

Деякі оригінальні методи синтезу графенів.

Основні методи дослідження.

КР, РЕМ, ПРЕМ.

Атомно-силова та тунельна мікроскопія

лек 3 ППА ІЗНХ

25 травня 2023, Огенко В.

Короткі нотатки з Лек. 1 та Лек 2:

- Форма, розмір та властивості наносистем залежать від умов їх одержання та способів стабілізації.
- Морфологія сферичних наночасточок визначається особливостями синтезу: температурою, рН, концентрацією, природою реагентів.
- Для синтезу наночасточок в розчині (істинному, мікро або міні емульсії) найчастіше використовуються обернені міцели та додатково вводяться carrying - агенти.
- Для розділення наночасточок використовують седиментацію, електро- або термофорез, розмірно-селективне осадження (травлення), молекулярні сита та діафільтрацію, центригування.
- Синтез нанотрубок та нанониток проводять за умови кінетичної або просторової обмеженості доступу реагентів.

Література до лекції №2

1. **A. Subha Mahadevi and G. Narahari Sastry** // Cooperativity in Noncovalent Interactions / *Chem. Rev.*, 2016.
2. **Корольков Б.П.** Термодинамические основы самоорганизации: монография / Б.П. Корольков. – Иркутск : ИрГУПС, 2011. – 120 с.
3. **Зоркий П.М., Лубнина И.Е.** Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы. Вестн.Моск.ун-та. Сер.Хим. 1999, №5, с. 300.
4. **Третьяков Ю.Д.** Процессы самоорганизации в хими материалов. Успехи химии, 2003, 72(3) с. 731-763.

Деякі наші пріоритети в області ТРГ

- Влияние добавок оксида и нитрида бора на морфологию и физические свойства вспененного графита. Изв. АН ССР. Неорган. Материалы.1990. **26**, №7, с. 1436-1440 . /А.А. Чуйко, В.Н. Быков и др.
- Synthesis, Structure and Composition of Expanding Form of Metalized Graphite. React. Kinet. Catal. Lett. 1993, **50**, N 1-2, p. 269-272./ V.M. Ogenko, A.V. Fesenko, E.V. Zakharova, M.F. Tsurul/
- А.с. 1266103 СССР , Способ получения расширенного графита.
Б.Е. Патон, В.К. Пикалов, А.А. Чуйко , В.М. Огенко и др. Заявл. 25.07.84. ,
Зарегистр. 22.06.86
А.с. 1383701 СССР , Способ получения расширенного графита.
/И.Д. Бурая, Г.А. Карпенко, А.В. Мележик, В.М. Огенко и др./ Заявл.
07.08.85, Зарегистр. 22.10.87

Природа супрамолекулярних взаємодій

Jean-Marie Lehn: Супрамолекулярна хімія – “це хімія молекулярних ансамблів та міжмолекулярних нековалентних зв'язків”

Ковалентні взаємодії:

- | | |
|--------|-----------------------------|
| 1. C-C | (360 kJ mol ⁻¹) |
| 2. C-O | (340 kJ mol ⁻¹) |
| 3. C-H | (430 kJ mol ⁻¹) |

Нековалентні взаємодії:

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Йон-йонні | (100 – 350 kJ mol ⁻¹) |
| 2. Йон-дипольні | (50 - 200 kJ mol ⁻¹) |
| 3. Диполь-дипольні | (5 – 50 kJ mol ⁻¹) |
| 4. Водневий зв'язок | (4 – 120 kJ mol ⁻¹) |
| 5. Катіон-π взаємодії | (5 – 80 kJ mol ⁻¹) |
| 6. π-π стекинг взаємодії | (0 – 50 kJ mol ⁻¹) |
| 7. Ван-дер ваальсові взаємодії | (< 5 kJ mol ⁻¹) |
| 8. Гідрофобні взаємодії | (< 50 kJ mol ⁻¹) |



Механическое расщепление;

Geim, A. K Novoselov, K. S. Nat. Mater.2007 , 6, 183–191
Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2005, 102, 10451–1045



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **77611** (13) **U**

(51) МПК (2013.01)
C01B 31/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 08179	(72) Винахідник(и): Посудівський Олег Юлійович (UA), Хазєєва Олександра Алмазівна (UA), Кошечко В'ячеслав Григорович (UA), Походенко Віталій Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 03.07.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.02.2013	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2013, Бюл.№ 4	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ФІЗИЧНОЇ ХІМІЇ ІМ. Л.В. ПИСАРЖЕВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, пр. Науки 31, м. Київ, 03028 (UA)

(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ГРАФЕНУ

(57) Реферат:

Спосіб одержання графену включає механохімічну обробку суміші графіту та хімічно інертного твердого розшарувальника у кульовому млині при кімнатній температурі при швидкості обертання 100-600 об./хв. протягом 0,25-3 год., видалення твердого хімічно інертного водорозчинного субстрату водою. Далі здійснюють сушіння одержаного наноструктурованого графіту при температурі 100 °С, з наступним ультразвуковим диспергуванням його в органічному розчиннику, яким зокрема є N-метилпіролідон, диметилформамід тощо, протягом 1 год., та видалення крупних твердих частинок з одержаної дисперсії графену шляхом центрифугування.

UA 77611 U



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **71602** (13) **U**

(51) МПК (2012.01)
C01B 31/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 13006	(72) Винахідник(и): Посудівський Олег Юлійович (UA), Хазєєва Олександра Алмазівна (UA), Кошечко В'ячеслав Григорович (UA), Походенко Віталій Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 04.11.2011	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.07.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.07.2012, Бюл.№ 14	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ФІЗИЧНОЇ ХІМІЇ ІМ. Л.В. ПИСАРЖЕВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, пр. Науки, 31, м. Київ-39, 03039 (UA)

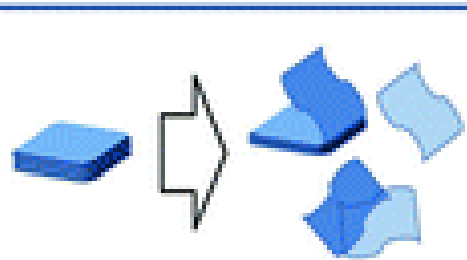
(54) МЕХАНОХІМІЧНИЙ СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ОКСИДУ ГРАФЕНУ

(57) Реферат:

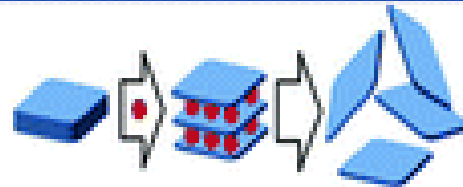
Спосіб одержання оксиду графену включає механохімічну обробку суміші графіту та твердого окисника у відсутності агресивних концентрованих кислот, видалення продуктів відновлення окисника, сушіння, ультразвукове диспергування та центрифугування.

UA 71602 U

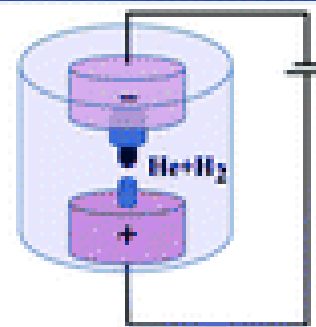
Методи отримання графена



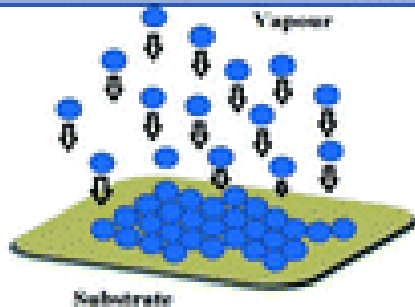
Exfoliation



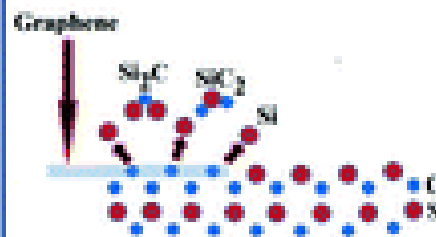
Intercalation
and
Exfoliation



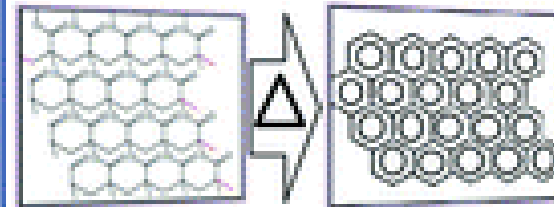
Arc discharge



Vapour deposition



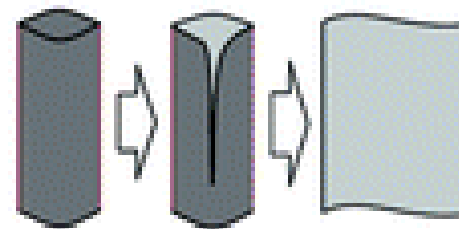
SiC heating



Heating Solid carbon
source



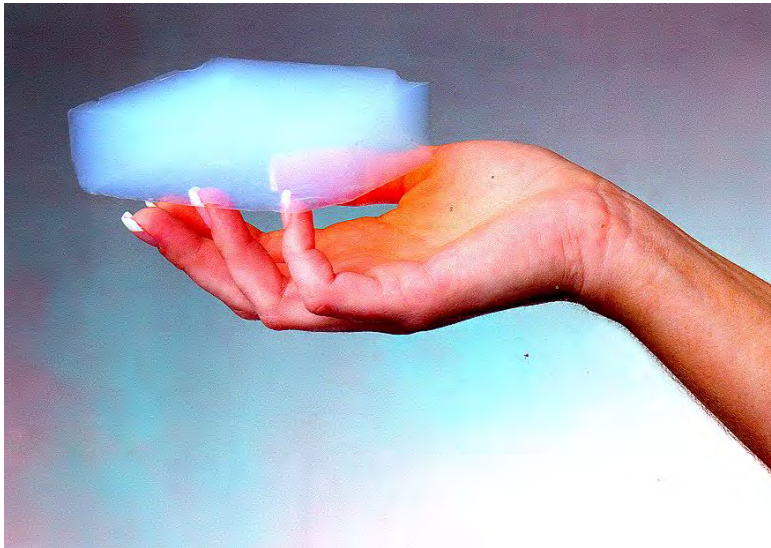
Reduction of graphene oxide



Unzipping of CNTs

Поняття про аерогелі

Аерогель – це синтетичний пористий надлегкий матеріал, одержаний з гелю шляхом заміни рідкого розчинника на газоподібний без зміни структури.



IUPAC: Aerogel is a gel comprised of a microporous solid in which the dispersed phase is a gas

Property	Silica Aerogel	Silica Glass
Density (kgm ³)	5 – 200	2300
Specific Surface Area (m ² /g)	500 – 800	0.1
Refractive Index at 632.8 nm	1.002 – 1.046	1.514 – 1.644
Optical Transmittance at 632.8 nm	90%	99%
Coefficient of Thermal Expansion 1/C at 20–80 deg C	$\sim 2 \times 10^{-6}$	10×10^{-6}
Thermal Conductivity (W/mK) at 25 deg C	0.016 – 0.03	1.2

Сушка в надкритичних умовах

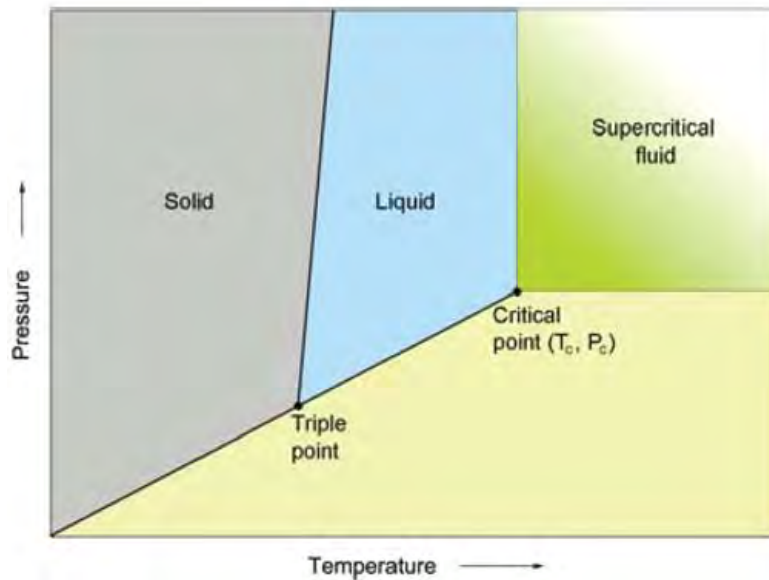
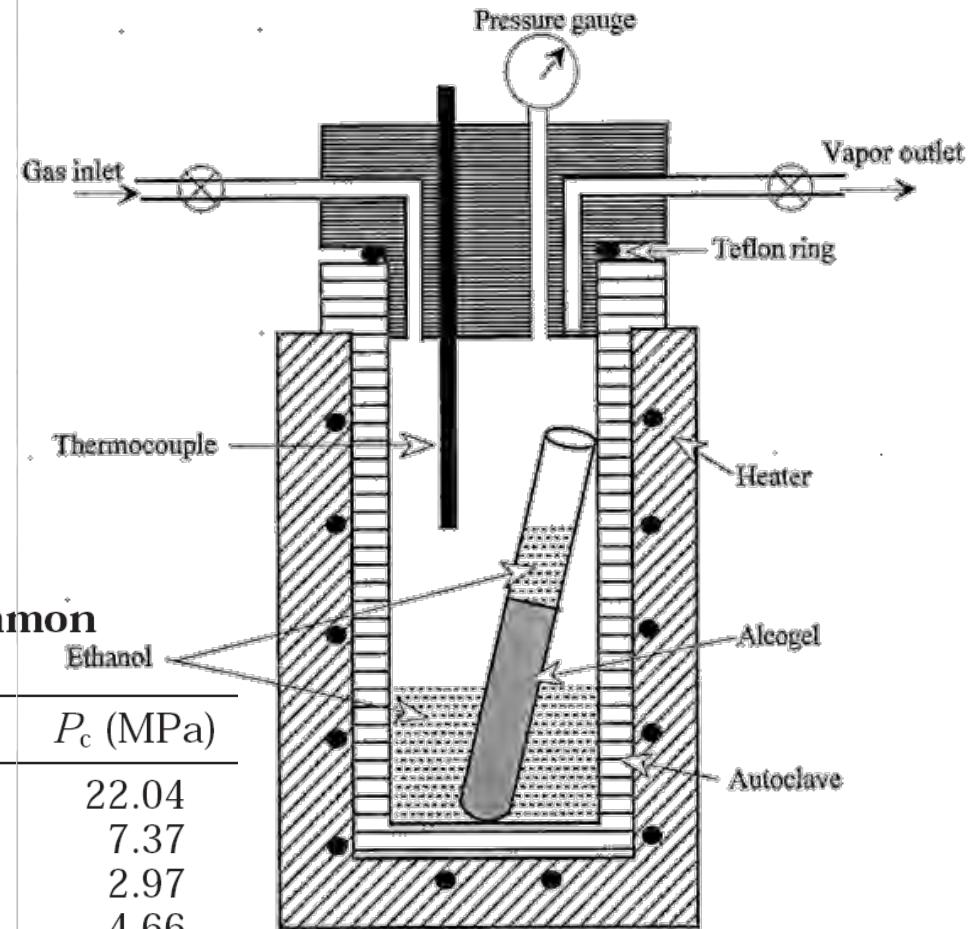


