

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 86/2010

Милош З. Савић
Наноматеријали
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Драган Адамовић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед развоја и употребе наноматеријала. На почетку дати историјски развој наноматеријала. У даљем делу рада описати кристалне структуре наноматеријала, методе добијања наоматеријала, њихову класификацију и својства. На крају дати примере примене наноматеријала и описати перспективе њиховог развоја.

Оквирни садржај рада:

1. Увод
2. Историјски развој наноматеријала
3. Основе кристалне структуре наноматеријала
4. Методе добијања наноматеријала
5. Класификација и врсте наноматеријала
6. Својства наноматеријала (физичка, механичка, оптичка, термичка, електрична, магнетна, структурна)
7. Примена наноматеријала са примерима
8. Техничке и економске перспективе наноматеријала
9. Закључак
10. Литература

Препоручена литература:

- [1] Tomislav Filetin: Pregled razvoja i primjene suvremenih materijala, Zagreb, 2003.
- [2] Ante Jukić i Stjepan Car: Nanotehnologija i primjena nanomaterijala, KONČAR d.d., Zagreb, listopad 2008.
- [3] Tomislav Filetin: PRIMJENA NANOMATERIJALA U TEHNICI, Zagreb
- [4] Nanostructured materials--Handbooks, manuals, etc. I. Gogotsi, IU. G.
- [5] Marica IVANKOVIĆ: Nanomaterijali i nanoprodukti – mogućnosti i rizici, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
- [6] A. Alagarasi: INTRODUCTION TO NANOMATERIALS
- [7] Željko Babić: Aerogelovi
- [8] Prof. dr. sc. Antun Tonejc: Fizika nanomaterijala, Fizički zavod Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu

Крагујевац, 25. март 2013.

ментор:
др Драган Адамовић, ред. проф.

Резиме рада

Завршни рад је посвећен врстама наноматеријала, њиховим својствима и областима у којима се примењују. Наведени су и начини њиховог добијања као и економски потенцијал који поседују. У оквиру угљеничних наноматеријала речено је о угљеничним наноцевима и фулеренима.

Кључне речи: Наноматеријали, нанокристали, нанокластери, фулерени, угљеничне наноцеви

Abstract

The final study is dedicated to types of nanomaterials, their properties and areas in which they are applied. The above are the methods of obtaining and possessing economic potential. In the carbon nanomaterials was said about carbon nanotubes and fullerenes.

Keywords: Nanomaterials, nanocrystals, nanoclusters, fullerenes, carbon nanotubes

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	6
2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	9
3. ОСНОВЕ КРИСТАЛНЕ СТРУКТУРЕ НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	14
3.1. Нанокристални и наноаморфни материјали.....	14
3.2. Наночестице и нанокластери.....	18
4. МЕТОДЕ ДОБИЈАЊА НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	21
4.1. Механичко млевење.....	21
4.2. Синтеза из парне фазе.....	22
4.3. Синтеза из течне фазе.....	23
4.3.1. Сол-гел процес.....	23
4.4. Методе формирања <i>in situ</i>	25
4.5. Распршење плазме.....	25
4.5.1. Обрада микроталаса плазме.....	25
4.6. Ласерска аблација.....	26
4.7. Екстремна пластична деформација.....	27
5. КЛАСИФИКАЦИЈА И ВРСТЕ НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	28
5.1. Класификација на основу величине и морфологије.....	28
5.2. Класификација према пореклу.....	29
5.3. Класификација на основу хемијског порекла.....	30
5.4. Угљенични наноматеријали.....	30
5.4.1. Дијамант.....	31
5.4.2. Графит.....	31
5.4.3. Фулерен.....	31
5.4.3.1. Структурне карактеристике фулерена.....	32
5.4.3.2. Енергетске карактеристике фулерена.....	33
5.4.3.3. Примена фулерена.....	33
5.4.4. Угљеничне наноцеви.....	33
5.4.4.1. Једнослојне угљеничне наноцеви.....	34
5.4.4.2. Вишеслојне угљеничне наноцеви.....	34
5.4.4.3. Примена угљеничних наноцеви.....	35
6. СВОЈСТВА НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	37
6.1. Механичка својства.....	37
6.2. Структурна својства.....	38
6.2.1. Полиаморфизам.....	38
6.2.2. Параметри јединичне ћелије нанокристала и кластера.....	38
6.2.3. Квантне тачке.....	40
6.2.4. Наночестичне суперрешетке.....	42
6.2.5. Температура топљења нанокристалних честица.....	42
6.3. Електрична својства.....	43
6.4. Оптичка својства.....	44
6.5. Магнетна својства.....	45

7. ПРИМЕНА НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	47
7.1. Гориве ћелије.....	47
7.1.1. Микробиолошке гориве ћелије.....	47
7.2. Примена у електроници.....	48
7.2.1. Први транзистор без p-n споја.....	48
7.2.2. Најмањи транзистор на свету са наноцевчицом.....	48
7.2.3. Наредне генерације рачунарских чипова.....	49
7.3. Примена у војне сврхе.....	50
7.4. Примена у аутоиндустрији.....	50
7.5. Примена у медицини.....	52
7.6. Примена у техници.....	53
7.6.1. Аерогелови.....	53
7.6.1.1. Историја аерогелова.....	54
7.6.1.2. Поступак добијања аерогелова.....	55
7.7. Фосфор за телевизоре високе резолуције.....	57
7.8. Елиминација загађивача.....	57
7.9. Примена у козметици.....	57
8. ТЕХНИЧКЕ И ЕКОНОМСКЕ ПЕРСПЕКТИВЕ НАНОМАТЕРИЈАЛА.....	59
9. ЗАКЉУЧАК.....	62
10. ЛИТЕРАТУРА.....	63

1. Увод

Посматрајући кроз историју, можемо рећи да се материјали, у принципу, разликују према електричним и механичким својствима. На основу тога говоримо о металима, чија је главна особина електрична проводност и легурама које имају добра механичка својства). Ова подела се још може класификовати на проводнике, полупроводнике и изолаторе. Међутим, та подела је некад имала веома велики значај а данас је само академског значаја. Наиме, најважније својство метала је способност да проводи електричну струју и да се лако обликује. Та особина их је у основи разликовала од, на пример, оксида керамике, која је добар изолатор а, с друге стране, представља лако ломљив материјал. Поред тога, разликовала се и од пластике која је врло неприкладна уколико треба израдити нешто чврсто. Данас имамо примере да керамика проводи струју, да пластика има механичка својства слична челику и да, такође, може да проводи електричну струју.

Материјали су састављени од атома који су међусобно повезани хемијским везама. Иако није спорно да својства слободних атома одређују саму природу материјала, на својства материјала у великој мери утиче околина сваког атома. Услед тога се својства материјала (као, на пример, електрична проводност, магнетизам) не дефинишу с обзиром на појединачне атоме, већ на огроман број атома који су међусобно повезани и представљају одређени материјал.



Слика 1.1 Наноматеријал (пример угљеничне наноцеви)

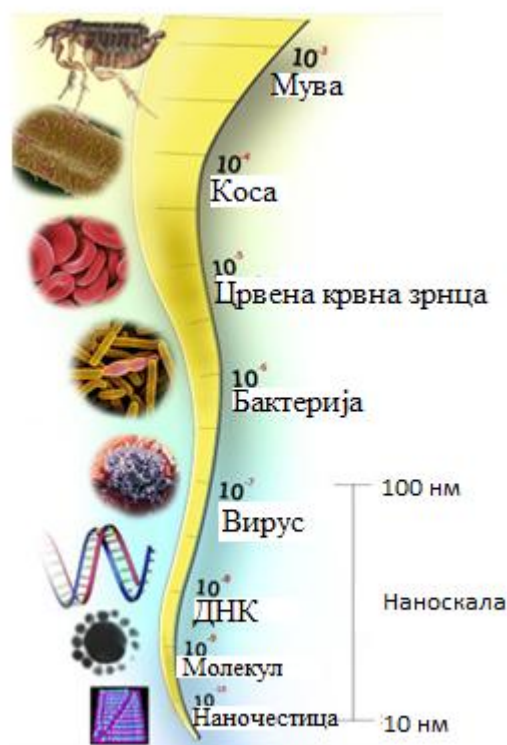
За теоријске моделе могу се применити методе које су прикладне за системе више тела што указује на то да математички поступци нису једноставни. Сви структурни модели се заснивају на претпоставци идеалне структуре а не на основу реалне структуре. Дакле, реални материјали које користимо у свакодневном животу, било у истраживањима или у пракси, показују извесна одступања од идеалног распореда атома јер садрже дефекте. Чак и идеалан кристал је дефективан јер има спољашње површине које представљају прекид идеалне периодичности. Ипак, то није дефект који је тривијалан јер мера површине према укупној запремини кристала има важну улогу у многим физичким својствима материјала, нарочито код **наноматеријала**.

Технологије које се користе у новије време зависе од развоја материјала, без обзира ради ли се о материјалима за комуникације, батеријама за лаптоп или о чврстим а лаким материјалима који се користе у авиоиндустрији. Без обзира на коју се намену мисли, сви материјали имају унутрашњу структуру дефинисану врстом кристалне решетке, бројем,

обликом фаза и дефектима као што су тачкасти дефекти или дислокације. Треба разумети структуру на различитим лествицама, од нанолествице до макроскопске лествице, да би успели предвидети понашање материјала и применити у одређене сврхе. Управо због тога треба познавати следеће:

1. структурна својства материјала,
2. методе производње материјала,
3. особине материјала,
4. разумевање физичких својстава материјала.

Сви материјали се састоје од честица (кристалних или аморфних) и садрже велики број атома. Стандардни материјали садрже честице различитих величина, а наноматеријали имају честице реда величине од једног до сто нанометара. Ако узмемо да је просечан полупречник атома око 0,2 нанометра, онда би нанометарско зрно требало да садржи око 125 атома.



Слика 1.2 Приказ наноматеријала на скали величина

Услед мале величине, утицај површине је доминантан над утицајем запремине, услед чега овакви материјали имају велику површинску енергију што има велики утицај на физичка својства таквих материјала.

Према процени америчке *National Nanotechnology Initiative*, у свету је средином прошле деценије у нанотехнику уложено девет милијарди долара. Пред крај прошлог века и почетком новог (период између 1998. и 2003. године), јавна улагања у Европи су повећана шест пута а у Америци и Јапану осам пута. Светско тржиште везано за то подручје које је 2009. године износило 11,7 милијарди долара, требало би да 2015. године достигне 26 милијарди долара.

Префикс **нано** може да се примени на време (наносекунде), запремину (нанолитар), масу (нанограм) или дужину (нанометар). У популарној употреби нано се односи на даљину, а наноскала подразумева даљину од атомског нивоа до сто нанометара. Наноматеријали су облици материје на наноскали, односно они материјали који садрже

честице којима је барем једна димензија у наведеном наноподручју. При описивању наноструктура потребно их је разликовати по броју димензија на наноскали. Наноструктуриране површине су на наноскали једнодимензијске а то подразумева да је дебљина површине објекта између 0,1 и сто нанометара. Наноцевчице су на наноскали дводимензијске, то јест опсег цевчице је између 0,1 и сто нанометара, док њихова дужина може бити много већа. Кугласте наночестице су тродимензионалне на наноскали и свака просторна димензија је између 0,1 и сто нанометара. Као синоним за наночестице се често користи и термин ултрафине честице иако оне могу да досегну и микрометарске величине. Опсег колоидних честица је у распону од једног до хиљаду нанометара.

Појам *нанотехнике* подразумева креирање функционалних материјала и уређаја контролисањем облика и величина на нанометарској скали. Подразумева се још и појава нових састава и феномена који су добијени на том опсегу. Подручје нанотехнике може да се подели на три дела:

- **Наноматеријали** – једнокомпонентни или вишекомпонентни материјали код којих је барем једна димензија компоненте у распону од 0,1 до 100 нанометара. Овој групи припадају наночестице, нановлакна и наноцевчице, нанокompозити и наноструктуриране површине.
- Наноалати – то су алати и технике за синтезу наноматеријала, манипулисање атомима и производњу структура за уређаје. Користе се и за мерење материјала и уређаја на наноскали.
- Нанoureђаји – представљају направе на наноскали које имају важну улогу у микроелектроници и оптоелектроници.

2. Историјски развој наноматеријала

У последњих двадесетак година, у савременој науци се све чешће употребљава префикс *нано*, од наноматеријала и нанотехнологија, па све до наносистема и наномедицине. Порекло саме речи јесте грчко и *нано* у преводу значи "патуљак" и означава нешто што на лествици величина иде ка све мањем и мањем а, с друге стране, подразумева стварање машина и различитих направа. Величина наночестица износи милијардити део једне целине, у конкретном случају, метра. Наука о наноматеријалима бави се проучавањем материјала чврстог стања који се налазе у распону од једног до сто нанометара. Ако самом речју наноматеријал означимо примену тих материјала у физици и науци, онда можемо тврдити да историјат наноматеријала има изузетно кратак век. Као што смо већ рекли, појам нано се све више користи у последњој деценији али неки његови почеци су везани за доста ранији период, тачније, од пре неколико хиљада година. Материјали нанометарских величина имају изузетна физичка својства па су се у почетку несвесно користили у старом Египту и то за бојење стакла помоћу колоидних наночестица метала или обојеног пигмента.

Уколико кренемо од податка када се први пут почело спомињати нешто тако мало, онда би грчки филозоф **Демокрит** могао да се означи као праотац наноматеријала јер је први почео да користи реч *атом* за нешто што представља најмањи делић неке ствари. Након тога је прошло много векова, да би **1661.** године Ирски хемичар Robert Boyle закључио да се све ствари састоје од малих честица, који у различитим комбинацијама представљају све материјале који су до сада откривени.



Слика 2.1 Демокрит

Прва научна опажања малих честица можемо приписати шкотском ботаничару Brownu који је 1827. године посматрао хаотично кретање честица у раствору (такозвано, Брауново кретање).

Амерички проналазач George Eastman је 1884. године израдио први "рол" филм за камеру где је најважнији део био фотоосетљиви слој AgBr (сребро-бромид) наночестица на филму.

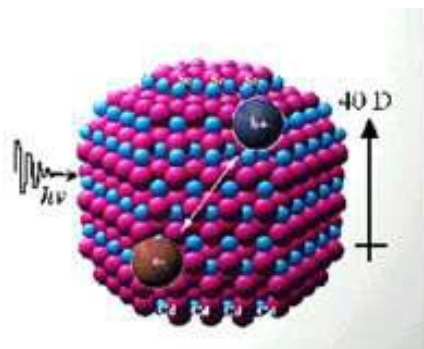
Важна прекретница за будућа истраживања наноматеријала био је развој *електронског микроскопа* 1931. године.

Међутим, у многим књигама постоје подаци о нобеловцу и физичару Richardu Feynmanu који је 1959. године одржао предавање замишљајући материјалне објекте на наноскали где основни закони квантне механике управљају стварањем различитих структура из појединих атома. Али, мање је познат податак да је Richard Feynman на

састанку Америчког физичког друштва ("American Physical Society") исте године јавно дао своју теорију о малим делићима чврстог стања и изговорио реченицу: *"Чисто сумњам да уколико имамо контролу над малим стварима можемо добити енормно већи опсег могућих особина које супстанца може имати"*. Он је том својом реченицом, иако није био физичар којем су ствари чврстог стања биле циљна група, дао једно визију развоја материјала у будућности а материјали на које је мислио јесу **наноматеријали**. Ипак, његова визија није подстакла физичаре на истраживања која су се односила на то подручје. Највероватнија солуција је да се на такав потез нису одлучили због немогућности припремања наноматеријала.

Јапански физичар Norio Taniguchi је 1974. године увео израз *нотехнологија* и предложио да се тај назив користи за све процесе у којима се појављују објекти мањи од једног микрометра.

Међутим, као почетак примене наноматеријала можемо сматрати 1981. годину, када је Н. Gleiter у Роксилдеу у Данској први конкретно споменуо потенцијалну важност "једнофазних или вишефазних поликристала са величином кристалита од једног до десет нанометара". Занимљиво је да је његова метода била релативно једноставна. Ускоро након 1981. године почео је да се користи појам нанокристални материјали, односно наноматеријали (ако желимо укључити и аморфне фазе). У литератури се материјали са величином кристалита од једног до сто микрометара називају поликристали (односно монокристали ако се састоје из само једног кристалног зрна). Од једног до хиљаду микрометара називају се микрокристали а од 250 до 1000 нанометара врло фини зрнасти материјали. Материјали од неколико до 250 нанометара се називају нанокристали.

