



CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO LINH KIỆN ĐIỆN TỬ



NỘI DUNG



HƯƠNG 1: Công nghệ chế tạo các chất bán dẫn



CHƯƠNG 2: Công nghệ Epitaxy



HƯƠNG 3: Công nghệ quang khắc



CHƯƠNG 4: Chế tạo Transistor và IC



HƯƠNG 5: Chế tạo vật liệu gốm và tụ điện



MỤC TIÊU

- Nắm vững các kiến thức cơ bản về chất bán dẫn
- Nắm vững các công nghệ chế tạo chất bán dẫn: công nghệ chế tạo silic, công nghệ epitaxy, công nghệ quang khắc...
- Nắm vững công nghệ chế tạo vật liệu gốm
- Nắm vững các bước chế tạo linh kiện điện tử: BJT, FET, IC...



TÀI LIỆU HỌC TẬP

- Nguyễn Công Vân, Trần Văn Quỳnh, Công nghệ vật liệu điện tử, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, 2006
- James D. Plummer, Micheal Deal, Silicon VLSI Technology, Prentice Hall 2006
- Alan Hastings, The art of analog layout, Prentice Hall 2002
- Behzad Razavi, Design of analog CMOS intergrated circuits, McGraw-Hill International Edition 2005



HÌNH THỨC THI

- Kiểm tra lần 1
- Kiểm tra lần 2
- Thi tự luận. Trọng số điểm thi 66,7%



Chương 1: Công nghệ chế tạo chất bán dẫn

Bài 1: Tổng quan

- Các khái niệm cơ bản
- Phân loại chất bán dẫn
- Các chất bán dẫn đặc trưng: Si, GaAs
- Ứng dụng

Bài 2: Công nghệ chế tạo Si sạch



Bài 1: Tổng quan

1.1 Các khái niệm cơ bản

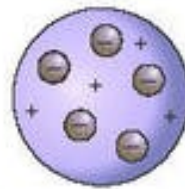
- Mô hình nguyên tử
- Các vùng năng lượng và tính dẫn điện
- Khe năng lượng
- Phân loại các chất theo tính dẫn điện



