, прозиран и има потпуно нестваран изглед. Изглед аерогела је приказан на слици 6.9.



Слика 6.9 Изглед аерогела [13].

Они као што је поменуто садрже 90% течне фазе. Свакако, аеро у имену није хидро, из чега би уследило присуство воде, већ поручује да је посредни повезаност са ваздухом. Аерогелови су суви у том случају гел у имену наводи да се у току процеса

настајања ове материје ствара се желатинаста маса. Кроз поре не пролази никаква течност, већ се углавном налази неки гас, ваздух или ништа, односно вакуум.

Поступак добијања аерогела

Да бисмо дошли до аерогела морамо прво направити сам гел. Тај примарни гел се назива алкогел. Настаје полимеризацијом силикон-алкоксида. Након хидролизе и полимеризације воде, долази до реакције сједињавања молекула алкоксида и формирања силикон-кислородне везе формирајући тиме мини полимере. Повезивањем мини полимера настаје један велики молекул који представља део гела. Везиво алкогела је испуњено етанолом са постојањем малих нанопора величине од 5 до 150 nm.

Затим, сушењем алкогела и екстракцијом течности из чврсте силика компоненте добијамо аерогел. Ако оставимо желатин изван фрижидера неколико дана, примећујемо како се скупио и постао у најмању руку одвратан. Иста ствар се дешава и са алкогелом када се исуши и дође до испаравања растварача. Долази до колапса алкогела изазваног капиларним силама које се јављају управо приликом испаравања његовог растварача. Резултат тога је чврст материјал, ксерогел (*ксеро*=чврст), који заузима запремину од само 10% почетне запремине гела.

Уместо испаравања растварача, гел подлеже поступку суперкритичног исушивања. На тај начин се спречава колапс гела. Суперкритични флуиди су полу-течности/полу-гасови у условима високих температура и високог притиска. Све течности могу бити доведене у стање суперкритичног. Суперкритични флуиди се шире као гасови, али им је густина и термичка проводљивост ближа течностима. Суперкритично сушење алкогела је начин да се полако извуче течност из гела а да при томе не дође до нарушавања његове чврсте компоненте услед појаве капиларних сила. То се постиже загревањем гела до критичне тачке растварача. Течност се претвара у гас, а када тај гас испари, остаје нам чврст материјал сачињен од силике и нанопора испуњених ваздухом.

Аерогел је веома јединствен материјал. Силика је слаб проводник топлоте, а величина пора је мала, што додатно спречава пренос топлоте. Изузетно је ефикасан уколико се користи као испуна зидног панела, а његова природа је таква да дозвољава трансмисију светлости. Међутим, постоји један проблем... Аерогел је плаве боје, није безбојан и не би било пријатно да цео дан гледамо у плаве прозоре. Сигурно је да ће наука и технологија ускоро наћи начин да реши и тај проблем.

Зашто је аерогел плаве боје? На слици показана је плава боја аерогела. Из истог разлога због кога је и небо плаве боје. Бела сунчева светлост се састоји од више различитих боја (седам дугиних боја). Од њих седам, три спадају у плаве: плава, тамноплава и љубичаста. Те боје имају својство да их наша атмосфера слабије и спорије упија него остале боје а уз то се плаве и више расипају. Зато оне преовлађују и ми имамо утисак да је небо управо те боје. Аерогел садржи нанопоре испуњене ваздухом. До сада се дошло до сазнања да се смањивањем величине нанопора а тиме и спречавањем расипања светлости може постићи ефекат безбојности аерогела. Једино је у условима нулте гравитације постигнут резултат смањених пора и добијања прозирног аерогела.

У Паризу је средином прошле деценије лансиран нови производ назван наногел. То је име брэнда за нанопорозан изолациони материјал произведен одређеним процесом у оквиру фирме Кабот. Оригинални процес стварања аерогела до кога се испрва дошло, модификован је и тиме је елиминисана потреба за скупим и релативно опасним

поступком суперкритичног исушивања гела. Додавањем једног корака у процесу добијања аерогела омогућено је његово добијање при атмосферском притиску чиме су смањени трошкови а повећана количина при производњи.

Наногел припада групи хидрофобичних силика-аерогелова који могу бити испоручени у облику гранула чија величина варира у зависности од намене и жеље купца. Сачињен је од 97% ваздуха, специфичне тежине 90 kg/m^3 . Отварањем фабрике Кабот, у Франкфурту, започет је континуалан процес производње аерогела, први и за сада једини на свету.