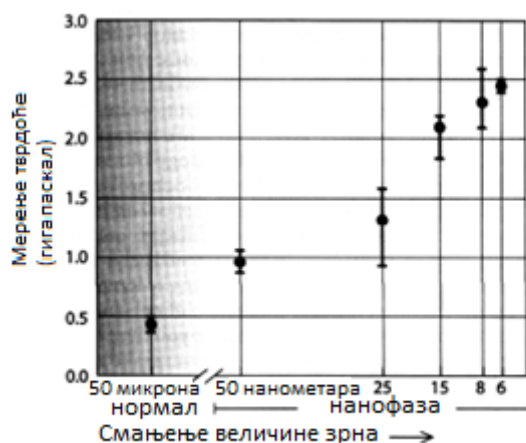


Слика 2.2 Нанокристал

Нанокристал (слика 2.2) представља скуп наночестица које су повезане у кристалну решетку. Оно што је карактеристично за нанокристал јесте то да површински атоми имају мање суседних атома од оних који се налазе близу центра. Облик нанокристала је такав да минимизира слободну енергију и управо због тога су нанокристали компактне структуре која личи на кугле.

За материјал са кристалима реда величине једног нанометра тешко се са сигурношћу може рећи да ли је нанокристалан или аморфни материјал.

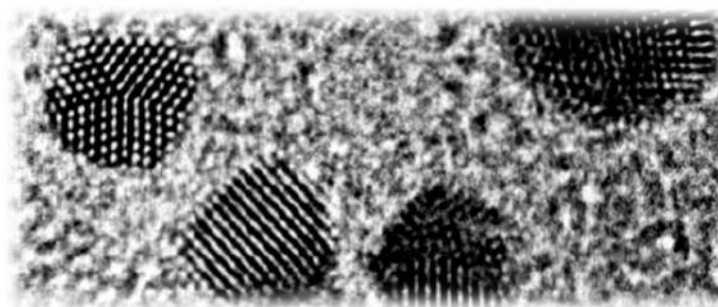
Први резултати су показали да наноматеријали поседују боља својства него микрокристални материјали. Примера ради, мерења тврдоће бабра у зависности од величине кристалита (слика 2.3) су показала да се тврдоћа уочљиво повећава са смањењем кристалита (тврдоћа узорка са 50 нанометарским кристалима је два пута већа, а испод 10 нанометара чак шест пута већа). Овакви резултати истраживања су се покушали објаснити недостатком дислокација у нанокристалитима које су одговорне за пластичну деформацију. То су потврдили и снимци који су урађени помоћу електронског микроскопа.



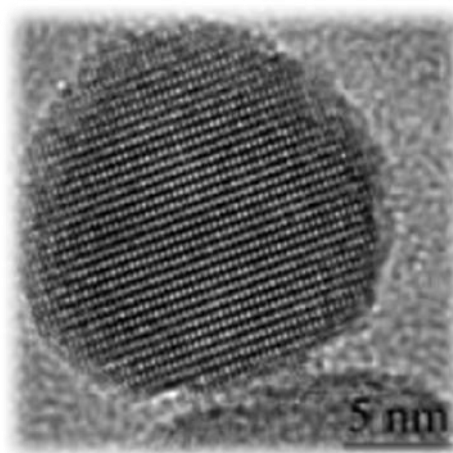
Слика 2.3 Резултати настали мерењем тврдоће бакра

Са развојем технологије производње наноматеријала могле су се добити честице врло малих пречника (испод 10 нанометара). Такве честице су се почеле називати нанокластери.

На слици 2.4 су приказани нанокластери злата нанешени на танку фолију угљеника, који се појављују као индивидуални нанокластер или састављени од неколико нанокластера. Ако димензије пређу пет нанометара, онда се уместо појма нанокластер користи термин наночестица (слика 2.5).



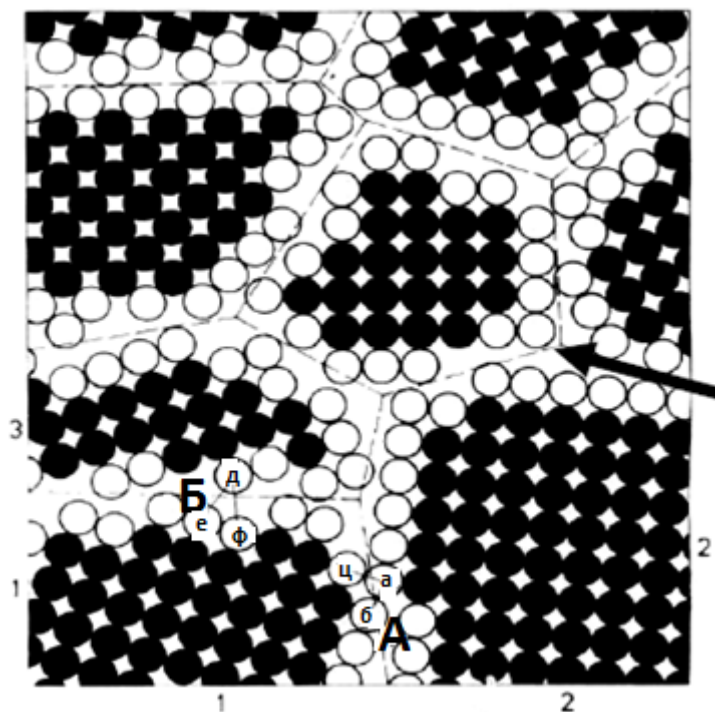
Слика 2.4 Нанокластер злата



Слика 2.5 Наночестица

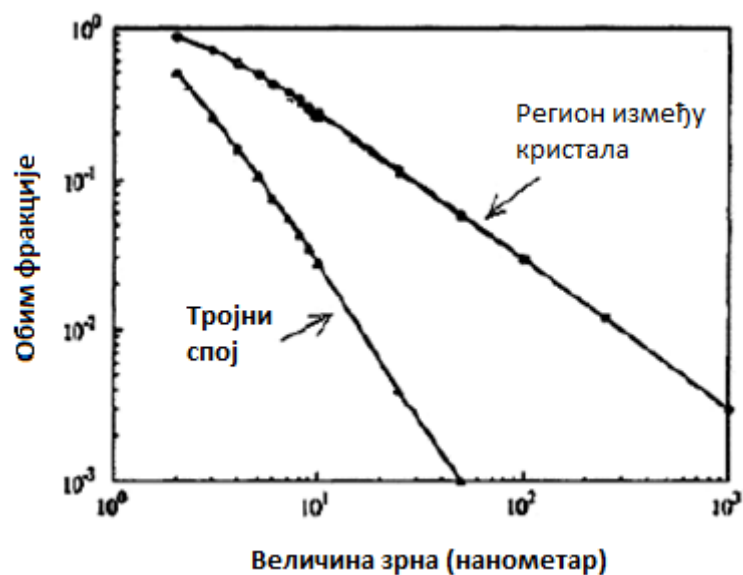
На слици 2.6 је приказан дводимензијски модел нанокристалног материјала са атомима као куглицама.

Сви атоми припадају истом елементу, а разликују се по томе што припадају поједином кристалу (представљено пуним кружићима) или чине гранична подручја између нанокристала (представљено празним кружићима). Пуни кружићи чине веома правилну кристалну решетку структурно потпуно истих нанокристала а празне је тешко придружити симетричним својствима кристала. Услед различите међусобне оријентације нанокристала, распоред атома у граничном подручју А је различит од распореда у граничном подручју Б. Такво понашање се односи на сва гранична подручја и све граничне атоме и не може се наћи никаква правилност између најближих атома које се може уочити чак код аморфних/стакластих материјала. Наиме, ако се уочи било каква правилност у слагању неколико атома унутар граничног подручја између два нанокристала, то не важи за неко друго гранично подручје. Ове набројане чињенице упућују на то да је структура граничних подручја различита и од кристалне и од аморфне структуре, чинећи треће стање структуре материјала уколико кажемо да су кристална и аморфна структура два стања материјала која су могућа.



Слика 2.6 Дводимензијски модел нанокристалног материјала

На слици 2.6 се може уочити место означено стрелицом где се састају три кристали. То место се назива тројни спој и њих у нанокристалном материјалу има веома много. Ако се процени запремински удео атома у границама кристалита и на местима тројног споја, уочиће се брзи пораст удела атома за величине испод десет нанометара у границама кристалита. Још бржи пораст одвија се у близини тројног споја, тако да ти делови међусобно могу да се упоређују (слика 2.7).



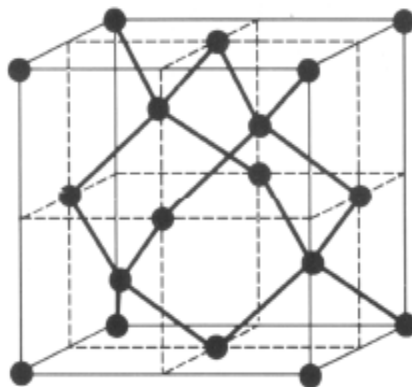
Слика 2.7 Пораст удела атома

Најважнија разлика између основних материјала и наноматеријала јесте у томе што наноматеријали на малој површини имају велики број атома. То доводи до тога да они имају изразиту површинску енергију и велику специфичну површину по јединици масе и због тога се наноматеријали генерално одликују високом реактивношћу.

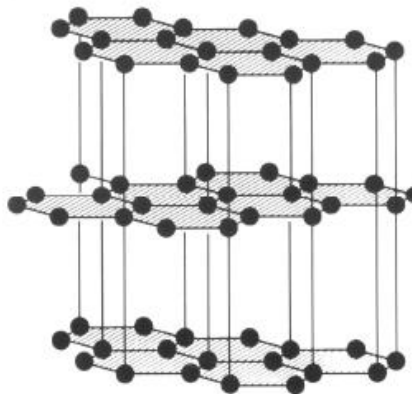
3. Основе кристалне структуре наноматеријала

3.1. Нанокристални и наноаморфни материјали

Уколико се у поликристалима величина кристалита смањи испод 250 нанометара, тада говоримо о нанокристалима. Данас се сматра да се неки материјал може назвати "наноматеријалом" уколико његове релевантне димензије морају бити такве да се својство тог материјала разликује од оног материјала макроскопских димензија. Ова чињеница је, на први поглед, веома зачуђујућа јер са структурног становишта су сви поликристални материјала мање-више сличне грађе (разликују се само по величини кристалита). Међутим, примећено је да су физичка својства поликристала неког материјала мање-више иста, без обзира на величину кристалита, све док се геометријске димензије не смање на нанометарске величине. Тада се физичка својства значајно мењају. Како ово објаснити? Физичка својства материјала највише зависе од густине и координационог броја, тако да је интеракција између најближих суседа један од кључних фактора. Најкарактеристичнији пример ове тврдње је случај угљеника који је у модификацији дијаманта најтврђи од свих материјала, осим тога је и крт и изолатор (слика 3.1), да би као графит био врло мекан и електрични проводник (слика 3.2).



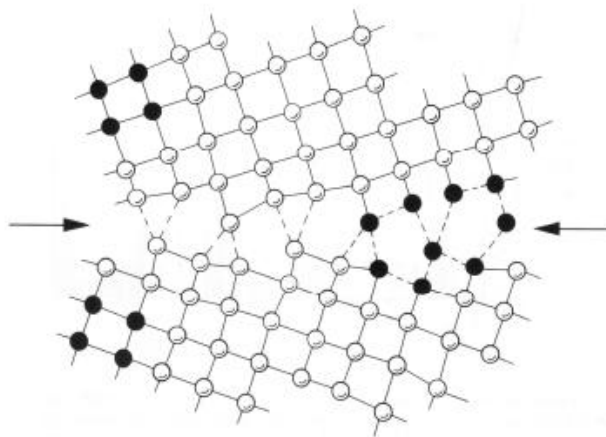
Слика 3.1 Угљеник у модификацији дијаманта



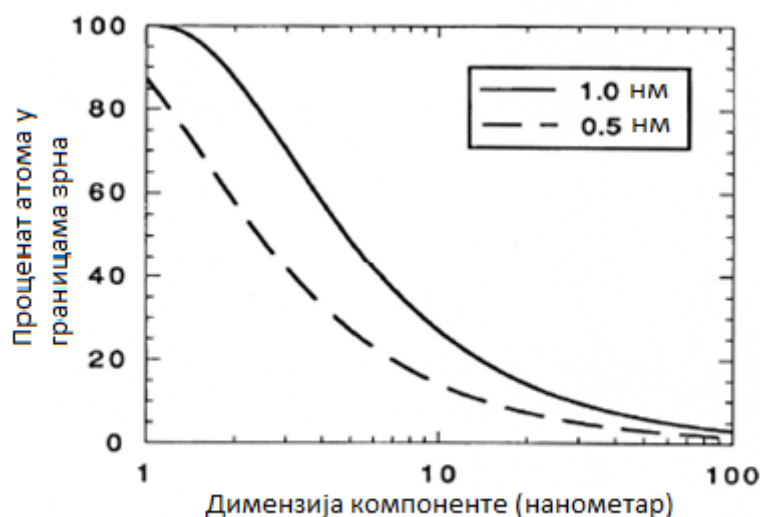
Слика 3.2 Угљеник у модификацији графита

Код нанокристала се појављује велики део атома који чине гранична подручја између појединих кристалита. На слици 3.3 је приказан шематски приказ међукристалног подручја између два кристална зрна кубне структуре. На тој слици су неки атоми означени пуним кружићима, да би се боље уочила разлика у слагању атома на матрици и у граничном подручју. Унутар границе се не може наћи нешто што би могло да се поистовети са јединичном ћелијом. Може се уочити и то да се у међуграничном простору густина и координациони број у великој мери разликују од кристалне матрице. Процењује се да је густина материјала у граници од 75 до 90% густине матрице, са структуром која није ни кристална ни аморфна, већ нека сасвим трећа. Она донекле подсећа на неку врсту "разређене" аморфне структуре. Услед тога се каже да је структура граничних подручја различита и од кристалне и од аморфне структуре, чинећи **треће стање структуре материјала**.

Уколико претпоставимо да су границе широке један нанометар а просечан пречник кристалита пет нанометара, имамо око 50% атома у границама (слика 3.4). Смањењем или повећањем просечне величине кристалита, мењају се и димензије компоненти.



Слика 3.3 Шематски приказ међукристалног подручја између два кристална зрна кубне структуре

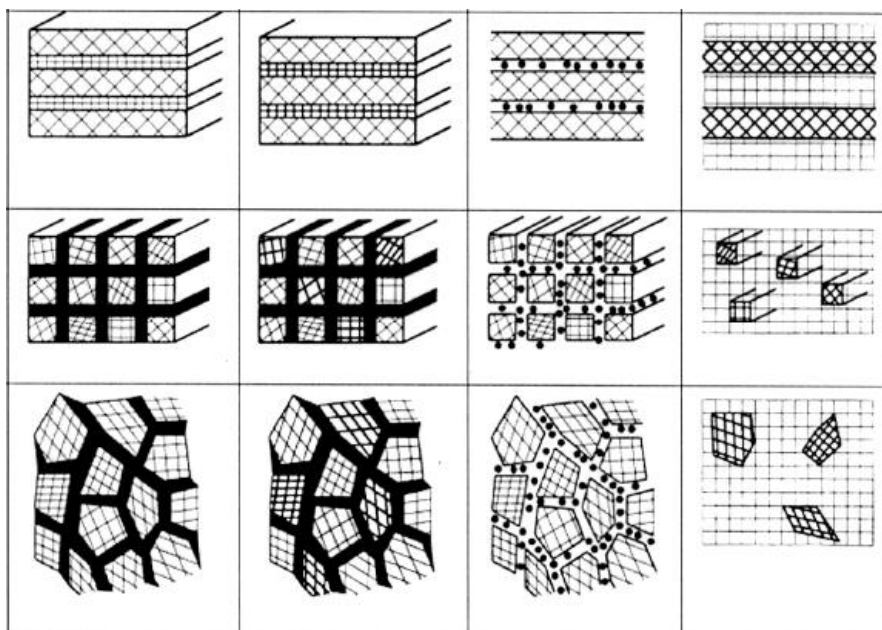


Слика 3.4 Приказ пропорционалности величине кристалита и димензија компоненти

Gleiter је 2000. године предложио да се наноматеријали разврстају према облику, саставу и расподели нанокристалне компоненте у 12 група (слика 3.5). У основи, за поделу користи три облика, слојеви, штапићи и једнолики кристалити и четири врсте по

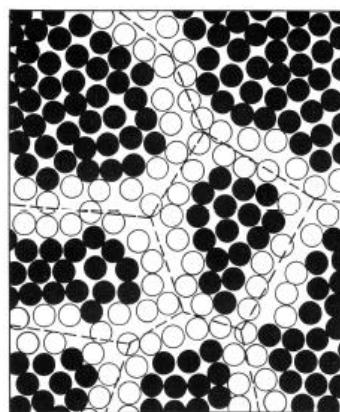
хемијском саставу. У првом ступњу кристалити и границе имају исти хемијски састав, у другом ступњу кристалити су различитог хемијског састава, у трећем хемијски састав кристалита и граница се разликује а у четвртм имамо нанокристалите различитих облика који су распршени у матрици различитог хемијског састава.

Материјал у трећем реду првог ступња може бити и такозвано наностакло или наноаморфни материјал. Стварање оваквог материјала се може замислити сједињавањем наночестица или нанокуглица аморфног материјала. Такав материјал је приказан на слици 3.6. Оно што треба уочити је чињеница да је унутрашња структура наночестица аморфног материјала различита од распореда атома у границама. Што границе више изгледају као границе код нанокристалних материјала, толико је више блиска аналогија између микроструктуре нанокристалног и наностакластог материјала у граничним подручјима.