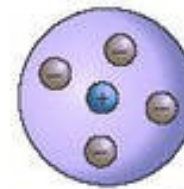
1.1.1 Mô hình nguyên tử



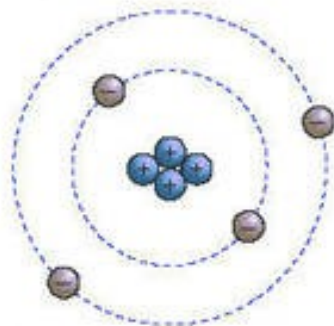
Nguyên tử của Dalton



Nguyên tử của Thomson



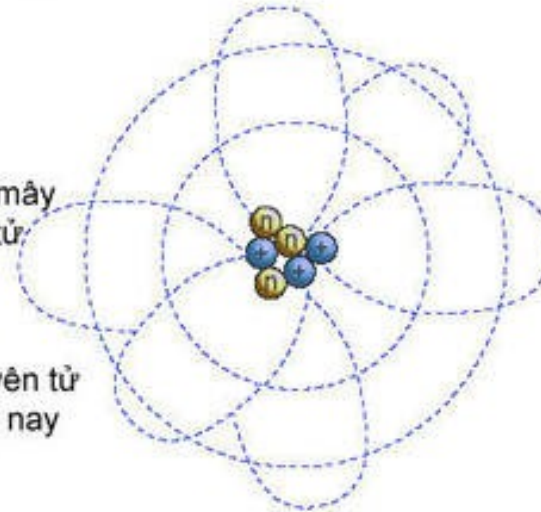
Nguyên tử của Rutherford



Nguyên tử của Bohr

đám mây
điện tử

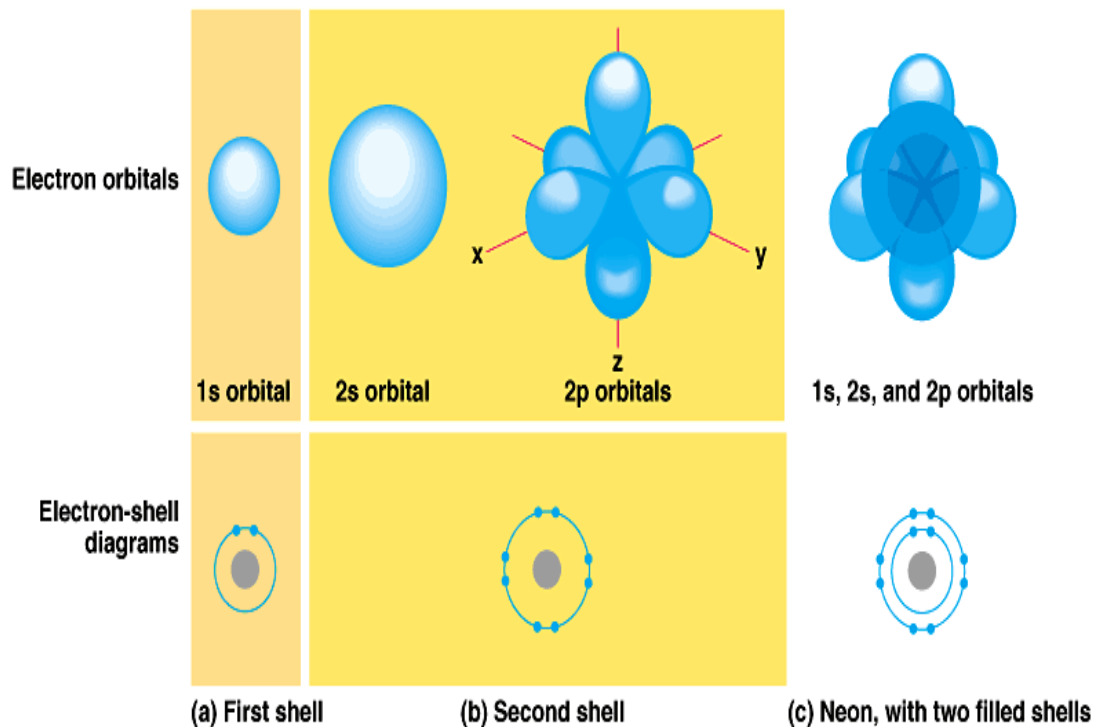
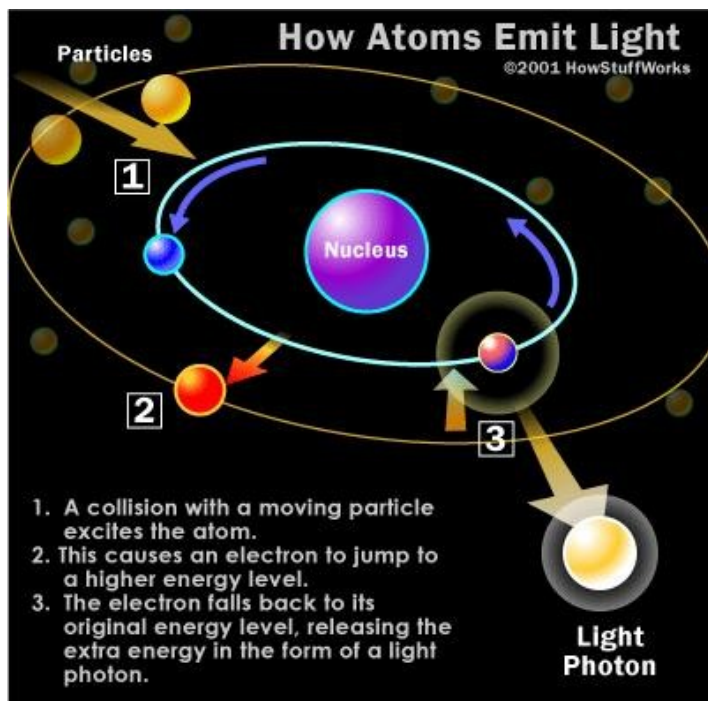
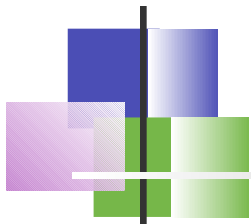
Nguyên tử
ngày nay





Mô hình nguyên tử ngày nay

- Nguyên tử được tạo thành từ một hạt nhân mang điện tích dương nằm ở tâm nguyên tử và các điện tử mang điện tích âm chuyển động xung quanh.
- Hạt nhân được tạo thành từ các hạt proton mang điện tích dương và các hạt neutron không mang điện. Mỗi nguyên tố chỉ có một số proton duy nhất nhưng có thể có số neutron khác nhau (các nguyên tố này được gọi là các đồng vị). Hạt nhân của điện tử chiếm một vùng không gian rất nhỏ bé so với nguyên tử. Các điện tử ở xa hạt nhân có mức năng lượng cao hơn.
- Các điện tử chuyển động xung quanh hạt nhân trên các quỹ đạo. Sự sắp xếp của các quỹ đạo trong nguyên tử được gọi là cấu hình điện tử. Mỗi quỹ đạo được đặc trưng bởi ba số lượng tử là: số lượng tử chính, số lượng tử phương vị và số lượng tử từ. Trên mỗi quỹ đạo có thể có hai điện tử, nhưng hai điện tử này phải có một số lượng tử thứ tư là spin khác nhau.
- Các quỹ đạo của điện tử không phải là những đường cố định mà là sự phân bố xác suất mà các điện tử có thể có mặt.
- Các điện tử sẽ chiếm các quỹ đạo có năng lượng thấp nhất (các quỹ đạo gần hạt nhân nhất). Chỉ có các điện tử ở lớp ngoài cùng mới có khả năng tham gia để tạo các liên kết hóa học.