Доктор Стивен Џонс из НАСА лабораторије у Пасадени (Калифорија) је произвео аерогел тежине само 3 mg/cm^3 . У марту 2002. године његов аерогел је ушао у Гинисову књигу као чврсти материјал најмање густине потискујући тиме свог претходника, аерогел од 5 mg/cm^3 . Доктор Џонс иза себе има огромно искуство у производњи аерогела које је стекао на пројекту STARDUST у коме је аерогел употребљен за хватање звездане прашине.

Аерогел представља чист силицијум-диоксид и песак, исто као и стакло, само што је 1000 пута ређи материјал од стакла јер 99,8% његове запремине чини ваздух. Један од назива аерогела је и "чврсти дим", због његове изузетно мале тежине и прозачног изгледа. Ипак, ова наизглед ломљива и крхка супстанца је издржљива и лако подноси лансирање и услове у свемиру.

"Највероватније није могуће направити аерогел који је лакши од овог јер не би дошло до повезивања молекула силикона и до формирања гела. Исто тако, није га могуће направити са густином мањом од густине ваздуха јер је он управо испуњен ваздухом", изјавио је доктор Џонс. Да би смањео његову густину, доктор Џонс је једноставно променио количину силикона у почетној мешавини.

Примарни циљ ове мисије је био да "зароби" узорке комета и звездане прашине и да их успешно врати на Земљу. Највећи изазов је био да се пронађе начин којим би се смањила огромна брзина тих честица како би се избегли негативни ефекти који би довели до њиховог оштећења. Када космичка летелица STARDUST сретне комету Wild 2, брзина узорака комета биће 6 пута већа од брзине метка. Иако ће заробљени делићи бити величине мање од величине зрна песка, висока брзина уласка би могла променити њихов облик и хемијски састав. Аерогел се показао као материјал који је идеалан за заустављање свемирских честица. Њега летелица може да носи на својим малим крилима у облику тениског рекета. Пре повратка на Земљу, крила ће се затворити а "космички пакет" падобраном спустити на тло. Када честица удари у аерогел, закопа се у њега и оставља траг иза себе који има купасти облик чија је дужина 200 пута већа од њене величине. Пошто је аерогел прозиран, научници лако могу пронаћи честице помоћу тих трагова [13].



Слика 6.10 Плава боја аерогела [13].

8.6 Елиминација загађивача

Наноматеријали имају изузетно велике границе зрна у односу на своју величину. Они су веома активни у погледу њихових хемијских, физичких и механичких својстава. Због своје појачане хемијске активности, наноматеријали се могу користити као катализатори који реагују са штетним гасовима. На основу тога, можемо рећи да се помоћу њих спречава загађење животне средине која настаје сагоревањем бензина и угља.

9. Нанотехнологија са економског аспекта у војној индустрији

Више од 60 земаља света покренуло је националне нанотехнолошке програме. У те пројекте укључена је и Србија, а један од водећих и светски познатих стручњака у тој области је професор др. Милан Дамјановић са Факултета за физику у Београду. Српска Академија наука има Центар за нове материјале и нанотехнологије, и истраживања у тој области бави се од 1974. године. Данас се више од 200 нанопроизвода продаје у свету, највише у области електронике, телекомуникација, медицине, фармацији а у војној индустрији производе се и могу се купити нанокамере, нанолетелице и нанороботи. Истраживања у нанотехнологији спадају у једно од 5 најскупљих научних програма у свету. Посебна истраживања у свету јесу нови наноалати, међу којима се данас истиче атомски брзи микроскоп (AFM – Atomic force microscope) који се користи за откривање нечистоћа од хрома на површини гвожђа у индустрији метала.

Пентагон издава 300 милиона долара годишње за нанотехнолошка истраживања. НАСА за те намене издваја 42 милиона годишње. У Кини се у нанотехнологију на годишњем нивоу улаже преко 3 милијарде долара, Јужна Кореја 2 милијарде долара. Сматра се да ће прва светска сила бити она која прва овлада нанооружјем.

Бројни су примери развијених и употребљивих наносистема корисних у војној индустрији. На универзитету у Западном Мичигену развијен је систем за рано упозорење од радиолошке хемијске опасности који се заснива на нанотехнологији. Употребљив првенствено за цивилну заштиту и у војне сврхе. На Тексашком универзитету развијени су мишићи од наноцевчица који су бржи и јачи од природних те се могу користити за вештачке удове. Компанија DynCorp је још 2000. године

обавила тестирање сензора утемељених на МЕМС (micro-elektro-mechanical systems) сензорима испаљених из пушке. Америчко министарство одбране је развило паметне облаке који су мали роботи величине инсекта. Милиони таквих справица могу се испустити на непријатељске територије и искористити се за извиђање или уништавање циљева. Наночестице у сличном облику могу ометати електронске и комуникационе системе, утицати на невидљивост и слично[14].