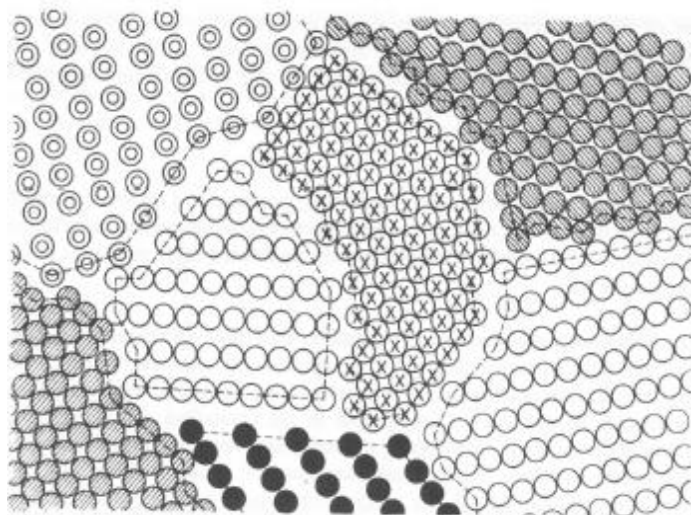


Слика 3.5 Расподела наноматеријала у 12 група

Уколико материјале у првом ступњу зовемо једнофазни нанокристални, онда материјали у осталим ступњевима спадају у вишефазне нанокристалне материјале. Материјал шематски приказан на слици 3.7 у принципу се назива композитни материјал (у нашем случају нанокомпозитни материјал). Конкретно, на слици имамо 5 хемијски различитих нанокристалита. Примећује се да кристалити истог хемијског састава имају различиту кристалну оријентацију (карактеристично за поликристалне материјале).



Слика 3.6 Наностакло/наноаморфни материјал



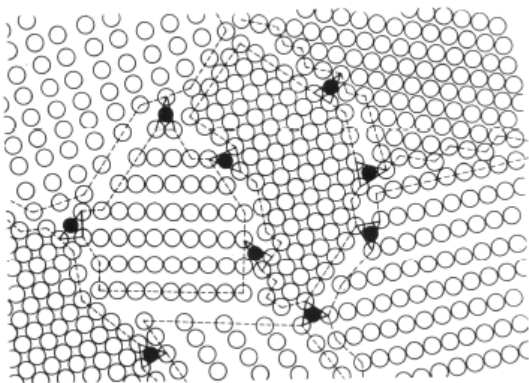
Слика 3.7 Композитни материјал

У трећем ступњу имамо вишефазне нанокристалне материјале са хемијским саставом граница сасвим другачијим од састава самих кристалита. Два шематска примера приказана су на сликама 3.8 и 3.9.

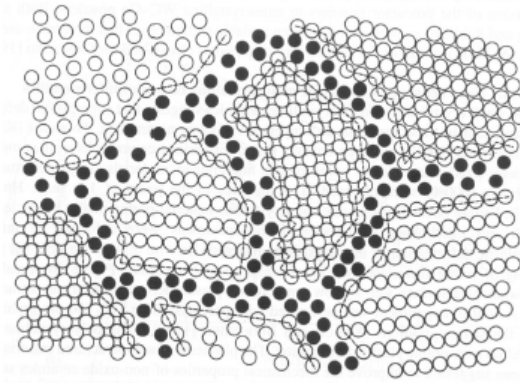
На слици 3.8 имамо у границу убачене атоме у једном слоју који показују одређену координациону правилност.

На слици 3.9 имамо неуређену вишеслојну границу потпуно другачијег хемијског састава него матрица.

У четвртом ступњу на слици 3.5 имамо нанокристалите у матрици различитог хемијског састава. Та матрица може бити кристална, а може бити и аморфна. На слици 3.10 имамо пример аморфне матрице у којој се појављују нанокристали другачијег хемијског састава. На слици је кристалит величине око 10 нанометара са кристалним равнинама између којих је размак 0,63 нанометара а електронска дифракција показује да је наночестица један кристалит.

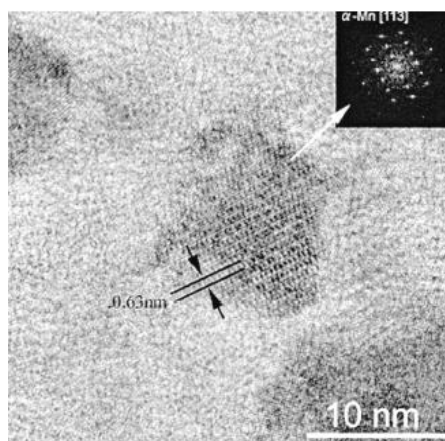


Слика 3.8 Правилна структура атома



Слика 3.9 Неуређена граница

Резимирајући наведено, за нанокристале и наностакла можемо користити назив наноматеријали или наноструктуре.



Слика 3.10 Пример аморфне матрице

3.2. Наночестице и нанокластери

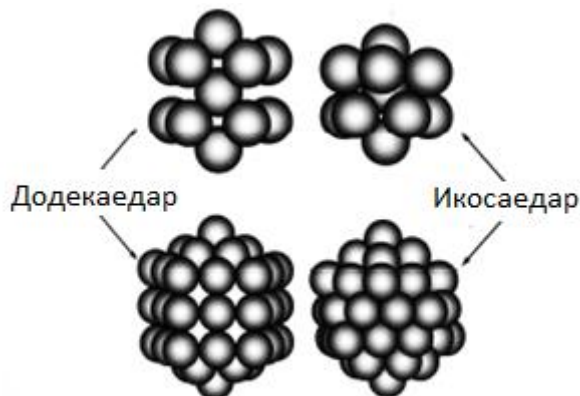
Индивидуални самостални кристалит можемо назвати честицом, а уколико јој је пречник мањи од 100 нанометара, зовемо је наночестицом. Таква честица садржи до 10^8 атома или молекула и смањивањем димензије престаје бити наночестица у оном тренутку када јој је кристална структура различита од структуре масивног узорка. У том случају је реч о нанокластеру или, једноставно, кластеру. У ширем смислу кластер може бити сложен од индивидуалних атома или индивидуалних наночестица. Да би ове појмове лакше разумели узмимо почетни атом (или наночестицу) и почнимо слагати структуру у облику слојева/љуски, али тако да пробамо слагати најгушће могуће.

Прва љуска око централног атома (или наночестице) ће у том случају имати 12 атома, дакле имамо кластер од 13 атома (13 наночестица) и тако даље. Слагање може да се врши до великог броја атома, али скуп од рецимо 10^8 вероватно би било тешко назвати кластером. На слици 3.11 је приказан укупан број атома кластера и постотак атома који су на површини.

		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
Седам љуски		1415	35

Слика 3.11 Укупан број атома кластера и постотак атома на површини

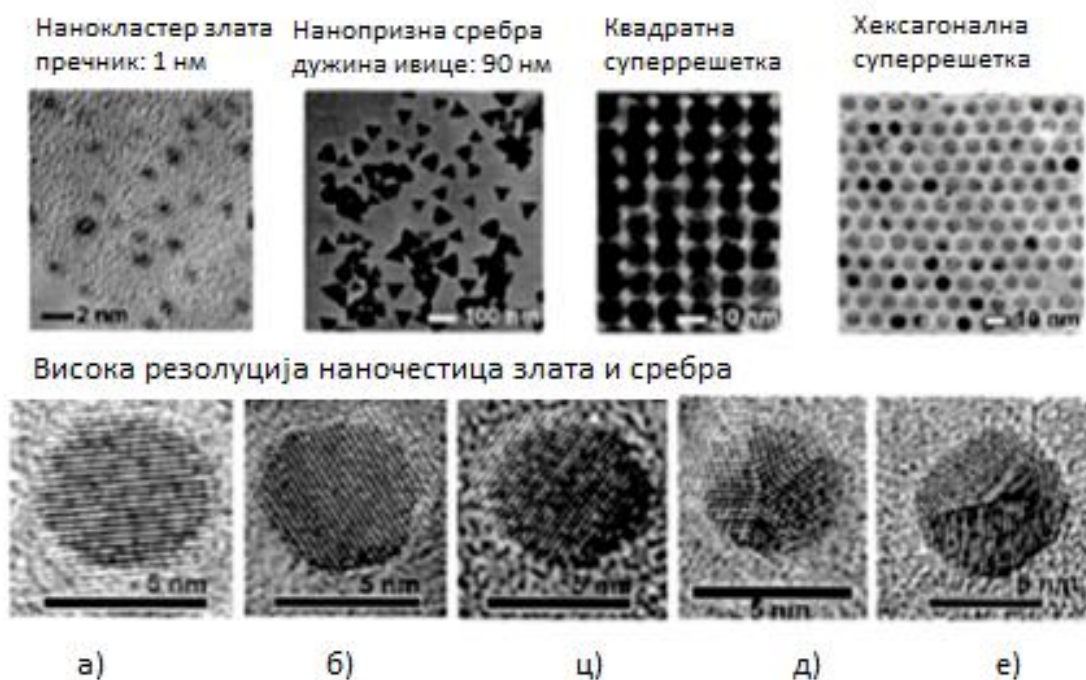
Слагање се може појавити у две модификације, које се у случају 55 атома зове додекаедар или икосаедар (слике 3.12 и 3.13). Икосаедарска модификација је стабилнија. Да кластери могу имати различиту структуру него наночестице показује се на примеру злата, где кластери до величине 3 до 5 нанометара имају икосаедарску структуру.



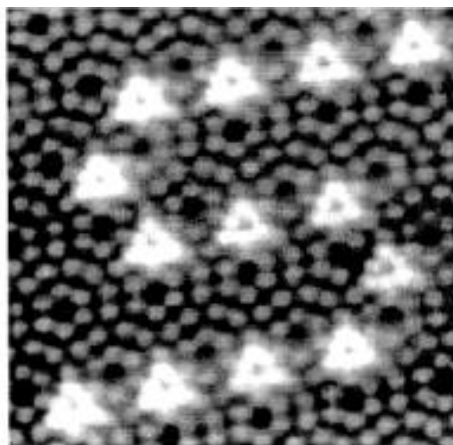
Слика 3.12 Додекаедар

Слика 3.13 Икосаедар

Поставља се питање где је граница између нанокластера и наночестица? Можда би било најоптималније закључити да је граница између наночестица и нанокластера она величина кластера код којег можемо добро дефинисати кристалну средину, што бисмо онда називали наночестица или индивидуални нанокристалит. На пример, то би биле величине кристалита веће од 2 нанометра, док би скуп мањи од 1 нанометра спадао у групу кластера. Примери нанокластера и нанокристала приказани су на сликама 3.14, 3.15 и 3.16.



Слика 3.14 Кристална наночестица

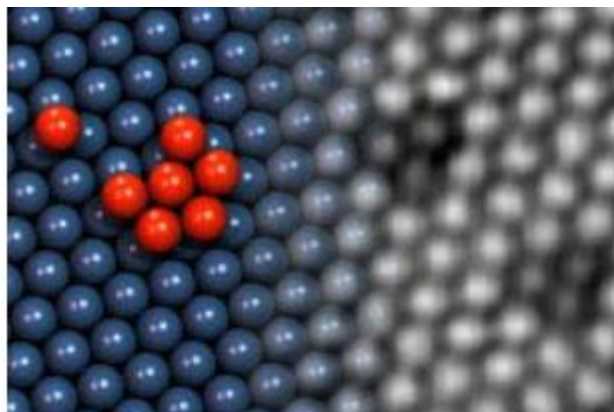


Слика 3.15 Идентични кластери атома индијума

На слици 3.14 уочава се да кристална наночестица може бити један кристалит (слика 3.14 а-ц), а може и да садржи више кристалита (слика 3.14 д-е).

На слици 3.15 видимо идентичне кластере атома индијума у облику троугла са по 6 атома који су депоновани на површину силицијума тако да чине слово S. Можемо рећи да скупови чија су физичка својства различита од макроскопских узорака, али се са њима могу упоређивати, називају наноматеријали. Скупови који имају својства која се не могу упоређивати са масивним узорцима можемо називати нанокластери.

На слици 3.14 је такође приказано да се наночестице могу слагати у *суперрешетке* (више о суперрешеткама у поглављу 6.2.4).



Слика 3.16 Нанокластер

4. Методе производње наноматеријала

Методе на којима се заснива производња наноматеријала могу се поделити у две групе. Прва група обухвата производњу наноматеријала "атом по атом" или "слој по слој", а друга се састоји од ломљења микроструктуре у наноструктуру.

У прву групу спадају:

- кондензација инертним гасом
- електродепозиција
- магнетронско распршивање,

а у другу:

- механичко млевање
- кристализација из аморфне фазе
- интензивна пластична деформација масивних узорака
- посебне хемијске методе

Најстарије и највише коришћене методе јесу кондензација инертним гасом и механичко млевање. Приликом самих почетака примене уочени су недостаци појединих метода. Узорци добијени кондензацијом инертног гаса су били порозни и количине су биле веома мале ако се упореди са скупом уређаја. Узорци произведени методом механичког млевења су садржавали велике количине нечистоћа услед хабања куглица и посуда за млевање. Иако се ове две методе највише користе, баш због набројаних недостатака који ни данас нису отклоњени, тражи се начин за проналазак других метода које не би укључивале наведене недостатке. Пажња се усмерава на две методе: електродепозицију и интензивну пластичну деформацију. Једина метода где се добијају релативно велики узорци јесте метода интензивне пластичне деформације. Нажалост, овом методом се тешко могу производити кристалити испод 100 нанометара, а нема ни неку употребу у научне сврхе, управо због скупине и нехомогене расподеле величине кристалита. Стога је механичка млевање још увек најбоља метода за производњу наноматеријала.

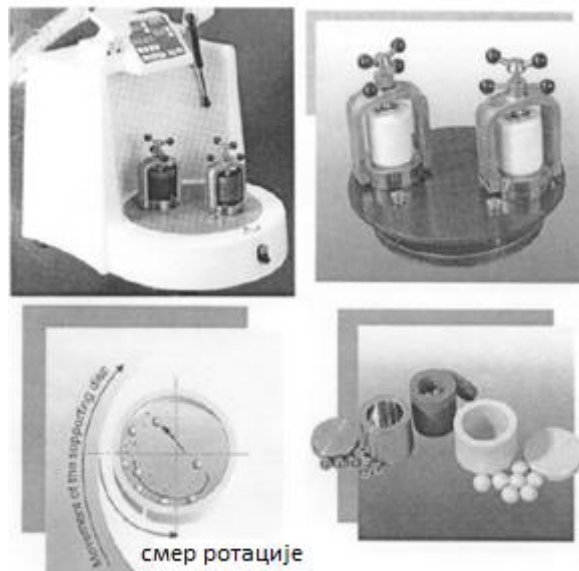
4.1. Механичко млевање

Основна метода за добијање наноматеријала јесте метода која се заснива на принципу рада кугличног млина. Сам уређај је малих димензија, релативно је јефтин и једноставан за употребу.

Седамдесетих година прошлог века, Бењамин је примењивао методу дробљења кугличним млином за ситњење кристалних зрна. Међутим, овај механички поступак није скренуо пажњу на себе све до 1981. године. Две године након тога, Schwarz и Koch су уочили Бењаминове идеје, начином који данас називамо механичко дробљење. Након 1983. године овај поступак се брзо проширио по лабораторијама широм света, па се данас разликује механичко дробљење од механичког легирања, где се у куглични млин стављају елементарне компоненте. За разлику од овога, код механичког дробљења се стављају унапред одређени материјали који су припремљени неком другом методом. Обе методе се заједнички могу назвати механичко млевање. Процес се одвија на собној температури а

главни недостатак ове методе је велико загађивање материјала који се меље. Један уређај за млевење је приказан на слици 4.1.

Велика практичност се огледа у томе да се млевење може зауставити у сваком тренутку, извадити одређена количина материјала за структурна и друга испитивања. Затим се млевење наставља до следећег заустављања, све док млевење више није потребно.



Слика 4.1 Уређај за млевење

Током млевења одигравају се бројни процеси на макроскопском, микроскопском и атомском нивоу: образовање и кретање једнодимензијских дефеката у структури, пластична деформација, смицање и лом честица, локално загревање и емисија електрона. За овај метод добијања наноматеријала користе се различити типови млинова као што су: вибрациони, планетарни и хоризонтални куглични млинови.

