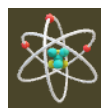
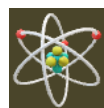
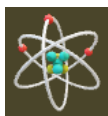




VẬT LIỆU BÁN DẪN THỂ HỆ MỚI: CƠ HỘI VÀ THÁCH THỨC



Báo cáo viên:

PGS. TS. Nguyễn Văn Chương

Email: chuong.vnguyen@lqdtu.edu.vn

Tel: 0981.586.598



Bộ môn Vật liệu và CNVL

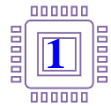
Khoa Cơ khí

Học viện Kỹ thuật quân sự

236 Hoàng Quốc Việt, BTL, Hà Nội

Hà Nội 4/2024

Outline



Sơ lược sự phát triển của công nghệ bán dẫn



Định luật Moore – Động lực phát triển của công nghệ bán dẫn



Graphene – Vật liệu cho tương lai



Cơ hội và thách thức trong phát triển vật liệu



Kiến nghị, đề xuất

A Brief History of Semiconductor Industry

1

- Công nghệ bán dẫn - lĩnh vực nghiên cứu, phát triển và sản xuất các **thành phần điện tử dựa trên vật liệu bán dẫn.**

2

- Các thành phần điện tử này bao gồm **transistor, diode, vi mạch, và nhiều loại linh kiện khác**

3

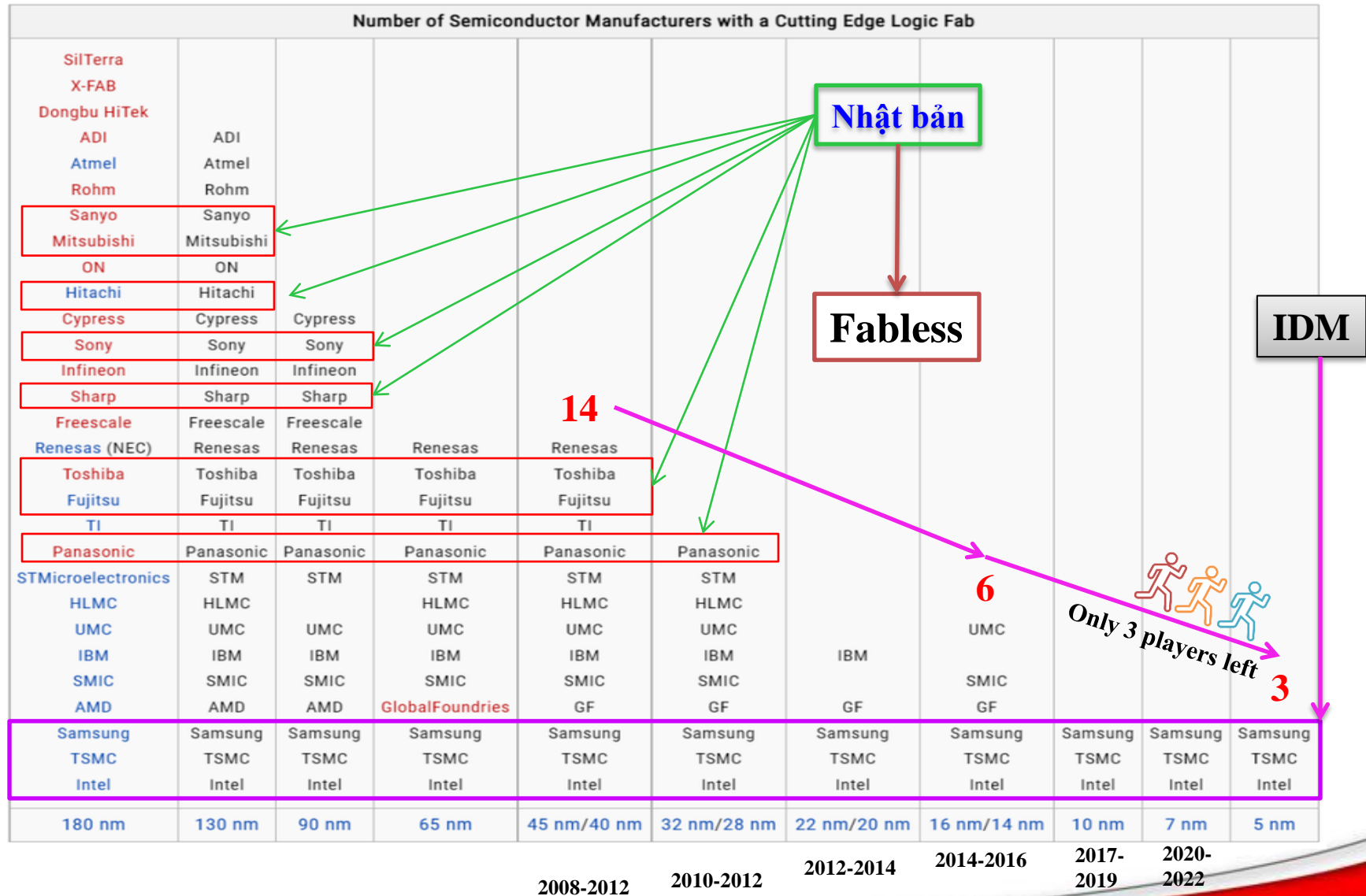
- Đóng **vai trò thiết yếu** trong sự phát triển của khoa học kỹ thuật và kinh tế toàn cầu,....

A Brief History of Semiconductor Industry



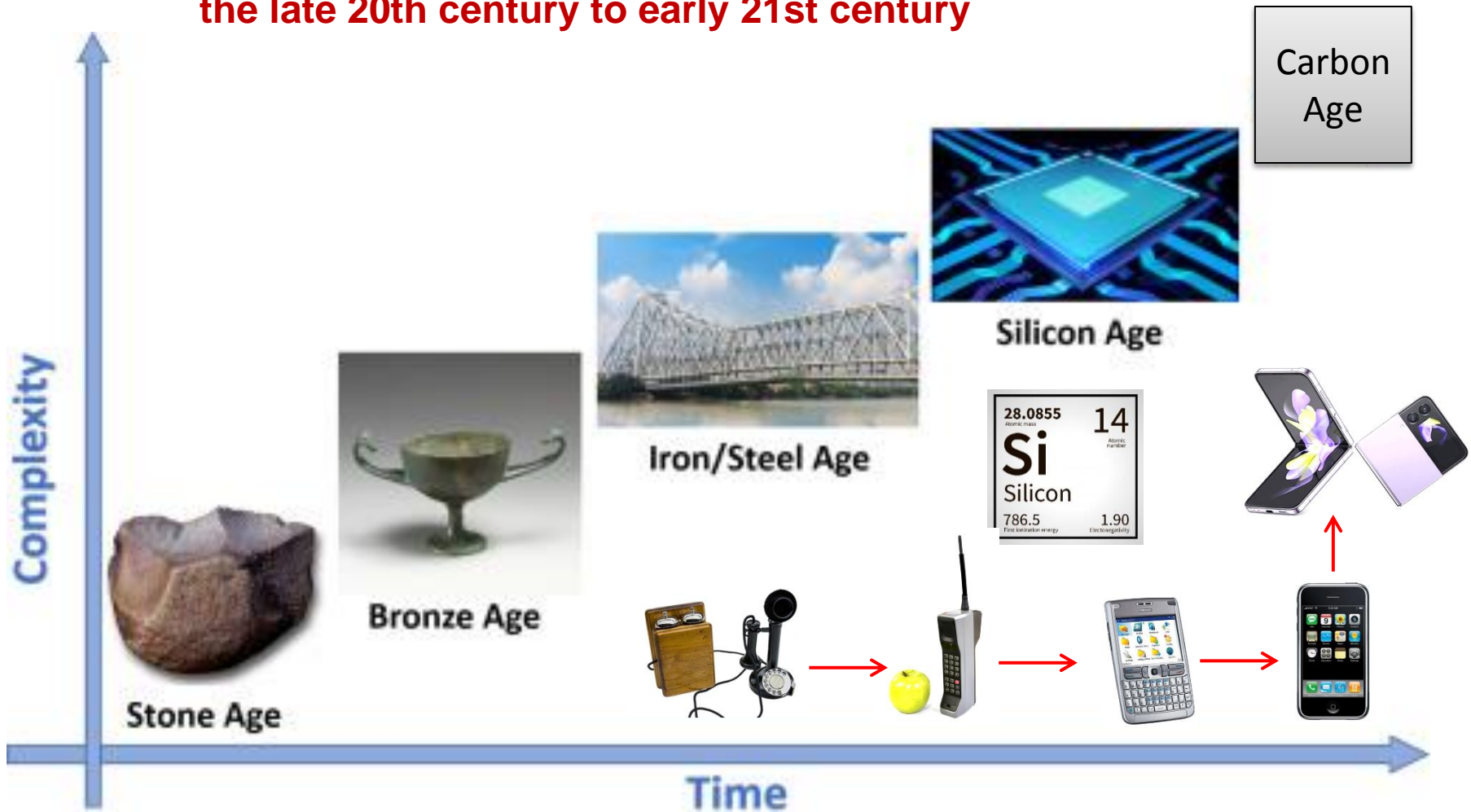
Chip là sản phẩm cuối cùng của công nghiệp bán dẫn. Để phát triển lâu dài thì phải đầu tư nghiên cứu cho các công nghệ **chế tạo vật liệu, thiết kế và sản xuất**.