Закључак

Наноматеријали се сматрају материјалима будућности. Свако ново истраживање у овој сфери доноси задивљујуће резултате. Ради се на томе да својства наноматеријала превазиђу својства материјала који се данас примењују. Пре свега наноматеријали показују добра механичка и физичка својства за чиме се тежи приликом избора материјала. Сматра се да ће се наноматеријали тек развити и да је ово тек почетак њихове примене. Истраживања у нанотехнологији спадају у једно од пет најскупљих научних програма у свету. Нанотехнологија пужа неслућене могућности за израду минијатурних летелица као и и тако рећи невидљивих летелица које могу носити нанокамере, оружја и експлозиве као и неке друге војне системе. Једно веома важно својство наноматеријала јесте што могу да се примене у свим областима индустрије и праксе, као што су медицина, војна технологија, ауто индустрија, и тако даље.

Литература

- [1] Милорад Јовановић, Вукић Лазих, Нада Ратковић, Драган Адамовић, Машински материјали, Крагујевац, 2003.
- [2]https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1431695432suvremeni_materijali_primjenana_nomaterijalautehnici.pdf, 27.09.2017.
- [3]<http://www.phy.pmf.unizg.hr/~atonejc/9%20NNFizicka%20svojstva%20nanomaterijala.pdf>-28. 09.2017.
- [4] Prof. dr.sc Antun Tonejc: Fizika nanomaterijala, Fizički zavod Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.
- [5]<https://nanotechnologytoday.wordpress.com/primena-nanotehnologije/>, 20.09.2017.
- [6] [http://www.periodni.com/gallery/face-centered cubic lattice.png](http://www.periodni.com/gallery/face-centered_cubic_lattice.png), 27.09.2017.
- [7]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/50/Graphit_gitter.png/220px-Graphit_gitter.png, 27.09.2017.
- [8]<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTncbqt27AJLvBCS-Cufrk8oTjjn56MaWiNHqeiw184QmOfztzL>, 27.09.2017.
- [9]https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQE6wOHWTBQdZ3UV9m3sE3qK5v3SM_appezWtoX4UqTLw7KsNTs, 27.09.2017. године
- [10]http://www.itn.sanu.ac.rs/images/News/0410_07.jpg, 27.09.2017. године
- [11]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/22/Diamond_Cubic-F_lattice_animation.gif/220px-Diamond_Cubic-F_lattice_animation.gif, 27.09.2017. године
- [12]https://www.shtreber.com/uploads_gallery/originals/Hemija/8.%20razred/NEMETALI%20C%20OKSIDI%20NEMETALA%20I%20KISELINE/Ugljenik/graphite.jpg?1474210642157. 27.09.2017.године
- [13]<http://lifehacker.rs/2015/12/aerogel-supermaterijal/>, 1.10.2017.године
- [14] "Из лабораторије будућности" 25.08.2017. године
- [15][http://www.df.uns.ac.rs/files/200/taina_grujic_master_rad\(f1-.\).pdf](http://www.df.uns.ac.rs/files/200/taina_grujic_master_rad(f1-.).pdf), 27.09.2017. године
- [16]https://www.researchgate.net/profile/German_Soldano/publication/235072505/figure/fig5/AS:306614067318810@1450113898608/a-Wire-Adsorption-on-Graphite-steps-b-Hydrogen-adsorption-on-Pd-nanoclusters-on.png, 27.09.2017. године
- [17]https://www.google.rs/search?biw=1242&bih=535&tbm=isch&sa=1&q=nabots&oq=nabots&gs_l=psy-ab.3...114438.116211.0.116376.0.0.0.0.0.0.0.0....0...1.1.64.psy-ab..0.0.0....0.O2KIK_ODrpg#imgsrc=PEGy7vAGMHZP3M; 27.09.2017. године
- [18]<https://www.google.rs/search?hl=srLatn&tbm=isch&q=classification+nanomaterials&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwiJjcDpsdrWAhVpMZoKHdigDJ0QvwUIICgA&biw=1242&bih=535&dpr=1.1#imgsrc=2xkkWaPdQM0nM;> 27.09.2017. године