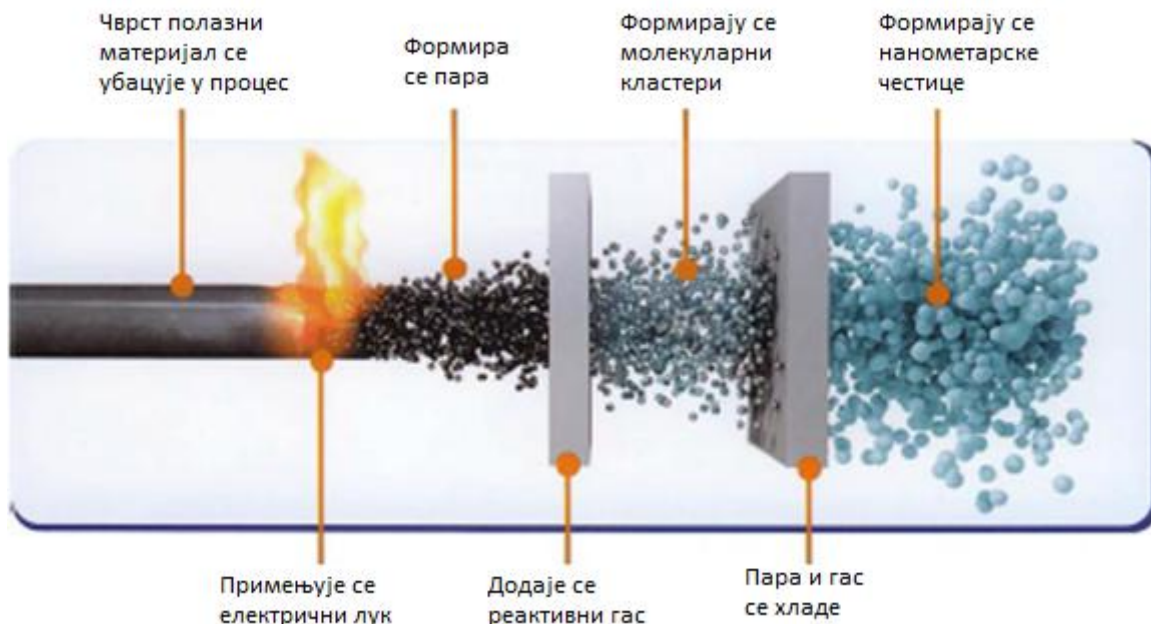
4.2. Синтеза из парне фазе

Метода синтезе из гасне фазе се може поделити на:

- метод који укључује испаравање и кондензацију – основа ове методе је провођење полазног материјала у гасну фазу испаравањем и то без укључивања хемијских реакција. Након испаравања следи кондензација, при којој се стварају честице које се затим 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 компонената у гасној фази. Ове технике синтезе су се развије из метода наношења превлака и филмова. Подешавањем услова синтезе тако да спречи раст филма, а повећа брзину хомогеног раста честица могу се добити веома чисте наночестице.

При синтези из парне фазе могу се користити различити извори енергије за активирање процеса (превођења у гасно стање), као што су отпорно загревање, ласери, микроталаси, плазма, електронски сноп или сагоревање у пламену.

Ове методе карактерише могућност добијања веома финих, неагломерисаних, оксидних и неоксидних честица, велике хомогености и чистоће, као и могућности минимализовања контаминације саме површине честице, што је уобичајени проблем који се јавља код синтезе у течной фази.



Слика 4.2 Шематски приказ процеса добијања наноматеријала из парне фазе

4.3. Синтеза из течне фазе

У ову групу метода спадају хидротермалне методе, сол-гел метода и други процеси синтезе из течне фазе методом таложења. У основи ових метода лежи мешање раствора различитих јона у тачно дефинисаним односима под контролисаном температуром и притиском. Размена топлоте се подстиче формирањем нерастворљивих комплекса који су добијени таложењем из раствора. Овакав материјал се онда скупља путем филтрирања и/или сушења, чиме се добија прах.

Предност ових хемијских процеса је у томе што се овим путем могу добити значајне количине неорганских и органских материјала, као и појединих метала, уз коришћење релативно приступачне опреме. Други важан фактор је могућност прецизног контролисања расподеле величине честица. Међутим, постоје и одређена ограничења, пре свега у добијању синтетисаног материјала чија стехиометрија, по правилу, одступа од жељене.

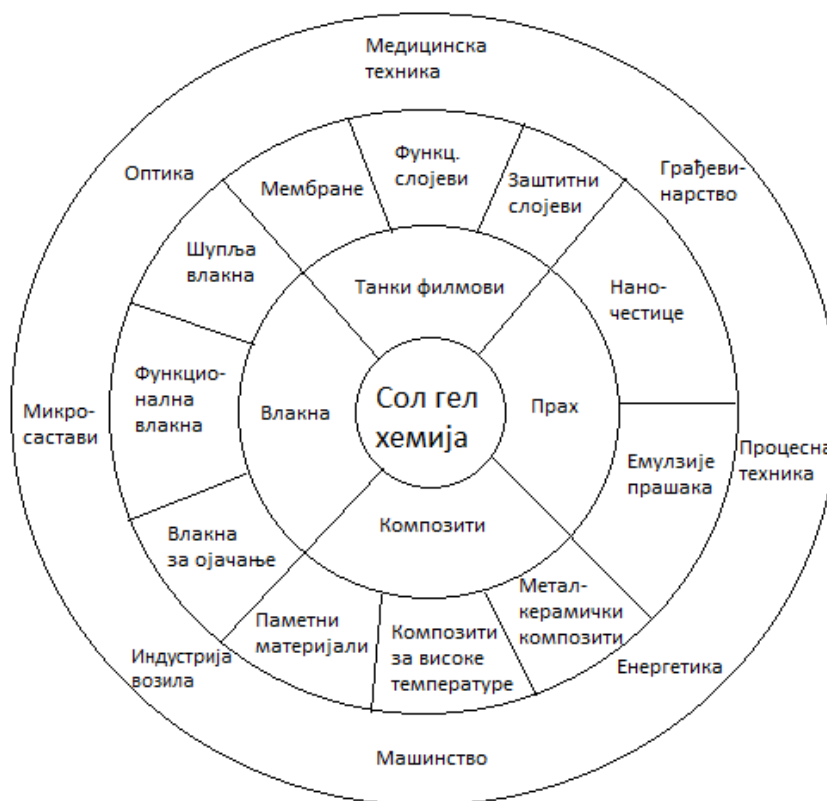
4.3.1. Сол-гел процес

Сол-гел процес је данас веома раширен процес који омогућује стварање органско-неорганских хибрида у облику прахова, влакана, мембрана, слојева, композитних структура и других облика материјала за различита подручја даље примене (слика 4.3).

Иако је откривен крајем 19. века и знатно истраживан ранијих тридесетих година 20. века, нови интерес за овим поступком почиње седамдесетих година прошлог века када су формиран монолитни неоргански гелови на ниским температурама.

Током овог поступка могу се произвести хомогени неоргански метални оксиди пожељних својстава тврдоће, оптичке прозирности, хемијске отпорности, жељене порозности и топлотне отпорности.

Сол-гел поступак укључује настајање неорганских мрежа преко гелирања сола до формирања мреже у текућој фази (гел). Гел је колоидна суспензија при којој настаје желатинасти материјал кога одликује велика крутост. Полазни материјал за синтезу тог колоида се састоји од атома метала окружених различитим реактивним лигандима.



Слика 4.3 Могућности примене сол-гел поступка

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,
- ниска цена,
- добијање једнолике дебљине превлака,
- добијање врло глатка превлаке.

Постоји неколико техника превлачења сол-гел поступком:

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

4.4. Методе формирања *in situ*

Методe формирања *in situ*, односно на лицу места укључују процесе литографије, вакуумског таложења и технологију спрејних премаза. Њиховим коришћењем се могу добити готови производи, попут транзистора, интегрисаних кола, сензора и осталих електронских компоненти. Поред тога, ове методе су намењене и за добијање наноструктурних слојева и премаза, али се могу користити и за производњу наноматеријала скидањем ових наноса са колектора.

4.5. Распршење плазме

У овом методу имамо гасну варијацију методом кондензације изузимајући чињеницу да је изворни материјал циљ распршења које користи различите гасове и састојке. Они су праћени нагомилавањем да би произвели 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 4.4 приказан је распршивач.

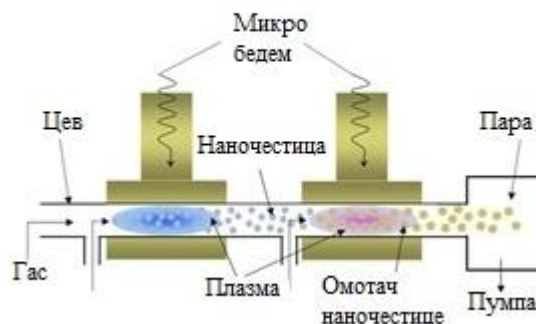


Слика 4.4 Распршивач

4.5.1. Обрада микроталаса плазме

Ова техника је слична методи кондензацијом паре, с тим што се користи плазма уместо високе температуре за разлагање. Метод користи микроталасну плазму у посуди пречника 50 милиметара која је направљена од кварца смештеног у шупљини прикљученој за микроталасни генератор. На слици 4.5 дат је шематски приказ обраде микроталаса плазме.

Главна предност плазме уз помоћ пиролизе у супротности са термичком активацијом је ниска температурна реакција која смањује тенденцију за нагомилавањем примарних честица.



Слика 4.5 Шематски приказ обраде микроталаса плазме

4.6. Ласерска аблација

Ласерска аблација (слика 4.6) се често користи за припрему наночестица и честица филмова. У овој методи, ласерски сноп се употребљава као примарни извор аблације за стварање кластера директно из чврстог узорка. Мале димензије честица и могућност формирања густих филмова чине овај метод прилично ефикасним алатом за производњу керамичких честица и премаза. Такође, аблација представља извор за аналитичке апликације као што су спојнице за индуковану плазму.



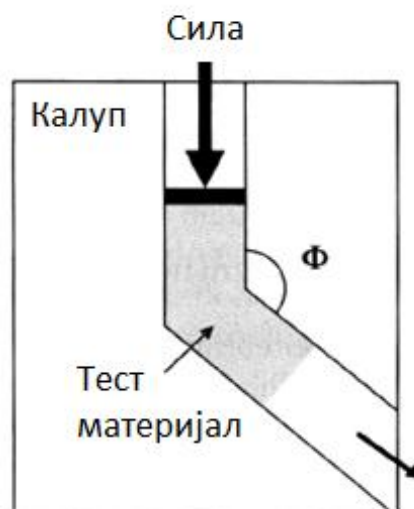
Слика 4.6 Ласерска аблација

Ласерски распршивач варница може да се користи за производњу филмова и порозност може бити измењена.

4.7. Екстремна пластична деформација

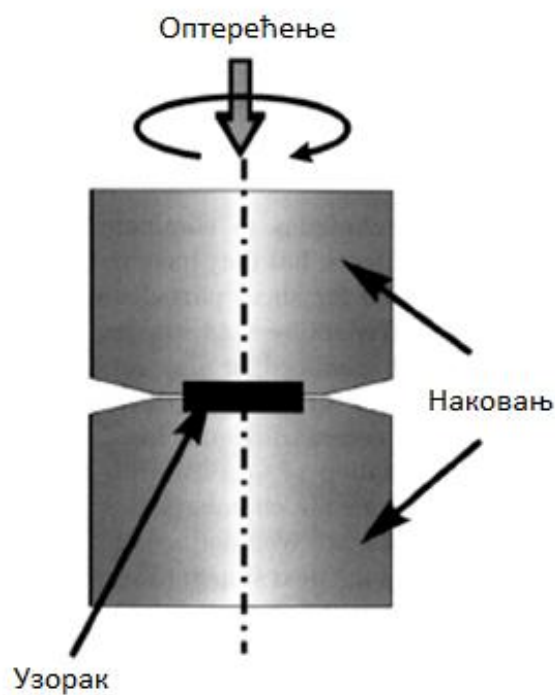
За разлику од свих поменутих метода, екстремна пластична деформација се односи пластичну деформацију масивних узорака чији кристали се у том поступку смањују на нано димензије. Постоје две варијанте ове методе:

- она где се узорак у облику диска потискује више пута кроз цев помоћу хидростатичког потискивања (слика 4.7). На тај начин, кристали се могу уситнити до 50 нанометара.
- она где се узорак клипом притиска под великим притиском, уз истовремено ротирање клипа, чиме се узорак деформише смицањем (слика 4.8). Може се произвести материјал са нанокристалима величине 10 нанометара.



Слика 4.7 Потискивање хидростатичким притиском

Највећи недостаци ове методе су неједнака расподела величине кристалита (од нанометарских до микрометарских) у истом узорку, као и величина и висока цена самог уређаја.



Слика 4.8 Деформисање узорка смицањем

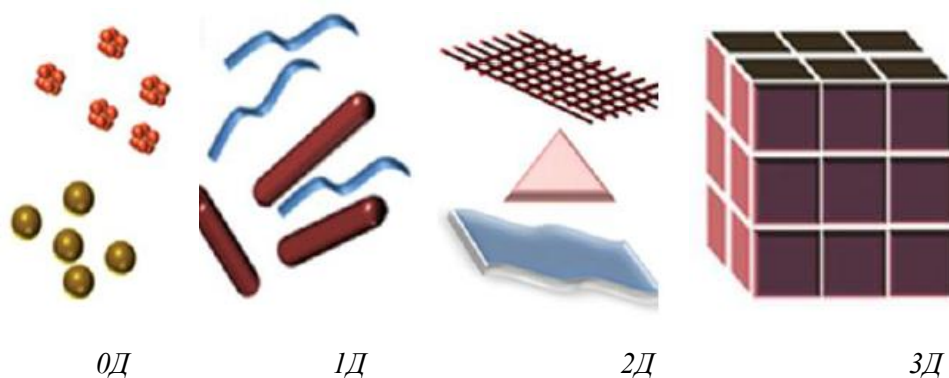
5. Класификација и врсте наноматеријала

Постоји веома велики број подела наноматеријала. Неке од тих подела су оне које се врше на основу величине и морфологије, порекла и хемијског састава.

5.1. Класификација на основу величине и морфологије

Поделу наноматеријала на основу величине и морфологије су 2008. године предложили Покроповни и Скорокход. С обзиром да је величина важна карактеристика наноматеријала, што указује и сам назив нано, наноматеријали могу да се поделе у четири основне групе:

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

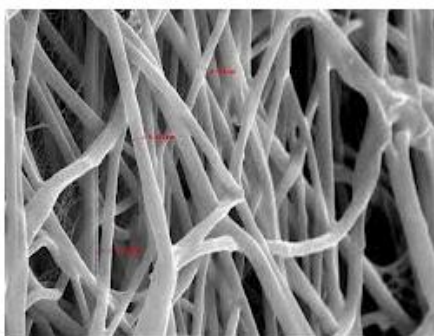


Слика 5.1 Класификација наноматеријала према величини и морфологији

Код нултодимензионалних наноструктура су све димензије мање од сто нанометара. За разлику од њих једнодимензионалне наноструктуре имају бар једну димензију која је већа од сто нанометара (Покроповни и Скорокход, 2007). Код ових структура постоје различити морфолошки облици наноструктура, од којих су у нанотехнологији најчешће изучавани:

– Нановлакна

Представљају цилиндричне, једнодимензионалне наноструктуре пречника до сто нанометара и дужине од неколико микрометара до једног милиметра. Основну структурну јединицу чине графитна плоча која се састоји од sp^2 хибридизованих угљеникових атома који су међусобно повезани у шестоугаоник.



Слика 5.2 Нановлакна

– **Наножице**

Оне су по облику исте као и нановлакна али се разликују по односу димензија дужина/пречник. Наножице су честе кристалне структуре проводичких и полупроводичких електричних особина материјала. Молекулске жице се састоје од органских или неорганских молекулских јединица које се понављају у низу.

– **Нанотраке**

Спонтаним самоувијањем нанотрака настају нанопрстенови који налазе велику примену као сензори, а поседују и пиезоелектрични ефекат

– **Наношипке**

Представљају морфолошки облик структуре на наноскали која се разликује од претходно поменутих по томе што има спољашње зидове који су несавитљиви. Све димензије наношипки се крећу у интервалу од једног до сто нанометара, односно однос дужина/пречник износи од три до пет. Синтерују се од метала или полупроводничког материјала и њихова употреба је нађена на пољу ласера и микромеханичких прекидача.

– **Наноцеви**

То су шупље цилиндричне једнодимензионалне наноструктуре. Прво су синтетисане угљеничне наноцеви, а убрзо потом и халогенидне. Последњих година су добијене наноцеви од врло различитих керамичких материјала. Наноцеви поседују велики потенцијал примене у разним областима науке и инжењерства. Велика механичка чврстоћа, одлична термичка и електрична проводљивост, велики однос површине према запремини и минимална дифузиона ограничења чине их идеалним носачима за имобилизацију биомолекула као што су протеини, антигени, витамини, хормони, антибиотици и друго. Примењују се у авио, текстилној, електронској али и у многим другим индустријама. Деле се на:

- једнослојне угљеничне наноцеви
- двослојне угљеничне наноцеви
- вишеслојне угљеничне наноцеви

Угљеничне наноцеви се могу добити следећим техникама:

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

5.2. Класификација према пореклу

На основу **порекла** наноматеријали могу да се поделе на две групе:

- природни
- антропогени

У природне наноматеријале спадају, на пример, фулерени, чађ, макромолекулски колоиди органске материје. Њихово природно порекло може да потиче од комета и астероида који су из космоса стигли до земљине површине, а могу се формирати и из полицикличних ароматичних угљоводоника из алги у току метаморфозе на температурама између 300 и 500 степени Целзијусових, 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.