A Brief History of Semiconductor Industry

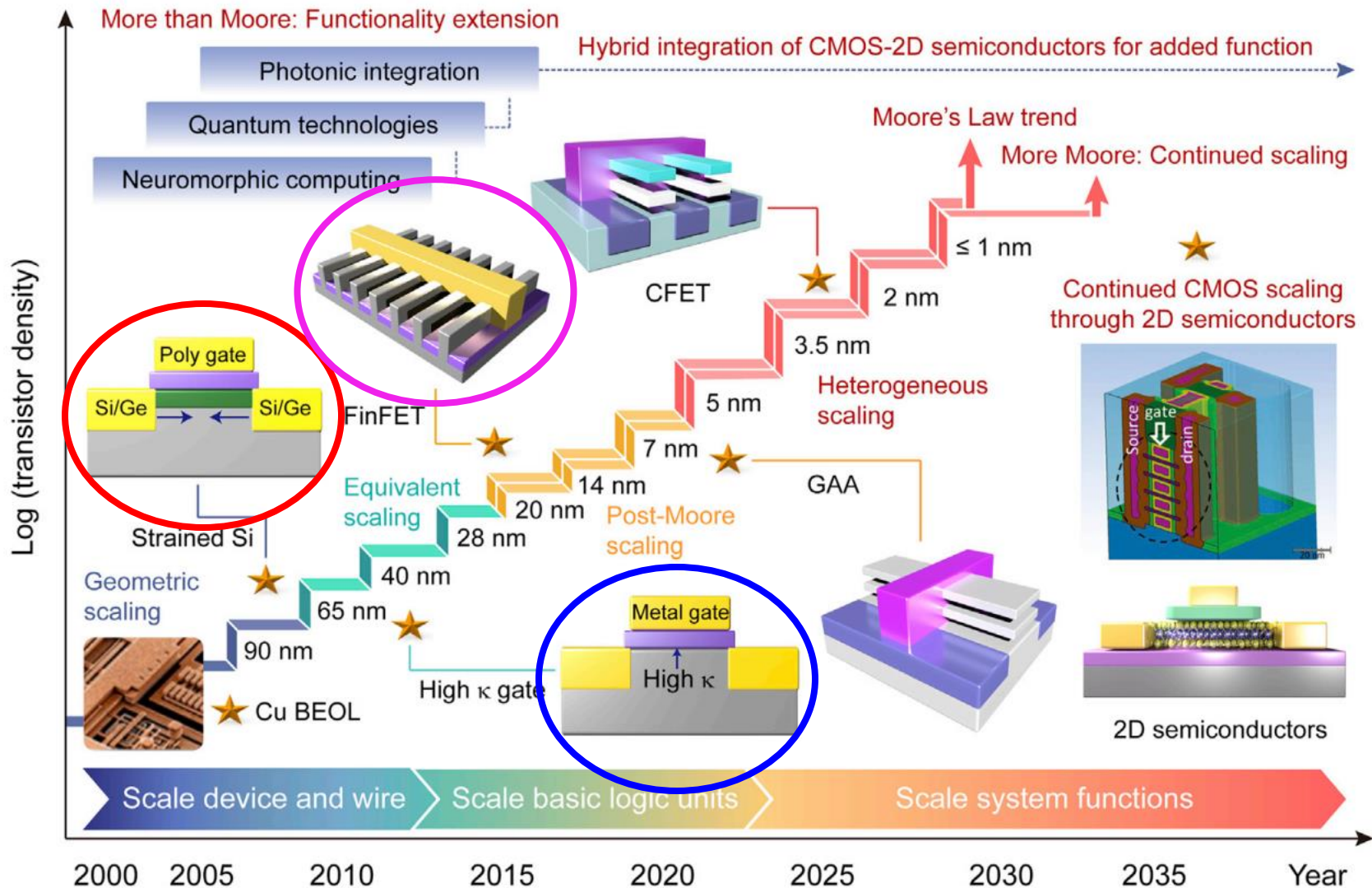


A Brief History of Semiconductor Industry

the late 20th century to early 21st century



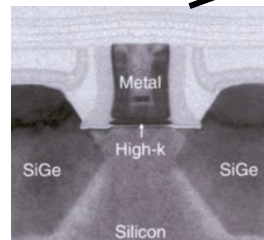
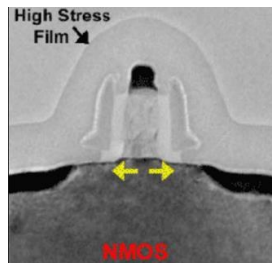
A Brief History of Semiconductor Industry



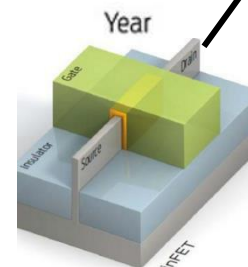
A Brief History of Semiconductor Industry



Strained Si (2003)

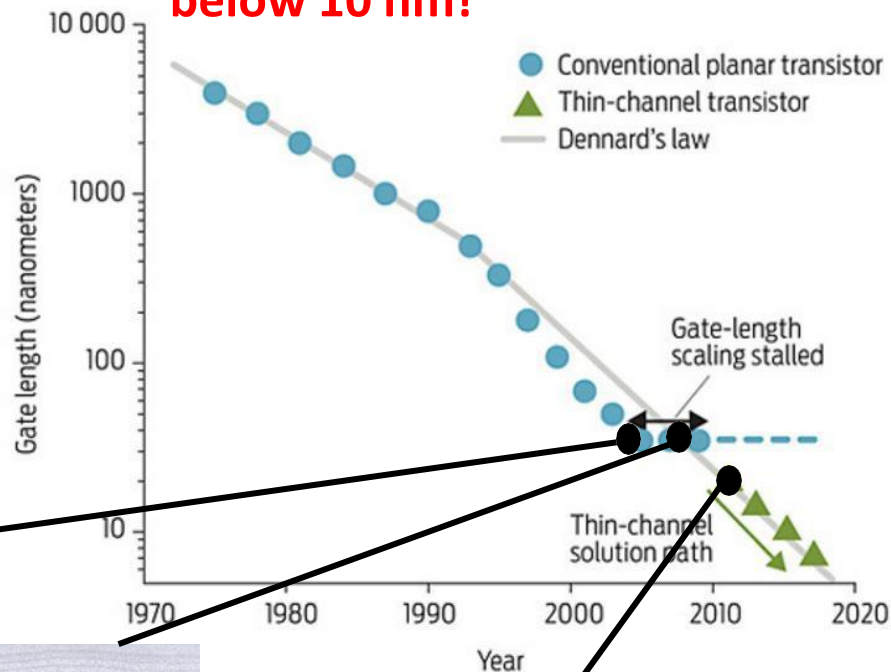


High-k Metal Gate (2008)



FinFET (2011)

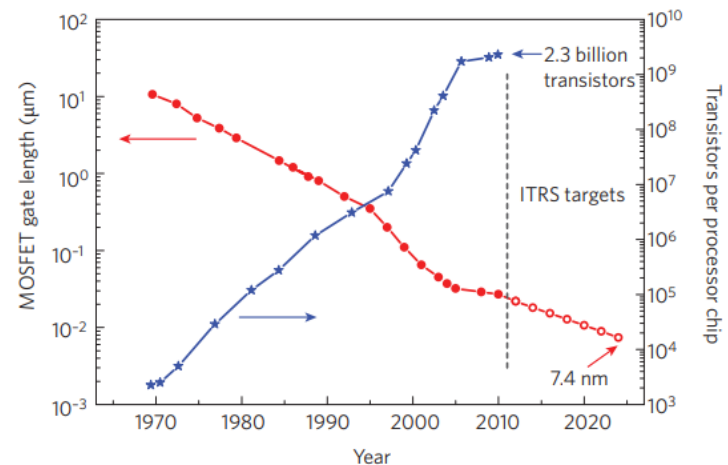
Need innovation for each generation below 10 nm!