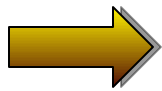


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

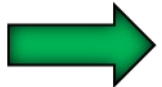


1.1.2 Các vùng năng lượng và tính dẫn điện

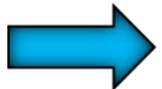
Tính chất dẫn điện của các vật liệu rắn được giải thích nhờ lý thuyết vùng năng lượng



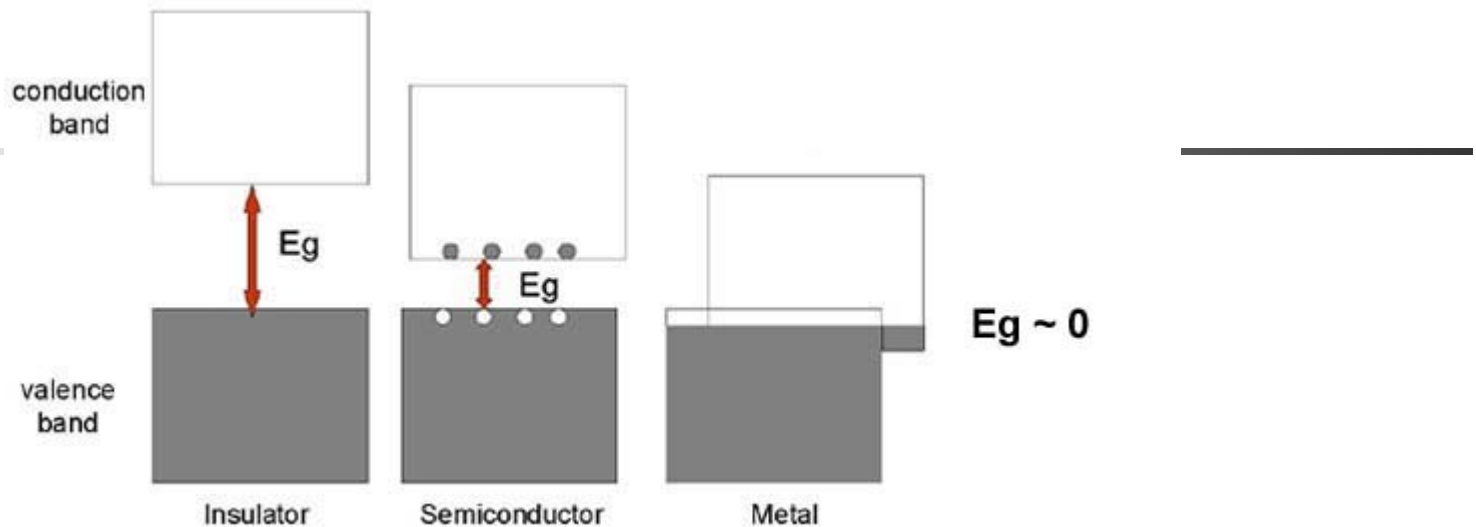
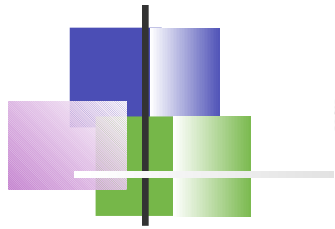
* Các chất có thể dẫn điện nếu chúng chứa các hạt tải điện linh động ví dụ như các ion hay điện tử.



* Các điện tử có thể trở nên linh động nếu các điện tử có thể dịch chuyển lên các quỹ đạo không lấp đầy trong vùng dẫn của vật rắn.



* Khi mà các nguyên tử kết hợp lại với nhau, các mức năng lượng này bị phủ lên nhau và trở thành các vùng năng lượng



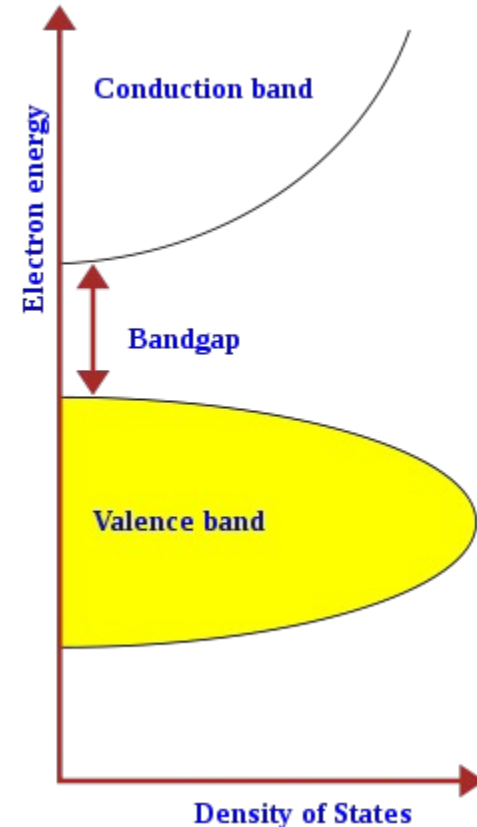
Vùng hóa trị (Valence band): Là vùng có năng lượng thấp nhất theo thang năng lượng, là vùng mà điện tử bị liên kết mạnh với nguyên tử và không linh động.