5.3. Класификација на основу хемијског састава

На основу *хемијског састава*, наноматеријали се могу поделити на:

- органске
- неорганске

У групу органских наноматеријала спадају материјали који садрже угљеник. У табели 1 је дата примена органских и неорганских наноматеријала.

Табела 5.1 Примена органских и неорганских наноматеријала

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

Групи неорганских наноматеријала припадају честице које су базиране на металним оксидима (цинк-оксид, гвожђе-оксид, титанијум-диоксид, церијум-оксид) и метали (злато, сребро, кобалт и гвожђе).

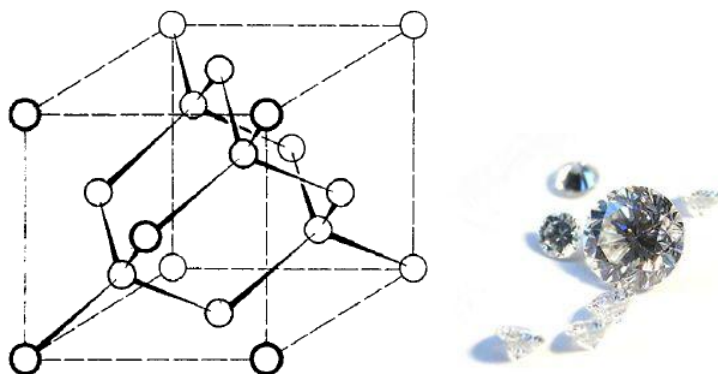
5.4. Угљенични наноматеријали

У природи се угљеник налази у облику једињења, али се може наћи и у слободном стању. Угљеник је саставни део биљног и животињског света. У саставу са кисеоником налази се у атмосфери као угљен-диоксид и у системима као карбонат, најчешће калцијума и магнезијума. Физичке, хемијске и електричне особине угљеничних наноматеријала уско су повезане са структурном конформацијом угљеника, а тако и са типом хибридизације. У 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 (слика 5.10). Узависности од типа хибридизације, могуће је везивање са другим угљениковим атомима уз настанак неке од три главне алотропске модификације угљеника.

5.4.1. Дијамант

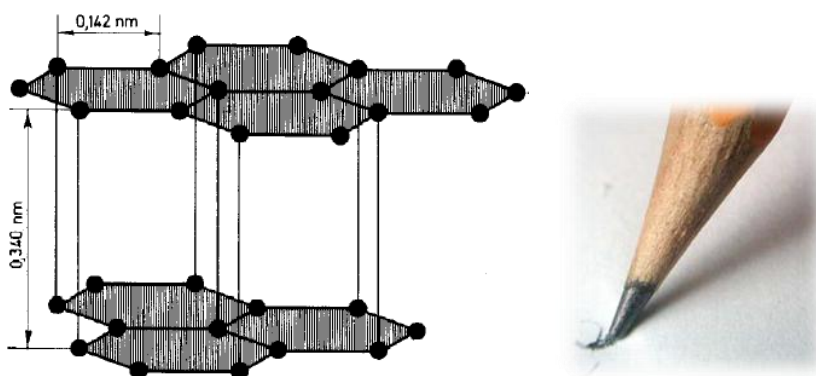
Најтврђи минерал који се може наћи у природи. При атмосферском притиску и собној температури, дијамант је термодинамички нестабилан, па конвертира у графит. Та конверзија је толико спора да се дијамант сматра кинетички стабилном супстанцом. Због своје тврдоће, дијамант се користи као алат за резање, бушење, брушење и полирање. Резањем и полирањем се добија брилијант који се користи у изради накита. Највећи светски произвођачи дијаманта су Аустралија, Русија и Јужноафричка Република.



Слика 5.3 Структура и пример дијаманта

5.4.2. Графит

Минерал који се јавља као једна од три алотропске модификације угљеника. Најчешћа и најстабилнија је, управо, графит. *Сиве* је боје. Графит је једини неметал који добро проводи електричну струју и топлоту. Употребљава се за подмазивање, у електролизи, за контакте у електричним моторима и тако даље. Највећи рудници графита се налазе у Кини. Остали велики произвођачи су Индија, Бразил, Северна Кореја и Канада.

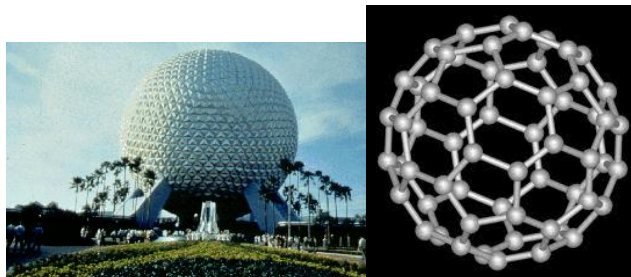


Слика 5.4 Структура и пример графита

5.4.3. Фулерен

Алотропска модификација угљеника која је откривена 1985. године, пуком игром случаја, када је ласерски синтетизован молекул C_{60} . За ово откриће научници *Харолд Крото*, *Ричард Смоли* и *Роберт Керл* су 1996. године добили Нобелову награду. Фамилија фулерена су сферни молекули који представљају трећу модификацију угљеника, а најстабилнији представник групе фулерена је молекул C_{60} . Данас се фулеренима назива

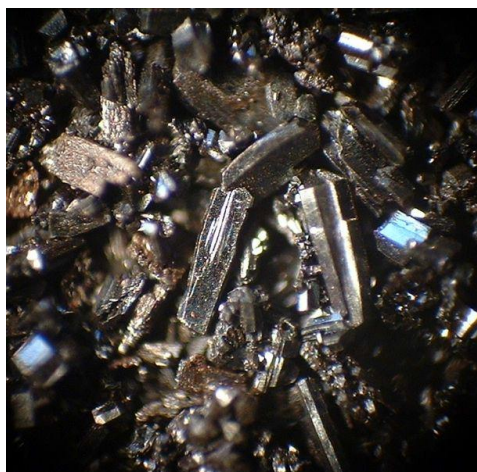
читава група затворених, сферних угљоводоничних структура. Молекул C_{60} гради кристалну форму која по својој симетричности спада у највиши ранг уређености. Овај молекул има 60 угљеникових атома и налик је на фудбалску лопту. Први назив овог молекула је био фудбален док се данас за целу класу ових угљеника користи назив фулерен. Током протеклих 20 година истраживања, фулерен је, захваљујући хемијским особинама својих деривата, као и својим магнетним, електронским и проводним карактеристикама, заузео значајно место на подручју наноматеријала.



Слика 5.5 Слика лево показује амерички павиљон на изложби у Монтреалу 1967. године, а слика десно фулерен C_{60}

5.4.3.1. Структурне карактеристике фулерена

До сада смо знали за кристале као најуређеније структуре (слика 5.6), 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.



Слика 5.6 Молекул C_{60} у кристалној форми

Као индивидуални ентитет, молекул C_{60} , је чвршћи 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. 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 ендоедралних комплекса
- Формирање међумолекуларних веза – Фулерен подлеже различитим типовима хемијских реакција адиције, што омогућава настајање метанофулерена или фулероида.

5.4.3.2. Енергетске карактеристике фулерена

Са енергетског аспекта фулерен личи на један велики атом. Молекул C_{60} се може везивати са другим молекулима на два начина: јаким ковалентним везама и slabим π везама. Слабе везе омогућавају брзе реакције и оне се остварују просторном оријентацијом π електрона, што је у науци ново, јер се оријентација π електрона до сада посматрала искључиво у равни. Генерално посматрано, закони енергетског стања молекула C_{60} су одређени његовом симетријом која произилази из његове структуре.

5.4.3.3. Примена фулерена

Молекул C_{60} је отпоран на спољашња дејства а поред тога, изузетно је стабилан. Електронски облак му омогућава да даје и прима електроне и теоријски је могуће да помоћу овог молекула на простору од 1 нанометра кубног, ускладиштити до 60 атома.

Захваљујући посебној структури, фулерени су једина форма угљеника код које је процес хидрогенизације и дехидрогенизације реверзибилан, а то је веома важна карактеристика за њихову примену. Развијено је више поступака реверзибилне хидрогенизације и дехидрогенизације полихидрофулерена:

- Каталитичка хидрогенизација
- Електрохемијска хидрогенизација
- Birch-Huckel-ова редукција

Пошто је веома тврд, фулерен може послужити као материјал за фино брушење, а од њега се могу направити микроскопски мали куглични лежаци за супербрзе моторе. Због насумичног ротирања, електромагнетно поље фулерена је малог интензитета али је разним технолошких решењима могуће контролисати смер ротације и на тај начин добити електромагнетно поље знатно већег интензитета. Предлаже се да се као начин лечења тумора примени метода којом би се у угљеничне кластере убацили радиоактивни атоми. Биомедицинска истраживања показују да је могућа примена фулерена како у лечењу сиде, тако и у лечењу канцера. Због сферног облика и структурних својстава могуће је од овог материјала направити високопаралелне мреже на молекуларном нивоу. Могућности овог феноменалног и прелепог молекула су безбројне.

5.4.4. Угљеничне наноцеви

Угљеничне наноцеви су цилиндричне структуре које су настале савијањем једног или више графитних листова. Графитни листови чине зидове наноцеви који су паралелни са осом цеви. Открио их је Јапанац *Сумио Илијма* 1991. године током синтезе фулерена. У материјалу депонованом на катоди биле су присутне различите угљеничне структуре, а међу њима и наноцеви које никада до тада нису биле уочене. Илијма је установио да се наноцеви састоје од концентрично увијених графитних листова, при чему постоји велики број могућих стереоизомера у зависности од просторног распореда угљениковог атома у молекулу.

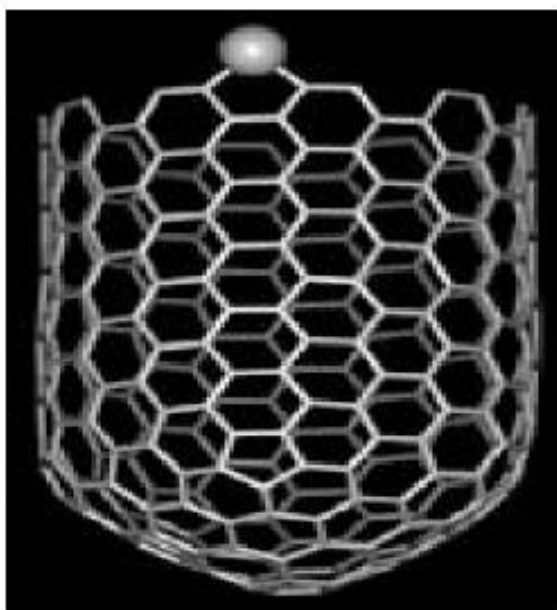
Наноцеви се разликују од графитних плоча на два начина. Прво, једнодимензионална геометрија наноцеви изазива затварање на крајевима. Друго, оријентација увијених

графитних листова има велики утицај на електронске особине угљеничних наноцеви. За разлику од нултодимензионалних наноматеријала, степен закривљености у наноцевима је ограничен на једну димензију, а јачи sp^2 карактер овог везивања смањује притисак енергије на бочне угљеникове атоме.

У зависности од броја графитних листова разликују се два основна типа угљеничних наноцеви:

5.4.4.1. Једнослојне угљеничне наноцеви

Представљају цилиндричне структуре које се састоје од једног увијеног графитног листа чији начин увијања одређује и основне карактеристике те цеви. Структура једнослојне наноцеви се може схватити као када бисмо узели један слој атома графита, званог графен, и увили га у цилиндар, тако да на крајевима има капе (слика 5.7). Али, те капе се могу и одстранити. Оне настају миксовањем петоугаоника са шестоугаоникима и због тога се сматра да су наноцеви блиске фамилији фулерена.



Слика 5.7 Приказ капе настале увијањем графена у цилиндар

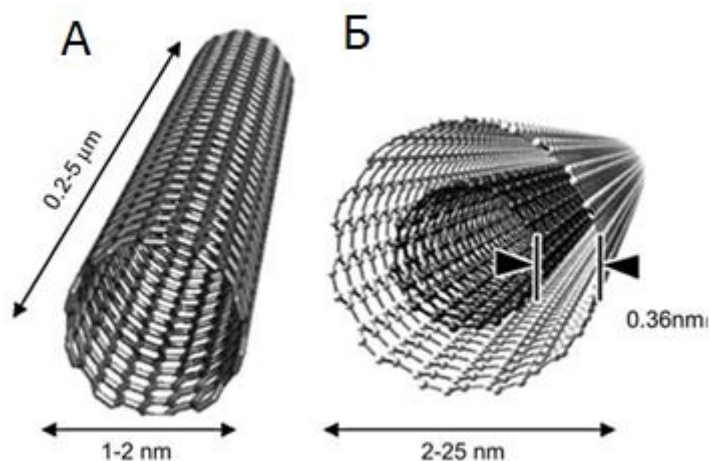
Угљеничне једнослојне наноцеви могу бити проводници или полупроводници. Ове особине су условиле нова истраживања у жељи да се наноцеви користе за израду електричних кола. Последњих неколико година се дошло до значајног напретка у конструкцији основних електричних елемената од транзистора до једноставнијих логичких кола.

Постоје различити начини стварања једнослојних наноцеви. Механизам који је одговоран за раст наноцеви још увек није испитан у потпуности. Амбиције произвођача једнослојних наноцеви су да остваре што већу контролу над њиховим димензијама, то јест, њиховим пречником и дужином као и над њиховом формом. Обим производње је прилично мали и квалитет варира од произвођача до произвођача.

5.4.4.2. Вишеслојне угљеничне наноцеви

Представљају цилиндричне угљеничне структуре које се састоје од више слојева увијених графитних листова. Њихов пречник и дужина разликују се у односу на једнослојне угљеничне наноцеви, па самим тим имају и другачије особине. Структура вишеслојних угљеничних наноцеви се може објаснити помоћу различитих модела који су у сагласности са добијеним експерименталним резултатима. Модел "Russian Dolls" (Руске лутке) описује вишеслојне наноцеви које се састоје од графитних листова увијених тако да

формирају концентричне цилиндри, док је у моделу "Parchment" (пергамент) само један графитни лист цилиндрично увијен.



Слика 5.8 Приказ структуре (А) једнослојних и (Б) вишеслојних угљеничних наноцеви

На слици 5.8 дат је приказ једнослојне угљеничне наноцеви са типичним димензијама у опсегу од 0,2 до 5 микрометара, ширине од 1 до 2 нанометара, док су за вишеслојне наноцеви типичне димензије ширине у опсегу од 2 до 25 нанометар, а растојање између графитних листова је 0,36 нанометара. Пречник наноцеви може да варира у опсегу од неколико десетина до неколико стотина нанометара, док им је дужина од неколико милиметара или чак центиметара.

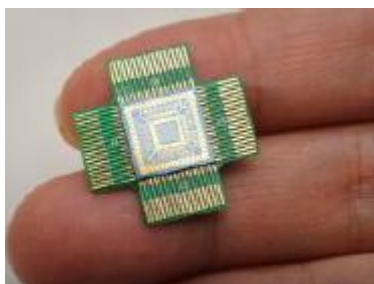
Јаке ван дер Валсове силе између цеви компликују њихову употребу и манипулацију. Ове силе доводе до мале дисперзије угљеничних наноцеви у поларним растварачима. Често је неопходна употреба ултразвука да се снопови наноцеви раздвоје.

Једнослојне и вишеслојне наноцеви имају доста недостатака као што су остаци нечистоћа изазваних применом металних катализатора као и физичка хетерогеност. Док број процедура за пречишћавање расте, смањење варијација између добијених узорака наноцеви је изазов за истраживање и комерцијалну примену ових материјала.

5.4.4.3. Примена угљеничних наноцеви

Примена угљеничних наноцеви је подручје које се веома брзо развоја и које поседује веома велики потенцијал. Примери неких примена дати су у наставку.

Хемијски сензори – електрична проводљивост једнослојних наноцеви је при собним температурама осетљива на промене у хемијском саставу. Доказано је да постоји линеарна зависност између концентрација адсорбованог гаса и разлике у електричним својствима, па је због тога адсорпција реверзибилна. Осетљивост сензора који су темељени на угљеничним наноцевима је око три реда величина већа од стандардних уређаја тог типа.



Слика 5.9 Пример сензора

6. Својства наноматеријала

Од прве синтезе металних стакала 1960. године, истраживаче су интересовала физичка, а поготово механичка својства таквих материјала. Због тога су настојали да их упоређују са другим својствима кристалних материјала истог хемијског састава. Gleiterova верзија о посебним физичким својствима наноматеријала показала се као исправна и врло брзо се уочило да су многа својства примерена за одређену примену.