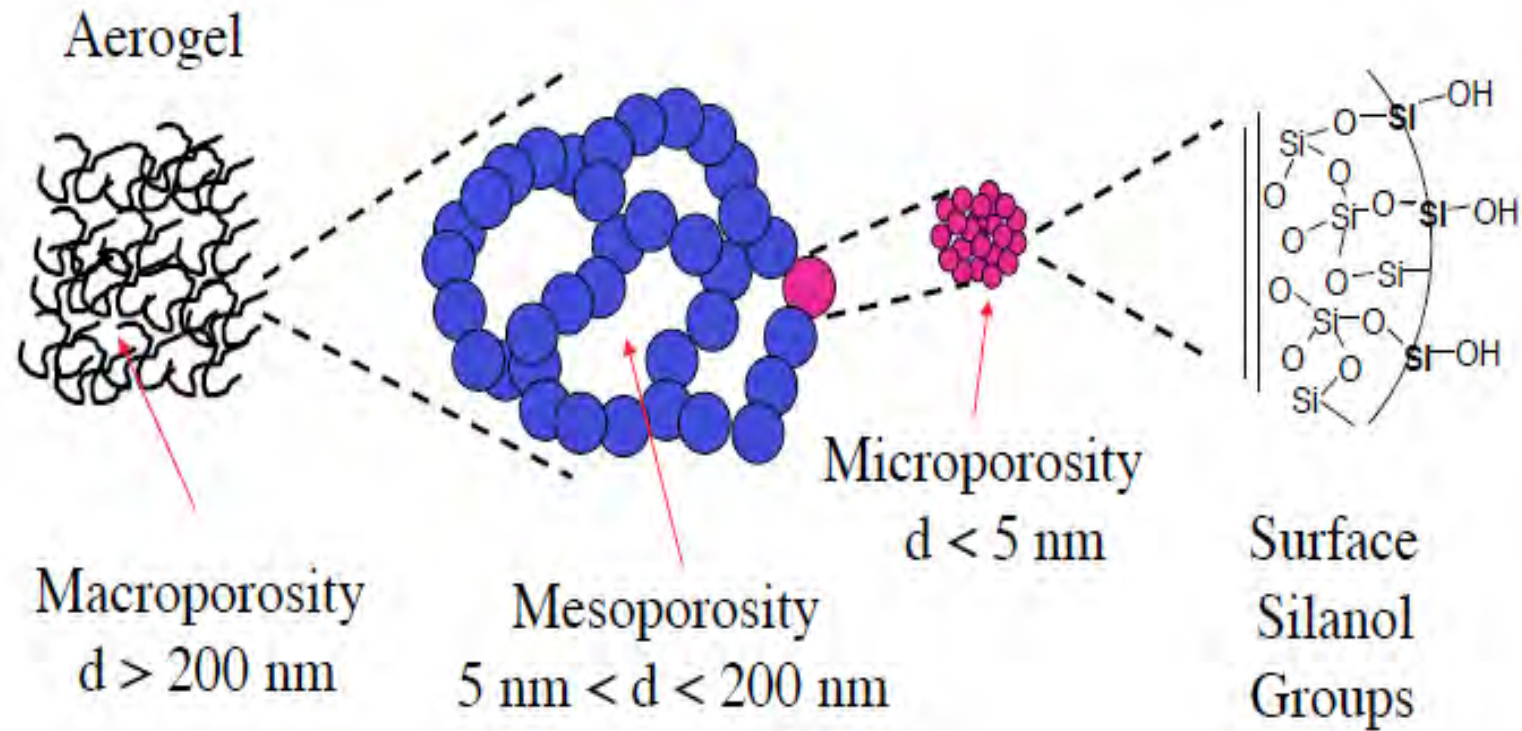
Table 1. Critical Point Parameters of Common Fluids⁷³

fluid	formula	T_c (°C)	P_c (MPa)
water	H ₂ O	374.1	22.04
carbon dioxide	CO ₂	31.0	7.37
Freon 116	(CF ₃) ₂	19.7	2.97
acetone	(CH ₃) ₂ O	235.0	4.66
nitrous oxide	N ₂ O	36.4	7.24
methanol	CH ₃ OH	239.4	8.09
ethanol	C ₂ H ₅ OH	243.0	6.3



Характеристики аерогелів

- Структурні (пористість та фрактальність)



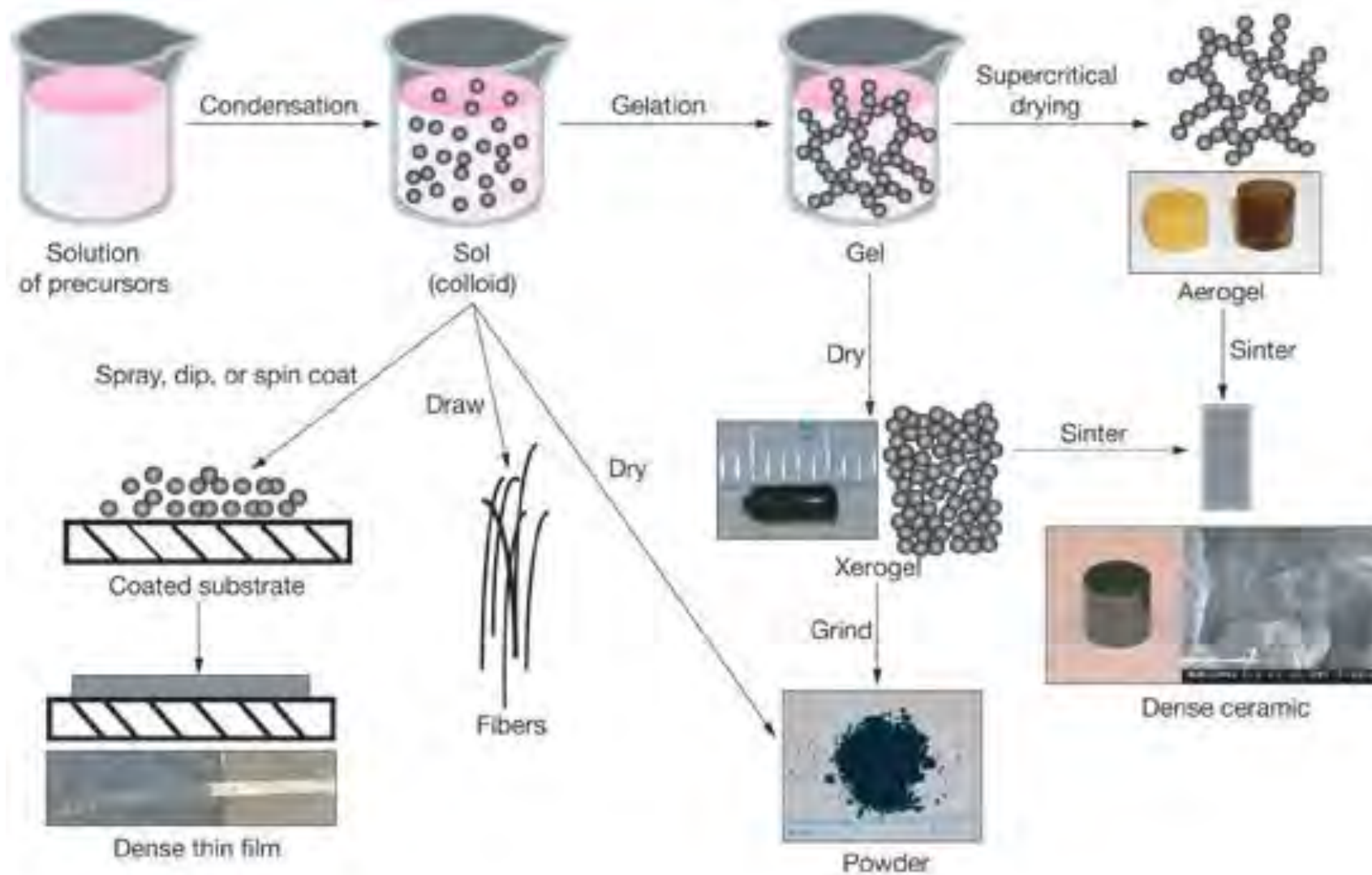
- Властивості композиту (Ефект Кнудсена...)

Короткі нотатки

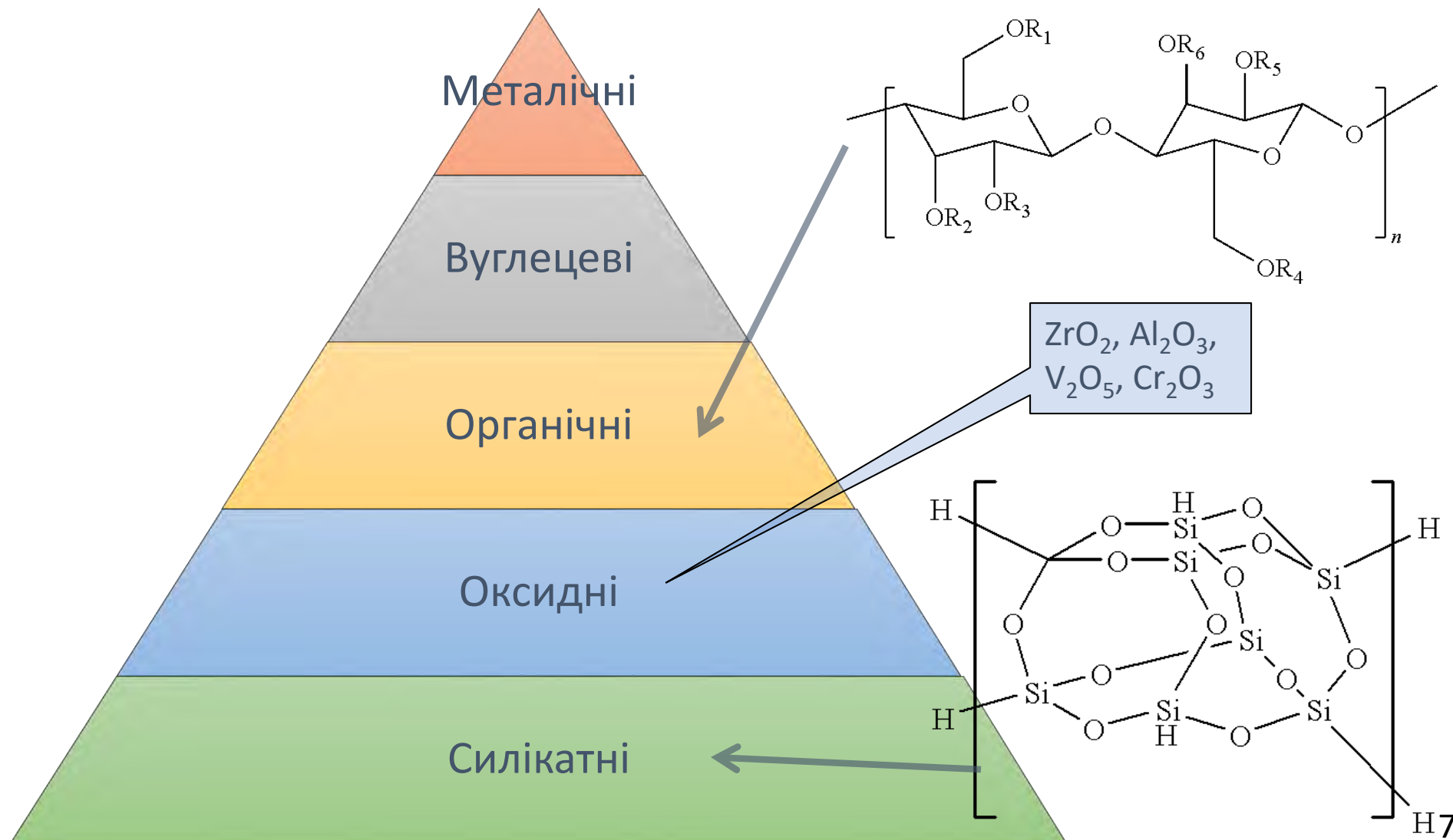
- Аерогелі – матеріали, що володіють найбільшою площею поверхні, найнижчою густиною та тепло та електропровідністю завдяки особливій будові.
- До аерогелів відносять силікатні, оксидні, металеві, органічні каркасні утворення, більшість з яких одержано в умовах надкритичної сушки



Золь-гель синтез



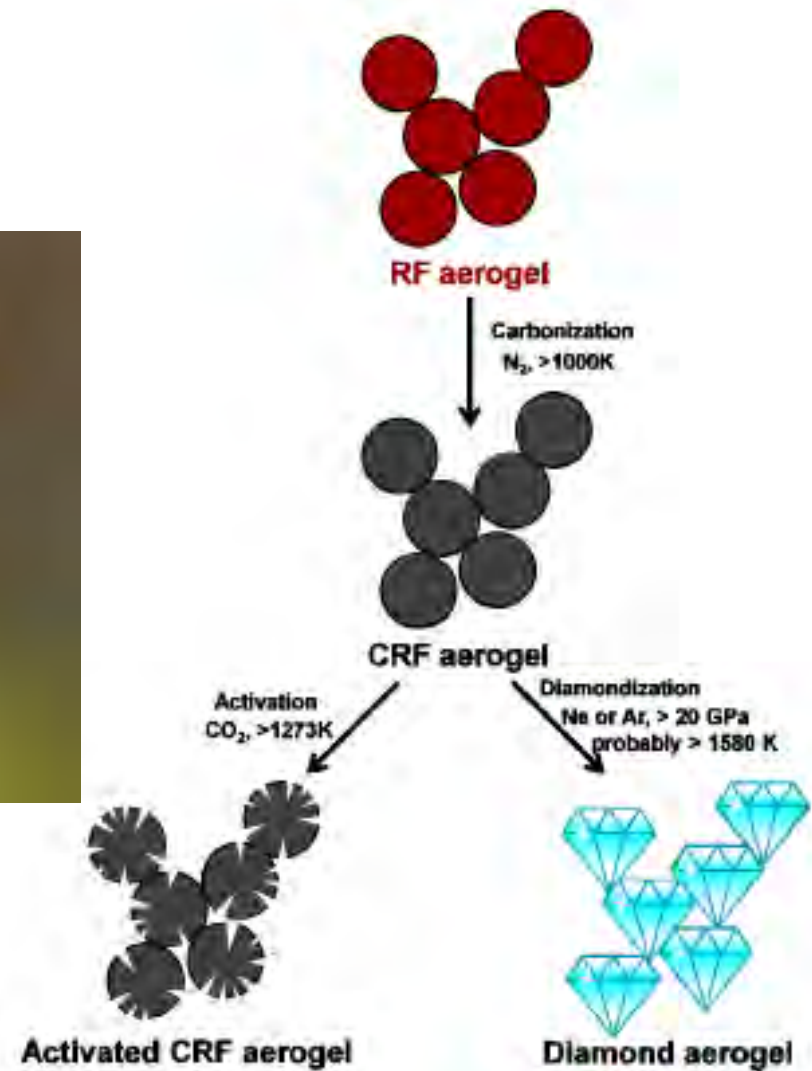
Класифікація за хімічним складом



Вуглецеві аерогелі

Площа поверхні - 400–1,000 m²/g.

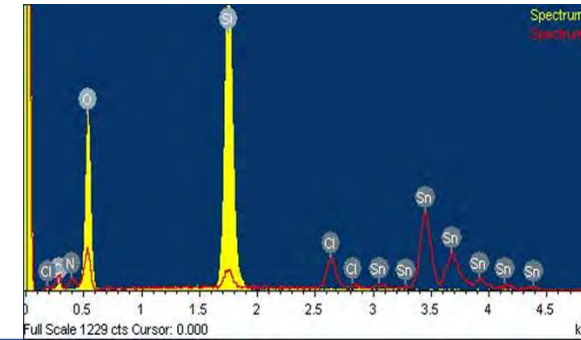
Метод синтезу – піроліз ([resorcinol](#)–[formaldehyde](#) (RF) aerogel



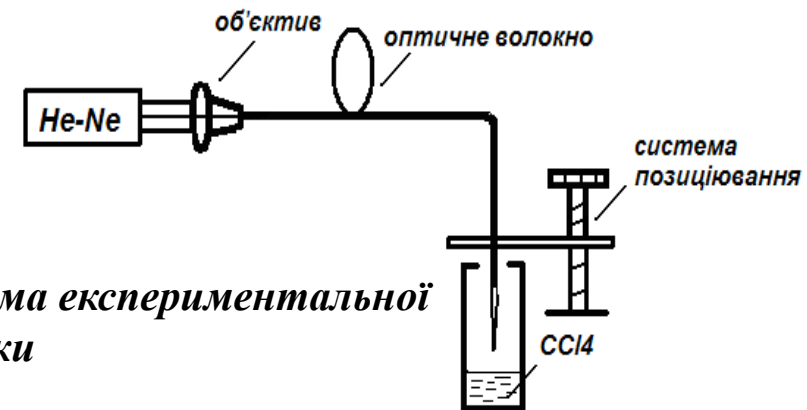
Синтез наноструктур з використанням оптичного ближнього поля

І. Коломієць О. М., Волковинська Л. С., Голдун О. В., Огенко В. М., Григорук В. І. Новий метод отримання вуглецевих наноструктур з використанням оптики ближнього поля // Укр. хим. журн. – 2006. – 72, № 1. – С. 13.

СЕМ-зображення та енерго-дисперсійний аналіз поверхні волоконної голки з осадженими плівками Sn та кремнієвими нановолокнами

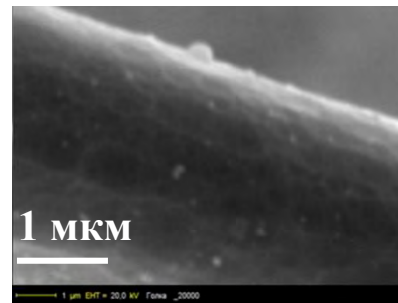
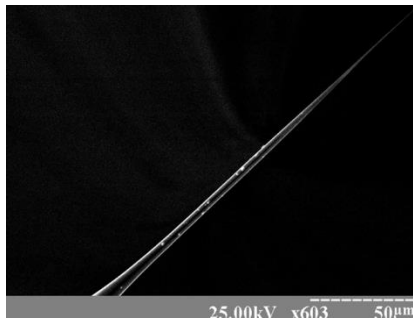


- **Робоча речовина:** CCl_4 ($E_{\text{dis}}=3,03$ eV)
- **Джерело світла:** He-Ne лазер
($\lambda=633$ nm, $E_{\text{hv}}=1,96$ eV), $P = 1$ мВт
Тривалість осадження: $t = 180$ с

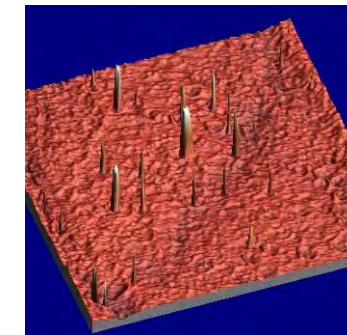
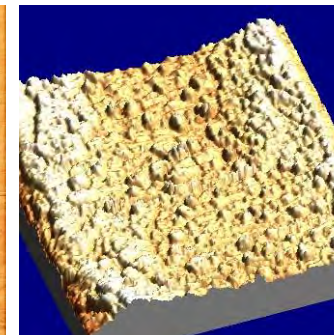
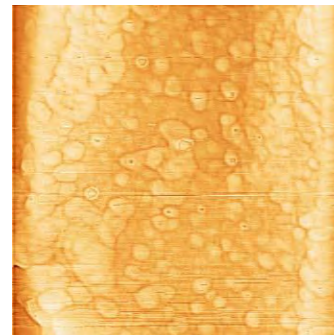


Блок-схема експериментальної установки

Результати досліджень:



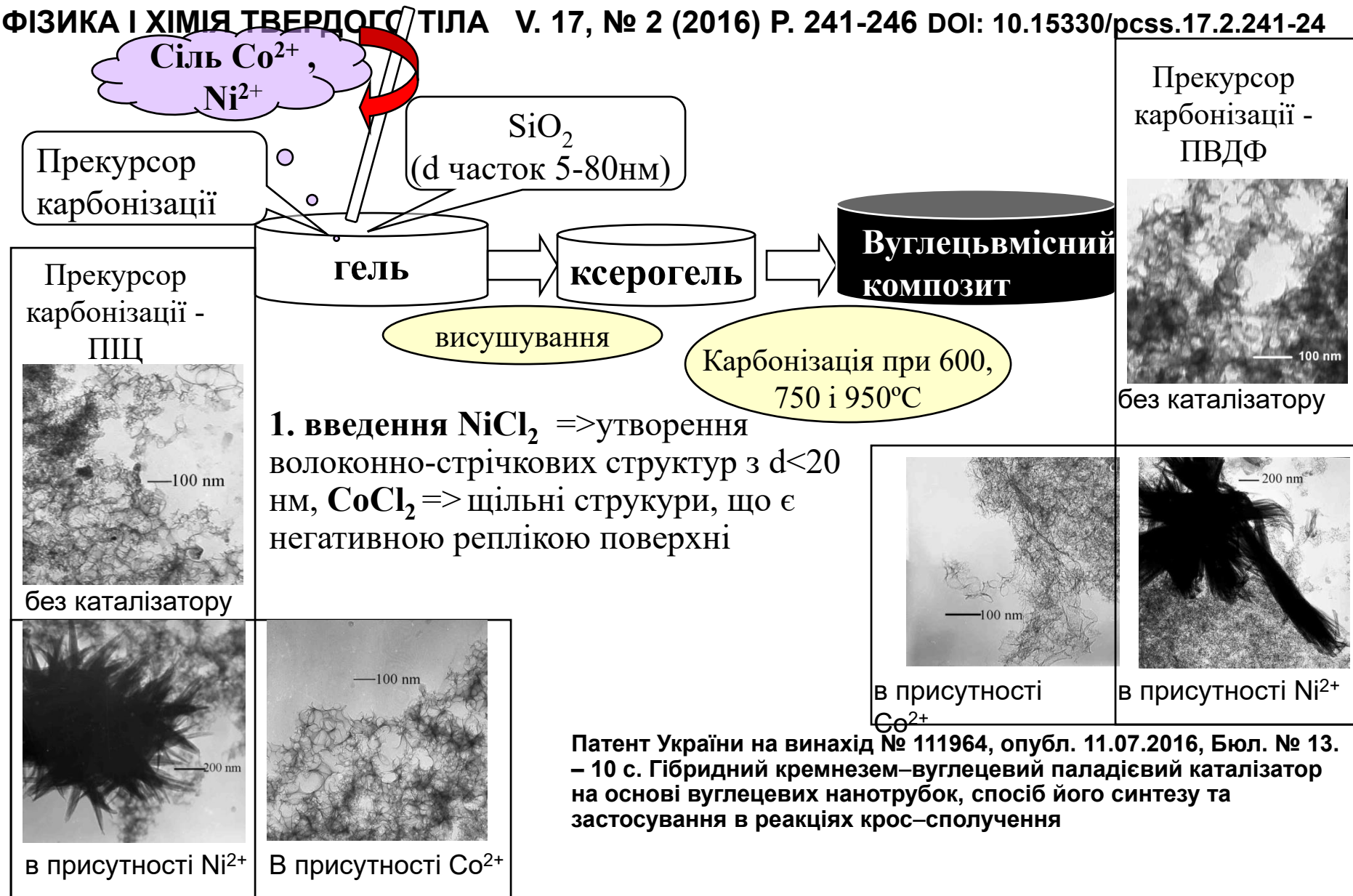
СЕМ-зображення волоконної нано голки та осаджених вуглецевих структур розміром до 100 нм



Зображення атомно-силового мікроскопу поверхні волоконної голки та фазова картина осаджених структур.

СИНТЕЗ ВУГЛЕЦЬВМІСНИХ КОМПОЗИТІВ КАРБОНІЗАЦІЄЮ ПОЛІМЕРІВ В МАТРИЦЯХ З SiO_2 В ПРИСУТНОСТІ СОЛЕЙ КОБАЛЬТУ І НІКЕЛЮ

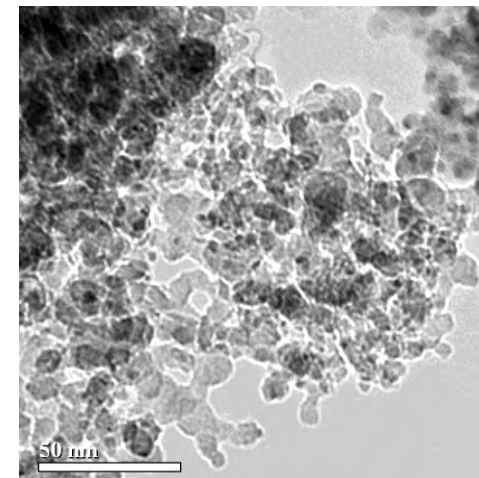
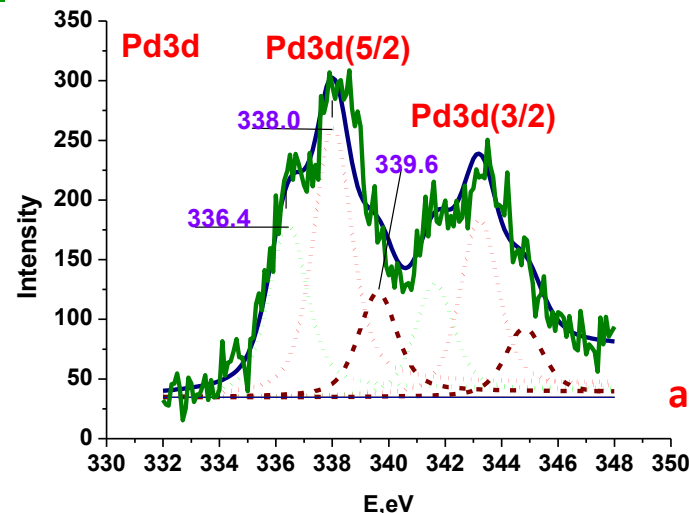
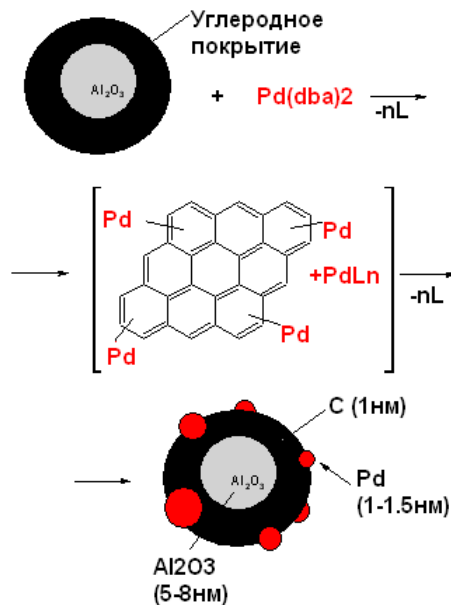
ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА V. 17, № 2 (2016) P. 241-246 DOI: 10.15330/pcss.17.2.241-24



Нанорозмірні каталітичні матеріали для реакцій в водному середовищі

Гібридна каталітична система зі структурою “ядро (Al_2O_3) / вуглецева оболонка / паладій”

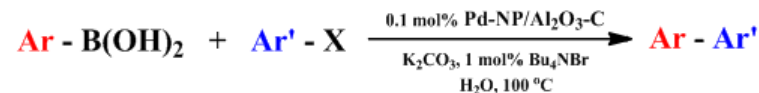
Синтез:



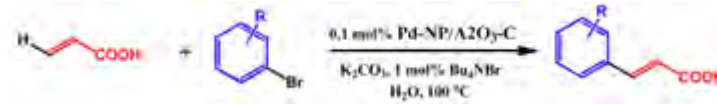
РФЕ спектр – а и ПЕМ мікрофотографія – б паладієвого каталізатора

Каталітична активність в реакціях :

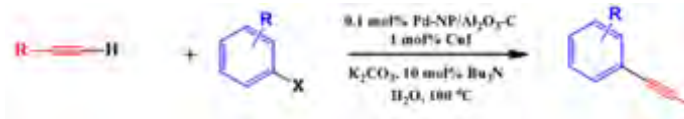
(дані виходу по
10 рециклам)



Сузукі (вихід 93-98%)



Соногашірі (вихід 94-100%)



Хека (вихід 92-98%)

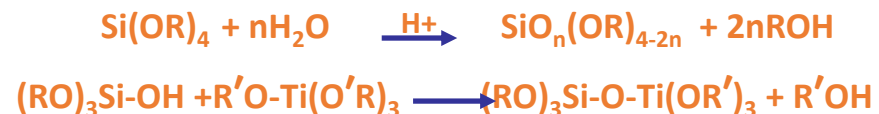
Переваги:

- ♦ багаторазове застосування;
- ♦ без втрати паладію;
- ♦ відсутність органічних розчинників, інертної атмосфери

Л.Ф. Шаранда, Н.А. Бумагин, Н.Е. Голанцов, М.В. Ливанцов, В.М. Огенко, С.В. Волков. Высокоэффективные наноразмерные каталитические системы Pd/C/Al₂O₃ в реакциях кросс-сочетания в водной среде // Доповіді НАН України. –2013. –№ 7. – С. 131–137.

Л.Ф. Шаранда, Н.А. Бумагин, В.М. Огенко, С.В. Волков. Патент України, № 110043 // Нанорозмірний паладієвий гетерогенний каталізатор для проведення реакцій крос-сполучення. Опубл. 10.11. 2015. Бюл.21.

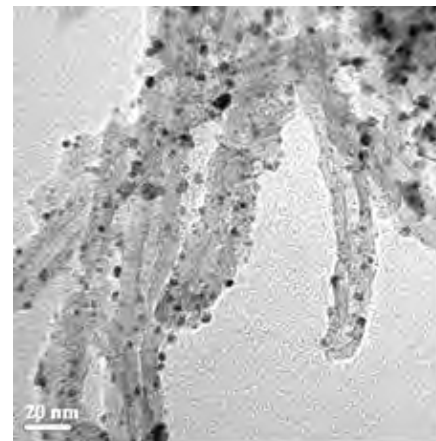
Синтез каталитических систем методом золь-гель технологии



Pd/TiO₂/C/SiO₂ катализаторы

Л.Ф. Шаранда, М.А. Бумагин, В.М. Огенко, М.Є. Голанцов, С.В. Волков. Фізико-хімічні аспекти синтезу паладієвих каталізаторів на титан/кремнеземних носіях, модифікованих вуглецем та їхня каталітична активність в реакції Сузуки // Наноструктурное материаловедение. – 2013. – № 3-4. – С. 55–64.

(ВНТ- вуглецеві нанотрубки)



Золь SiO₂/ УНТ, у.

ПЕМ микрофотография Pd/SiO₂/УНТ(14) образца

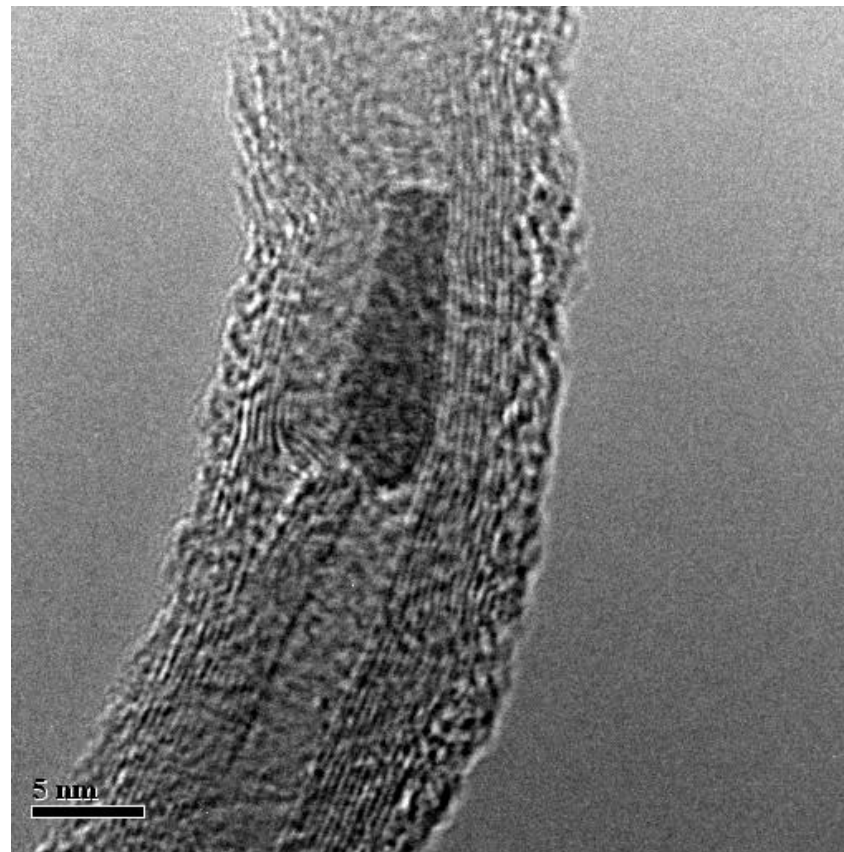
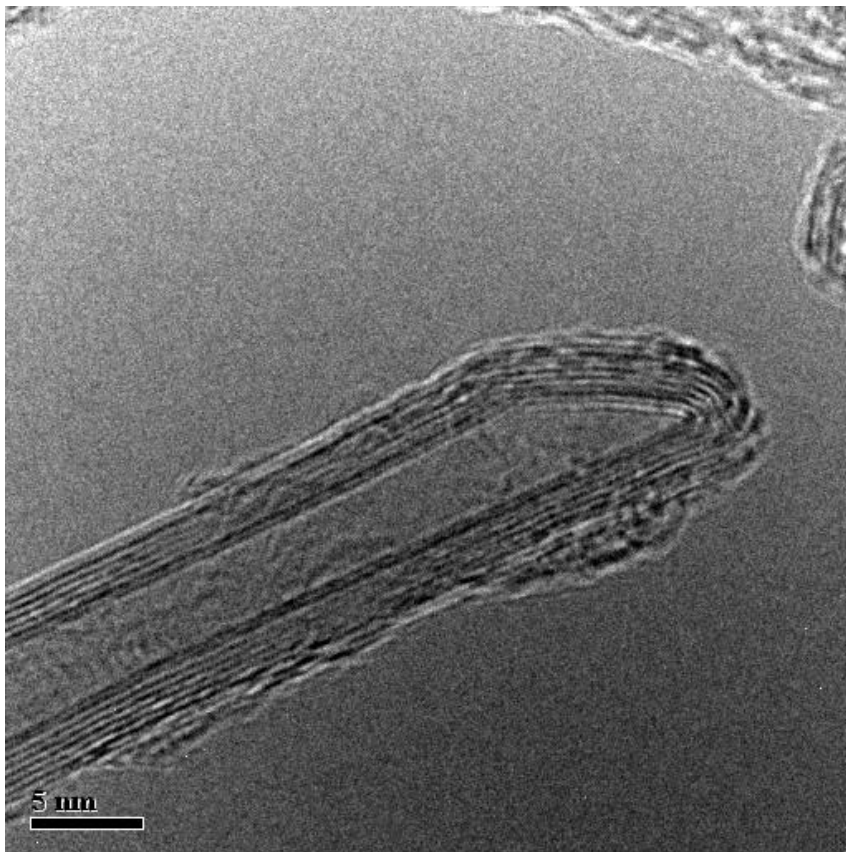
Каталитические испытания в реакции Сузуки

Число циклов	1	2	3	4	5	6	7	8
Катализатор	Вихід, % (по даним ¹ H ЯМР)							
Pd/SiO ₂ /УНТ(14) (время реакции– 10 хв.)	99	97	97	96	95	94	99	97
Pd/SiO ₂ /УНТ(33) (время реакции– 10 хв)	100	98	94	96	95	97	98	96
Pd/TiO ₂ (1)/C/SiO ₂ (время реакции– 10 хв	98	95	97	96	98	97	97	96
Pd/TiO ₂ (10)/C/SiO ₂ (время реакции– 10 хв	99	99	95	97	95	95	96	95
Pd/TiO ₂ (25)/C/SiO ₂ (время реакции– 20 хв	100	98	95	97	95	96	93	94

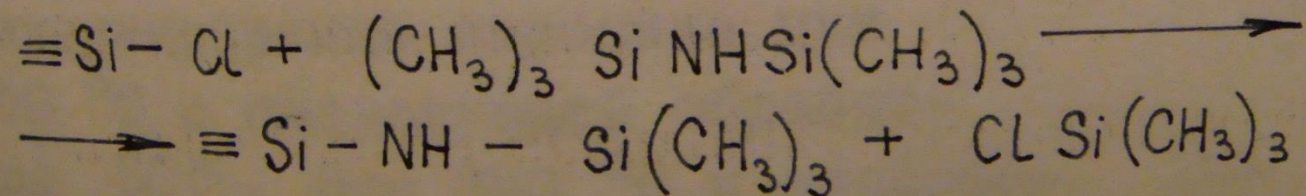
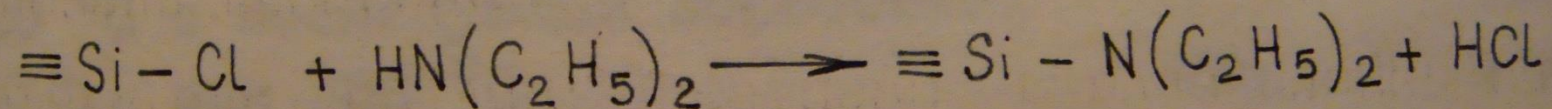
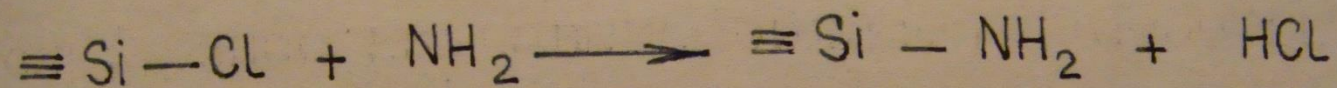
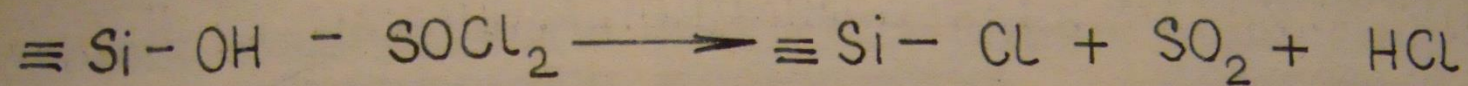
Н.А. Бумагин, Л.Ф. Шаранда, И.С. Веселов, Д.С. Белов, В.М. Огенко, С.В. Волков. Гетерогенные палладиевые катализаторы на основе углеродных нанотрубок для безопасных реакций тонкого органического синтеза // Наноструктурное материаловедение. – 2013. – № 1. – С. 33–48.

Л.Ф. Шаранда, Н.А. Бумагин, В.М. Огенко, С.В. Волков. Патент України, № заявки а 2013 10888 // Гібридний кремнезем-вуглецевий паладієвий каталізатор на основі вуглецевих нанотрубок, спосіб його синтезу та застосування в реакціях крос-сполучення. – Заявл.10.09. 2013.

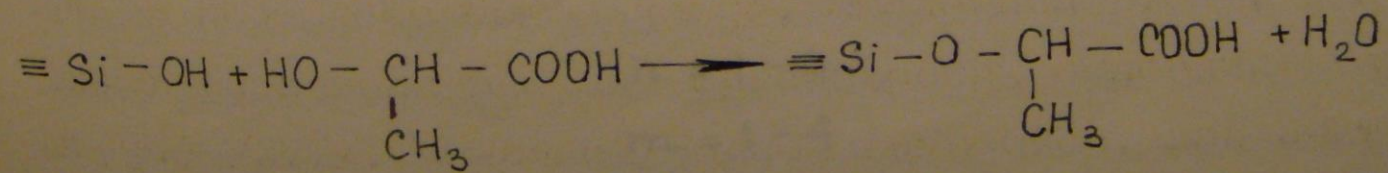
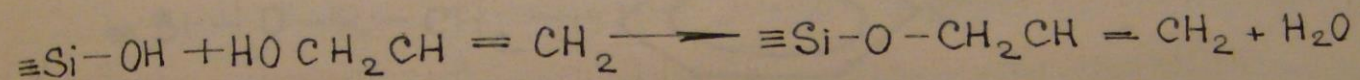
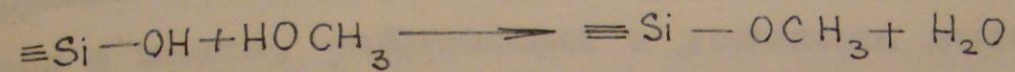
Просвічуюча мікроскопія(власні дослідження)



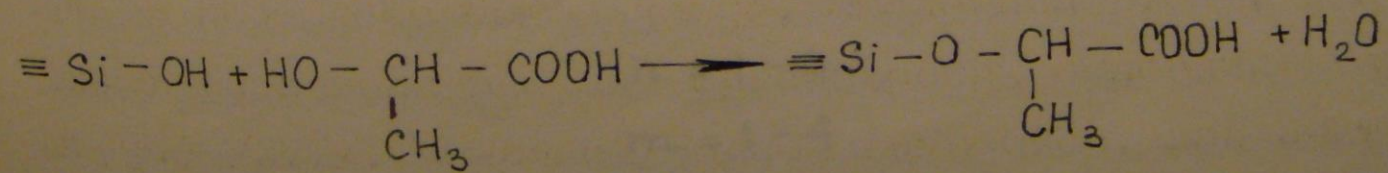
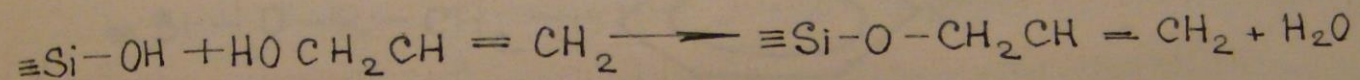
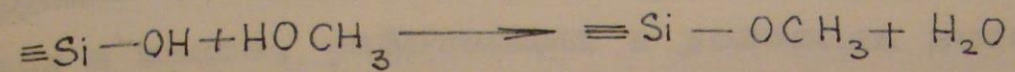
Деякі реакції на поверхні



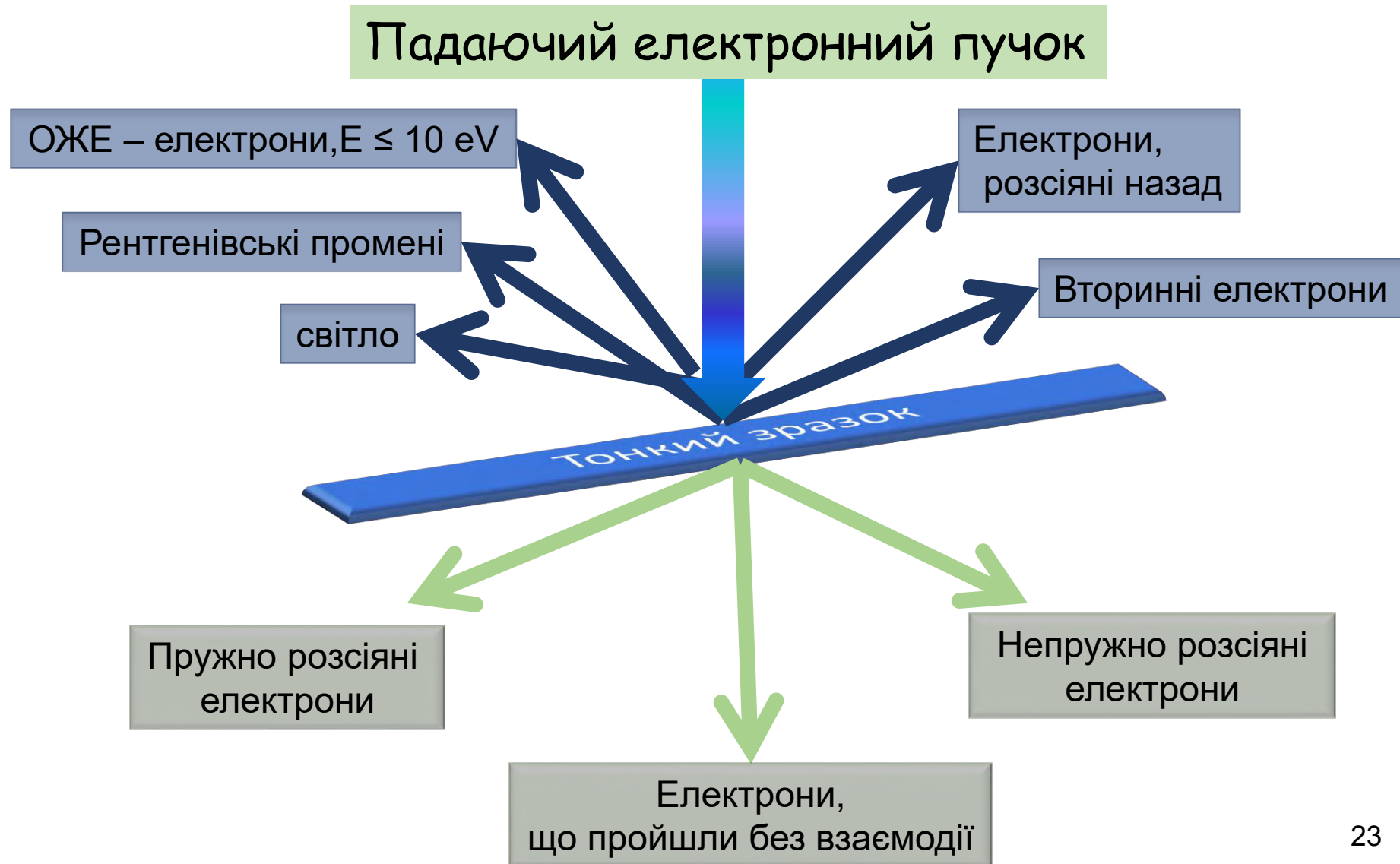
Реакції на поверхні



Реакції на поверхні



Взаємодія речовини з потоком електронів



Історія створення електронного мікроскопа

1. Відкриття в 1897 году електрона ([Дж. Томсон](#))
2. еспериментальне дослідження в 1926 году хвильових властивостей електрона ([К. Девиссон](#), Л. Гермер),
3. гіпотеза 1924 року [де Бройля](#) про корпускулярно-хвильовий дуалізм всіх видів матерії.
4. Створення в 1926 году німецьким фізиком [Х. Буш](#) магнітної лінзи, що дозволило фокусувати електронні пучки та

послужило передумовою для створення в 1930-х роках першого **електронного мікроскопу**.

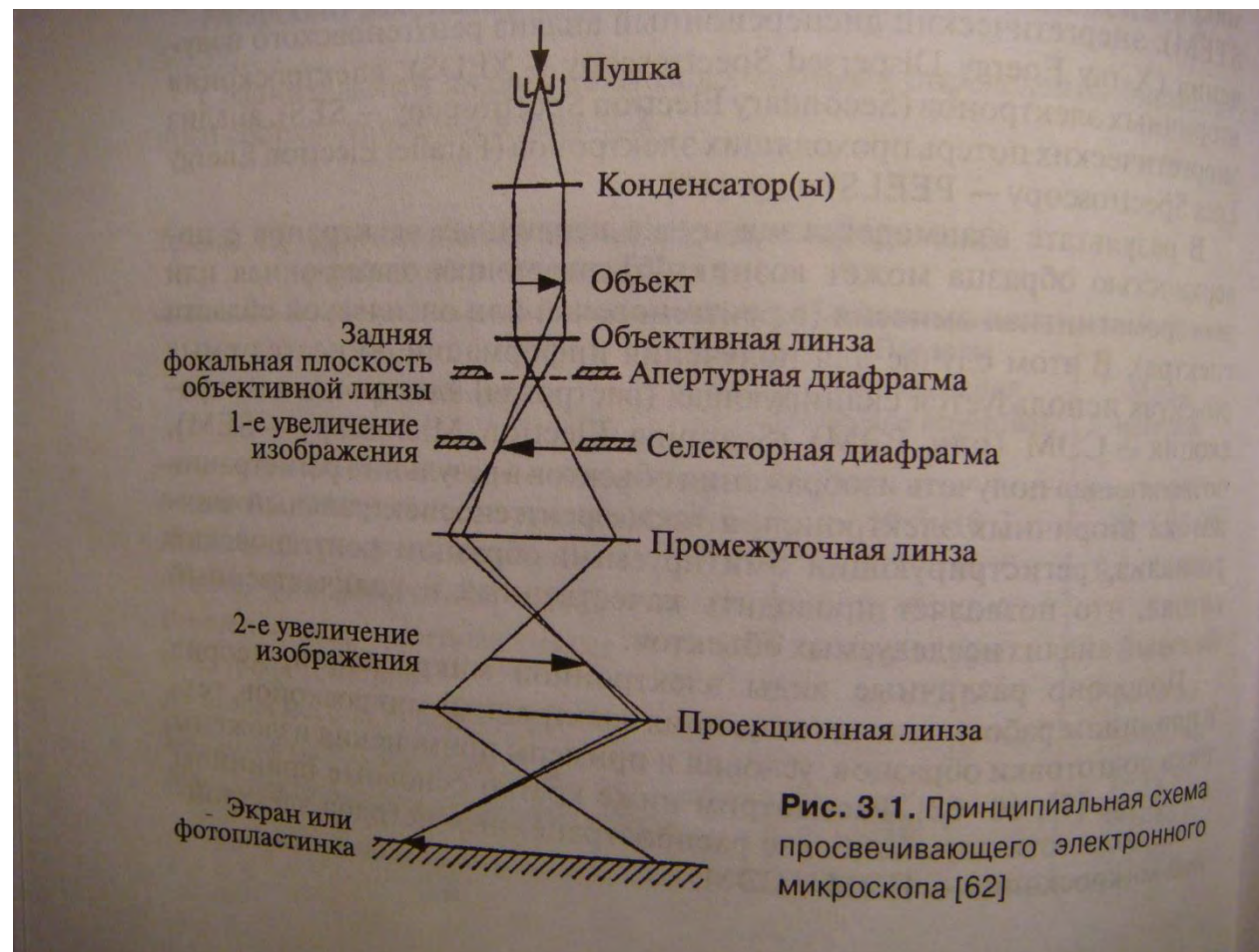
5. В 1931 году [Р. Руденберг](#) отримав патент на [просвічуючий електронний мікроскоп](#)

6. В 1932 году [М. Кноль](#) і [Е. Руска](#) побудували перший прототип прибора

Ця робота [Е. Руски](#) в 1986 году була відмічена Нобелівською премією по фізиці, яку присудили йому і винахідникам [скануючого зондового мікроскопа Герду Карлу Биннигу](#) и [Генриху Рореру](#). Перший комерційний прилад, був побудований фірмою [Siemens](#).



ПЭМ



Электронограмма ZrO_2

3.3. Определение атомно-кристаллической структуры дифракционными

рис. 3.27. Электронограмма пленки ZrO_2 толщиной более 4 нм, напыленной на пассивированную поверхность Si. Цифры в скобках указывают индексы hkl линий электрограмм [85]

(222)

(311)

(113)

(112)

(200)

(002)



Переваги електроннографії

овременного метода исследования. Применение электронографии дает возможность получения результатов, которые трудно получить при использовании рентгенографии. Рассмотрим основные особенности того метода.

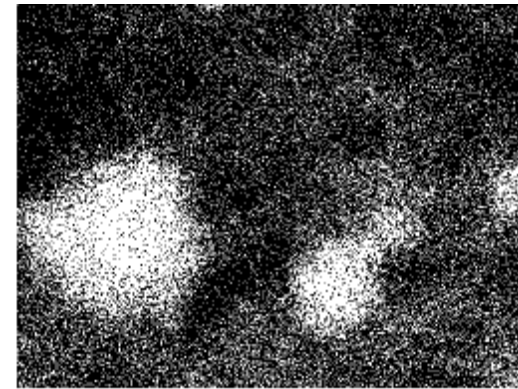
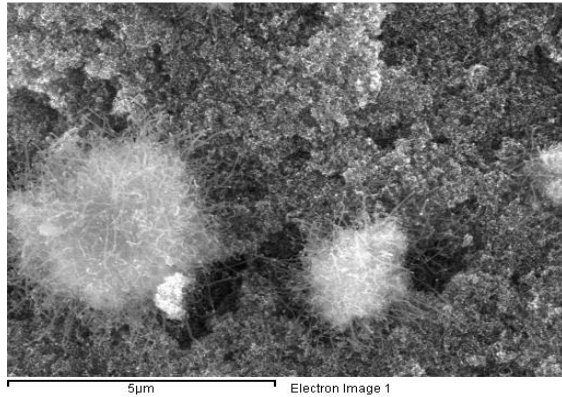
- Поток электронов рассеивается на электростатическом потенциале, создаваемом как ядрами, так и электронами атомов, поэтому взаимодействие электронов с веществом на несколько порядков превосходит взаимодействие рентгеновских лучей и нейтронов. Это позволяет электронографическими методами анализировать чрезвычайно малые количества вещества.
- В связи с малой длиной волны и сильным взаимодействием электронов с веществом можно получить резкие и интенсивные рефлексы при меньших размерах кристаллитов, т.е. проводить анализ кристаллического строения «рентгеноаморфных» веществ.
- Особенности рассеяния электронов в веществах приводят также к относительно слабой (по сравнению с рентгеновским излучением) зависимости рассеивающей способности вещества от его атомного веса, что позволяет значительно проще, чем в нейтронографии определять положение легких атомов в присутствии более тяжелых.

исследований обычно ис-

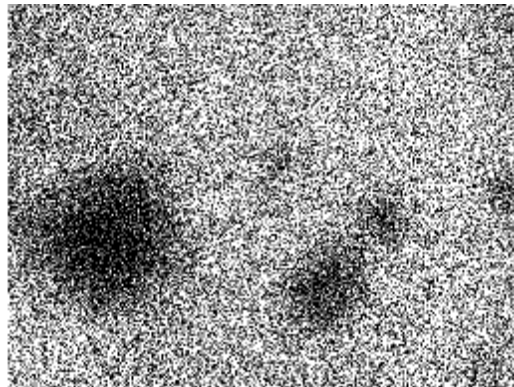
РЭМ



Карти розподілу елементів



C Ka1_2

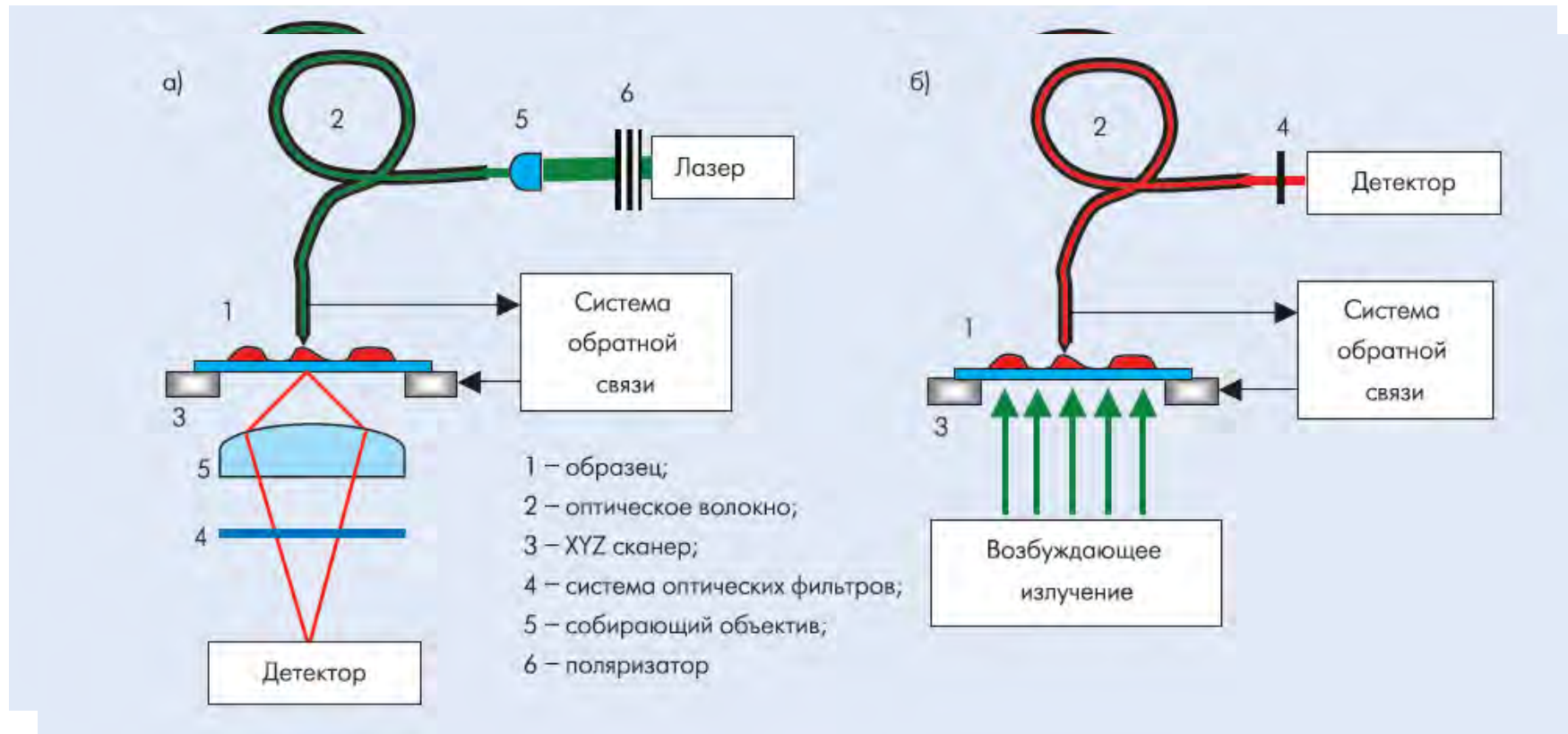


Si Ka1

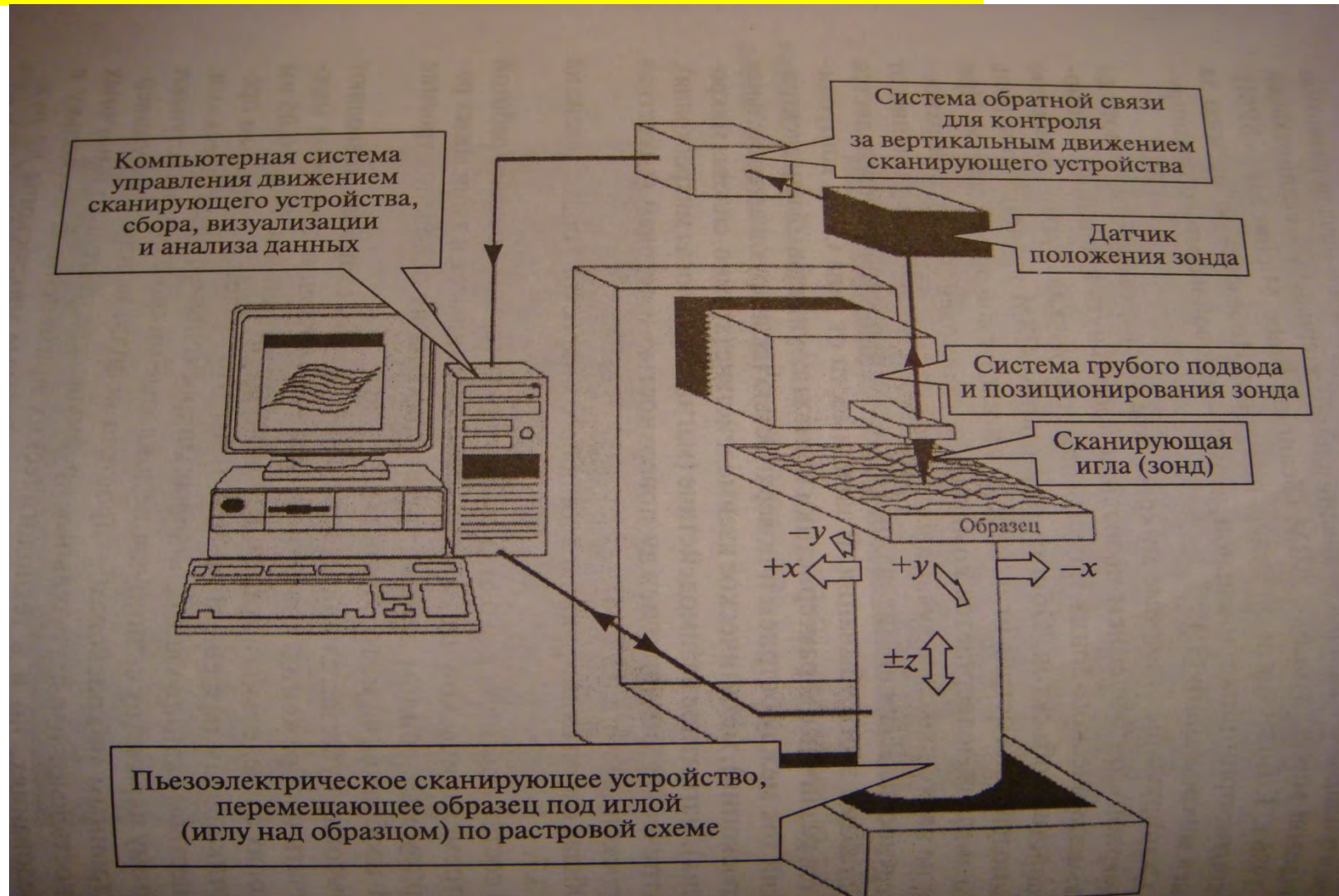


O Ka1

Типові схеми експериментальних установок для мікроскопії ближнього поля: а – ближнє поле використовується в якості збуджуючого , б – регистрируется ближнее поле флуоресцирующего зразка



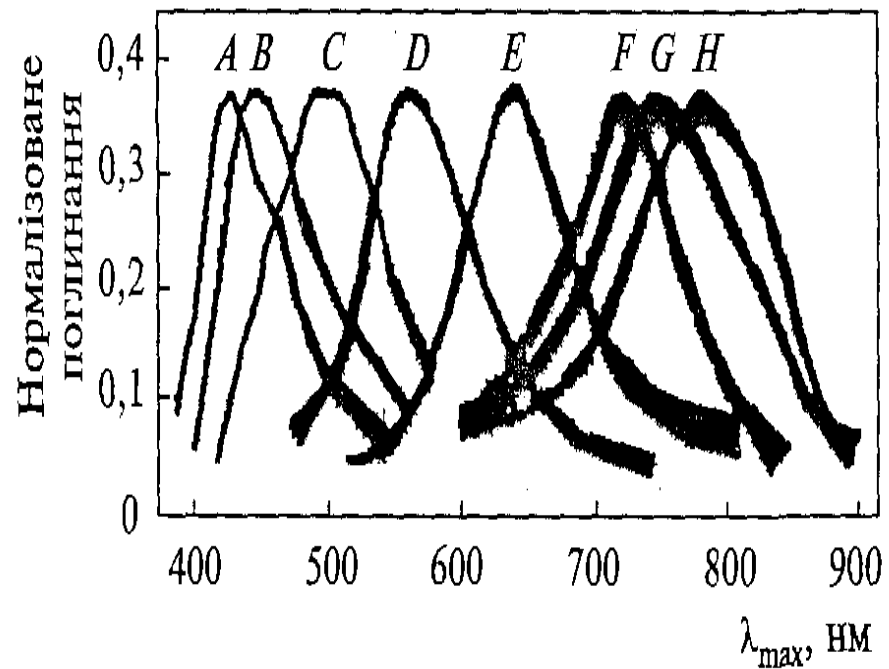
Скануючий зондовий мікроскоп



Спектри поглинання наночасток срібла

Характеристики РСЛПП-спектрів наночастинок срібла (див. рис. 1.3)

Параметр \ Спектр	A	B	C	D	E	F	G	H
Форма	О	О	О	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
$a, \text{нм}$	120	150	150	95	120	145	145	145
$b, \text{нм}$	42	70	62	48	46	59	55	50
$\lambda_{\text{max}}, \text{нм}$	426	446	497	565	638	720	747	782



Залежність між розміром частинки золота та точкою плавлення

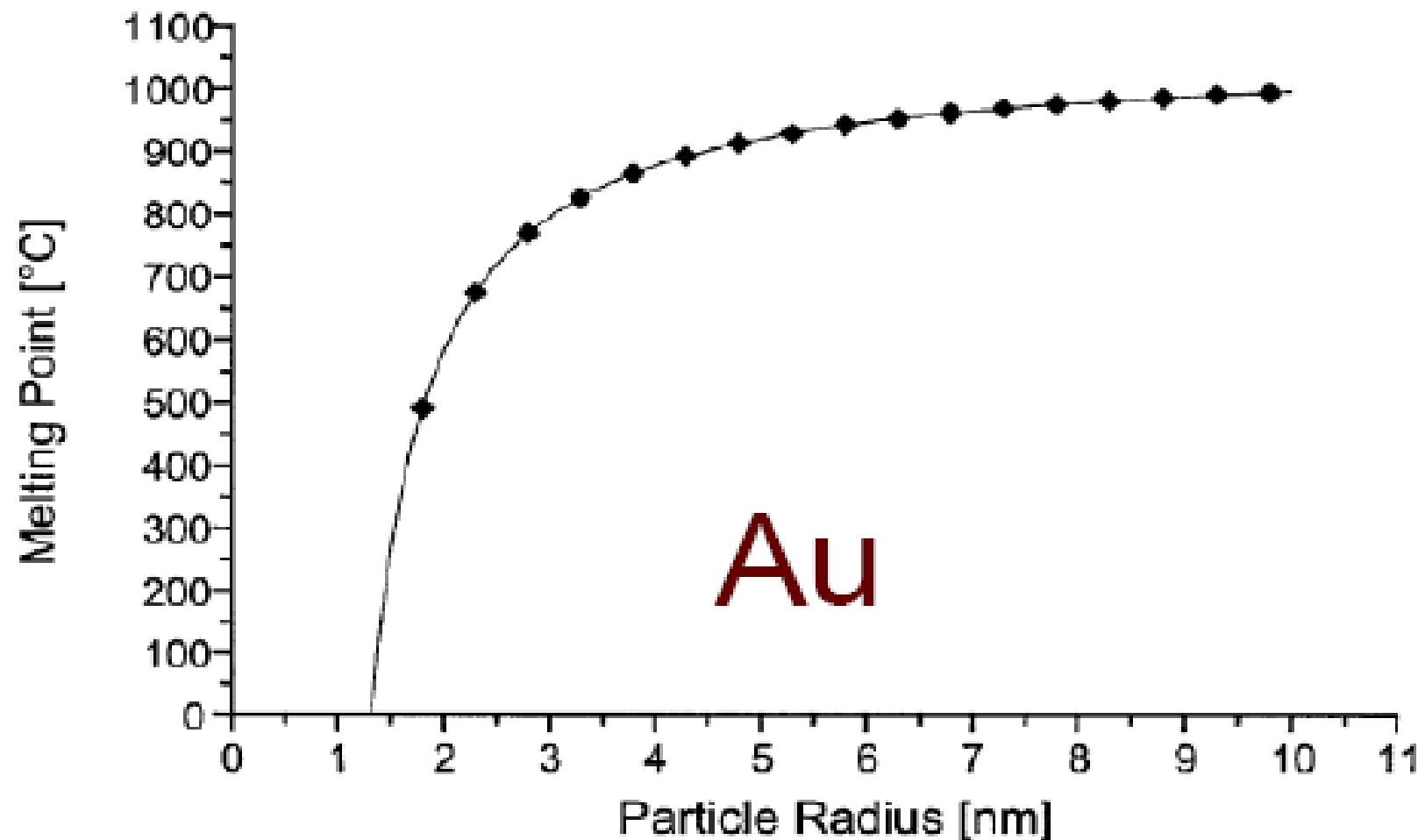
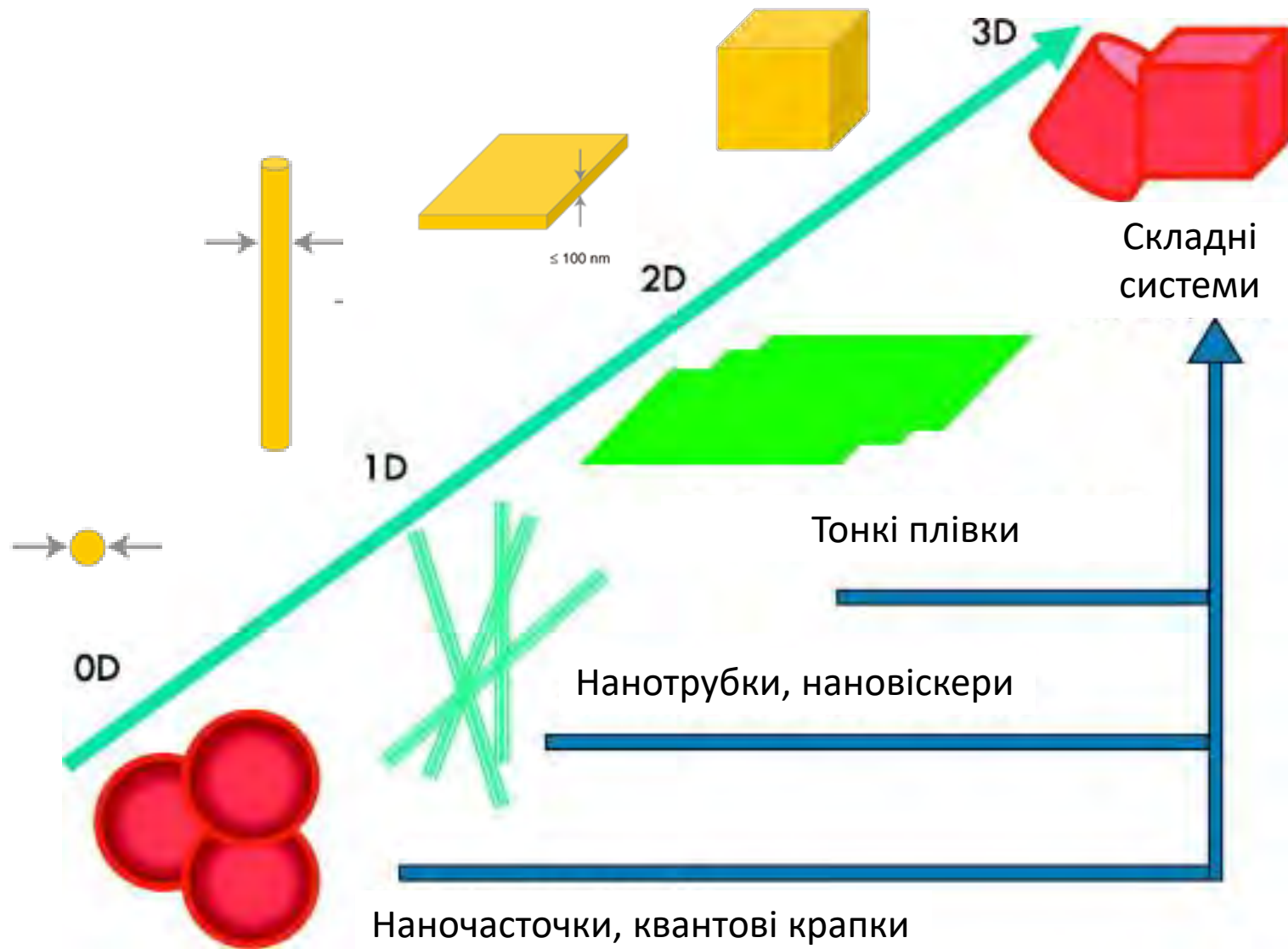
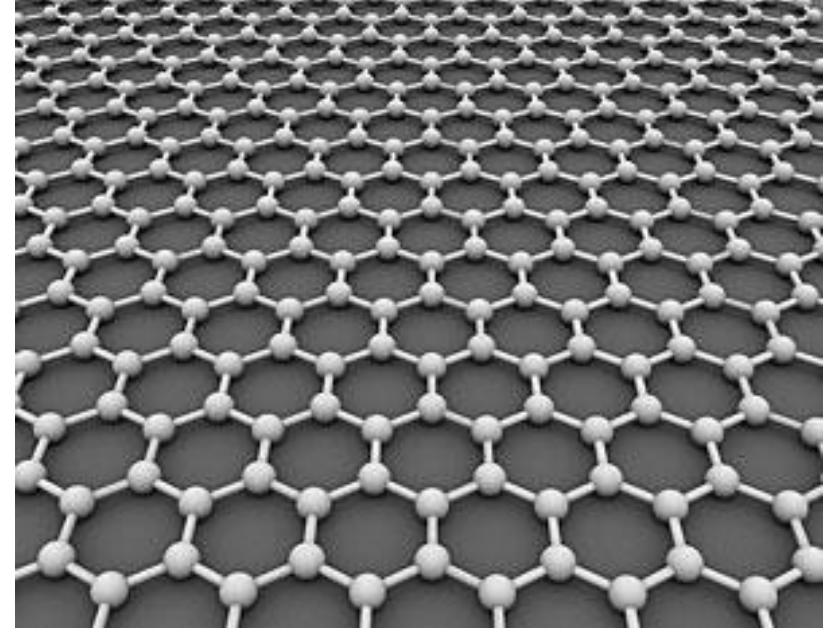
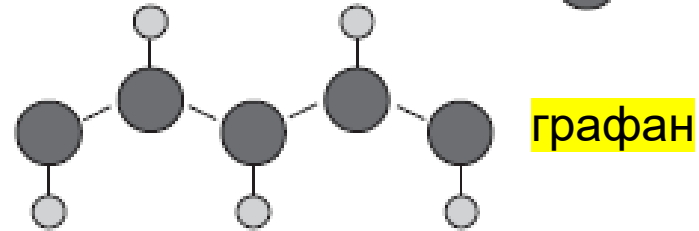
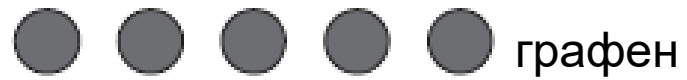


FIGURE 2.6 Relation between the size of gold particles and their melting point.

Класифікація наноструктур



Графен



А. К. Гейму та К. С. Новосьолову
присуджена Нобелівська премія з
фізики за 2010 рік



Зондова мікроскопія

SEM

Скануюча електронна

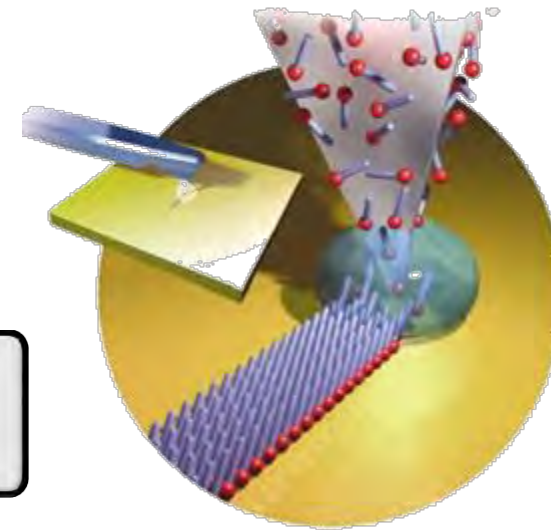
STM

Скануюча тунельна

AFM

Скануюча силова

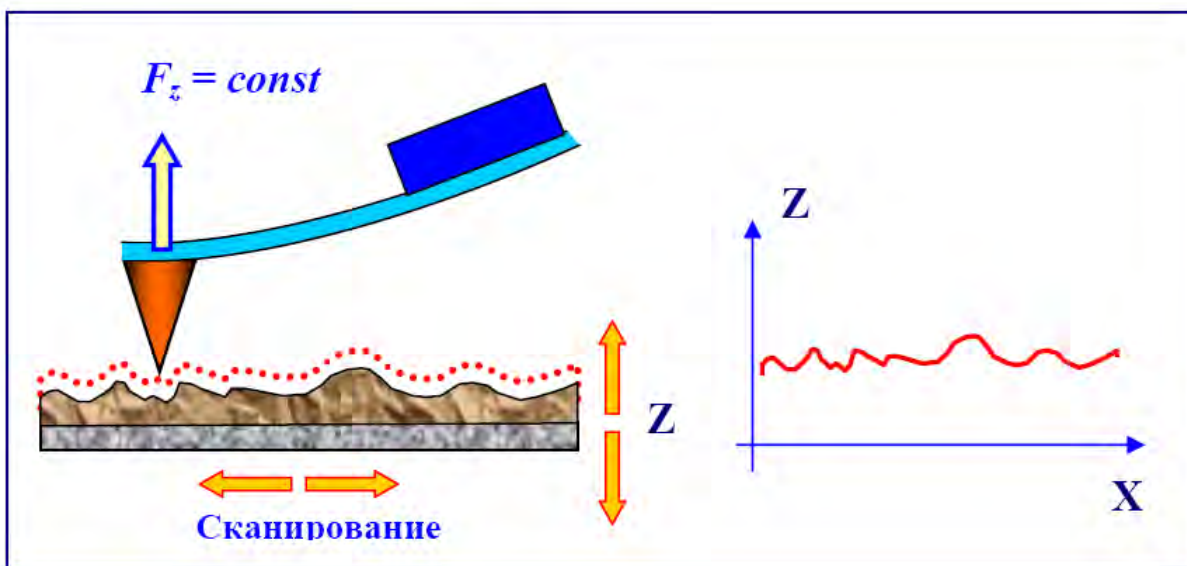
Скануюча оптична ближнього поля



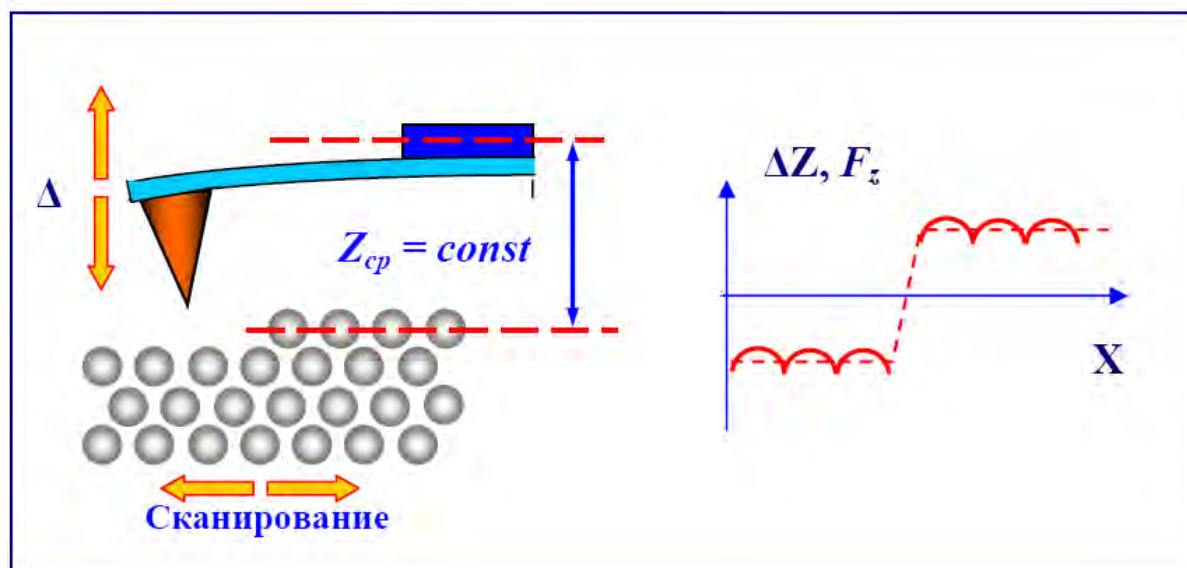
Атомно-силова

електронно-
силова

магнітно-силова



Постійна сила
взаємодії зонд-
поверхня



Постійна відстань
між датчиком та
поверхні

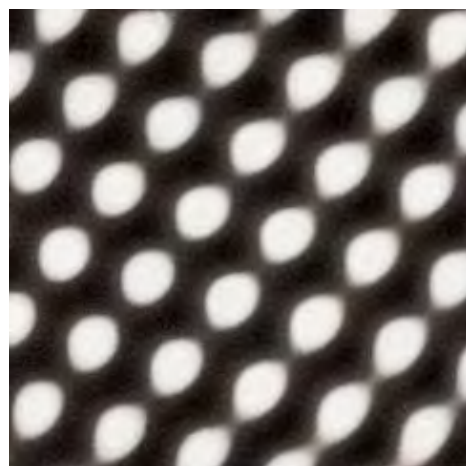
STM зображення фулерену C₆₀ на підкладинці слюди

Розміри зображень- 3.0 нм на 3.0 нм

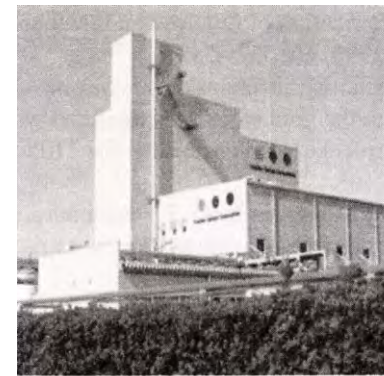
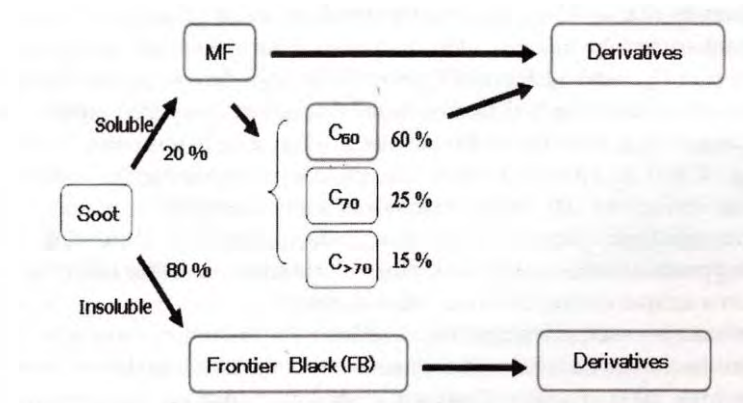
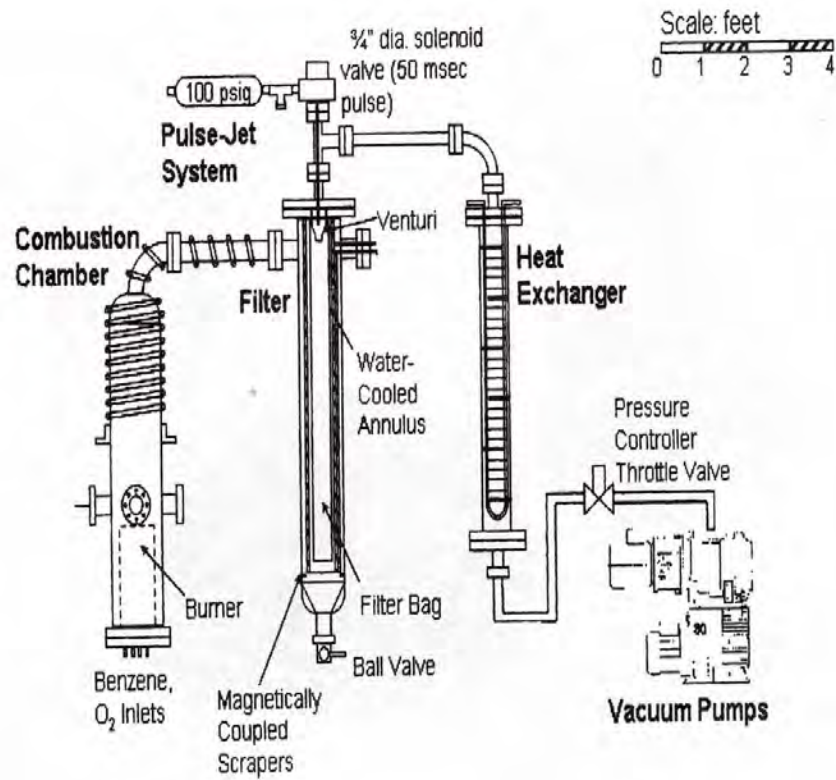


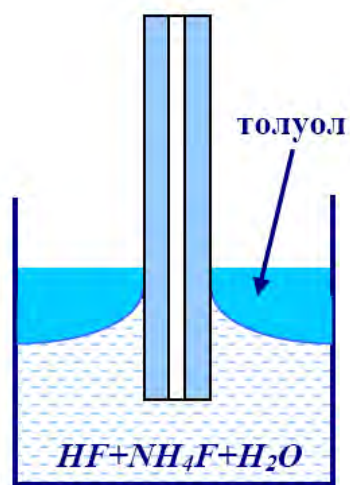
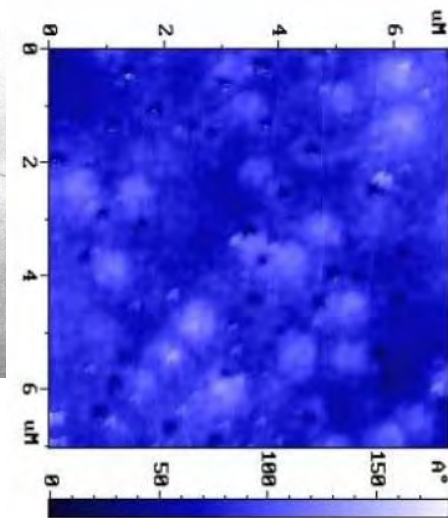
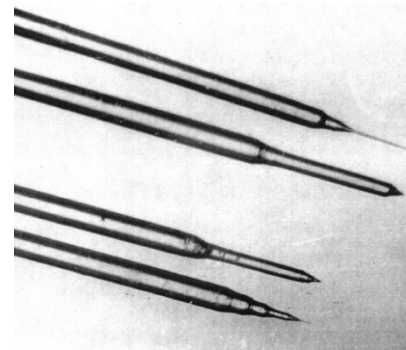
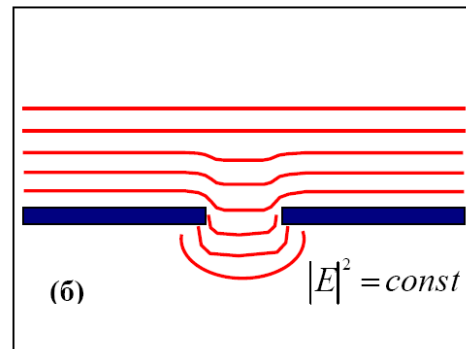
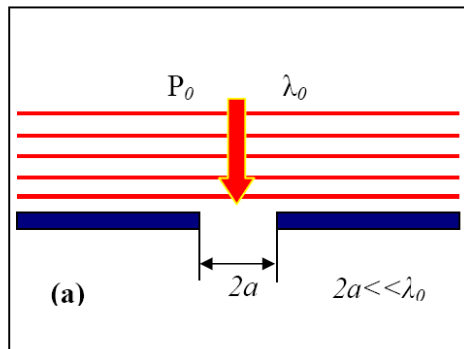
- Фулерен C 60

- слюда

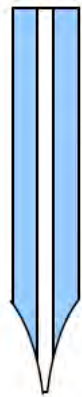


Завод 40 t/year fullerene(FCC) , Kyushu, Japan

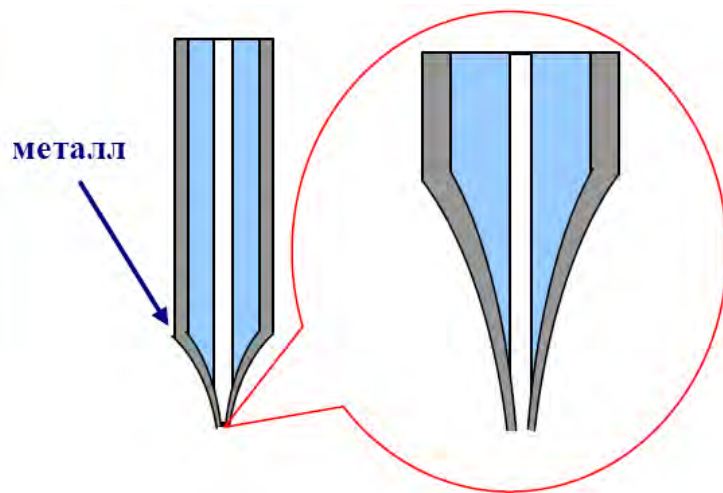




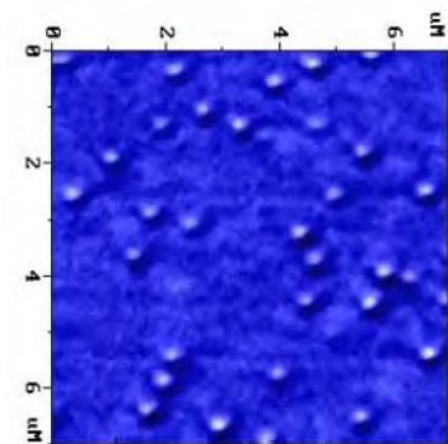
(a)



(б)



(в)



Виготовлення ближньопольного оптичного волокна: а) хімічним травленням; в) наплення тонкої плівки металу

Concentrates

Chemistry news from the week

► Highlights

Chemists synthesize nanoporous graphene	6
Optical tweezers react individual Na and Cs atoms	7
Water-based paint performs better carbonated	7
Hair-based generator collects static electricity	9
Scientist gets 10 years for theft of GMO rice	10
Novartis acquires AveXis in gene therapy move	11
Chemours's fluoroether pollution draws state action	14
Opioid use is lower in states with medical marijuana	15

IMAGING

Rigid tip improves atomic force microscopy

Inflexible copper oxide tip allows accurate imaging of bonds within and between molecules

Atomic force microscopy (AFM) can get chemists pretty close to actually seeing the atoms and bonds of molecules. The technique produces images a bit like a record player generates sound. An atomic-scale needle at the end of a cantilevered arm scans across a sample, moving up and down according to the shape and electronic properties of the surface. Measuring and recording that deflection produces a three-dimensional representation of the molecules within the sample.

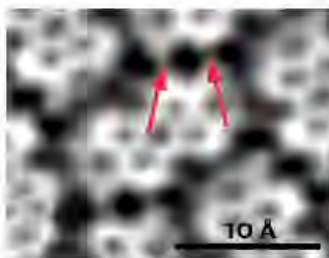
Minimizing interactions between the needle and the sample can lead to sharper images. In 2009, IBM researchers proposed using a carbon monoxide tip to significantly improve AFM resolution. The drawback is that atoms on a sample's surface can tug on the CO dangling from the end of a metal needle, making bonds look longer than they actually are or creating artifacts that look like bonds between atoms.

Now, researchers have swapped this flexible CO tip for a more rigid one to improve AFM's ability to image inter- and intramolecular bonds (*Nat. Nanotechnol.* 2018, DOI: 10.1038/s41565-018-0104-4).

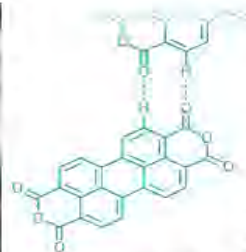
Taking inspiration from a 2012 paper in *Physical Review B* that proposed using a copper oxide tip for AFM, Harry Mönig of the University of Münster and colleagues demonstrated that such a needle can reli-

ably image bonds without false positives and can accurately measure bond lengths. The copper oxide tip is about one order of magnitude more rigid than its CO counterpart.

"This is a very significant paper," says Xiaohui Qiu, a physical chemist at the National Center for Nanoscience & Technology, explaining that the work represents



An AFM image (left) made using a rigid tip shows hydrogen bonds (identified with arrows) between molecules of PTCDA (right).



a significant advance in noncontact AFM imaging. Qiu says Mönig's paper resolves a debate that has been ongoing since 2013 about whether hydrogen bonds in AFM images are real or artifacts, and the work shows that AFM can reliably characterize both inter- and intramolecular bonds.

Mönig's group had previously shown that their copper oxide-tipped needle could be used in AFM. In the new paper, they first demonstrate the tip's ability to accurately measure bond length by scan-

ning a buckyball. The bond lengths in the AFM images were within two tenths of an angstrom of the bond lengths obtained by X-ray diffraction and predicted by density functional theory. CO tips overestimate these bond lengths by as much as an angstrom. The stiffer copper oxide tips did sacrifice some sharpness in imaging relative to CO tips.

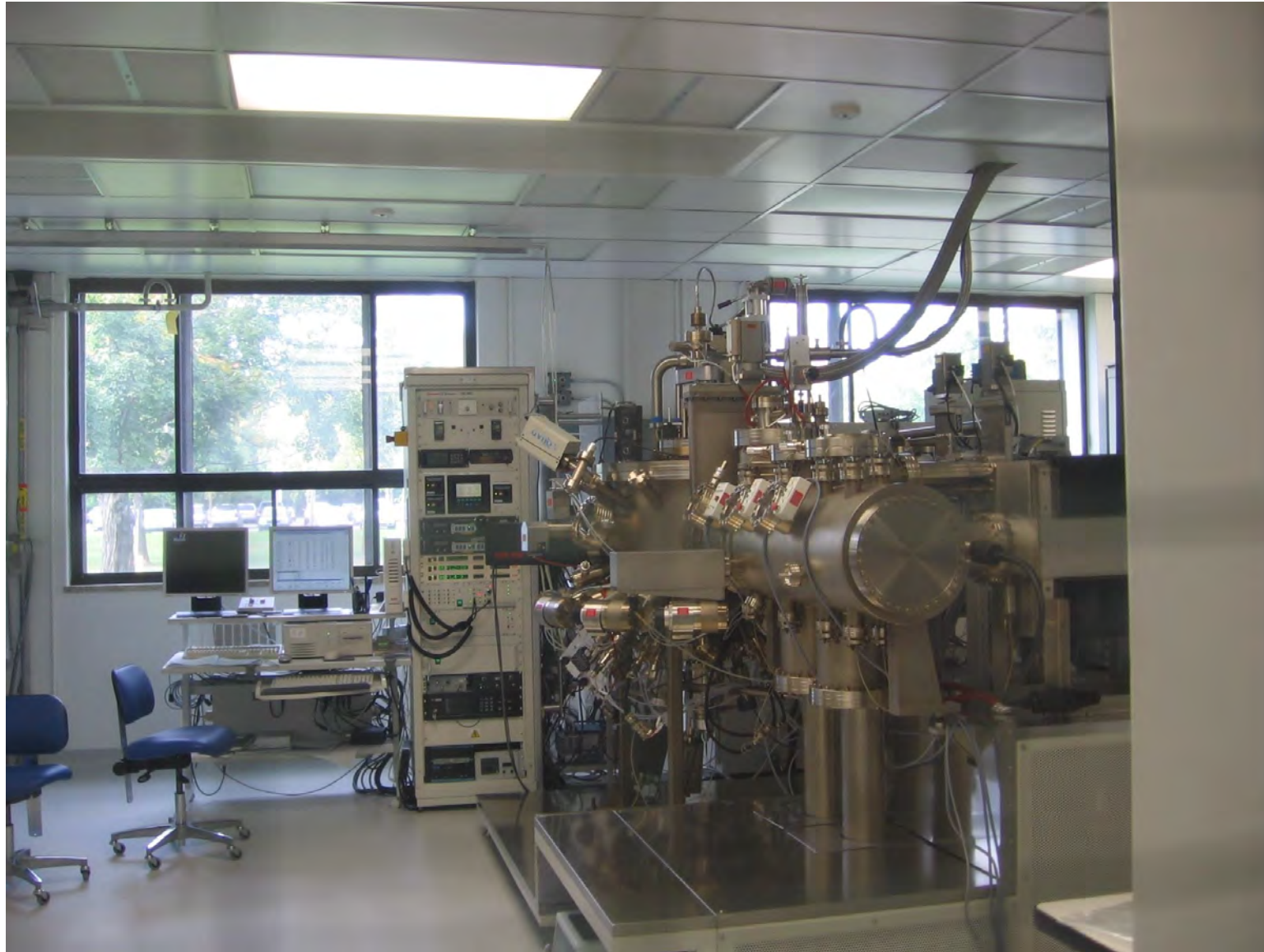
The researchers also successfully imaged a predicted nitrogen-gold-nitrogen bond between bis(para-pyridyl)acetylene and a gold surface. Chemists had debated the existence of this bond because of discrepancies between simulations and AFM images made with a CO tip.

Finally, the group imaged intermolecular hydrogen bonding between 3,4,9,10-perylene-tetracarboxylic-dianhydride (PTCDA) molecules. The flexibility of CO tips can produce lines of contrast that look like bonds between atoms in AFM images, making it hard to distinguish between actual hydrogen bonds and artifacts. Mönig's group found that copper oxide tips did not produce those kinds of artifacts in the PTCDA images.

To make these new rigid tips, Mönig's team first presses a blunt tungsten needle into a copper surface to pick up a pyramid of copper atoms. They then dip it just tenths of angstroms deep in a copper oxide surface. The process reliably adds copper oxide to the tip, although Mönig says it can be challenging to make sure the copper oxide pyramid has one oxygen atom pointing straight down.—SAM LEMONICK

CREDIT: NAT. NANOTECHNOL./HARRY MÖNIG

Молекулярная эпитаксия (Канада)





Література

1. [Сепарация\Microreactor enables rapid testing of green solvents.html](#)
2. В.А. Новикова, С.В. Варжель РАССЕЯНИЕ СВЕТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ВОЛОКОННОЙ ОПТИКЕ Санкт-Петербург 2019
- 3.. De Trizio, . L. Manna // Forging Colloidal Nanostructures via Cation Exchange Reactions // Chem.Rev. 2016.
4. А. Д. Помогайло. Металлополимерные нанокомпозиты с контролируемой молекулярной архитектурой // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева), 2002, т. XLVI, №5, с. 64-74.
- 5.. А.В.Лукашин, А.А.Елисеев, Е.А. Померанцева Функциональные свойства одномерных систем // М: 2007, 68с.
- 6 .Н.А. Шабанова, В.В. Попов, П.Б. Саркисов. Химия и технология нанодисперсных оксидов. М.: Академкнига – 2006 - 309с.
7. Методы получения наноразмерных материалов. Учеб. Пособие. – Екатеринбург – 2007.