Vùng dẫn (Conduction band): Vùng có mức năng lượng cao nhất, là vùng mà điện tử sẽ linh động (như các điện tử tự do) và điện tử ở vùng này sẽ là điện tử dẫn, có nghĩa là chất sẽ có khả năng dẫn điện khi có điện tử tồn tại trên vùng dẫn. Tính dẫn điện tăng khi mật độ điện tử trên vùng dẫn tăng.

Vùng cấm (Forbidden band): Là vùng nằm giữa vùng hóa trị và vùng dẫn, không có mức năng lượng nào do đó điện tử không thể tồn tại trên vùng cấm. Nếu bán dẫn pha tạp, có thể xuất hiện các mức năng lượng trong vùng cấm (mức pha tạp).

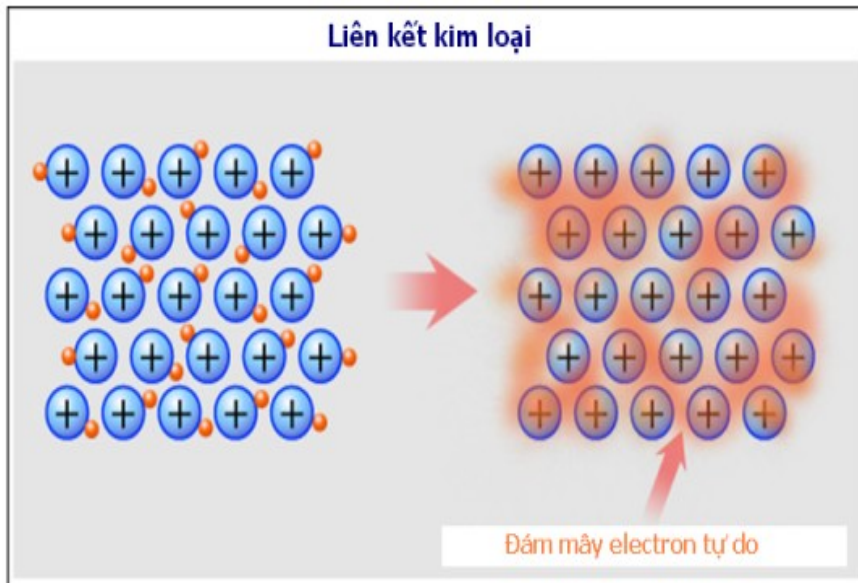
1.1.3 Khe năng lượng

- ❑ **Khe năng lượng** hay **năng lượng vùng cấm** E_g là dải năng lượng ở đó không có trạng thái điện tử nào có thể tồn tại.
- ❑ Trong biểu đồ cấu trúc vùng điện tử của vật rắn, năng lượng vùng cấm được coi là sự sai khác giữa năng lượng giữa đỉnh của vùng hoá trị và đáy của vùng dẫn.
- ❑ Đó chính là tổng năng lượng cần thiết để giải thoát một điện tử ở lớp vỏ ngoài cùng từ quỹ đạo xung quanh hạt nhân để trở thành các hạt tải linh động, có thể dịch chuyển tự do trong chất rắn