Последњих година, развој наноматеријала је изузетно брз услед потенцијалне технолошке примене у широком подручју као што су електроника, керамике, катализатори, структурне компоненте... Том технологијом, наноматеријали показују интересантна физичка и механичка својства, нарочито побољшање механичких својстава, већи капацитет и електричну отпорност у поређењу са грубим материјалима.

Посебно интересантни јесу аморфни материјали, јер у поређењу са кристалним материјалима не поседују кристалите, међу кристалне границе, дислокације и тачкасте дефекте.

У следећим поглављима ћемо детаљно размотрити нека 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.

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

- има што већу границу еластичности,
- буде чврсто/жилаво,
- 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.

Механичка својства наноматеријала се баве материјалима од метала и керамике, утицајем порозности, утицајем величине зрна, суперпластичношћу, полимерним композитима, наноцевима на бази композита. Расправа о механичким особинама 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 нанометара. Међутим, два материјала, од којих ниједан није произведен пресовањем или синтеровањем, 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 запањујуће особине. Експерименталне студије на механичке особине 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 особина. 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 најбоље механичке особине 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. Ова врста композита је пожељна у природи и саставни је део костију. Показује изузетна механичка и термичка својства.

6.2. Структурна својства

6.2.1. Полиаморфизам

Полиаморфизам је појава да неки кристални материјал може у истом хемијском саставу постојати у више кристалних форми, зависно од температуре или притиска. Таква појава у аморфним структурама је уочена тек пре неколико година, а да би је разликовали према кристалним материјалима, појава је названа полиаморфизам. Дакле, полиаморфизам би требала бити способност аморфног материјала да постоји у различитим аморфним облицима уз хемијски састав који остаје непромењен. С обзиром да се код аморфних материјала полиаморфизам појављује једино под екстремно високим притисцима, то би било значајно кад би се аморфне фазе са високим притиском могле задржати и на стандардном притиску јер се очекује да би такве фазе требале имати различита оптичка, механичка, електрична и друга својства, што би отворило нове перспективе у науци. Приликом примене високих притисака уочава се да се густина повећава више него што би требала, а то се тумачи променом структуре.

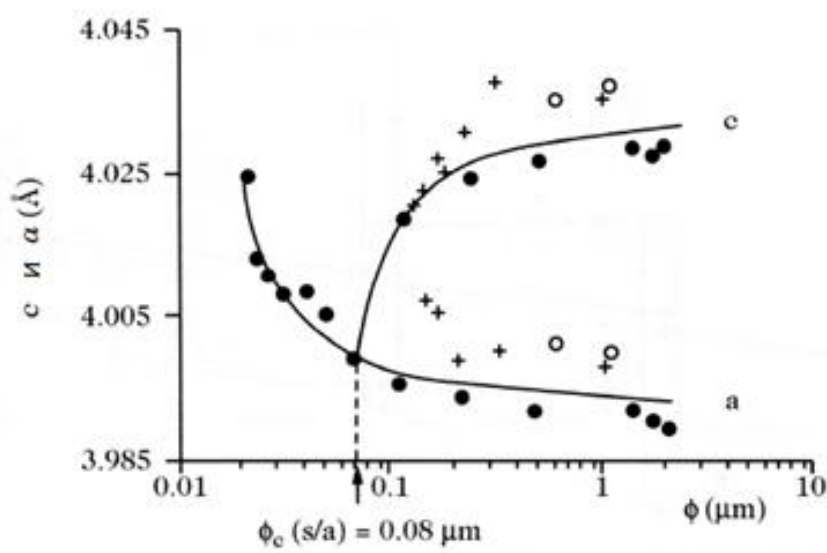
6.2.2. Параметри јединичне ћелије нанокристала и кластера

Почетком 1990-тих година уочено је да се параметри јединичне ћелије нанокристала разликују од вредности микрокристалних узорака. У табели 1 су приказане промене параметара (у процентима) јединичне ћелије нанокристалних узорака у поређењу са микрокристалним узорцима a_0 .

Табела 1. Промене параметара јединичне ћелије нанокристалних узорака

Пример	Пречник (нанометар)	Синтеза	Δa , Δc
Cr	11	UFP	$\Delta a = +0.04\%$
Fe	8	BM	$\Delta a = +0.09\%$
Cu	85	SPD	$\Delta a \sim 0$
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	$\Delta a = +0.20\%$ $\Delta c = -0.23\%$

У табели су дате и величине кристалита d . Повећање параметара јединичне ћелије узрокује смањење величине кристалита. То, пак, није случај код паладијума где се параметар јединичне ћелије смањује. Код тригонских или тетрагонских материјала параметар c се смањује. Међутим, ако се израчуна запремина јединичне ћелије, добија се повећање. Да смањење величине кристалита стварно повећава укупну запремину јединичне ћелије показује пример селена, где је појава уочена у нанокристалу селена добијена са две потпуно различите технике (кристализацијом аморфне фазе, односно интензивним млевењем).

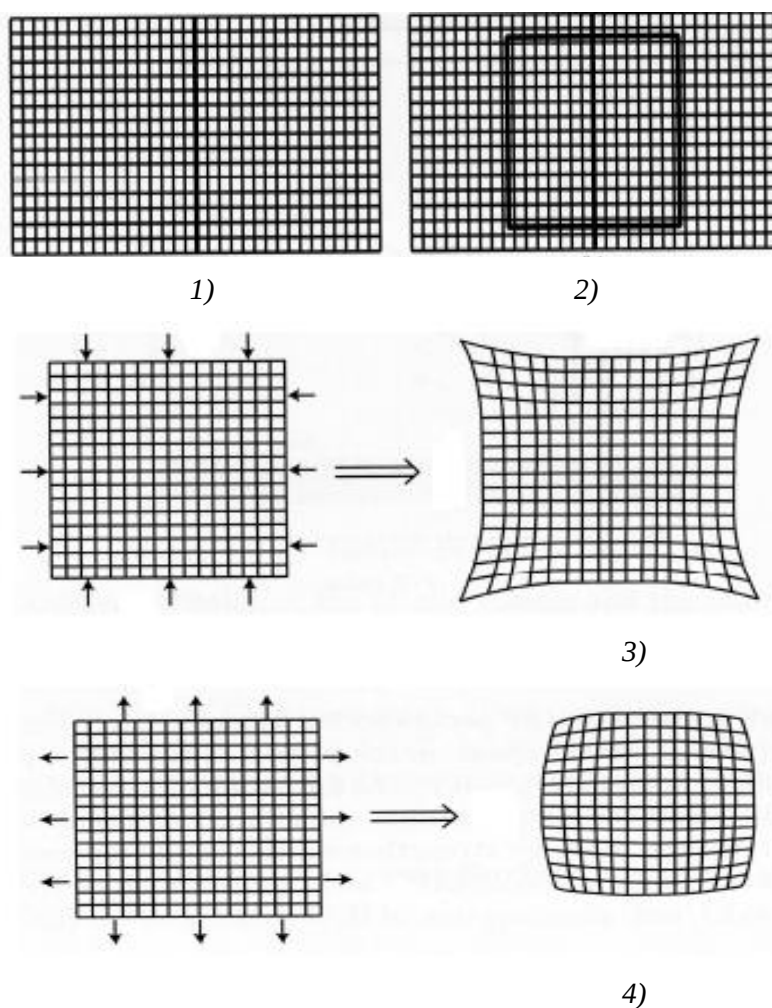
**Слика 6.1** Приказ константне запремине јединичне ћелије у зависности од параметара c и a

На слици 6.1 иако се чини да се параметар c много више смањује него параметар a , запремина елементарне ћелије остаје константна.

За разлику од нанокристала, код кластера се уочава супротан ефекат. Параметар јединичне ћелије се у кластерима смањује обрнуто пропорционално са променом кластера. Појаву објашњавамо утицајем површинске напетости. Наиме, самосталан кластер може да се посматра као кап течности. Уколико претпоставимо да има велико кристално зрно које се смањује, онда се утицај површинске напетости 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 запремине јединичне ћелије.

Понашање кристалне решетке нанокристалита и нанокластера може се сликовито објаснити помоћу слике 6.2:

1. где је замишљено да смо изрезали један нанокристалит из кристалне решетке,
2. у којем су спољашњи и унутрашњи притисци изједначени,
3. како је површинска енергија позитивног предзнака, са смањењем величине кристалита повећава се притисак унутар кристалита,
4. долази до експанзије решетке.

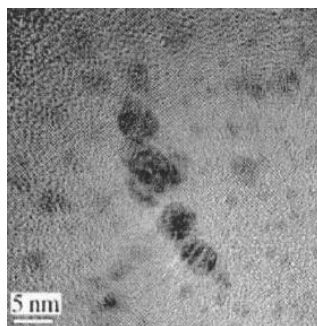


Слика 6.2 Приказ понашања кристалне решетке нанокристалита и нанокластера

6.2.3. Квантне тачке

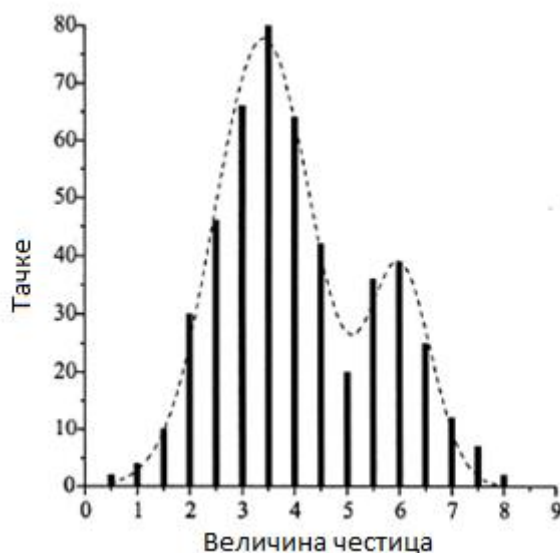
Металне наночестице уграђене у диелектричну матрицу показују се као технолошки веома занимљив материјал услед специфичне оптичке апсорпције, па би се могли такви материјали применити за фотоничке уређаје. Наночестице се убацују најчешће методом јонске имплантације. На слици 6.3 је приказана слика наночестица сребра имплантираних у

силикатно стакло, док је на слици 6.4 приказана расподела честица по величини, па је видљиво да су имплантиране честице груписане око двеју средњих димензија, 3,5 и 6 нанометара.



Слика 6.3 Наночестице сребра у силикатном стаклу

Данашња технологија омогућава производњу наночестица различитих материјала. Припреме и истраживања наночестица и нанокластера су све учесталија услед потенцијално примењивих својстава, а посебно су занимљиве квантне тачке.



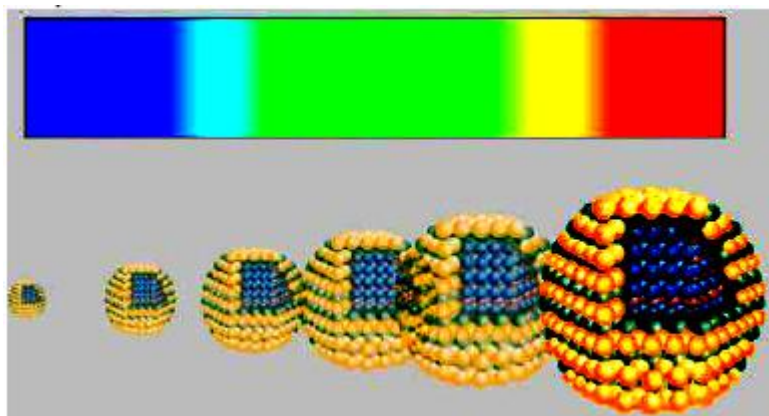
Слика 6.4 Расподела честица по величини

Само име квантна тачка звучи веома егзотично, међутим, ако се посматра искључиво структурно, то су кристалне наночестице или нанокластери, типично величине од 2 до 10 нанометара, уграђени у кристалну или аморфну матрицу неког другог материјала. Присетимо се основног својства 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 нивоу се више не могу сматрати континуиранима већ дискретнима. Појава се назива квантно ограничење и полупроводни кристалит се почиње називати квантна тачка.

Променом димензија квантне тачке може се врло прецизно контролисати таласна дужина зрачења које се емитује. То значи да се производи полупроводнички материјал који зрачи жељену "боју". Уствари, што је квантна тачка већа, зрачи "црвеније", а што је мање зрачи "плавије" (слика 6.5). Примера ради, група истраживача са Универзитета у Илиноису је објавила податак да су направили полупроводнички материјал који садржи

квантне тачке пречника од 2 до 10 нанометара, који зрачен ултраљубичастом светлошћу флуоресцира у подручју видљиве светлости.



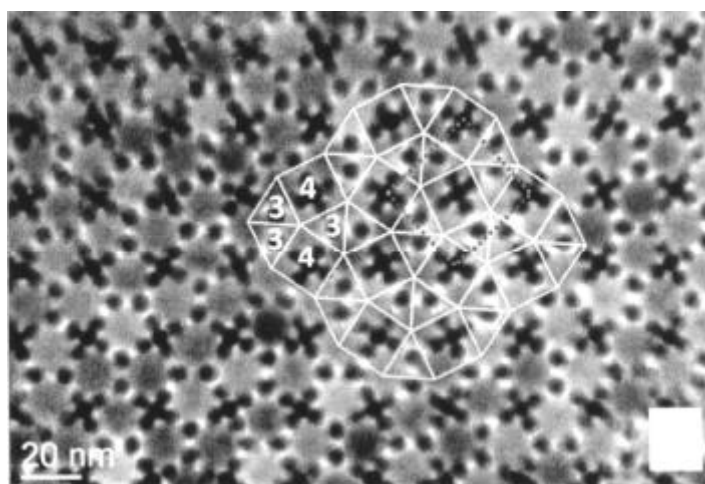
Слика 6.5 Контролисање таласне дужине зрачења променом димензија квантне тачке

Посебно велика очекивања примене квантних тачака је у оптоелектроници; инфрацрвени детектори и камере, ласери, диоде и соларне ћелије.. На примеру соларних ћелија може се уочити предност квантних тачака пред класичним полупроводницима.

6.2.4. Наночестичне суперрешетке

У поглављу 3.2 "Наночестице и нанокластери" се могло приметити да се наночестице могу уредити у правилне структуре, у неку врсту суперрешетке. У основи се структура наночестичне суперрешетке може дефинисати као правилно кристално уређење у којем свака индивидуална наночестична компонента садржи од неколико стотина до десет хиљада атома. Основни принцип припреме бинарне наночестичне суперрешетке састоји се у урањању подлоге у колоид у коју се мешају претходно одређеним поступком припремљене наночестице. Запремински удео наночестица у раствору мора износити барем 55%.

Недавно су добијене и квазикристалне бинарне наночестичне суперрешетке (слика 6.6). Појава указује да за стварање наночестица нису потребна међучестична деловања, већ то спада у општи проблем слагања малих сферних објеката вођено ентропијом и јединственим међучестичним потенцијалом.



Слика 6.6 Бинарне наночестичне суперрешетке

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.

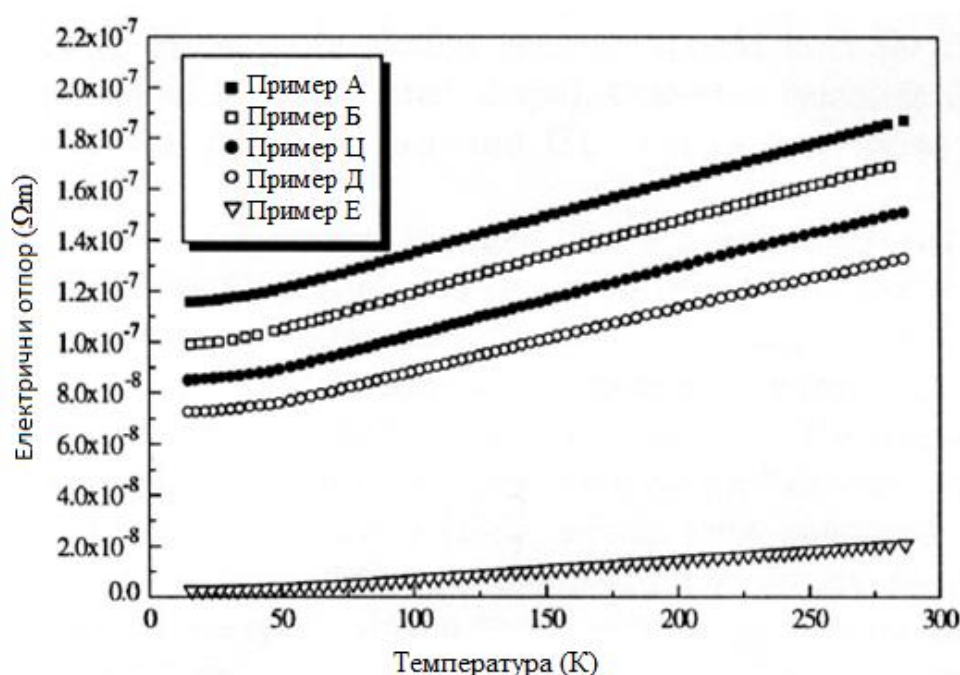
6.3 Електрична својства

Још пре него што је започела производња нанокристалних материјала, истраживаче је занимало каква је зависност између електричне отпорности и величине кристалита. Добијали су се различити резултати а сматрало се да је последица тога различита микроструктура узорака (број дислокација, дезоријентација кристалита). С обзиром да се електрони распршују на споменутим дефектима они повећавају електричну отпорност.