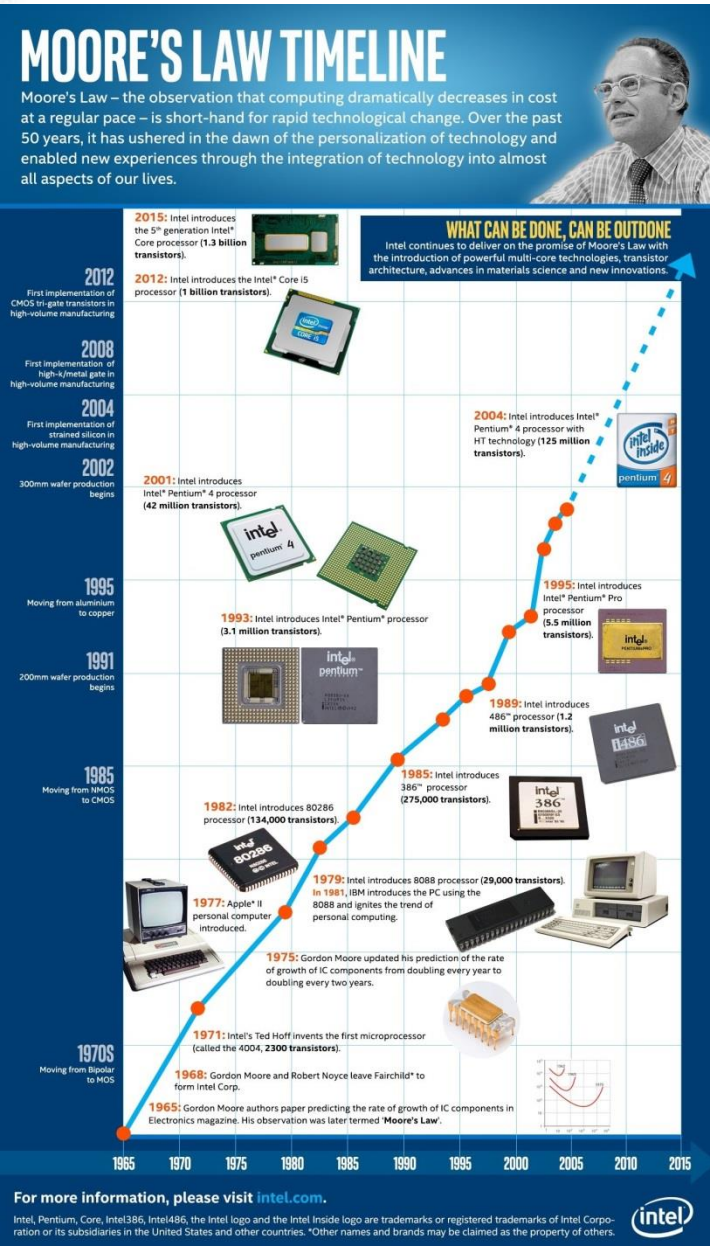
Moore's Law

(Gordon Moore, 1975): The **number of transistors** on a microchip roughly **doubles every two years**, whereas **its cost** is halved over that same timeframe.

- **2012:** Core i5 (1,3 tỷ transistors)
- **2004:** Pentium 4 (125 triệu transistors)



- **1979:** Intel 8088 (29.000 transistors)
- **1971:** Intel 4004 (2300 transistors)



Moore's Law Trend

More Moore

- Tiếp tục làm **giảm kích thước bóng bán dẫn**, giảm ảnh hưởng của hiệu ứng kênh ngắn bằng cách tìm kiếm **vật liệu mới có khả năng thay thế Si**.

More than Moore

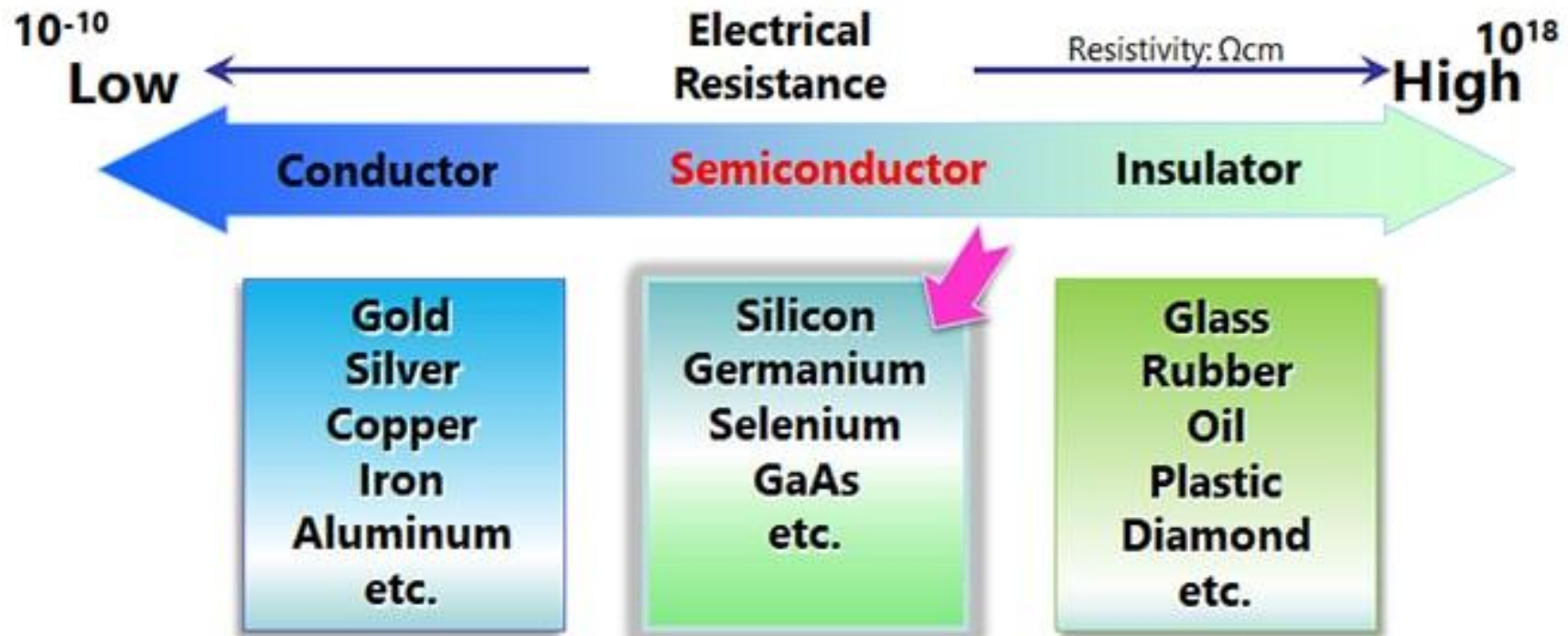
- Nâng cao hiệu suất hoạt động của linh kiện bằng **tối ưu thiết kế, thuật toán và phương pháp bao gói và đa dạng hóa chức năng** của của vật liệu bán dẫn.

Beyond Moore

- Khám phá các **linh kiện tiên tiến** (thiết bị lượng tử) có khả năng thay thế các linh kiện truyền thống.

Sự tiến bộ trong lĩnh vực bán dẫn được quyết định bởi các công nghệ sản xuất bán dẫn, nhưng tương lai sẽ là
“kỹ nguyên vật liệu”

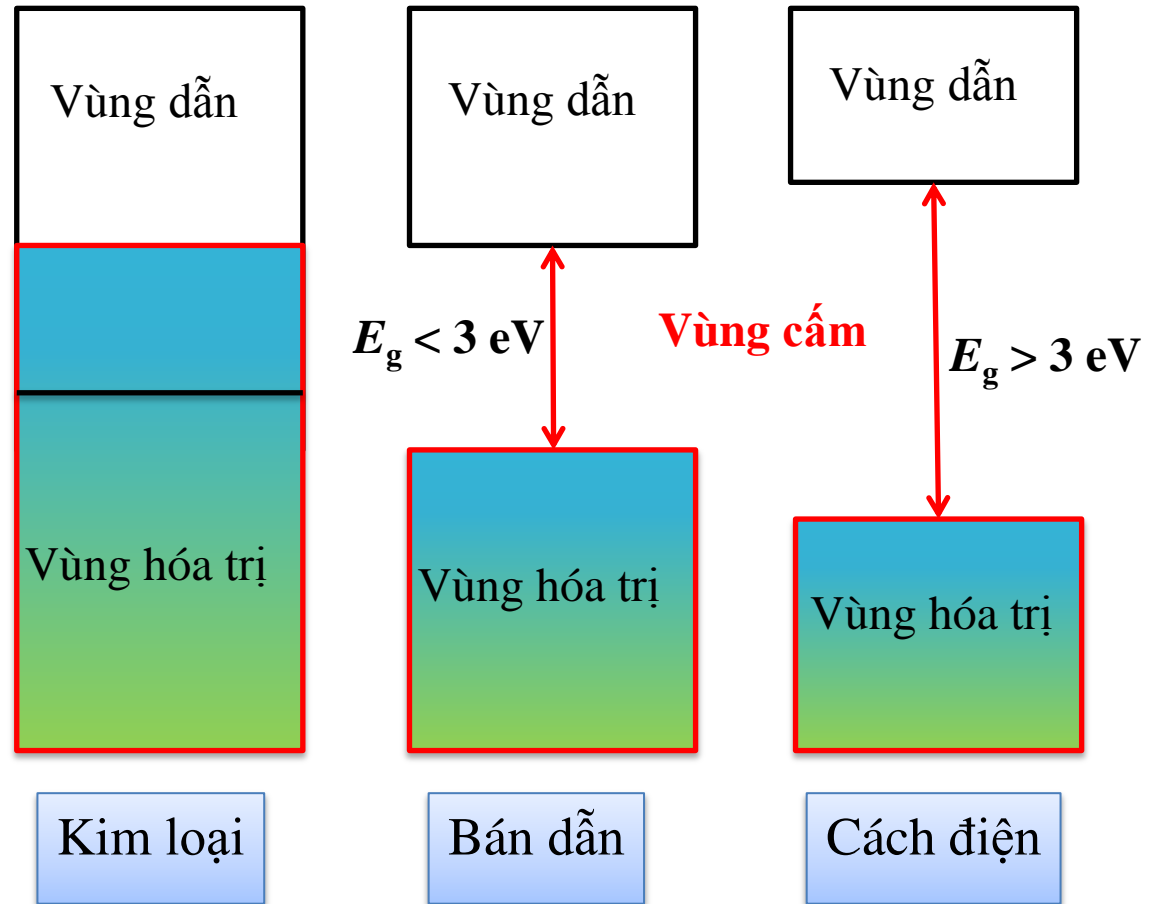
Semiconductor Materials



- Là **vật liệu trung gian** giữa chất dẫn điện và chất cách điện.
- Dẫn điện ở một điều kiện nào đó, còn ở điều kiện khác sẽ không dẫn điện.

Semiconductor Materials

- **Kim loại:** Không có vùng cấm, $E_g = 0 \text{ eV}$
- **Bán dẫn:** Có vùng cấm, $E_g < 3 \text{ eV}$
- **Cách điện:** Có vùng cấm lớn, $E_g > 3 \text{ eV}$



GRAPHENE

- **2004**, Andre Konstantin Geim cùng Konstantin Novoselov tại Đại học Manchester (Anh Quốc)

The Nobel Prize in Physics 2010



Photo: U. Montan
Andre Geim
Prize share: 1/2

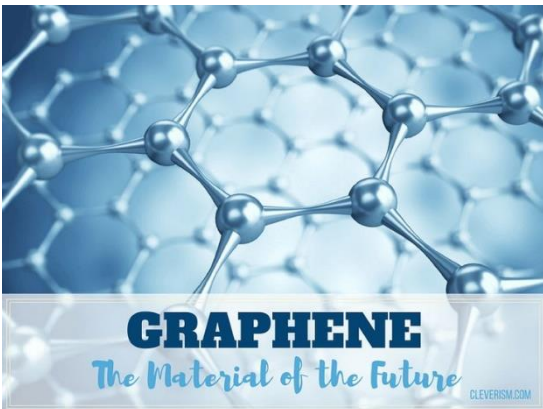
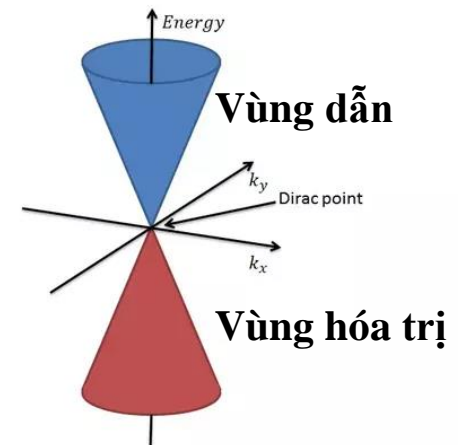


Photo: U. Montan
Konstantin Novoselov
Prize share: 1/2

Phương pháp bóc tách graphite thành một lớp đơn nguyên tử.

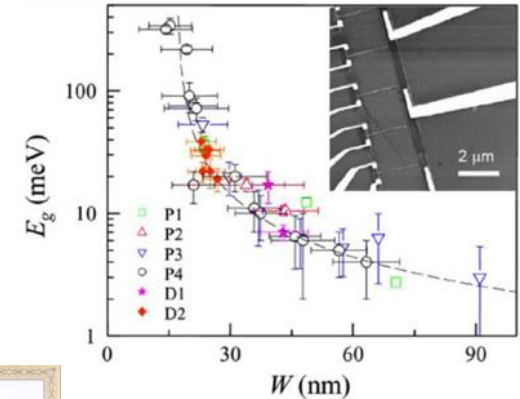
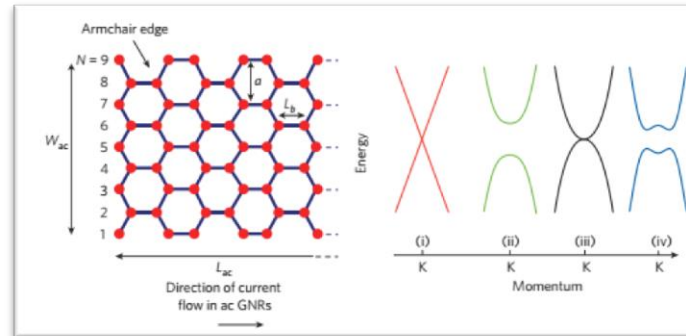
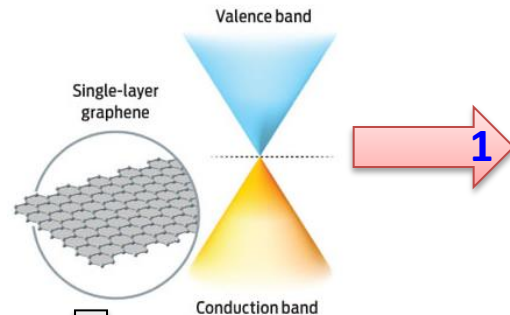
“Tách lớp graphene từ than chì để mở ra hướng nghiên cứu mang tính đột phá về ứng dụng của Graphene vào điện tử”

- Graphene - vật liệu bán dẫn có cấu trúc điện tử đặc biệt với “**vùng cấm**” bằng 0;
- Không có khả năng đóng/mở dòng như bán dẫn khác.
- Khó ứng dụng trong chế tạo linh kiện.

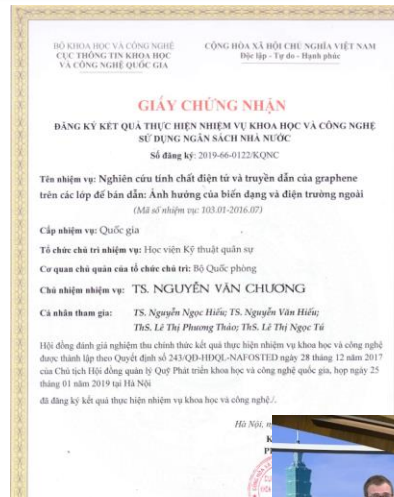
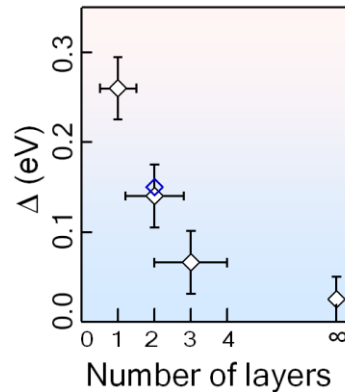
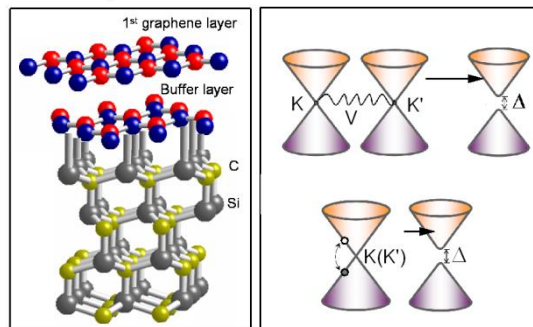


Creating a Bandgap in Graphene

Graphene Nanoribbon



2 Place Graphene on Semiconducting Substrates



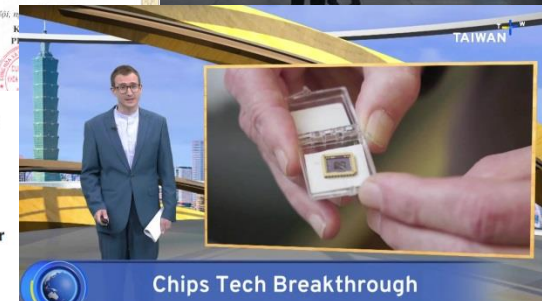
IEEE Spectrum Researchers Claim First Functioning Graphene-Based Chip

Researchers Claim First Functioning Graphene-Based Chip > The semiconductor beats silicon alternatives for electron mobility

BY DEXTER JOHNSON | 10 JAN 2024 | 4 MIN READ |

Tailoring graphene for electronics beyond silicon

The integration of non-silicon semiconductors into systems on chips is needed for advanced power and sensing technologies. A semiconducting graphene 'buffer' layer grown on silicon carbide is a step on this path.



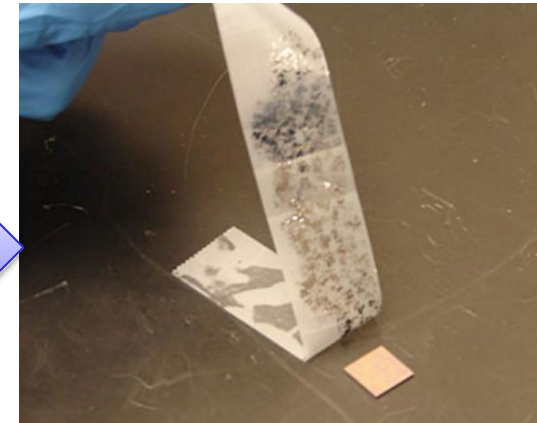
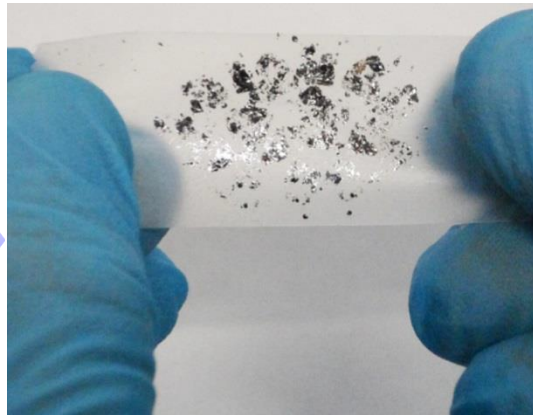
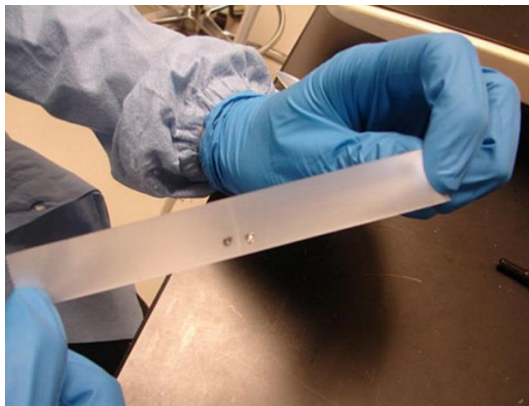
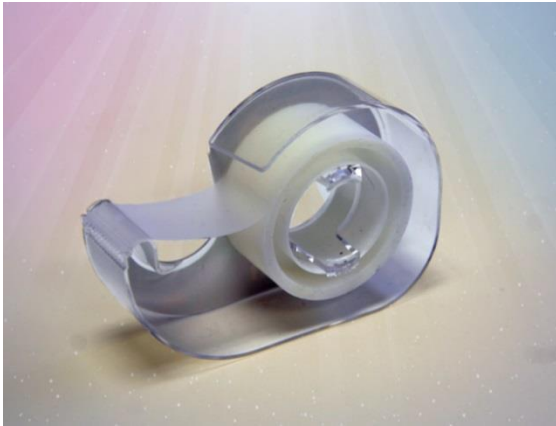
Chips Tech Breakthrough

[Nature](#) 625 60–65 (2024)

How to Make Graphene

Try This at Home ...

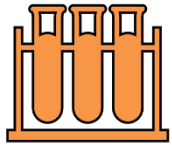
You may win one of these ten years ago....



Also works for other 2D Materials!

How to Make Graphene?

Việc phát triển một siêu vật liệu không hề đơn giản. Có nhiều rào cản cần phải vượt qua.



Chế tạo

Quá trình chế tạo graphene có thể mất nhiều thời gian. Một trong những thách thức lớn nhất của ngành công nghiệp graphene là đạt được sản lượng lớn.



Hình thái cấu trúc

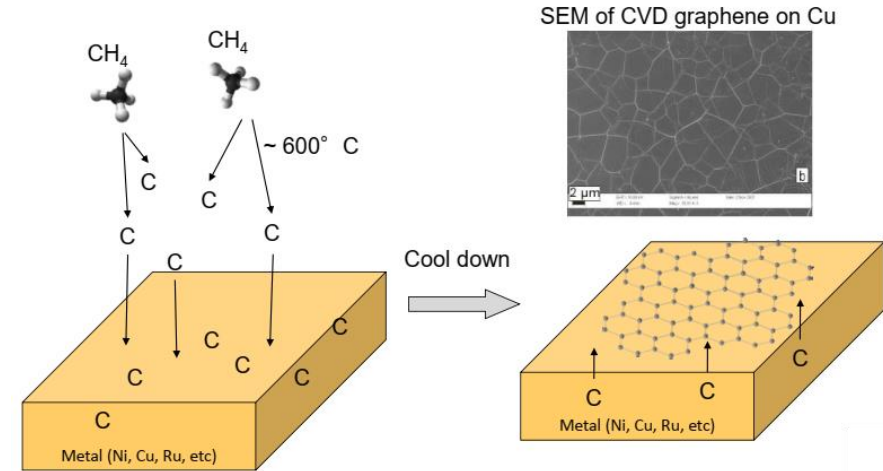
Nhiều ứng dụng công nghệ cao yêu cầu graphene tinh khiết không tạp chất, điều này là một thách thức trong quá trình tổng hợp graphene.



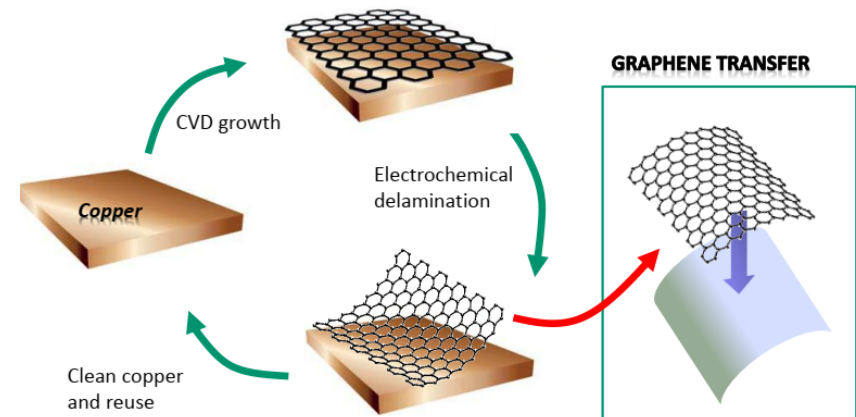
Chi phí

Tùy thuộc vào điều kiện sử dụng để chế tạo graphene với chất lượng khác nhau.

Large-Area Graphene Growth by CVD



Low-Cost Graphene Production



GRAPHENE – TÍNH CHẤT

ĐỘ BỀN
CỨNG HƠN
200 LẦN SO VỚI THÉP

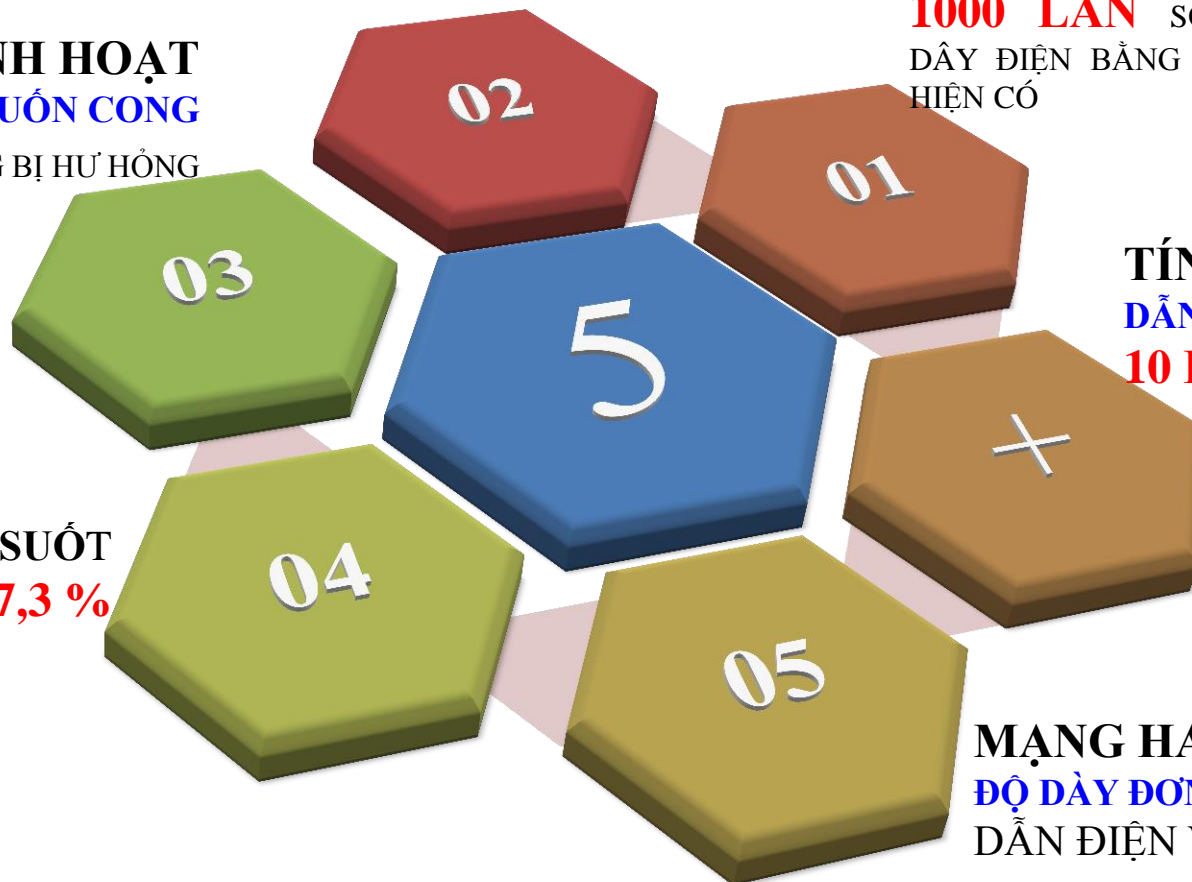
TÍNH DẪN
DẪN ĐIỆN TỐT HƠN
1000 LẦN SO VỚI
DÂY ĐIỆN BẰNG ĐỒNG
HIỆN CÓ

LINH HOẠT
CÓ THỂ UỐN CÔNG
20% MÀ KHÔNG BỊ HƯ HỎNG

TÍNH DẪN
DẪN NHIỆT TỐT HƠN
10 LẦN SO VỚI ĐỒNG

ĐỘ TRONG SUỐT
LÊN TỚI **97,3 %**

MẠNG HAI CHIỀU
ĐỘ DÀY ĐƠN LỚP
DẪN ĐIỆN VÀ NHIỆT

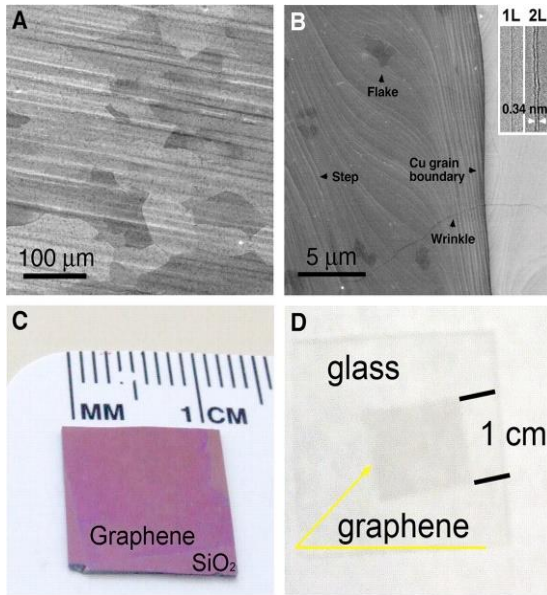


Graphene vs. Bulk Semiconductors

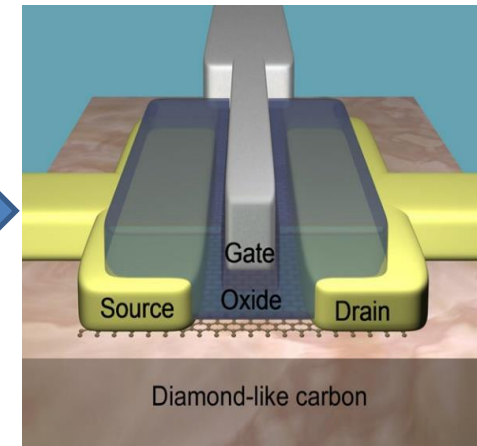
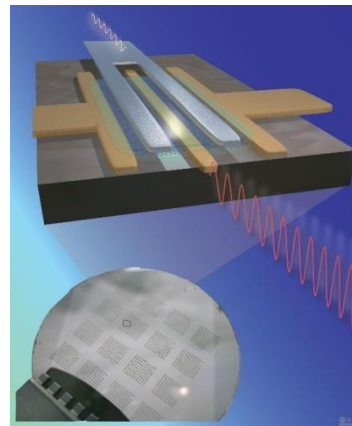
	Si	GaAs	In _{0.53} Ga _{0.47} As	InAs	InSb	Graphene
Electron mobility (cm ² /Vs) at n = 10 ¹² cm ⁻²	600	4,600	7,800	20,000	30,000	25,000 (flake) ~3000 (Epitaxy) ~2000 (CVD)
Electron saturation velocity (10 ⁷ cm/s)	1	1.2	0.8	3.5	5	8
Ballistic mean free path (nm)	28	80	106	194	226	400
Band-gap (eV)	1.12	1.42	0.72	0.36	0.18	0

- 2009, các nhà nghiên cứu tại trường Đại học Texas, Austin đã tổng hợp được tấm **màng graphene đồng nhất, chất lượng cao kích thước 1 cm²** bằng cách phát triển chúng trên các lá đồng mỏng.

GRAPHENE



- Đầu năm 2009, **IBM** công bố đã có thể điều chỉnh độ rộng vùng cấm của **graphene** 2 lớp đến 130 meV.
- Tháng 10, 2009, **IBM** tạo ra được **Transistors Graphene** có thể hoạt động ở tần số **26 GHz**.



Tháng 2, 2010 – 100 GHz

Tháng 4, 2011 – 155 GHz,
40 nm.

GRAPHENE – ỨNG DỤNG

TƯƠNG LAI

GRAPHENE CÓ THỂ TẠO RA NHỮNG TÁC ĐỘNG KINH NGẠC ĐẾN NHIỀU LĨNH VỰC TRONG TƯƠNG LAI:

01 VI TÍNH

02 NĂNG LƯỢNG

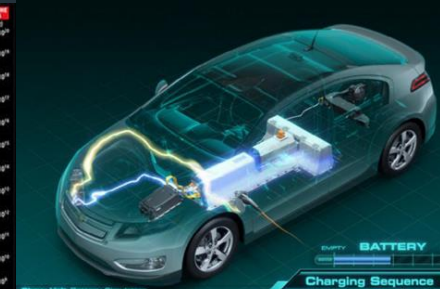
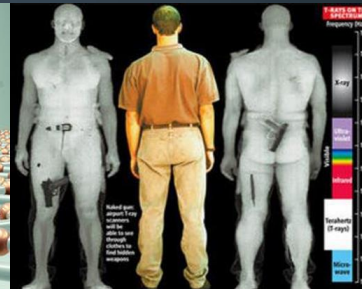
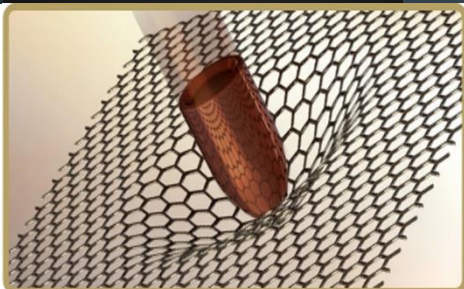
03 VẬT LIỆU

GIÚP MỌI THỨ NHỎ HƠN,
BỀN HƠN VÀ TẠO RA MỘT
HỆ SINH THÁI BỀN VỮNG.

GRAPHENE:

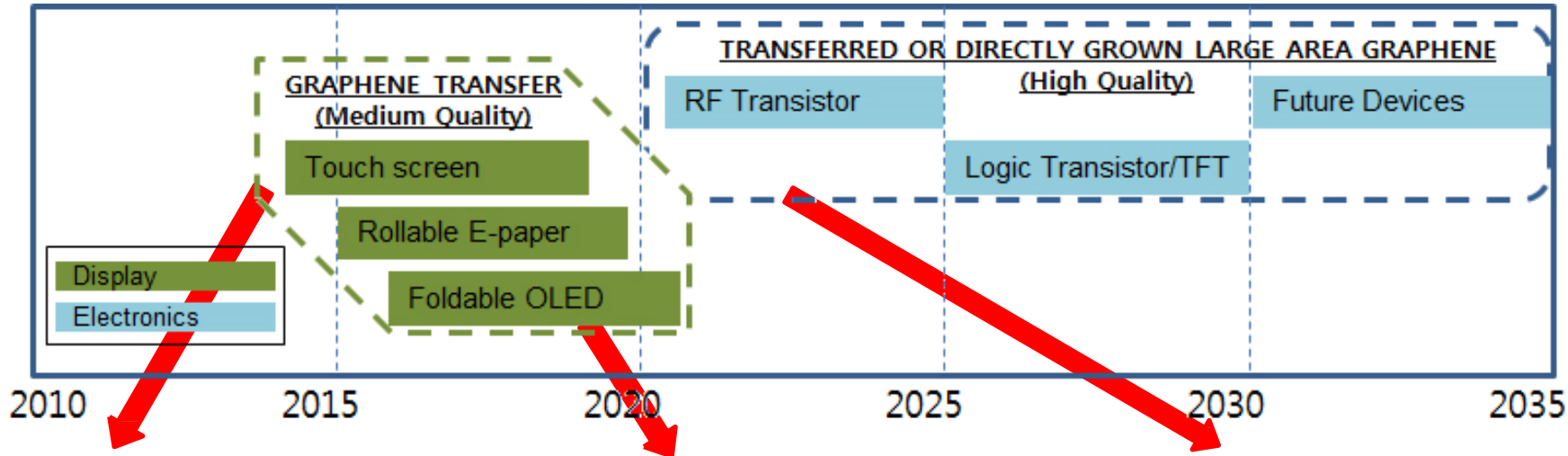
- DẪO DAI
- SIÊU BỀN
- SIÊU DẪN
- TRONG SUỐT
- CẤU TRÚC 2D

NHỮNG GIỚI HẠN VỀ
MẶT KỸ THUẬT SẼ
KHÔNG CÒN.



Graphene Technology Roadmap

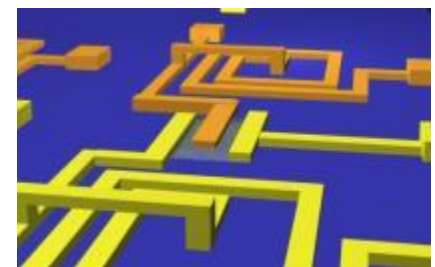
K.S.Novoselov, et.al; A roadmap for graphene; Nature, Vol 490,(2012),192



Flexible and Rigid
Graphene touch panel

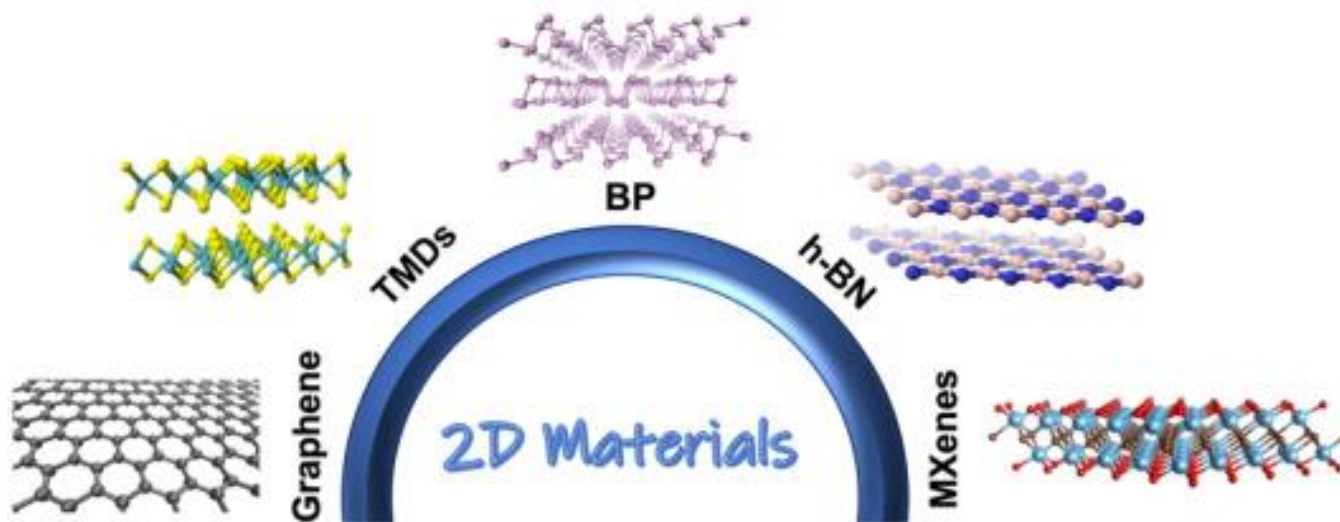


Rollable Display

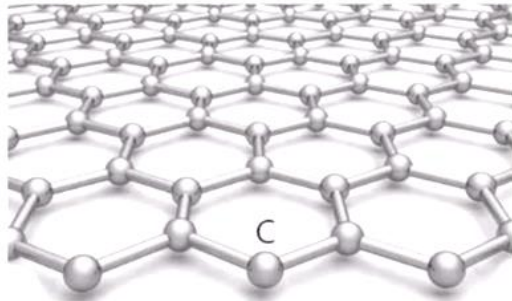


Graphene FET and
Circuits

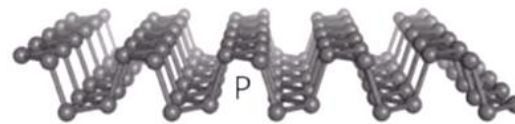
Các vật liệu mới, cấu trúc mới tương tự graphene, có khả năng thay thế Si trong tương lai



2D vdW-Layered Materials Zoo



Graphene



Black phosphorus

2D periodic table

Monatomic 2D materials

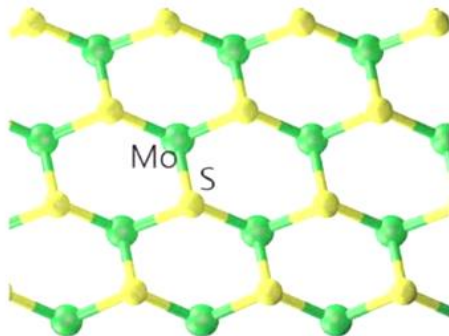
Monatomic 2D materials

1	2																	18																	
1A	2A																	8A																	
1	H	2	He																	2	He														
3	Li	4	Be																	10	Ne														
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																				
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba	57-71	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	
87	Fr	88	Ra	89-103	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og	

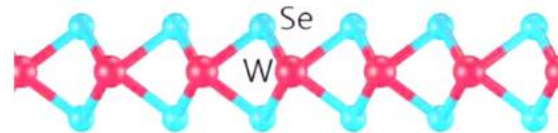
Transition metals

Chalcogenides

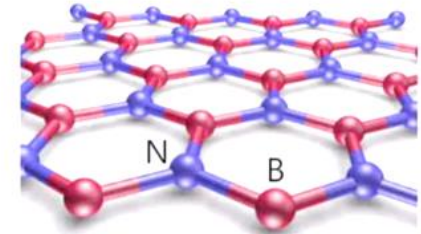
Transition metals dichalcogenides (TMDs)



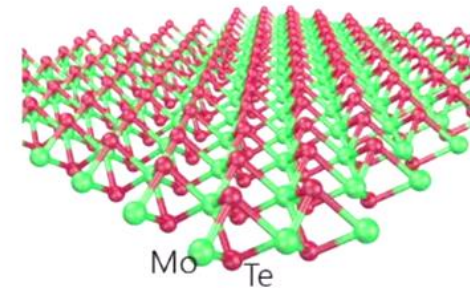
MoS₂



WSe₂

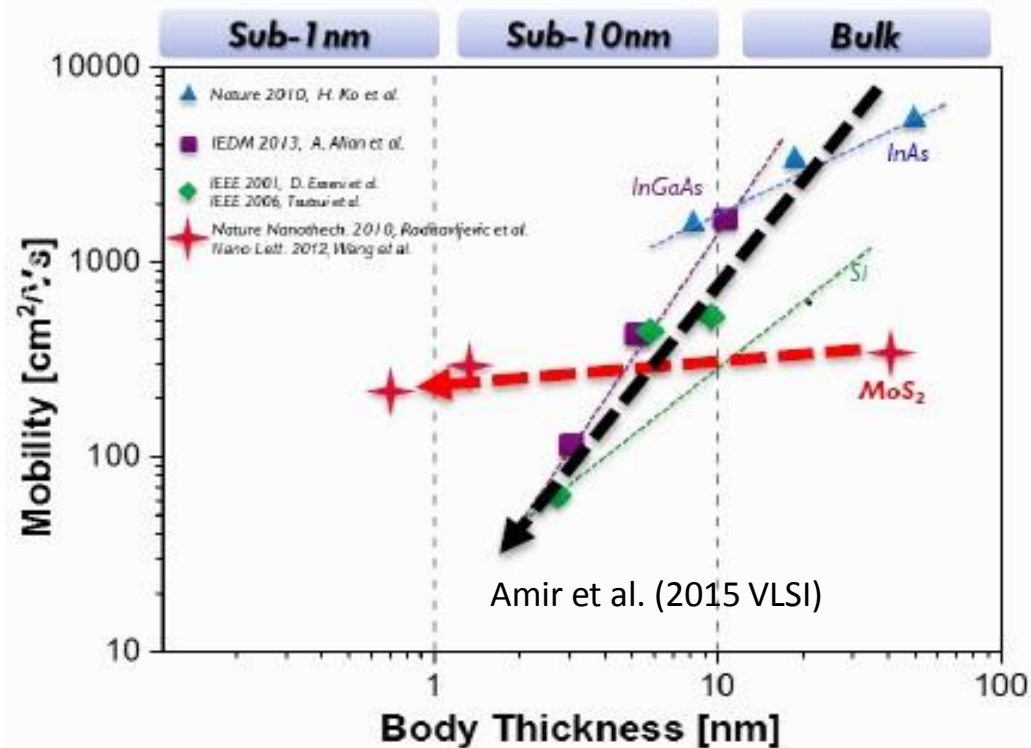


Hexagonal boron nitride (hBN)

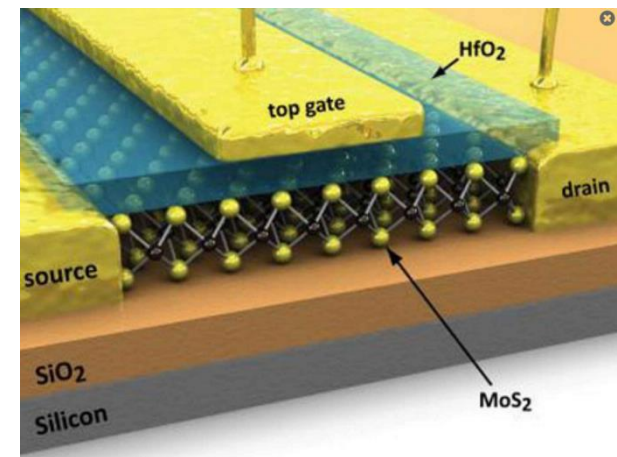


MoTe₂

Kênh dẫn MoS₂



2D Channel FET



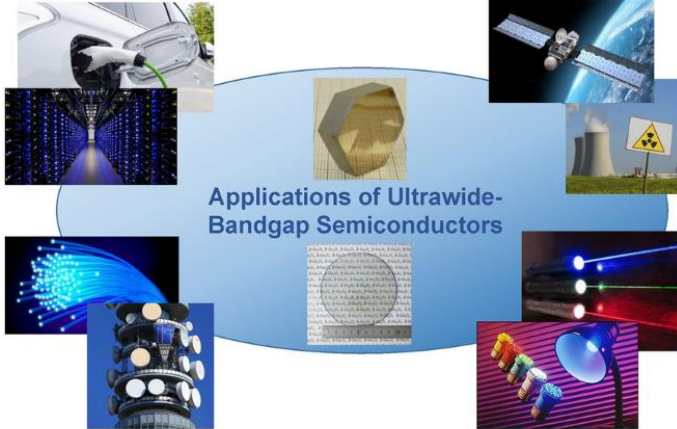
2D materials could exhibit high mobility values for sub-nm thickness!

Vật liệu bán dẫn vùng cấm rộng

Power electronics

Extreme-environment devices

Applications of Ultrawide-Bandgap Semiconductors



Communications

UV-visible optoelectronics

1 1A																	18 VIII A	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

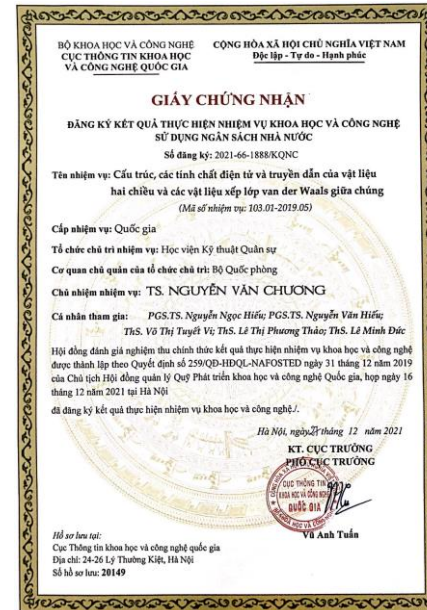
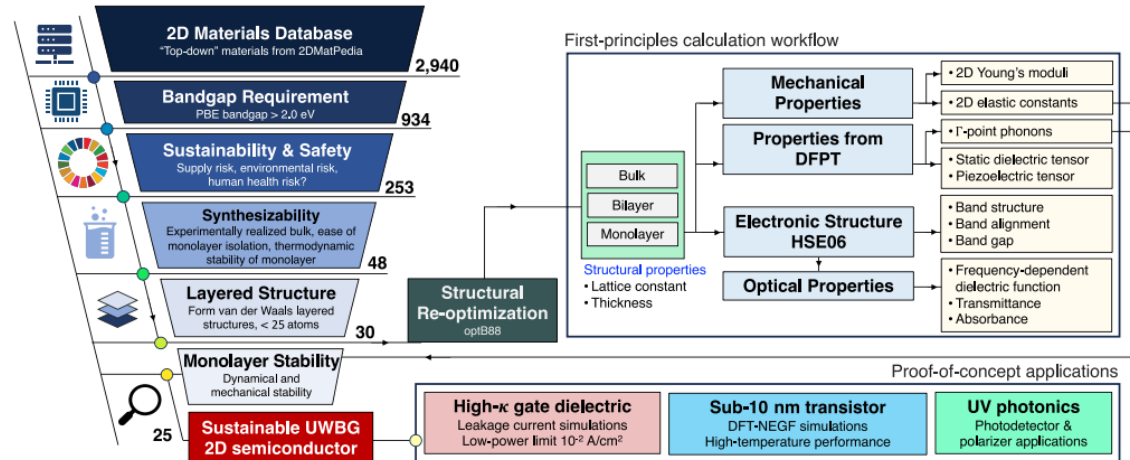
Supply risk

Environmental risk

Human health risk

Radioactive and/or synthetic

■ Supply risk
■ Environmental risk
■ Human health risk
■ Radioactive and/or synthetic



Công nghệ vật liệu

❖ MỸ

- ✓ Công nghệ vật liệu được coi là **một trong bốn trụ cột của Chiến lược quốc gia về sản xuất tiên tiến** từ năm 2012 (còn lại là Nền tảng công nghệ sản xuất, Quy trình sản xuất tiên tiến và Cơ sở dữ liệu, hạ tầng, thiết kế).
- ✓ Giao các **chương trình phát triển vật liệu mới** cho từng ngành cụ thể: Phát triển vật liệu cho vỏ tàu vũ trụ, hệ thống tên lửa đẩy (NASA); Vật liệu nhẹ (Bộ quốc phòng);...

❖ NHẬT BẢN

- ✓ Từ 2001, Chính phủ Nhật Bản đã định vị **công nghệ vật liệu, vật liệu mới là lĩnh vực quan trọng** trong “Kế hoạch cơ bản Khoa học và Công nghệ lần 2”.
- ✓ Đưa ra 4 yêu cầu để phát triển:
 - Phát triển các lĩnh vực công nghệ ưu tiên, **lấy công nghệ vật liệu** để thúc đẩy sáng tạo đổi mới.
 - Xây dựng một nền tảng sáng tạo vật liệu hấp dẫn.
 - Cải thiện năng suất thông qua hoạt động R&D.
 - Thúc đẩy các biện pháp đồng bộ để phát triển công nghệ vật liệu.

Công nghệ vật liệu

❖ HÀN QUỐC

- ✓ **Ban hành Đạo luật** về các biện pháp đặc biệt để **tăng cường khả năng cạnh tranh của ngành công nghiệp vật liệu**, linh kiện và thiết bị (4/2020) gồm:
 - Lập kế hoạch;
 - Cơ chế thực hiện;
 - Vấn đề thương mại hóa vật liệu, linh kiện và thiết bị;
 - Nguồn nhân lực.

❖ TRUNG QUỐC

- ✓ **Xác định Công nghệ vật liệu là 1 trong 10 lĩnh vực quan trọng** của Chiến lược “Made in China”.
- ✓ Phát triển công nghệ vật liệu với chủ thể là doanh nghiệp, hỗ trợ bởi các trường đại học, các tổ chức nghiên cứu.
- ✓ Xác định các hướng phát triển: Vật liệu cơ bản tiên tiến (Thép, hợp kim, cao su tổng hợp, ...); Vật liệu chiến lược quan trọng (Hợp kim đặc biệt, sợi carbon, ...); Vật liệu mới tiên phong (Vật liệu bán dẫn, vật liệu nano, vật liệu nhớ hình, vật liệu tự phục hồi, vật liệu siêu dẫn nhiệt, ...)

Công nghệ vật liệu

- ❖ **Kết quả nghiên cứu về vật liệu còn hạn chế**, còn nhiều công nghệ mới được triển khai sản xuất thử nghiệm ở quy mô nhỏ, **vật liệu mới tạo ra trong nước có chất lượng chưa ổn định**, sản xuất ở quy mô lớn còn khó khăn.
- ❖ **Đầu tư** cho hoạt động R&D còn hạn chế, đặc biệt đối với các vật liệu mang tính cốt lõi (*Năm 2017, Vương quốc Anh đã đầu tư 500 triệu bảng để nghiên cứu về 11 chủng loại vật liệu, Năm 2013, Châu Âu đầu tư 1 tỷ Euro thông qua “Graphene Flagship” để đưa các nghiên cứu về Graphene từ phòng thí nghiệm ra thực tiễn*).
- ❖ Đội ngũ **nhân lực KH&CN** ngành vật liệu tuy gia tăng về số lượng và trình độ đào tạo nhưng chưa thực sự đáp ứng được nhu cầu phát triển.

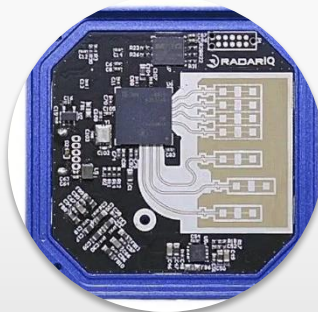


Bộ môn Vật liệu và Công nghệ vật liệu

Khoa Cơ khí



Nghiên cứu, làm chủ công nghệ chế tạo **vật liệu có tính năng đặc biệt, hợp kim đặc chủng** ứng dụng trong quân sự.



Nghiên cứu, phát triển và làm chủ công nghệ chế tạo, tổng hợp các **vật liệu mới, vật liệu chức năng** ứng dụng trong quân sự và dân dụng.



Nghiên cứu, thiết kế và khám phá các **vật liệu bán dẫn** mới định hướng ứng dụng trong các linh kiện điện tử thế hệ mới.





Bộ môn Vật liệu và Công nghệ vật liệu

Khoa Cơ khí

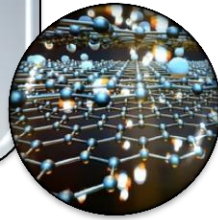
Công nghệ vật liệu: Chìa khóa để làm chủ sản xuất công nghiệp



Xây dựng và phát triển các mã ngành đào tạo chuyên sâu trong đào tạo nguồn lực chất lượng cao cho ngành công nghệ vật liệu.



Đầu tư trang thiết bị nghiên cứu



Có chính sách hỗ trợ và thúc đẩy phát triển ngành công nghệ vật liệu (vật liệu truyền thống, vật liệu chức năng, vật liệu bán dẫn,...)

Hợp tác nghiên cứu



SINGAPORE UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY AND DESIGN



충남대학교

CHUNGNAM NATIONAL UNIVERSITY
305-764 대전광역시 유성구 대학로 99 / TEL: (042) 821-5114, 6114
99, Daehak-ro (St), Yuseong-gu, Daejeon, 305-764, Korea



ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
THE UNIVERSITY OF DANANG



ĐẠI HỌC HUẾ
HUE UNIVERSITY



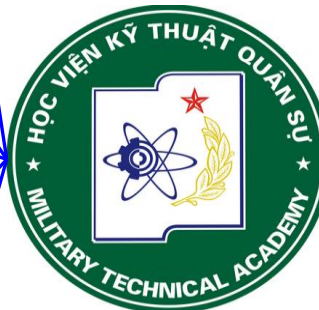
ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY OF INDUSTRY



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC ĐỒNG THÁP



Nhóm Khoa học và
công nghệ vật liệu mới



Korea Institute of
Science and Technology



南开大学
Nankai University

TRÂN TRỌNG CẢM ƠN