1.1.4 Phân loại các chất theo tính dẫn điện

Chất dẫn điện: kim loại



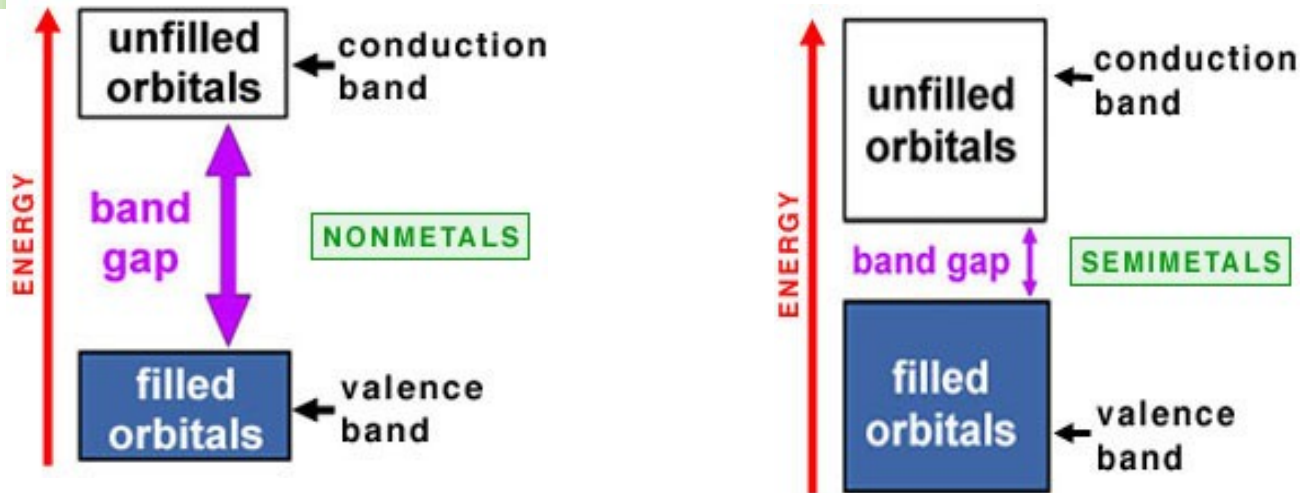
Đám mây electron đó là tất cả những electron lớp ngoài của các nguyên tử liên kết lỏng lẻo. Theo thuật ngữ kĩ thuật, các electron đã được giải phóng vì nguyên tử 'bố mẹ' của chúng không còn giữ nổi chúng nữa. Cho nên, thay vì treo lơ lửng xung quanh lớp vỏ ngoài của một nguyên tử, các electron ngoài cùng được chia sẻ chung trong toàn khối kim loại. Và vì các nguyên tử cùng đóng góp các electron vào đám mây trên, nên thật ra chúng giống như những ion dương hơn. Lực hút giữa những lớp ion dương và đám mây electron bao quanh chúng là mạnh.

- Kim loại có vùng dẫn và vùng hóa trị phủ lên nhau (không có vùng cấm) do đó luôn luôn có điện tử trên vùng dẫn



Các kim loại luôn luôn dẫn điện

Chất cách điện: phi kim

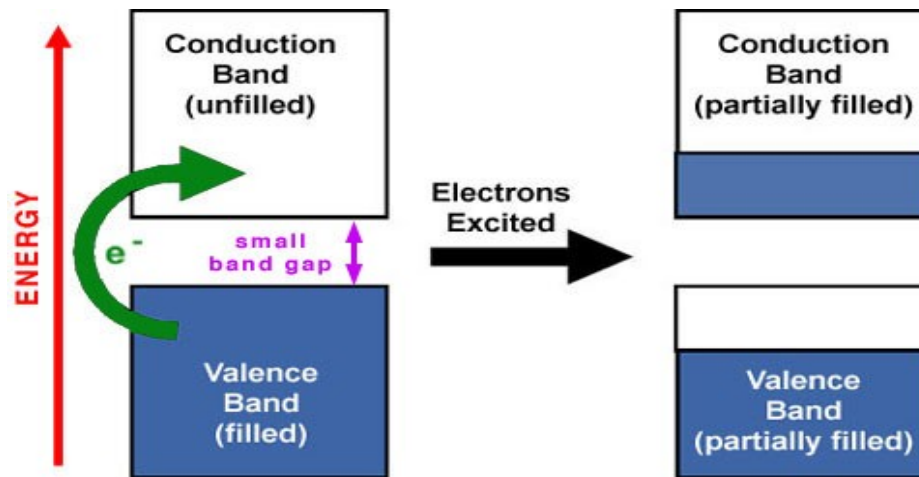


Các phi kim hình thành hai dải khác nhau. Vùng năng lượng thấp hơn, được biết đến như vùng hoá trị có chứa các điện tử hoá trị (dải được lấp đầy bằng các điện tử), trong khi đó vùng năng lượng cao hơn là vùng dẫn không chứa các điện tử. Các điện tử trong vùng hoá trị không thể dịch chuyển đến các quỹ đạo khác trong vùng bởi vì tất cả các quỹ đạo đã hoàn toàn lấp đầy. Không có chuyển động của các điện tử xảy ra trong vùng dẫn bởi vì nó trống. **Hai vùng này được tách ra bởi một khe năng lượng khá lớn.** Vì vậy không có nguồn năng lượng nào đủ lớn để kích thích điện tử từ vùng năng lượng thấp hơn lên vùng năng lượng cao hơn, nên trong vùng dẫn không có các điện tử linh động



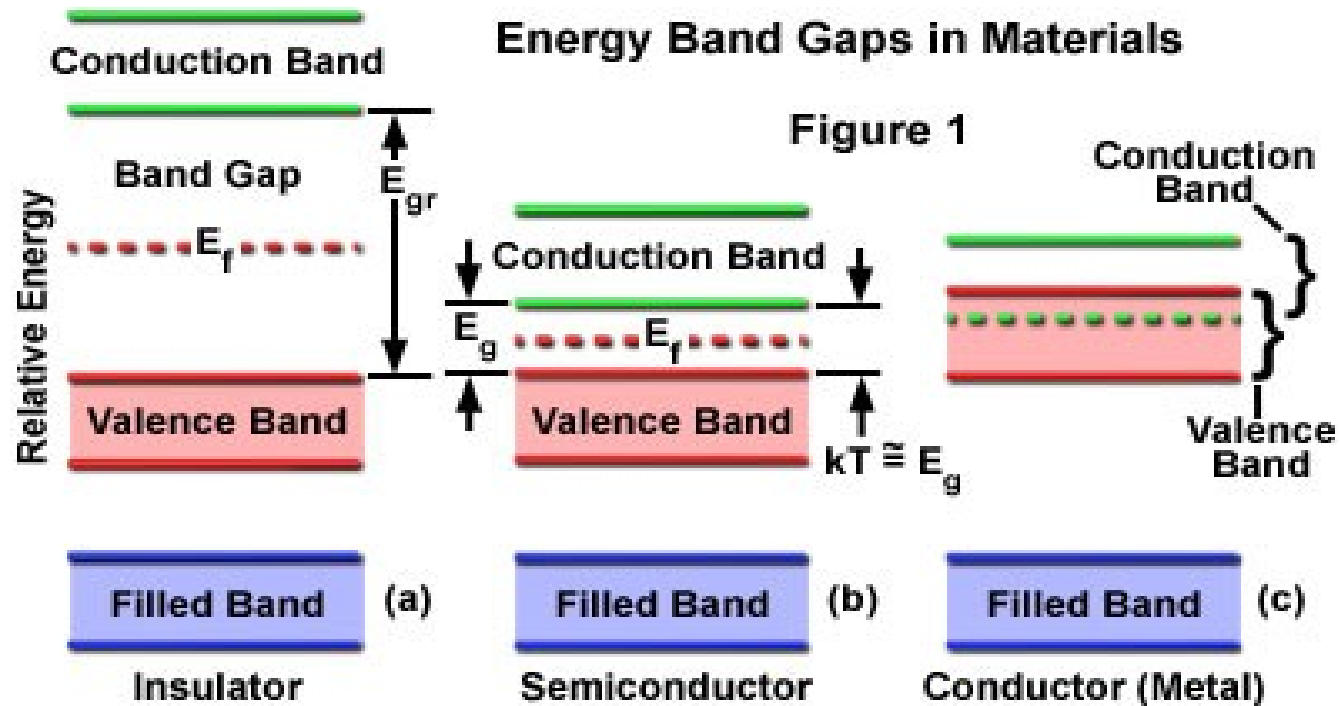
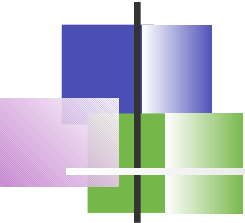
Các phi kim không thể dẫn điện

Chất bán dẫn



Trong chất bán dẫn, khe năng lượng đủ nhỏ để các điện tử có thể dịch chuyển từ các quỹ đạo trong vùng hoá trị lên các quỹ đạo trong vùng dẫn. Trong vùng hoá trị, các điện tử có thể dịch chuyển giữa các quỹ đạo (và do đó di chuyển khắp nơi) đến khi một số quỹ đạo trở nên trống. Sự dịch chuyển của các điện tử đến vùng dẫn cho phép các điện tử có thể chuyển động dễ dàng giữa các quỹ đạo trống. Sau đó, vùng hoá trị không còn lấp đầy hoàn toàn và vùng dẫn không còn trống nữa, cả hai vùng bị lấp đầy một phần.

Chất bán dẫn có khả năng dẫn điện



Periodic Table of Elements

Wikipedia

Properties

Orbitals

Isotopes

Weight

Names

Electrons

Wide

[I Cured My Wrinkles](#)

Learn How A Mom Got Rid of Her Wrinkles Forver In (2) Simple Steps->

[Surgical Table Sales](#)

Amsco, Maquet, Champaine, Skytron, Ritter, Westar, DRE

[Surgical Table Sales](#)

Amsco, Maquet, Champaine, Skytron, Ritter, Westar, DRE

[Car Insurance Quotes](#)

How Much Are You Paying? Get A Free Quote. Save Hundreds.

Sponsored Links

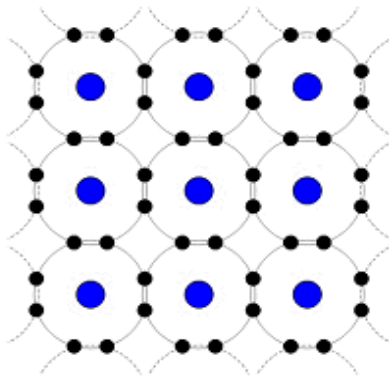
Sponsored Links

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18														
1	H Hydrogen 1.00794	Atomic Sym Name Weight																2	He Helium 4.002602													
2	Li Lithium 6.941	Be Beryllium 9.012182	C Solid Hg Liquid H Gas Rf Unknown																Metalloids Other nonmetals Halogens Noble gases		3386											
3	Na Sodium 22.98976...	Mg Magnesium 24.3050	Metals																Alkali metals Alkaline earth metals Lanthanoids Actinoids Transition metals Post-transition metals		5	B Boron 10.811	6	C Carbon 12.0107	7	N Nitrogen 14.0067	8	O Oxygen 15.9994	9	F Fluorine 18.9984032	10	Ne Neon 20.1797
4	K Potassium 39.0983	Ca Calcium 40.078	Sc Scandium 44.955912	Ti Titanium 47.887	V Vanadium 50.9415	Cr Chromium 51.9961	Mn Manganese 54.938045	Fe Iron 55.845	Co Cobalt 58.933195	Ni Nickel 58.6934	Cu Copper 63.546	Zn Zinc 65.38	Ga Gallium 69.723	Ge Germanium 72.64	As Arsenic 74.92160	Se Selenium 78.96	Br Bromine 79.904	Kr Krypton 83.798														
5	Rb Rubidium 85.4678	Sr Strontium 87.62	Y Yttrium 88.90585	Zr Zirconium 91.224	Nb Niobium 92.90638	Mo Molybde... 95.96	Tc Technetium (98)	Ru Ruthenium 101.07	Rh Rhodium 102.90550	Pd Palladium 106.42	Ag Silver 107.8682	Cd Cadmium 112.411	In Indium 114.818	Sn Tin 118.710	Sb Antimony 121.760	Te Tellurium 127.60	I Iodine 126.90447	Xe Xenon 131.293														
6	Cs Caesium 132.9054...	Ba Barium 137.327	57-71	Hf Hafnium 178.49	Ta Tantalum 180.94788	W Tungsten 183.84	Re Rhenium 186.207	Os Osmium 190.23	Ir Iridium 192.217	Pt Platinum 195.084	Au Gold 196.966569	Hg Mercury 200.59	Tl Thallium 204.3833	Pb Lead 207.2	Bi Bismuth 208.98040	Po Polonium (209)	At Astatine (210)	Rn Radon (222)														

1.2 Phân loại chất bán dẫn

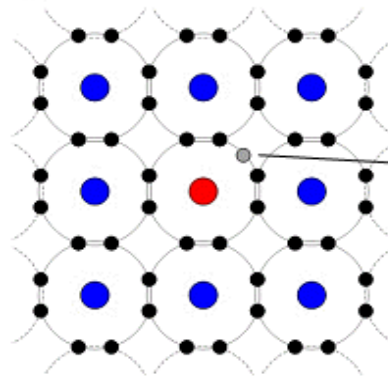
Pure Silicon

● Silicon nuclei



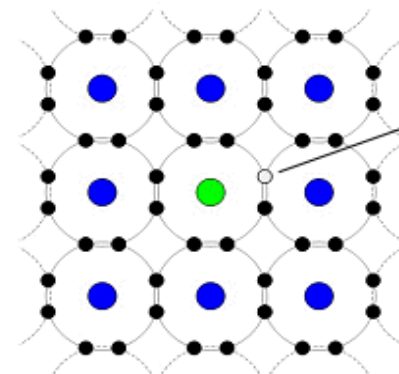
N-Type Silicon

● Phosphorous nucleus



P-Type Silicon

● Boron nucleus



Bán dẫn loại n :

Giả sử pha vào tinh thể silic một lượng rất nhỏ các nguyên tử P. Nguyên tử P có 5 electron ở lớp ngoài cùng, 4 electron trong số đó tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 4 nguyên tử silic ở gần còn electron thứ 5 của P thì liên kết rất yếu với hạt nhân và dễ dàng tách khỏi nguyên tử để trở thành electron tự do.

•Kết quả :

- Mật độ electron rất lớn so với mật độ lỗ trống \Rightarrow bán dẫn loại n.
- Trong bán dẫn loại n hạt mang điện cơ bản là electron, còn lỗ trống là hạt mang điện không cơ bản.

Bán dẫn loại p :

Giả sử pha vào tinh thể silic một lượng rất nhỏ các nguyên tử B. Nguyên tử B có 3 electron ở lớp ngoài cùng, 3 electron này tham gia vào liên kết cộng hóa trị với 3 nguyên tử silic ở gần. Vậy nguyên tử B còn thiếu 1 electron để tham gia vào liên kết với nguyên tử silic ở gần. Do đó nó sẽ chiếm 1 electron của 1 nguyên tử gần nhất, electron vừa đi ra đã để lại sau nó 1 lỗ trống.

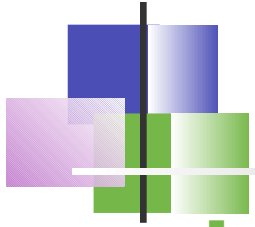
•Kết quả :

- Mật độ lỗ trống rất lớn so với mật độ electron \Rightarrow bán dẫn loại p.

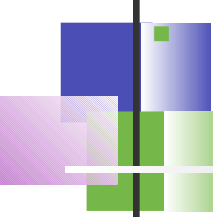


Sự dẫn điện của bán dẫn tinh khiết

- Trong bán dẫn có hai loại hạt tải điện, đó là electron tự do và lỗ trống. Cơ chế hình thành các hạt tải điện trong bán dẫn cần được làm rõ, vì đây chính là nguồn gốc của sự khác biệt của bán dẫn và kim loại.
- Bán dẫn mà ta xét là những vật rắn có cấu tạo tinh thể. Căn cứ vào cấu tạo tinh thể của bán dẫn silic, có thể thấy là ở nhiệt độ thấp, electron bị liên kết chặt chẽ với nguyên tử và do đó không có electron tự do; vì vậy bán dẫn là một điện môi. Khi lớp điện tử ngoài cùng là lớp đầy, thì nguyên tử rất khó tham gia các phản ứng hóa học, tức là ít có khả năng mất bớt hay nhận thêm electron. Chính sự kết hợp của các nguyên tử silic thành tinh thể Si thông qua các mối liên kết cộng hóa trị đã tạo nên mỗi nguyên tử Si có 8 electron, tức là có một lớp electron đầy.
- Muốn bứt electron ra khỏi nguyên tử để thành electron tự do, tham gia vào sự dẫn điện, thì cần tốn năng lượng. Có thể tăng năng lượng bằng cách tăng nhiệt độ của tinh thể, tức là làm tăng nội năng của nó. Do vậy, khi nhiệt độ trên OK, đã có một vài electron thu được năng lượng cần thiết. Nhiệt độ càng cao, càng có nhiều electron thoát khỏi liên kết.



- Trong bán dẫn tinh khiết, mỗi khi có một electron tự do được tạo thành thì cũng có một lỗ trống xuất hiện. Vì thế ta nói có sự phát sinh các cặp electron – lỗ trống.
- Quá trình ngược lại là sự tái hợp, làm mất đi từng cặp electron lỗ trống. Ở mỗi nhiệt độ, có sự cân bằng động giữa sự phát sinh và tái hợp, làm cho số cặp electron - lỗ trống. Trong bán dẫn có một giá trị xác định (người ta hay nói là mật độ cặp electron - lỗ trống, tức là số cặp trong một đơn vị thể tích bán dẫn, có giá trị xác định). Nhiệt độ càng cao, số electron và lỗ trống càng lớn, do đó điện trở suất càng nhỏ, bán dẫn dẫn điện càng tốt. Nếu đặt một hiệu điện thế xác định vào mẫu bán dẫn, thì khi nhiệt độ tăng, mật độ hạt tải điện n_0 tăng lên mạnh làm j tăng mạnh, ứng với điện trở suất của bán dẫn giảm mạnh. Nếu xét như vậy với kim loại, thì khi nhiệt độ tăng, nồng độ electron tự do n_0 không đổi, nhưng lại giảm vì va chạm của electron với các nút mạng tinh thể tăng lên ; kết quả là j giảm, ứng với điện trở suất của kim loại tăng lên
- Nếu chiếu ánh sáng thích hợp vào bán dẫn, ta có thể cung cấp năng lượng đủ để tạo thành cặp electron – lỗ trống. Như vậy, ánh sáng làm tăng nhiệt độ hạt tải điện, và làm tăng độ dẫn điện của bán dẫn.



Các chất bán dẫn có vùng cấm với một độ rộng xác định. Ở không độ tuyệt đối (0K), mức Fermi nằm giữa vùng cấm, có nghĩa là tất cả các điện tử tồn tại ở vùng hóa trị, do đó chất bán dẫn không dẫn điện. Khi tăng dần nhiệt độ, các điện tử sẽ nhận được năng lượng nhiệt ($k_B \cdot T$ với k_B là hằng số Boltzmann) nhưng năng lượng này chưa đủ để điện tử vượt qua vùng cấm nên điện tử vẫn ở vùng hóa trị. Khi tăng nhiệt độ đến mức đủ cao, sẽ có một số điện tử nhận được năng lượng lớn hơn năng lượng vùng cấm và nó sẽ nhảy lên vùng dẫn và chất rắn trở thành dẫn điện. Khi nhiệt độ càng tăng lên, mật độ điện tử trên vùng dẫn sