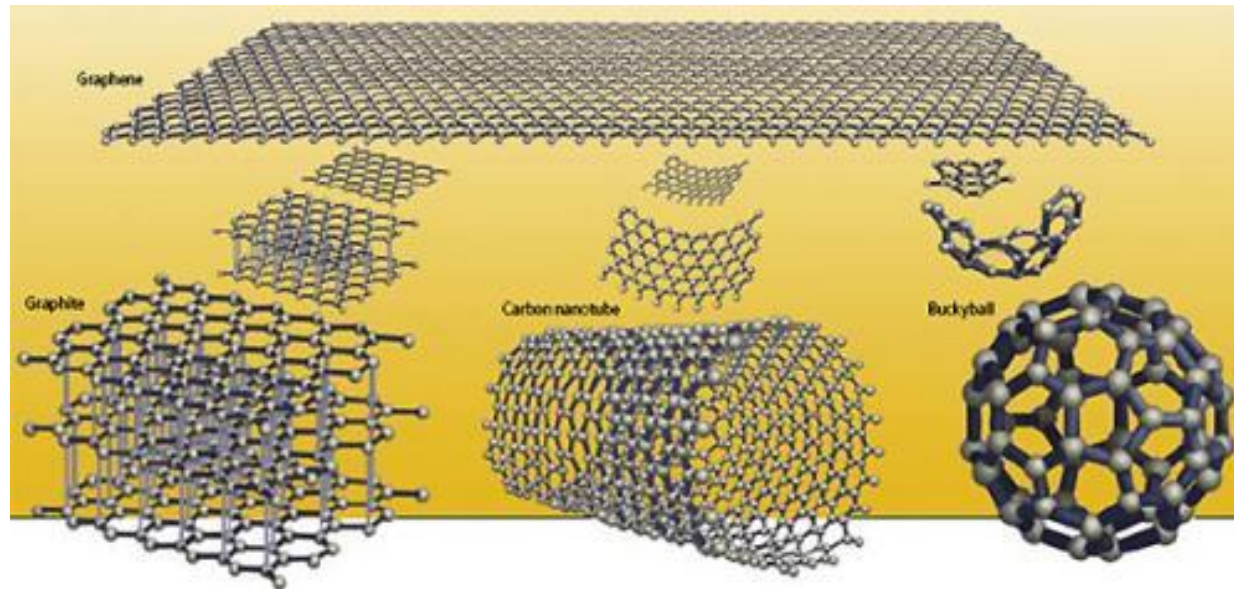


# **Графен: синтез, будова та властивості двовимірних вуглецевих матеріалів**

**Лекція 6**

**16.03.2016**

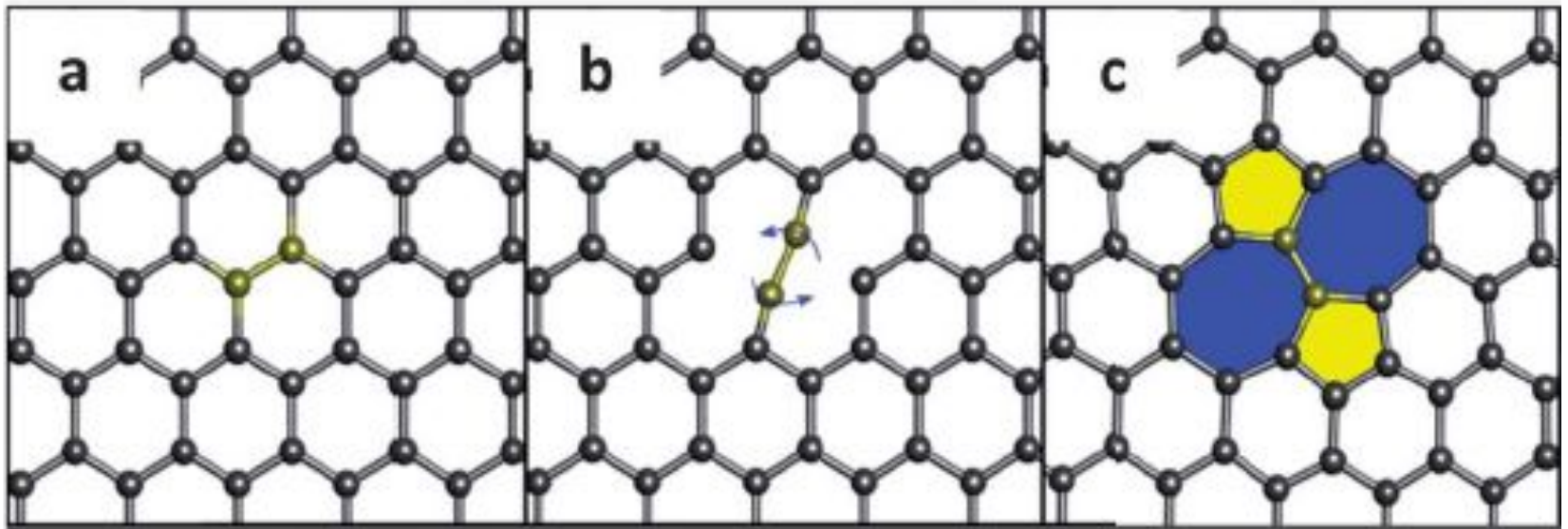
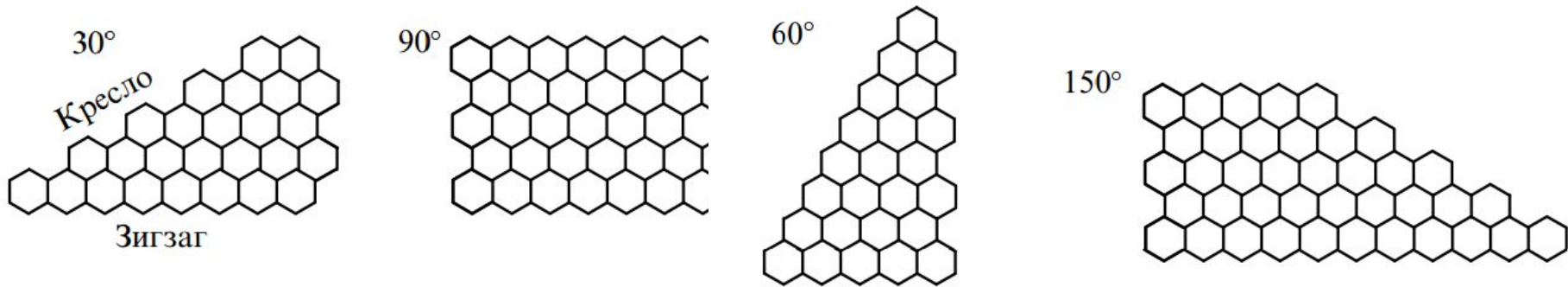
# Корені графенової революції



Dimension	0-D	1-D	2-D	3-D
Isomer	Fullerene	Nanotube	Graphene	Diamond
Hybridization	$sp^2$	$sp^2$	$sp^2$	$sp^3$
Density	1.72	1.2-2.0	2.26	3.515
Bond length	1.40 (C=C) 1.46 (C-C)	1.44 (C=C)	1.42 (C=C)	1.54 (C-C)
Electronic properties	Semiconductor $E_g=1.9$ eV	Metal/Semiconductor $E_g= \sim 0.3 - 1.1$ eV	Zero-gap semiconductor	Insulator

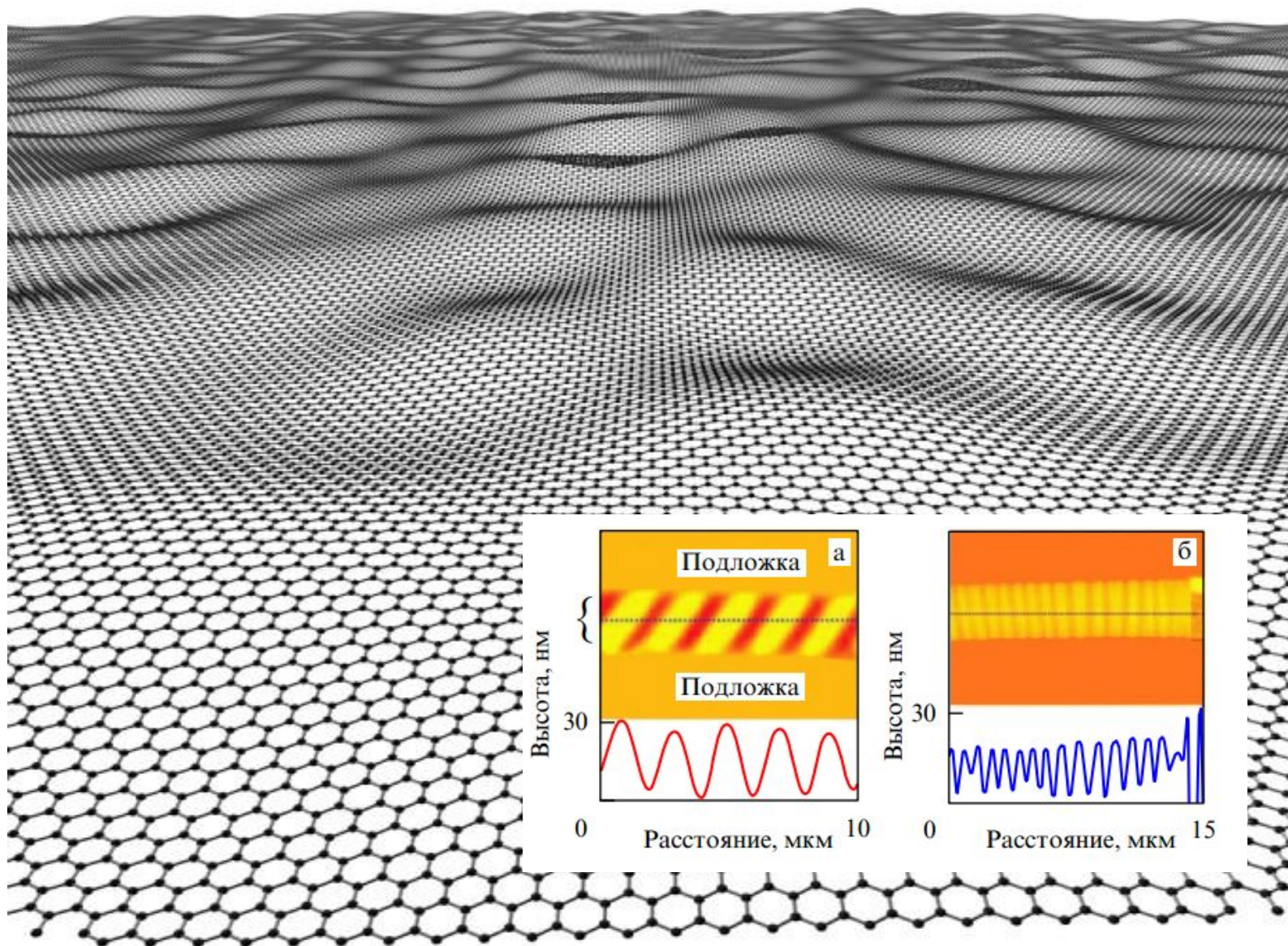
A. K. Geim & K. S. Novoselov. The rise of graphene. *Nature Materials* Vol . 6 ,183–191 (2007).

# Реальна структура



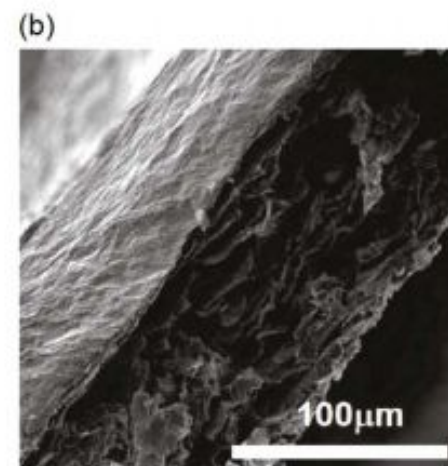
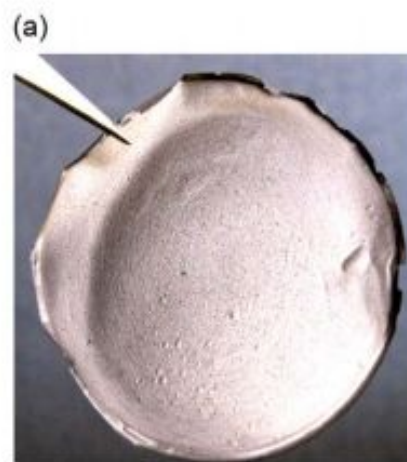
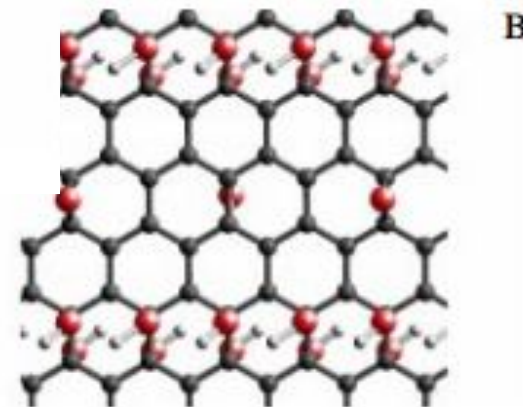
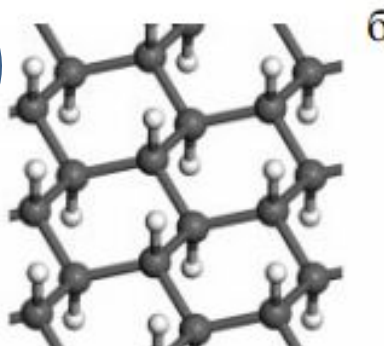
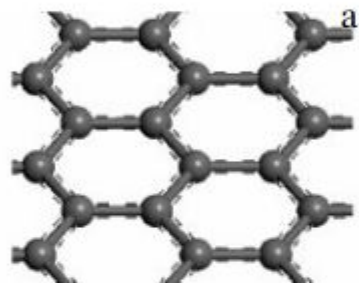
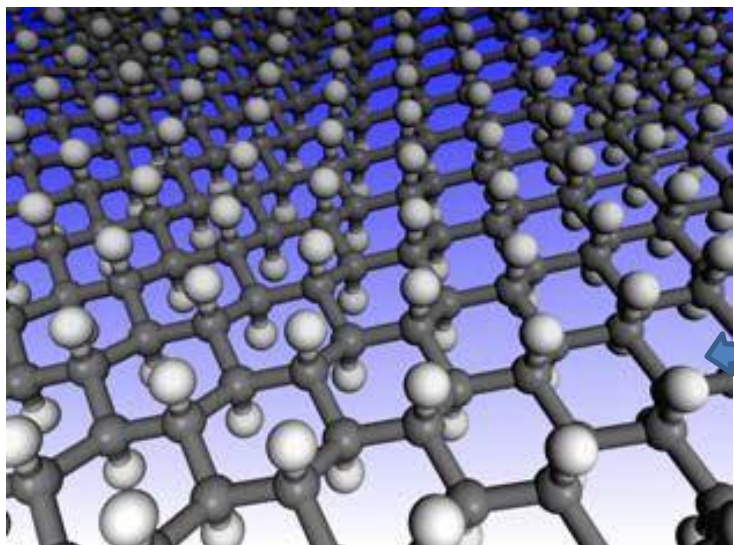
Дефекти графенового листа: а) – фрагмент з приєднаною ОН групою, б) – вакансійний дефект в)- дефект Стоуна – Уельса,

# Реальна будова графену: чи є шар ідеально плоским?



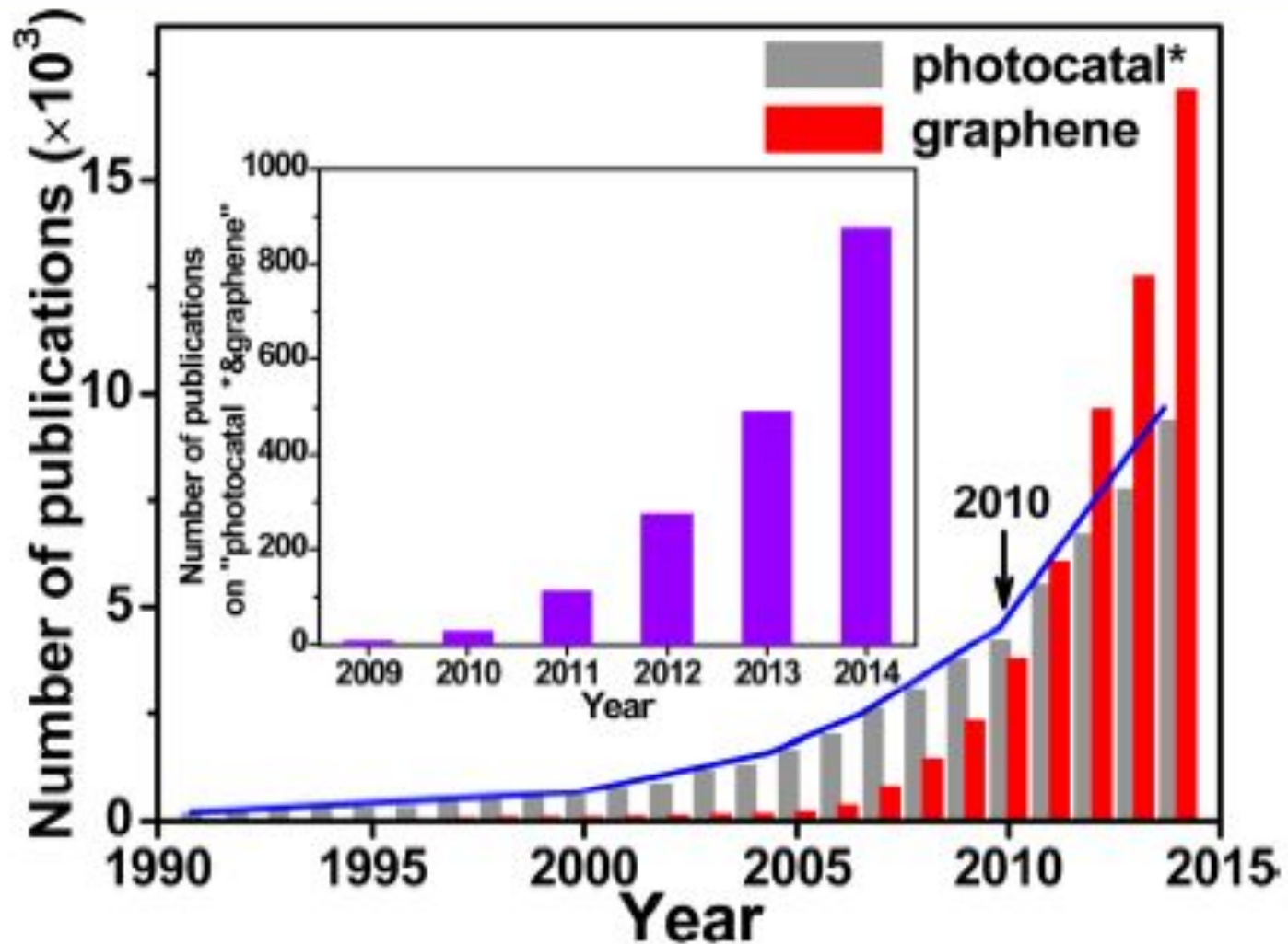
# Похідні графену

## Графан



Graphene Paper

# Graphene-driven “gold rush”



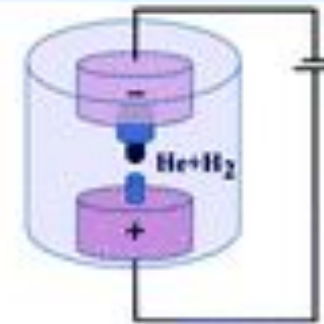
# Методи отримання графена



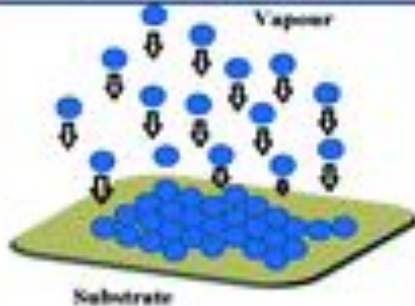
**Exfoliation**



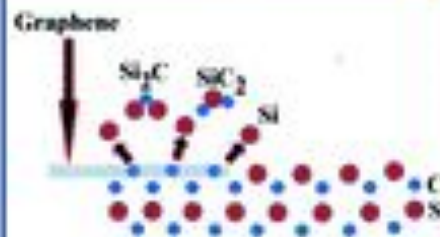
**Intercalation  
and  
Exfoliation**



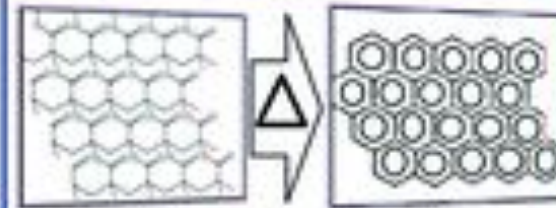
**Arc discharge**



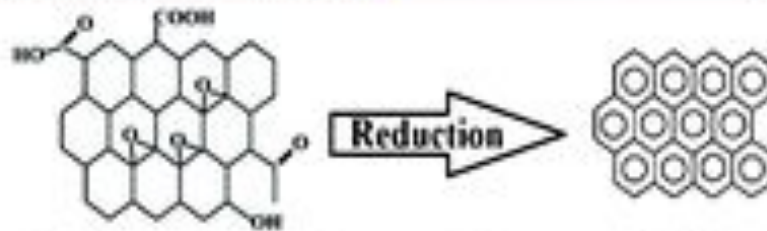
**Vapour deposition**



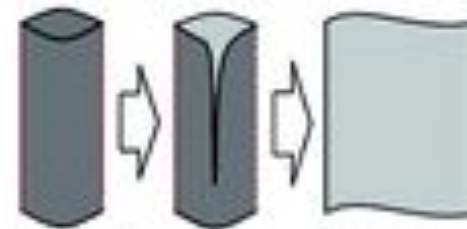
**SiC heating**



**Heating Solid carbon  
source**

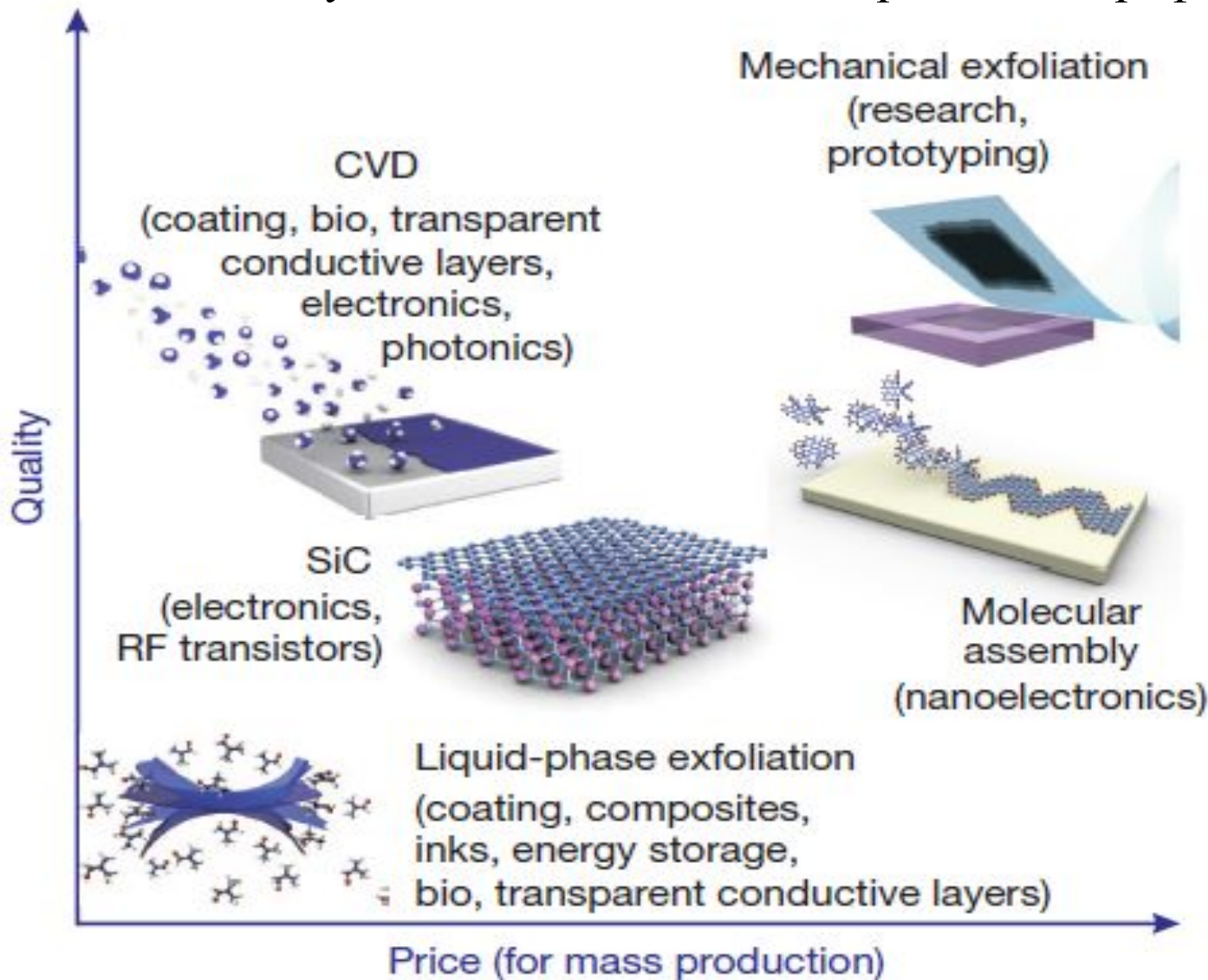


**Reduction of graphene oxide**



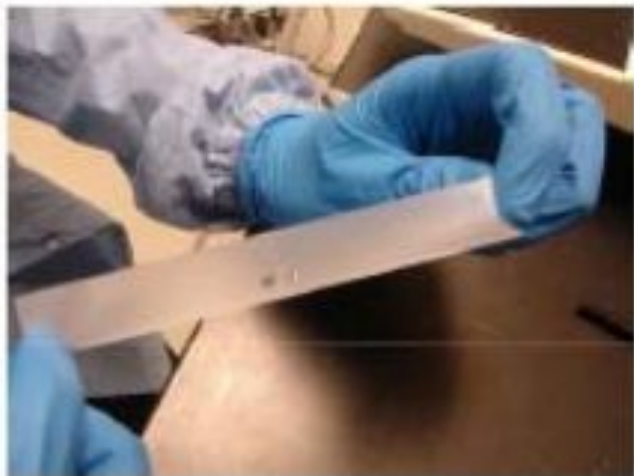
**Unzipping of CNTs**

# Метод синтезу визначає властивості отриманого графена





# Диспергаційні методи: механічне відшарування



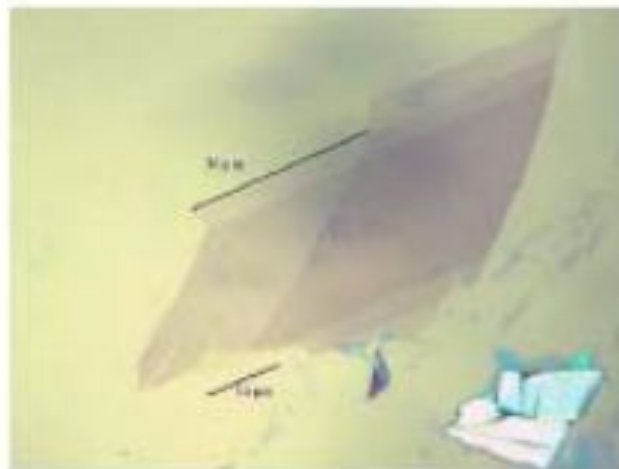
(1)



(2)

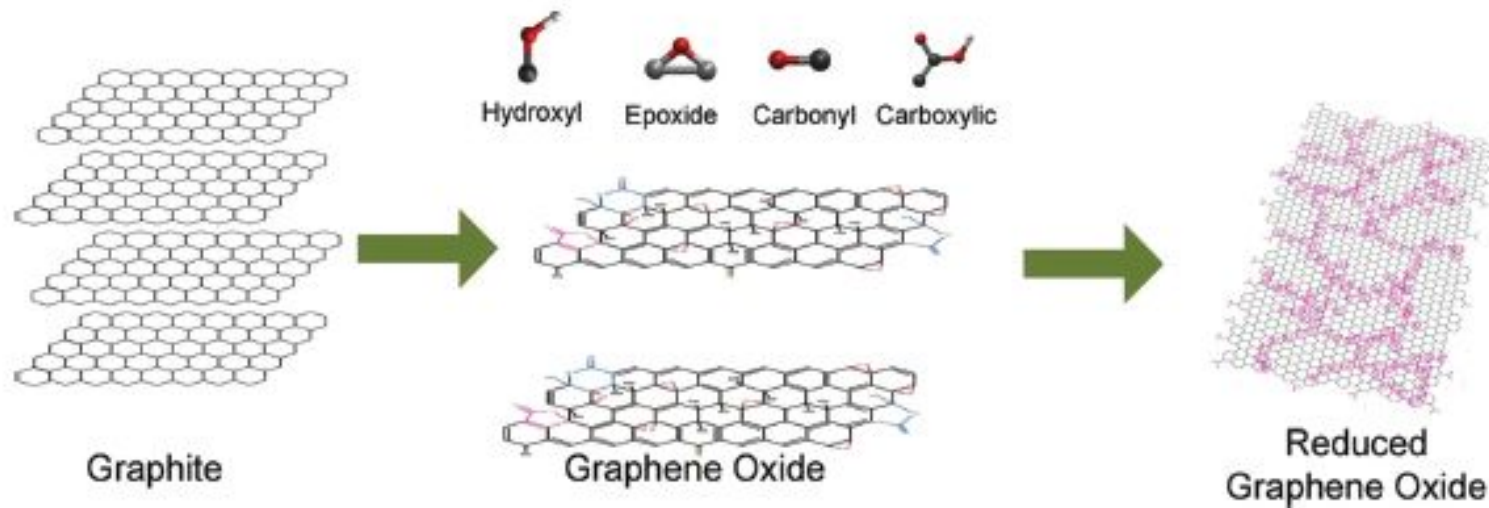
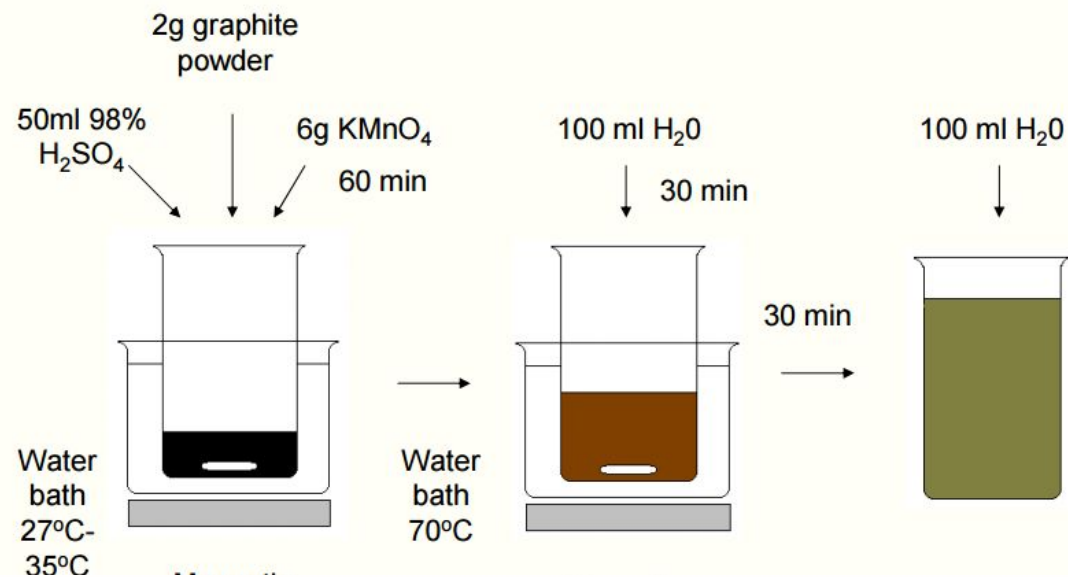


(3)

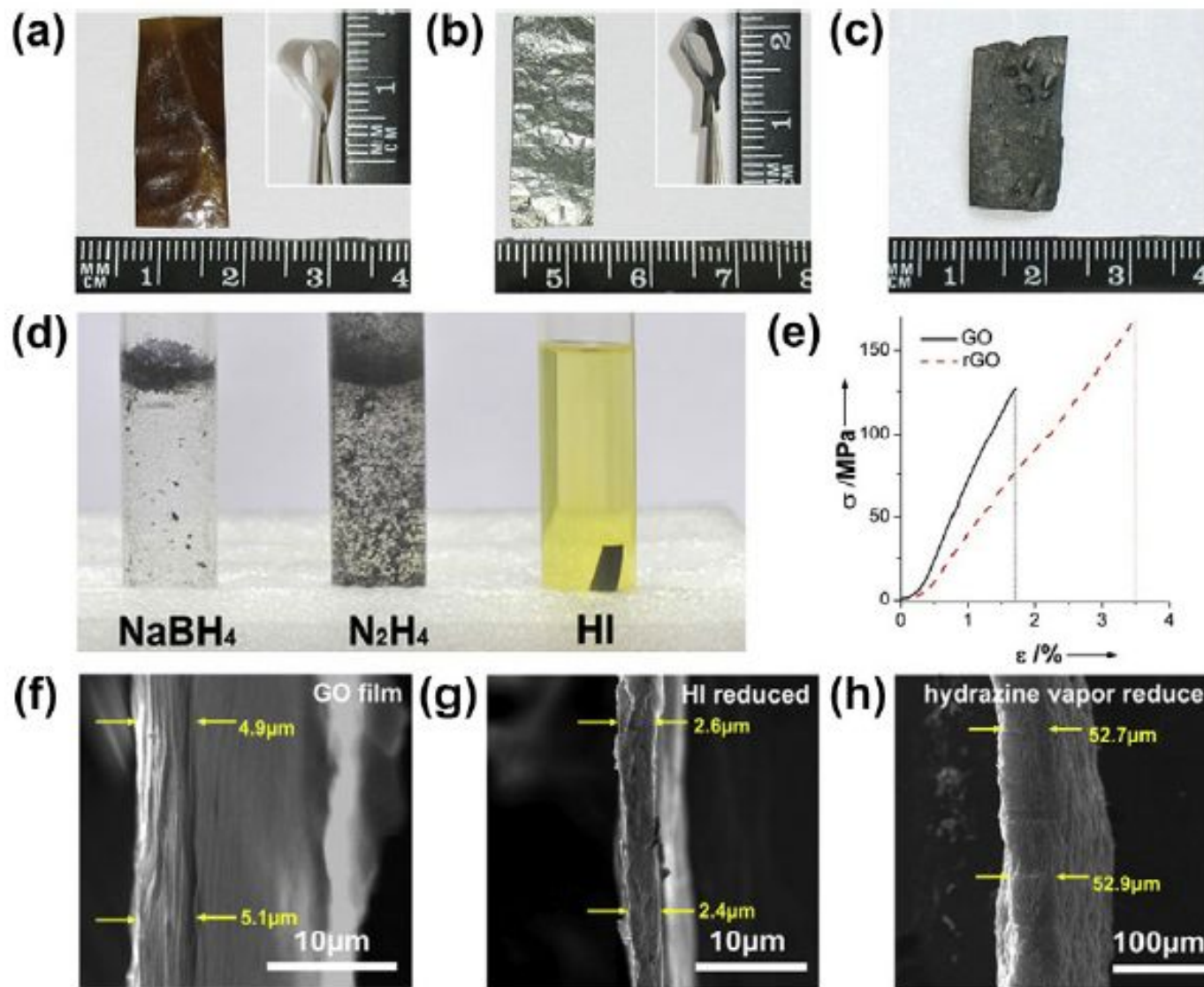


(4)

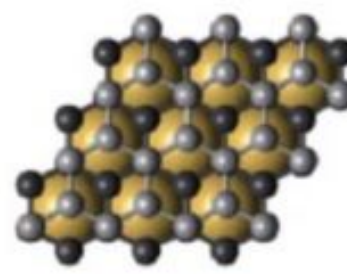
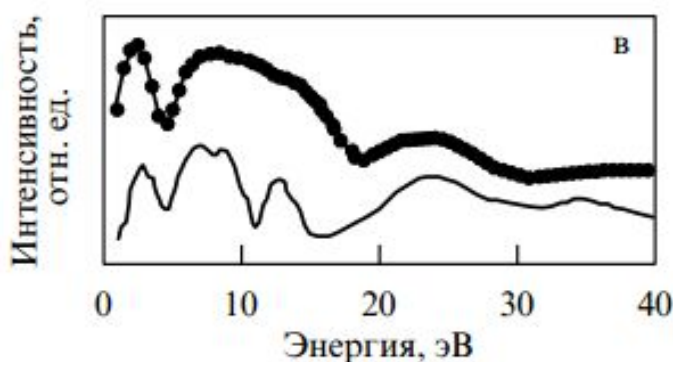
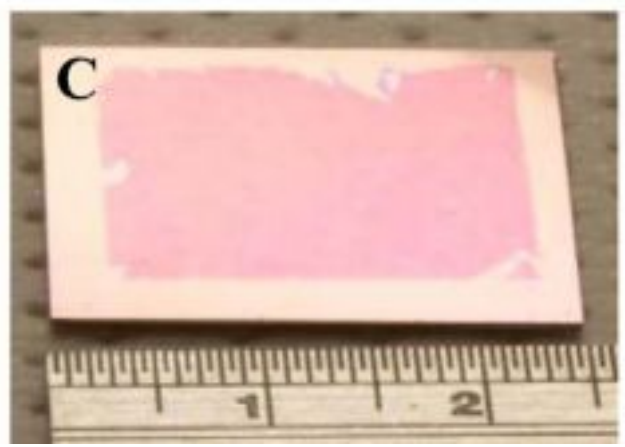
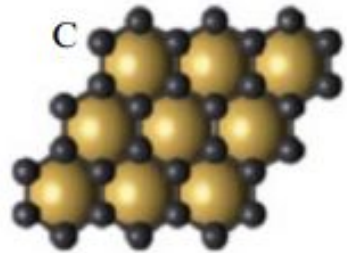
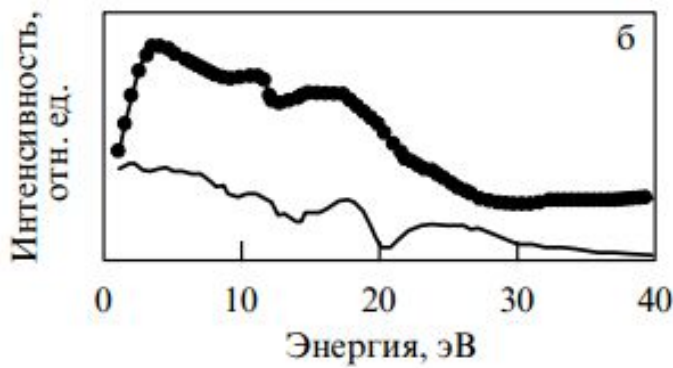
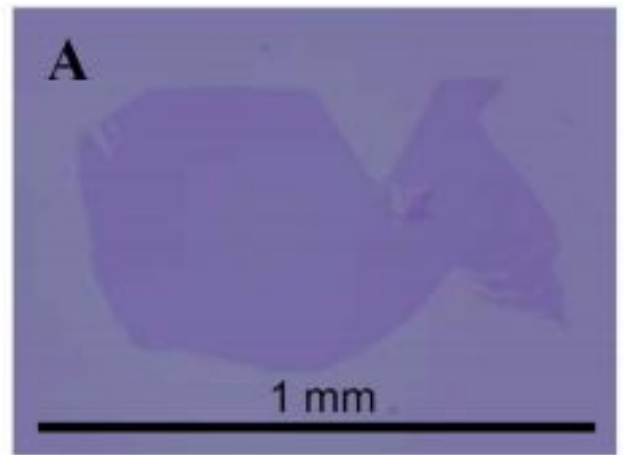
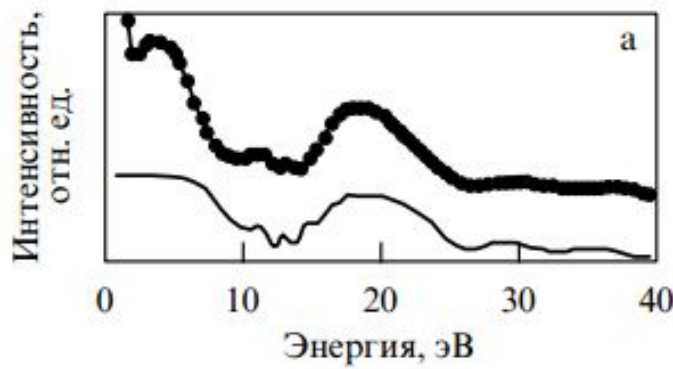
# Конденсаційні методи синтезу



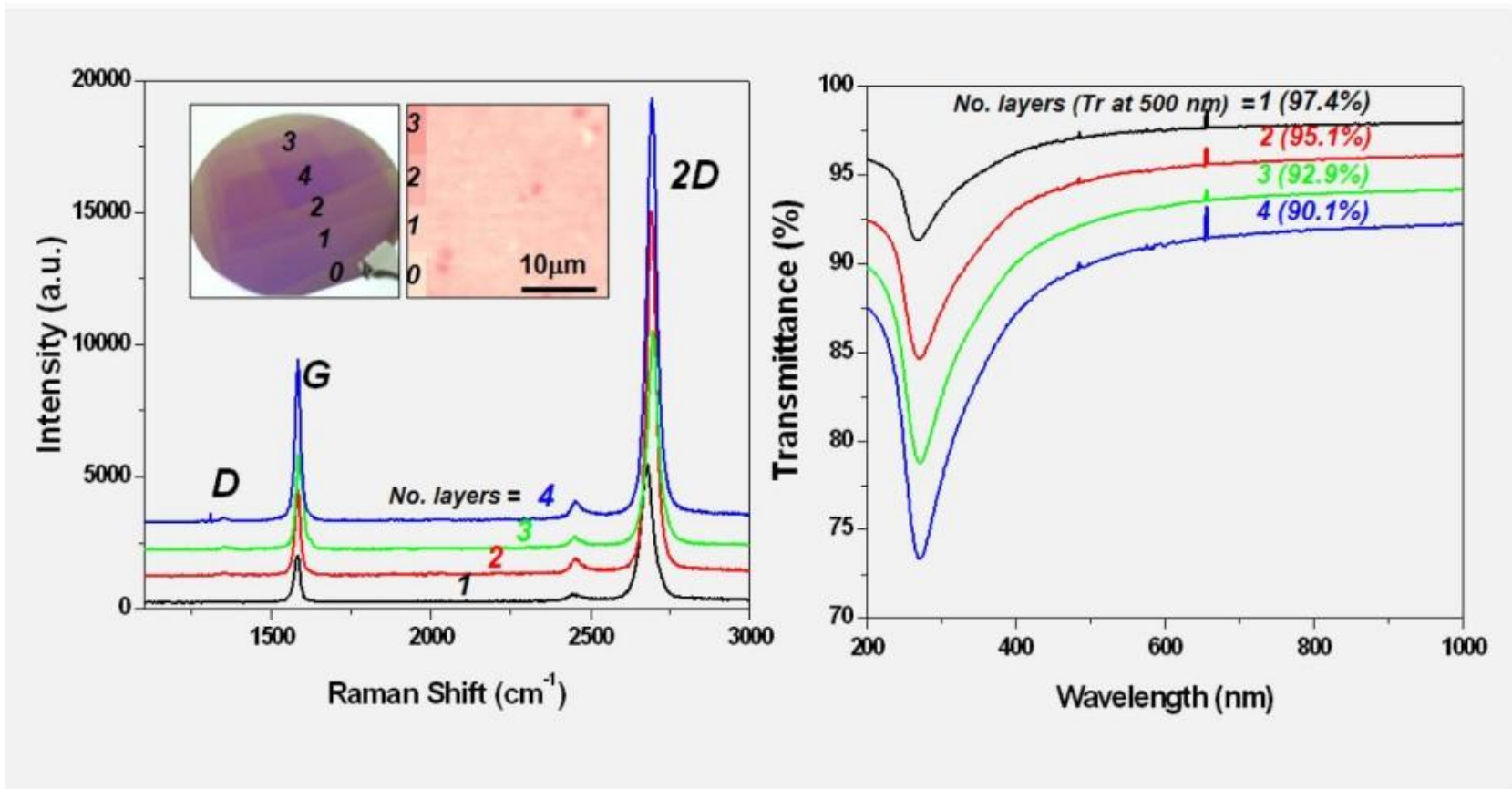
# Відновлений оксид графена



# Ключовой аспект CVD: правильная подкладка

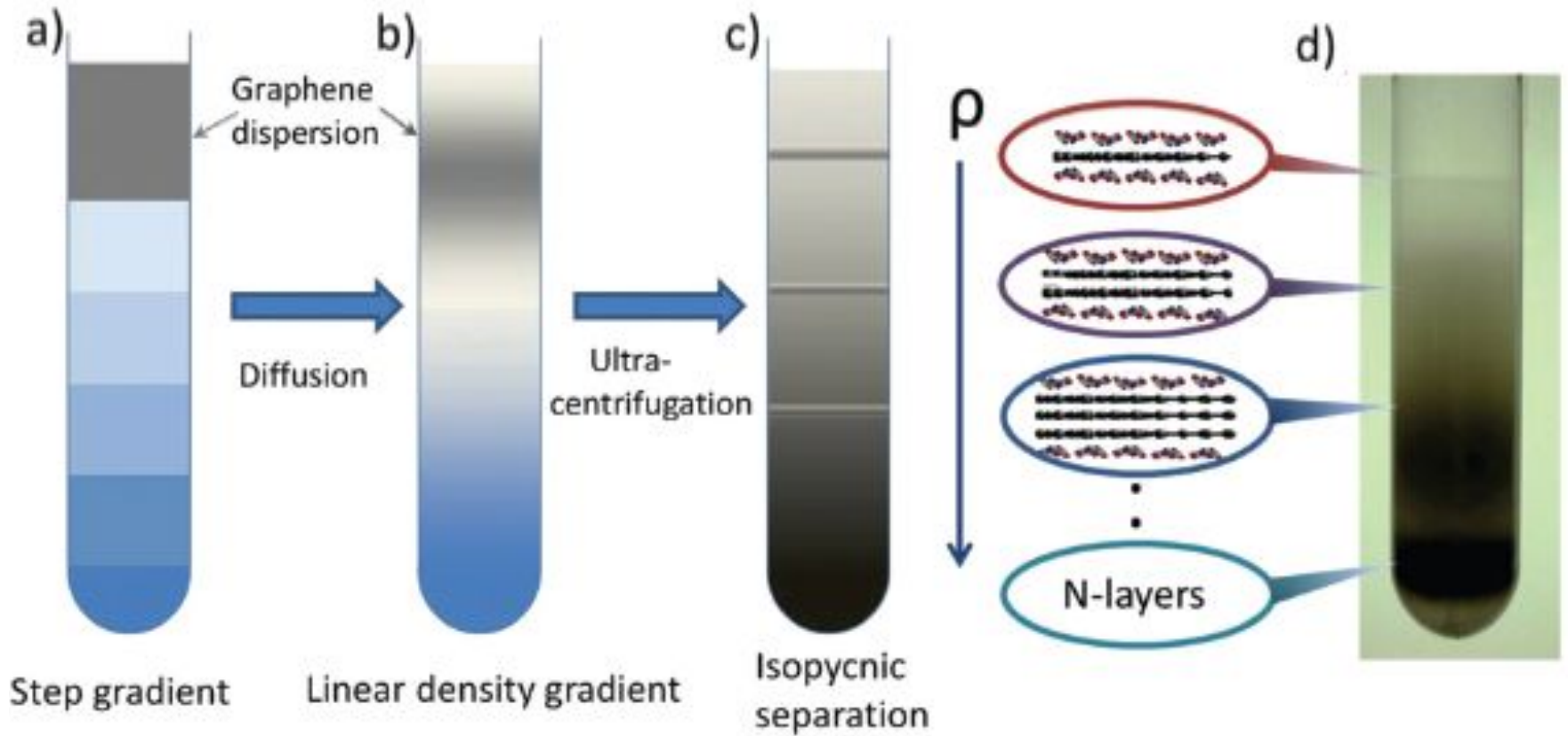


# Спектроскопія КР

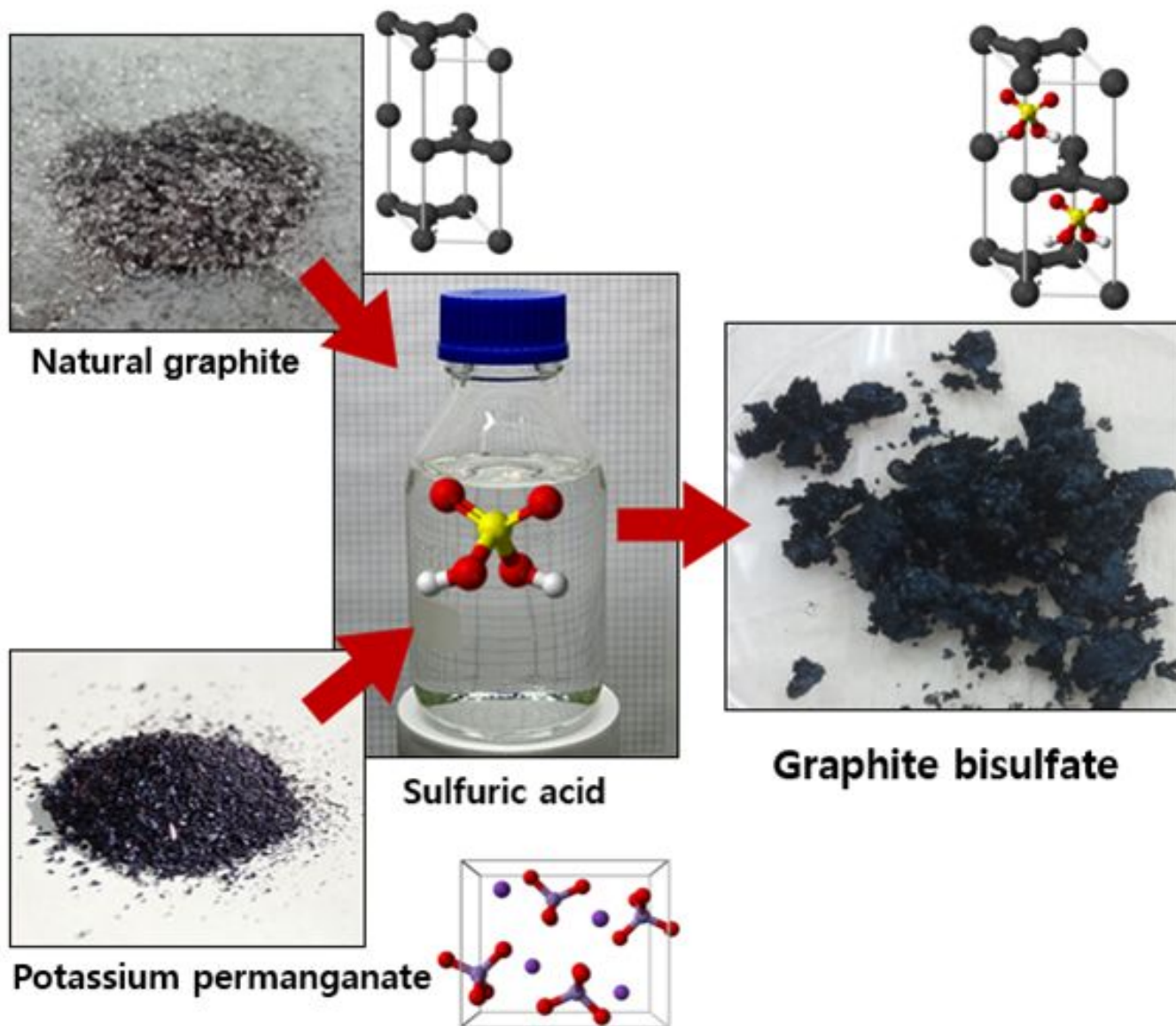


S. Bae et al. *Nature Nanotechnology*

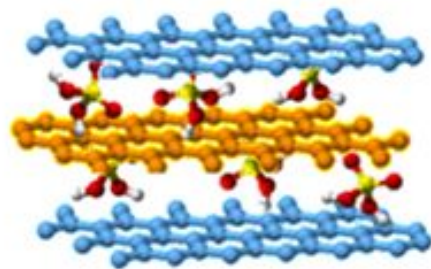
# Методи розділення



# Промисловий метод синтезу. Крок 1



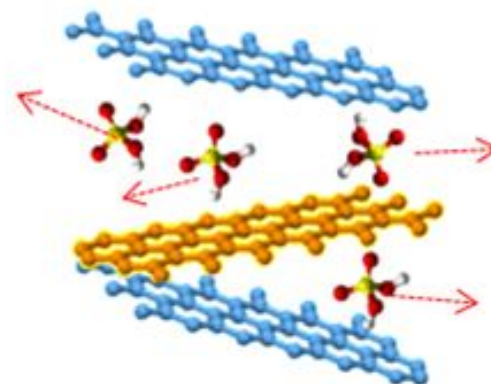
# Промисловий метод синтезу. Крок 2



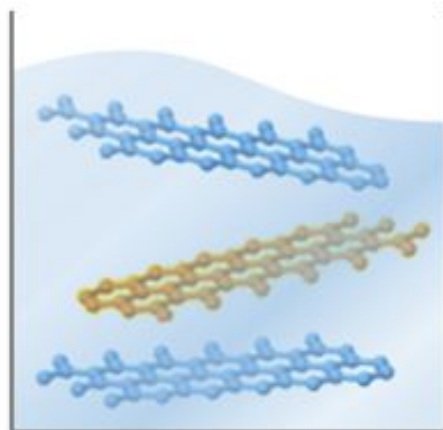
Stage-1 GIC



Microwave  
exfoliation



Exfoliated few-layer graphene



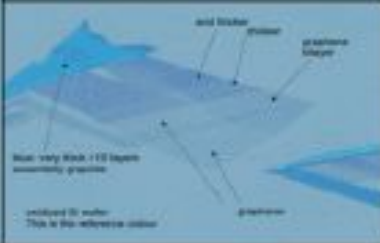

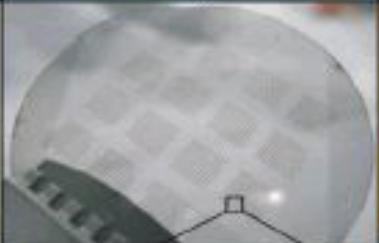

Graphene solution



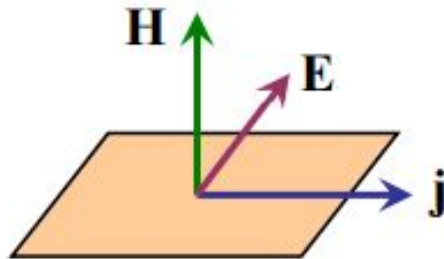
Dispersion



# Властивості графену визначаються методом його одержання

Method	Mechanical exfoliation	Chemical reduction from graphene oxide	Epitaxial growth on SiC	CVD based graphene growth on Ni, Cu, Fe, Co
Size	10~100 $\mu\text{m}$	> 6 inch	< 4 inch	> 6 inch
Mobility	best	bad	high	high
Transfer	yes	yes	no	yes
Applications	no	yes	little	most
Scalable	no	yes	not yet	yes
	 <p>acid sticker prism or solvent layer graphene oxidized Si wafer This is the reference color</p>			

# Квантовый эффект Холла

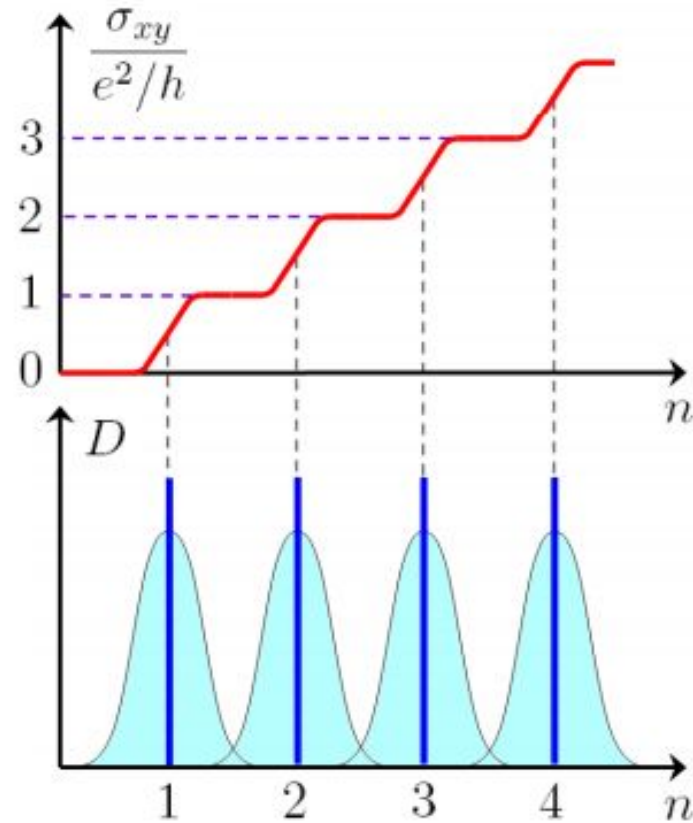


Холловская  
удельная проводимость:

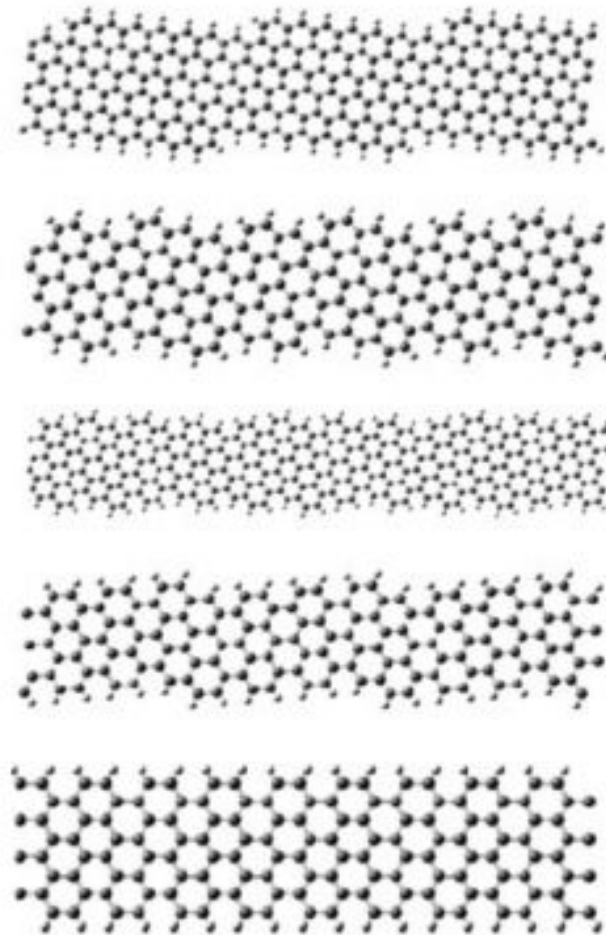
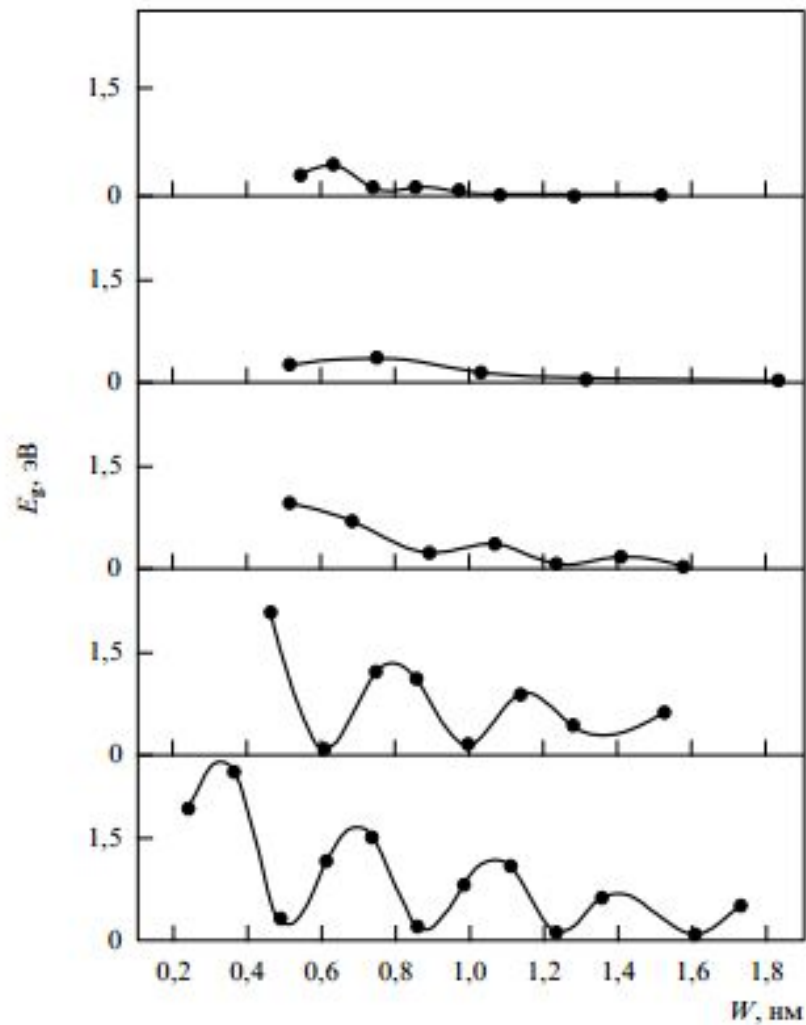
$$\sigma_{xy} = \frac{j_x}{E_y} = \frac{e^2}{h} \times n$$

Уровни Ландау:  $E_n = n\omega_c$   
 $n = 1, 2, \dots$   $\omega_c = eH / mc$

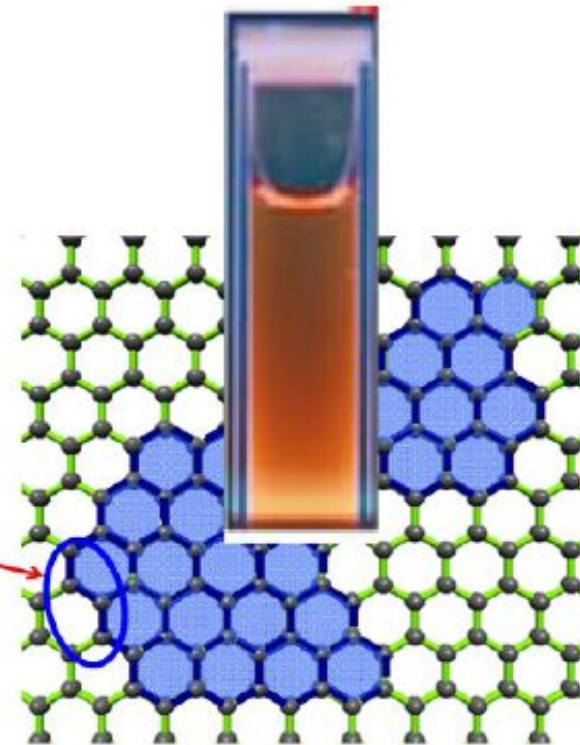
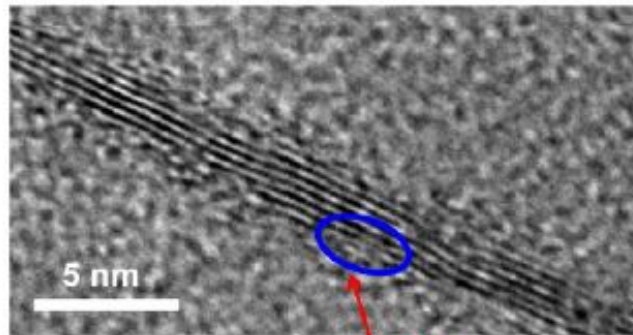
Макроскопическое вырождение:  $N = \frac{\Phi}{eh/c}$



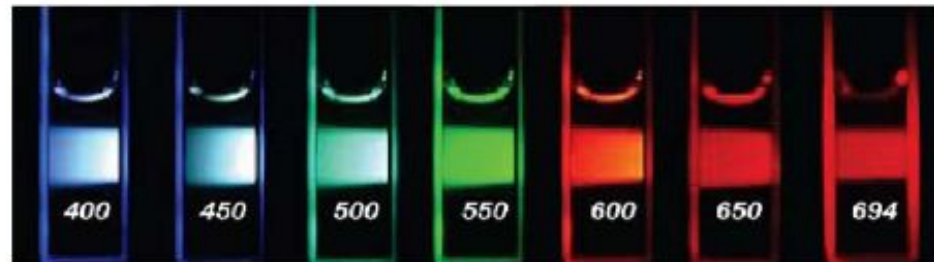
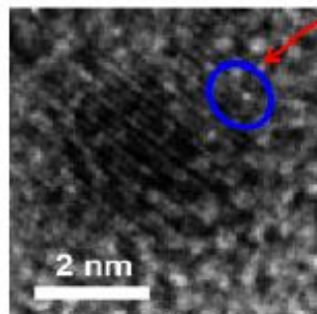
# Зміна ширини забороненої зони



# Фотолюмінесценція суспензій з графеном



**Defects**






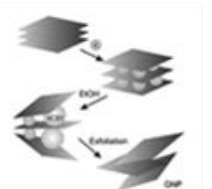
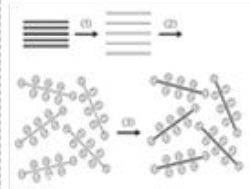
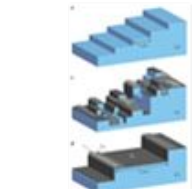
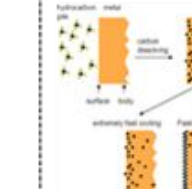
PHYSICS  
NOBEL  
PRIZE  
2010



**of the University of Manchester, United Kingdom**

# Короткі нотатки

- **Графенами** називають двовимірні системи, побудовані з моноатомних шарів атомів Карбону із гексагональною структурою у кількості від 1 до 10!!!
- Серед методів синтезу найчастіше використовують розшарування графіту та метод відновлення оксиду графену.
- Відновлений оксид графену і графен мають різні властивості!
- Особливості провідності та зміна ширини забороненої зони визначаються особливістю будови графену і присутності дефектів.

	Top-down (Graphene nanoplate)			Bottom-up (Large Graphene Sheet)	
	Mechanical exfoliation	Liquid phase and exfoliation		Epitaxial growth	CVD
Source	Graphite			SiC	CH <sub>4</sub> gas
Method	Scotch tape, AFM tip, etc.	Exfoliation of GIC	Reduction of graphite oxide	Annealing of SiC wafer	Dissolving CH <sub>4</sub> gas to nickel/fast cooling
	 <p>Prog. in mater. sci 56 (2011) 1178</p>	 <p>J. Mater. Chem. 15 (2005) 974</p>	 <p>Nat. nanotech. 3 (2008) 101</p>	 <p>Nat. Mater. 8 (2009) 171</p>	 <p>Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 113103</p>
Size	10 ~ 100μm	nm ~ μm	nm ~ μm	Wafer size	~ 30 inch
Good	Low cost High quality	Low cost High productivity Low-defect	Low cost High productivity Easy dispersion	High transparency High conductivity Flexibility	
Applica-tion	Scientific research	Printed electrodes Flexible energy element		Flexible display TFT element	

## Рекомендована література:

1. Yanfeng Ma, Yongsheng Chen // Three-dimensional graphene networks: synthesis, properties and applications - *Natl Sci Rev*- 2015- 2 (1):40-53.
2. Andrea C. Ferrari, Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems *Nanoscale*, 2015, 7, 4598–4810
3. A L Ivanovskii, "Graphene-based and graphene-like materials", *RUSS CHEM REV*, 2012, 81 (7), 571–605
4. Елецкий А.В. и др. Графен: методы получения и теплофизические свойства УФН. Обзоры актуальных проблем 2011. Т.181, №3 с.233-268.
5. Сорокин П Б, Чернозатонский Л А "Полупроводниковые наноструктуры на основе графена" *УФН* 183 113–132 (2013)



# Спосіб одержання графену.... В домашніх умовах

*Nature Materials* **13**, 624–630 (2014) doi:10.1038/nmat3944