Табела 6.2 Зависност отпорност и микродеформације

Пример	D (нанометар)	Температура	$(\epsilon)^{1/2}$ (%)	ρ_0 (Ωm)	k
А	15	19	0.248	$1.15 \cdot 10^{-7}$	2.00
Б	14	21	0.213	$9.79 \cdot 10^{-8}$	1.99
Ц	13	22	0.168	$8.41 \cdot 10^{-8}$	1.99
Д	16	22	0.147	$7.18 \cdot 10^{-8}$	1.99
Е	-	350	0	$2.49 \cdot 10^{-9}$	3.78

Међутим, мерећи отпорност, на пример нанокристала бакра, уочава се велика зависност отпорности и микродеформација. Смањењем микродеформација смањује се и отпорност (Табела 6.2 и слика 6.7).



Слика 6.7 Зависност отпорности и микродеформације

Електрична својства наноматеријала се базирају на електричној проводљивости у наноцевима, угљеничним наноцевима, наношипкама, електричној проводљивости нанокомпозита. Један од начина који може да се користи за показивање проводљивости јесте механичко разблаживање наножица и мерење електричне струје при константном напону. Веома важна ствар је да се са смањењем пречника жице, број електронских режима таласа који доприноси електропроводљивости постаје све мањи.

Код електричне проводљивост угљеничних наноцеви, само један електронски режим таласа врши транспорт електричне струје. Како је дужина и оријентација угљеничних наноцеви различита, они могу да додирују површину живе у различитим тренуцима. Тиме се обезбеђују два скупа информација:

1. утицај дужине угљеничних наноцеви на отпорност
2. отпорности различитих наноцеви



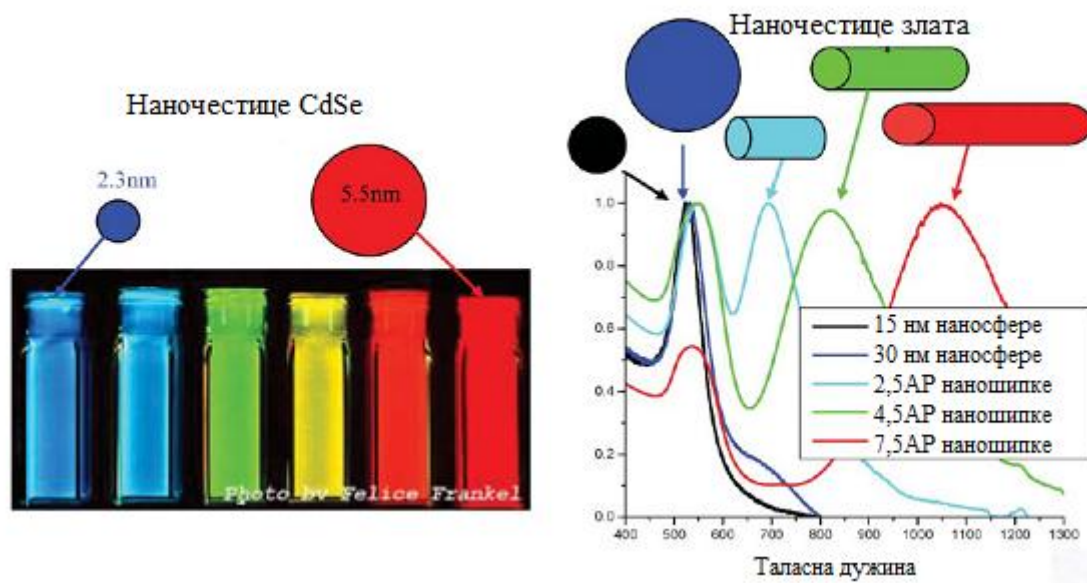
Слика 6.8 Електрична понашања наноцеви

Пошто наноцеви имају различите дужине, онда ће се са повећањем снопа влакана повећавати и број угљеничних наноцеви које ће додиривати површину капљица живе и тиме доприносити транспорту електричне струје (слика 6.8).

6.4. Оптичка својства

Један од најфасцинантнијих и најкориснијих аспеката наноматеријала јесу његова оптичка својства. У апликације које су засноване на оптичким особинама наноматеријала спадају оптички детектор, ласер, сензор, сликање, приказивање, соларне ћелије, фотокатализацију и биомедицину.

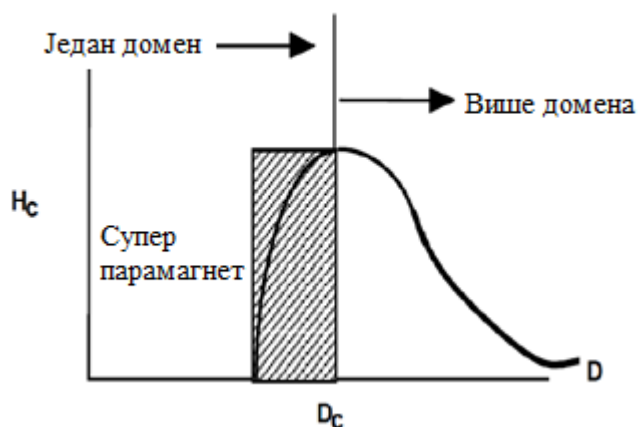
Оптичке особине наноматеријала зависе од величине функције, облика и површинских карактеристика и осталих параметара који обухватају интеракције са окружењем или другим структурама. Исто тако, облик може имати драстичан утицај на оптичка својства металних наноструктура. На слици 6.9 је дата разлика оптичких својстава метала и полупроводничких наночестица. Са CdSe полупроводничким наночестицама, једноставном променом величине мењају се и оптичка својства наноматеријала. Када се металне наночестице увећавају, њихове оптичке особине се мењају мало, као и посматрање различитих узорака злата на слици 6.9. Међутим, када се анизотропија додаје наночестицама, оптичка својства наноматеријала се драстично мењају.



Слика 6.9 Разлика оптичких својстава метала и полупроводничких наночестица

6.5. Магнетна својства

Злато и платина немају магнетна својства, али када се налазе у нано величини, заправо постају магнети (слика 6.10). 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 особина наночестица помоћу прекривања истих са одговарајућим молекулима. Заправо, било би могуће да се неферомагнетни материјали понашају попут феромагнетних, онда када се налазе у нано опсегу. Од немагнетних материјаласе могу добити магнетне наночестице паладијума, платине и, на опште изненађење, злата. У случају паладијума и платине, феромагнетизам настаје услед структурних промена у вези са ефектима величина. Међутим, наночестице злата постају феромагнетне када су прекривене одређеним молекулима: пуњење је локализовано на површини честице која доводи до повећања феромагнетних својстава.



Слика 6.10 Магнетна својства наноструктурних материјала

Површина и језгро наночестице злата са пречником од 2 нанометра има феромагнетни и парамагнетни карактер. Велики спин ових племенитих метала доприноси великој анизотропији и због тога показују високе температуре. Запањујућа је чињеница да се стални магнетизам одржава на собној температури прекривања наночестица злата одређеним композитом. Злато има изузетно ниску густину и постаје диамагнетик, као што је случај са наночестицама злата. Ово запажање сугерише да се модификација d нивоа помоћу хемијских веза може изазвати феромагнетни карактер код металних кластера.

7. Примена наноматеријала

Наноматеријали имају широк спектар примене на пољу електронике, горивих ћелија, батерија, медицине, оптике, у војне сврхе и тако даље. Чињеница је да наноматеријали сукобљавају мишљења људи из те области, нарочито због њихових хемијских, физичких и механичких осовина и изузетне обрадивости.

7.1. Гориве ћелије

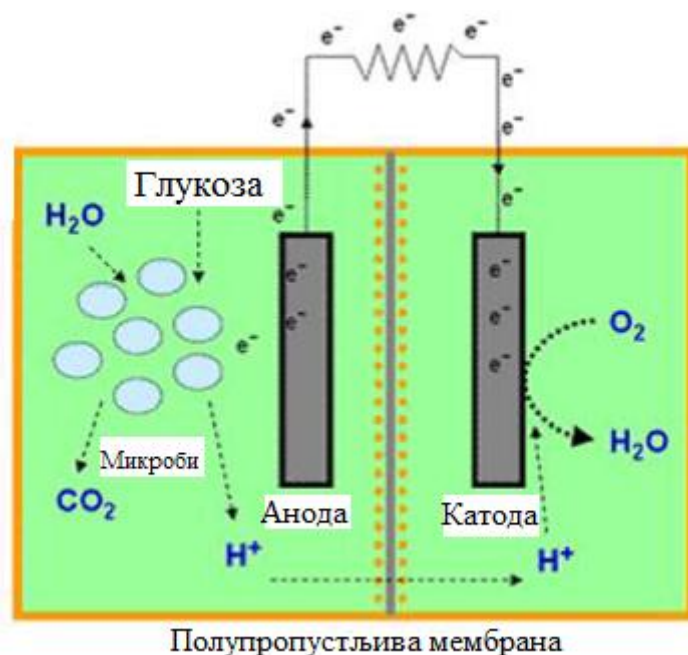
Горива ћелија је електрохемијски уређај који врши конвертовање хемијске енергије из ћелије директно у електричну струју. Срце гориве ћелије јесу електроде. Учинак гориве ћелије може бити оптимизиран на два начина:

1. унапређењем физичке структуре,
2. коришћењем катализатора.

Структура електроде мора да обезбеди велику површину, максималан контакт катализатора, олакшан транспорт гаса и добру електричну проводљивост. Са оваквом структуром, трошкови би требали да буду сведени на минимум.

Иако постоје различити типови горивих ћелија, принцип рада се заснива на истом принципу. Горива ћелија се састоји из аноде, катоде и електролита.

7.1.1. Микробиолошке гориве ћелије



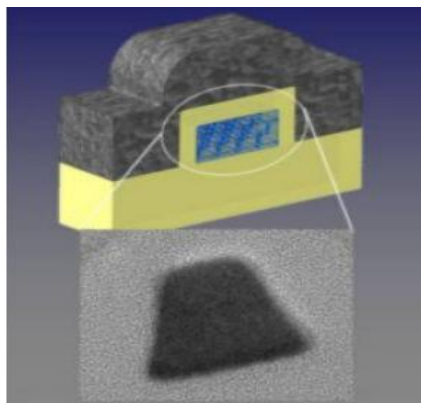
Слика 7.1 Шематски приказ микробиолошке гориве ћелије

Технологија која се заснива на микробиолошким горивим ћелијама (слика 7.1) ће омогућити генерисање електричне струје приликом испитивања чистих или индустријских отпадних вода.

7.2. Примена у електроници

7.2.1. Први транзистор без p-n споја

Тим научника са Tyndall National института су пројектовали и произвели први транзистор без *p-n* споја (слика 7.2). Он би могао да буде кључан у револуционарној производњи микрочипова у полупроводничкој индустрији. Овај транзистор захтева мању потрошњу и једноставнију производњу од оних транзистора на силицијумском чипу.



Слика 7.2 Први транзистор без *p-n* споја

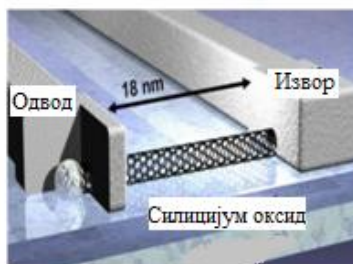
Рад транзистора

Рад транзистора је базиран на следећи начин:

Струја тече кроз веома уски слој силицијума и њен проток се савршено контролише помоћу прстенасте структуре која се стеже око тог слоја и тако контролише промену јачине струје. Овакву структуру је врло једноставно израдити чак и на јако минијатурним скалама што доводи до велике уштеде на трошковима и смањења потрошње енергије. Научници са Tyndall National института кажу да овакав транзистор има готово идеалне електричне карактеристике и понаша се скоро као савршен транзистор.

7.2.2. 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 отприлике 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 (слика 7.3).



Слика 7.3 Транзистор са наноцевчицом

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

ниским 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.

7.2.3. Наредне генерације рачунарских чипова

Индустрија микроелектронике ради на побољшању минијатуризације, при чему струјна кола, као што су транзистори, отпорници и кондензатори, постају значајно умањени. Постизањем смањења њихове површине, микропроцесори, који садрже ове компоненте, могу да раде знатно брже. Међутим, постоји неколико технолошких препрека за ова побољшања, укључујући недостатак претходника за производњу ових компоненти; расипање велике количине топлоте због постизања веће брзине самих микропроцесора и тако даље. Наноматеријали помажу индустрији да прекине те баријере, пружајући произвођачима нанокристалних, полазних материјала, високе чистоће материјала, материјале са бољим карактеристикама што се тиче топлотне проводљивости и трајних интерконекција (веза између различитих компоненти у микропроцесору).

Пример: 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. Истраживачи су успели да транзистор са кратким спојем има скоро све идеалне особине електричне особине (слика 7.4).



Слика 7.4 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 *p*-спој и веома је добар проводник. Међутим, улазно коло је *n*-спој и његово присуство има ефекат смањења броја електрона у наножици. Уређај има скоро па идеална електрична својства и понаша се као најсавршенији транзистор. Ради брже од конвенционалних уређаја, троши мање енергије и не страда од губитка струје.

7.3. Примена у војне сврхе

Од када се бави истраживањима и развојем 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 развоја 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. На пример, научници из САД-а су открили црну материју које има могућност упијања 99,9 одсто светлости. Та материје је 90 пута мрклија од угљениковог материјала, који је важећа јединица за црnilо материјала. Реч је о малом премазу који је сачињен од мноштва "длачица" густо испреплетаних, направљених од наночестица. Тај премаз истовремено упија електромагнетно зрачење и уопште га не одбија.

О примени овог открића још нема толико информација, међутим може да се претпостави да ће се у будућности покушати користити за израду "невидљивих" авиона, бродова или неких других возила. Већ сада се на космичким сондама и сателитима користе сунчеви панели пресвучени фолијом од наноматеријала.

7.4. Примена у аутоиндустрији

Посредством одређених врста *нанобоја* које су данас заступљене у домену нове технологије и садрже неорганске силиконске честице повезане органским полимером, у знатној мери се повећава површинска тврдоћа боје и на тај начин се омогућава веће индивидуализирање аутомобила.



Слика 7.5 Огреботина која се отклања нанобојама

За разлику од обичне боје, која је сачињена од органских молекула са дугачким ланцима угљеника, нанобоја садржи неорганске честице које је путем нанотехнологије могуће веома густо повезати, тако да површина лака постаје врло тврда и имуна на огреботине каква је приказана на слици 7.5. Наравно, то се не односи на ситуације када неко са намером жели загребати боју, али чак и тада се може рећи да је браздање боје доста отежано. Нанобоје су, такође, вишеструко отпорније на корозију од класичних боја које се могу наћи у употреби. 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 (слика 7.6).



Слика 7.6 Примена наноцеви и композитних материјала у аутоиндустрији

7.5. Примена 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**.

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 нанонивоу. 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.

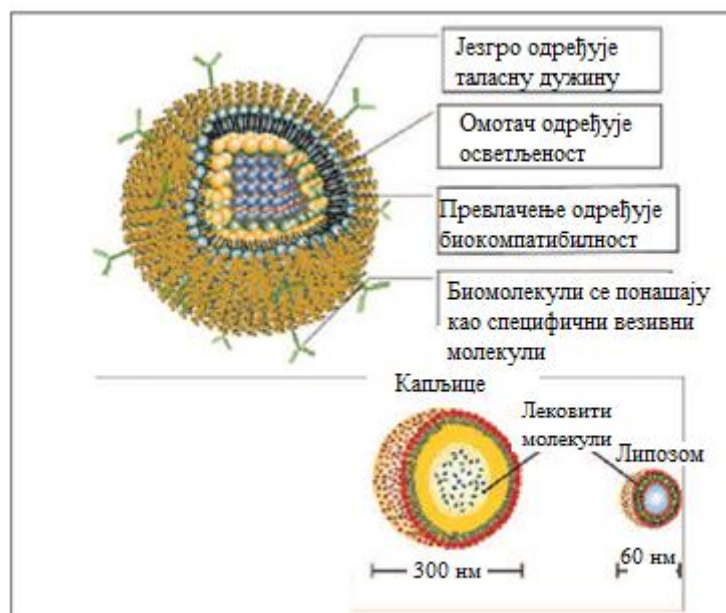
У ширем смислу, наномедицина представља примену материјала на нанослаки у медицинској пракси. Користи се за дијагностику, превенцију и лечење болести и за стицање знања комплексних механизма који су у основи болести. Иако је нанотехнологија установљена дисциплина, комерцијална наномедицина је још у почетном стадијуму развоја. Постоје многи наноуређаји који су широко распрострањени и заступљени у продаји, али тек треба да пронађу своје место у широком спектру клиничких урађаја. Тренутно наномедицина подразумева откривање честица; системе испорука лекова, емулзије и носаче за испоруку вакцина.

Материјали и технике чија примена може да се очекује у најскорије будућности:

1. **Биофармацеутика** – испорука лекова, инкапсулирање лекова, функционални носачи лекова, откривање лекова
2. **Материјали за имплантирање** – поправка и замена ткива, облагање за импланте, скафолди за регенерацију ткива, поправка костију, паметни материјали
3. **Уређаји за имплантирање** – уређаји за процену и лечење, сензори које је могуће имплантирати, сензорна помагала, импланти рожњаче
4. **Медицинска помагала и уређаји** – алати за операцију, паметни инструменти, хируршки роботи, за генетска испитивања
5. **Ултрасензитивне технологије означавања и откривања** – распоређивање великог броја резултата вишеструких испитивања, ознаке наночестица

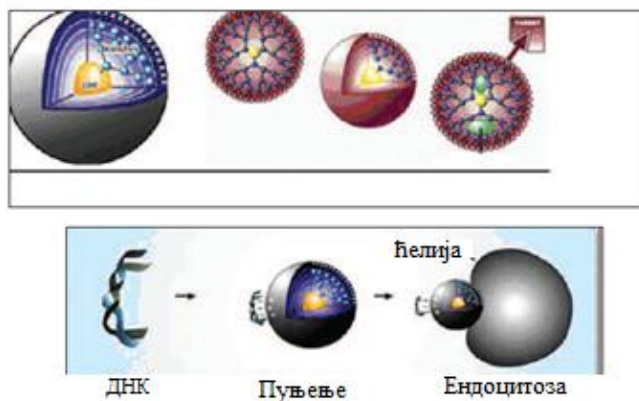
Очекује се да ће у наредним годинама бити предузета значајна истраживања у следећим правцима наномедицине:

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



Слика 7.7 Структура наночестица – испорукиоца лекова

Уређаји за доставу медикамената на бази наночестица (слика 7.7) би омогућили бржу ресорпцију лекова, контролисано ослобађање доза и заштиту од имуног система организма, повећавајући тако делотворност постојећих лекова. Истраживачи се баве испитивањем нових третмана, коришћењем наночестица, као што су дендримери и средства за испоруку уређаја за убацивање гена у ћелије (слика 7.8).



Слика 7.8 Убацивање гена у ћелије

7.6. Примена у техници

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

7.6.1. Аерогелови

Аерогел (Слика 7.9) је најлакши чврсти материјал изванредних карактеристика икада познатих науци и човечанству. Садржај ваздуха у физичко-хемијском саставу аерогела варира од 50 до чак 99,5%, а ипак и са тако специфичном особином може да носи тежину која је од 400 до 4000 пута већа од његове! Унутрашња специфична површина аерогела се креће у границама од 250 до 3000 м²/г, 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. Плавкасте је боје, прозиран и има потпуно нестваран изглед.

7.6.1.1. Историја аерогела

Први аерогел је настао давне 1931. године у лабораторији професора **Стивена Кистлера** на колеџу у **Стоктону**, Калифорнија. Приликом покушаја да пронађе начин да из желатинозне масе издвоји течну компоненту без нарушавања чврсте, наишао је на многе препреке али након низа неуспеха, уследио је успех. И то какав! Ако бисмо оставили гел да се исуши природним путем, он би се у великој мери скупио и дошло би до нарушавања његове првобитне структуре. Кистлерова претпоставка била је исправна – приликом испаравања течне компоненте долази до појаве снажних површинских сила које деструктивно делују на микропорозну структуру чврсте компоненте гела.



Слика 7.9 Аерогел

Убрзо, 1932. године, Кистлер долази до закључка који представља суштину за производњу аерогела: "Јасно је да, уколико желимо да произведемо аерогел, морамо извршити замену течности са ваздухом, али тако да том приликом не дође до повлачења течности у гел. Уколико се течност налази под већим притиском него што је притисак паре, а температура се повећава, онда ће та течност на критичној температури прећи у гасовито стање а да се при томе ни у једном тренутку времена ова два агрегатна стања не јављају истовремено".

Првобитни предмет проучавања професора Кистлера су силика-гелови добијени киселом кондензацијом воденог содног силиката. Ипак, покушаји стварања аерогела претварањем њихове воде у суперкритичан флуид су били неуспешни. Уместо стварања аерогела, суперкритична вода је растварала силикат. Тада је већ било познато да се вода у воденим геловима може заменити органским течностима. па је Кистлер најпре темељно испрао силика-гел водом а потом је воду заменио алкохолом. Трансформацијом алкохола у суперкритичну течност и његовим испаравањем створен је први прави аерогел. Кистлерови аерогелови су били веома слични данашњим силика-аерогеловима: провидни, мале густине и веома порозни материјали. Током следећих година, Кистлер је и даље радио на усавршавању својих аерогелова производећи их од разних материјала: алуминијума, волфрамовог оксида, оксида гвожђа, оксида олова, целулозе, гуме, па чак и беланца.

Пар година касније, Кистлер је напустио место професора и прешао је да ради за компанију **Монсато Корп.** која је почела са производњом производа под називом "аерогел", коришћеним као адитив пастама за зубе и козметичким производима. Мало тога је следећих тридесет година учињено на пољу усавршавања аерогела.

Француска влада је крајем седамдесетих година двадесетог века је затражила помоћ научника **Станислауса Тичнера** са Универзитета **Клауд Бернارد, Лион**, у проналажењу

начина за складиштење кисеоника и ракетног горива у порозним материјалима. Кружи прича како је Тичнер дао задатак једном свом постдипломцу да проучи примену аерогелова у те сврхе. Након пар недеља, пратећи Кистлеров метод, створен је први узорак аерогела. Сазнање да је Тичнеру потребан знатно већи број ових узорака, изазвало је нервни слом код студената јер би крај његовог доктората био могућ тек за неколико година. Снажно мотивисан да што пре заврши са постављеним задатком, дошао је до решења ефикасније производње аерогелова. Содни силикат који је употребљавао Кистлер је замењен алкоксисилоном. Његовом хидролизом се ствара алкогел, а затим његовим сушењем настаје квалитетни силика-аерогел.

Након овог открића, великом брзином је уследио низ истраживања која су допринела побољшању метода и карактеристика материјала који још увек пробија свој пут ка тржишту.

7.6.1.2. 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-кисеоник веза 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 нанометара.

Затим, сушењем алкогела и екстракцијом течности из чврсте силика компоненте добијамо аерогел. Ако оставимо желатин изван фрижидера неколико дана, примећујемо како се скупии 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 е јављају управо приликом испаравања његовог растварача. Резултат тога је чврст материјал, ксерогел (*ксеро*=чврст), који заузима запремину од само 10 процената почетне запремине гела.

Уместо испаравања растварача, гел подлеже поступку суперкритичног исушивања. На тај начин се спречава колапс гела. Суперкритични флуиди су полу-течности/полугасови 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 изветри, 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, како смо већ рекли – 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 7.10 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 особину 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.



Слика 7.10 Плава боја аерогела

У Паризу је средином прошле деценије лансиран нови производ назван **наногел**. То је име бренда 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** (Калифорнија) 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 смањио његову густину, доктор Џонс је једноставно променио количину силикона у почетној мешавини.

Примерни 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 зрнца 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.

7.7. Фосфор за телевизоре високе резолуције

Резолуција телевизора, или монитора, у великој мери зависи од величине пиксела. Ови пиксели се састоје од материјала под називом "фосфори" (слика 7.11), који сјаје када су погођени електронима унутар катодних цеви. Резолуција се повећава са смањењем величине пиксела (или фосфора). На основу овога можемо рећи да су ове две величине обрнуто пропорционалне. Нанокристални цинк селенид, цинк сулфид, кадмијум сулфид и олово телурид, синтетизовани помоћу сол-гел процеса, су кандидати за побољшање резолуције монитора. Употреба нанофосфора је предвиђена у циљу смањења трошкова дисплеја, тако да људи могу себи приуштити персонални рачунар или телевизоре високе резолуције.



Слика 7.11 Шематски приказ фосфора за телевизоре високе резолуције

7.8. Елиминација загађивача

Наноматеријали имају изузетно велике границе зрна у односу на њихову величину. Дакле, они су веома активни у погледу њихових хемијских, физичких и механичких особина. 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 које настаје сагоревањем бензина и угља.

7.9. Примена у козметици

Међу првим областима у којима су наноматеријали нашли своју примену била је козметика. Заснивала се на истраживању и развоју апликација коришћењем патентиране нанотехнологије. Апликације покривају формулацију производа, паковање и опрему за производњу козметике. У козметичким производима наноматеријали се користе као:

- а) носачи,
- б) 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. Техничке и економске перспективе наноматеријала

Почетком 21. века, на тему техничких и економских перспектива које се тичу наноматеријала, базирана су четири технолошка фронта:

1. информационе технологије,
2. биотехнологија/синтетичка биологија,
3. нове технолошке енергије,
4. нанотехнологија (Delgado 2002, 2006, 2008).

Најновија технологија која повезује у целину све горе наведене технологије назива се конвергентна технологија. Ова технологија веома обећава и може се рећи да представља једну врсту револуције у свету. То значи да постоји дубока, значајна трансформација или модификација процеса производње и друштвених односа. Дакле, неки утицаји могу бити од великог значаја.

У суштини наноматеријали имају способност да управљају материјом на наноскали у циљу развијања нових материјала и уређаја. Потенцијал наноматеријала обухвата нове материјале које се користе за текстил, амбалажу, у прехранбеној индустрији и транспорту; наноуређаји и наноматеријали за софистициране медицинске поступке и третмане или за телекомуникационе и информационе технологије, све до начина ефикасније безбедности и војних иновација.

У том смислу, нема никаквог изненађења због растућег ритма јавног и приватног сектора потрошње за истраживање и развој наноматеријала.

Јавна потрошња у свету се процењује на:

1. 430 милиона долара у 1997. години
2. 3 милијарде долара у 2003. години
3. 4,6 милијарди долара у 2004. години
4. 5,9 милијарди долара у 2005. години
5. 6,4 милијарди долара у 2006. години

Приватна потрошња се обрачунава на:

1. 4 милијарде долара за 2004. годину
2. 5 милијарди долара за 2005. годину
3. 6 милијарди долара за 2006. годину

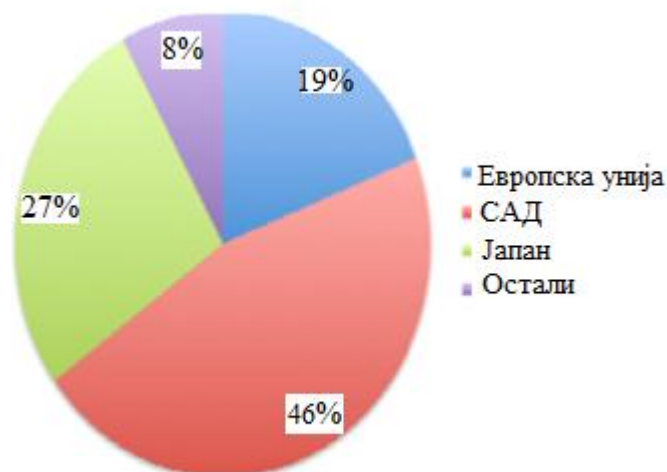
За 2007. годину, приватне и јавне потрошње, које су се односиле на подручје наноматеријала, су се обрачунавале заједно и резултати су показали да њихов збир износи негде око 14 милијарди долара.

Америчка национална иницијатива за наноматеријале процењује да су трошкови за 2008. годину износили скоро 1,5 милијарду долара, износ који треба додати финансирању које долази из директних и индиректних доприноса. Европска унија је у оквиру "Седмог Оквирног Програма" (2007-2013) одобрила 3,45 милијарди еура за развој нанонауке; наноматеријала и нових производних технологија. То одговара само трећини укупне Европске потрошње на наноматеријале. Поред тога, годишња потрошња Немачке је процењена на око 330 милиона еура, Француске на 150 милиона еура и Велике Британије на 50-75 милиона еура. Јапан је (2006-2010) издвојио 5 милијарди долара за истраживање и развој наноматеријала, а то је око милијарду долара на годишњем нивоу.

Што се тиче патената, просечна годишња стопа раста од 1996. до 2002. године је око 15% за случај Европског завода за patente. Сличне тенденције су забележене за patente и жигове, од средине 90-тих година.

Међутим, земље које дају највише патената у области наноматеријала до почетка прошле деценије јесу Сједињене Америчке Државе, затим земље Европе и Јапан (слика 8.1). До 2007. године потрошња у области наноматеријала је била концентрисана на

подручјима здравственог сектора као и природних наука са 18%, и хемикалија са 12%. Остала подручја су на сличан начин распоређена, укључујући и енергију, телекомуникације и информационе технологије, транспорт и еколошке апликације (слика 8.2). Као резултат тога, постоји више од 400 производа по једној компанији, из више од десетак земаља.



Слика 8.1 Процентуални удео земаља са највише патената из области наноматеријала

Подаци морају бити у складу са тржишним учешћем и процени о продаји производа. Различити извори су израчунали да се тржиште наноматеријала до 2004. године процењивало на око 12,9 милијарди долара, а 2006. године на скоро 50 милијарди долара. Процене за 2008. годину износе неких 100-150 милијарди долара који тангирају продају производа; за 2010. годину, ова цифра износи око 0,5 трилиона долара, а процењује се да би до 2015. године била између једног и два трилиона.



Слика 8.2 Процентуални приказ потрошње наноматеријала

На пример, само на подручју пољопривреде процењени раст 2010. године износио је 20 милијарди долара. Сличан раст је предвиђен за тржиште нано-паковања, односно амбалажа, који треба да раст од милијарду долара у 2005. години преточи на 5 милијарди долара 2011. године и 14 милијарди долара до 2013. године.

Таква очекивања подразумевају друштвену и технолошку изградњу дефинисане *имагинарне линије* која (не)може остварити прогнозе, изузимајући крајње исходе, било они позитивни или не. У сваком случају, оно што се чини да је сада јасно је да се у наноматеријалима види велика перспектива и реална могућност која може произвести огроман утицај на привреду, друштво и животну средину. Сходно томе, друштву су неопходне инструкције како на одговарајући начин развити такав технолошки фронт. То значи да увек мора постојати временски план и приоритет.

9. Закључак

Наноматеријали, у оквиру једне посебне технологије коју називамо нанотехнологија, се заснивају на фасцинантним и неочекиваним својствима структура малих димензија и посебним својствима које такве структуре исказују на макронивоу. Као што се хемичари баве проучавањем различитих хемијских елемената и синтезом ствари од различитих молекула, тако се нанонаука бави синтезом материјала, али на сасвим другачији начин. Могућности управљања својствима не само да су се удвостручиле, већ бележе експоненцијални раст већ годинама уназад. Свако ново истраживање доноси задивљујуће резултате. Истина јесте да је велики број тих открића још увек само на теоријском нивоу а само мали број открића су реализована у пракси; графенски транзистори, медицинска техника, соларне ћелије нове генерације, ласери и оптички уређаји...

Наноматеријали уз огроман тржишни потенцијал доносе и нове ризике па њихова производња и примена захтевају процесе сигурности и разумевање утицаја на околину и здравље људи. Иако број истраживања везаних за штетне утицаје наноматеријала на живе организме последњих година расте, разумевање и превенција ризика још увек немају приоритет у свету финансирања истраживања. Заједнички циљ научника који развијају нове материјале и токсиколога су *зелени* наноматеријали, који би били у веома функционални, а и минимално би утицали на околину. Све док не буде постојало више података о ризицима употребе појединих наноматеријала, њима треба веома опрезно руковати.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. Tomislav Filetin: Pregled razvoja i primjene suvremenih materijala, Zagreb, 2003.
2. Ante Jukić i Stjepan Car: Nanotehnologija i primjena nanomaterijala, KONČAR d.d., Zagreb, listopad 2008.
3. Primjena nanomaterijala u optici i elektronici: SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, Zagreb, siječanj 2013.
4. Jovan P. Šetrajčić, Jovan K. Popović, Ana J. Šetrajčić-Tomić: Nanotehnologije u medicini – nanostrukturni materijali u biofarmaciji
5. Tomislav Filetin: PRIMJENA NANOMATERIJALA U TEHNICI, Zagreb
6. Nanostructured materials--Handbooks, manuals, etc. I. Gogotsi, IU. G.
7. Marica IVANKOVIĆ: Nanomaterijali i nanoproizvodi – mogućnosti i rizici, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
8. A. Alagarasi: INTRODUCTION TO NANOMATERIALS
9. Dr. Gian Carlo Delgado: Economical potential and safety of nanomaterials, National Autonomous University of Mexico
10. Željko Babić: Aerogelovi
11. Prof. dr. sc. Antun Tonejc: Fizika nanomaterijala, Fizički zavod Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu
12. Sylvia Maurer: Nanomaterials in cosmetic products, Ref.: X/2012/066 - 28/08/2012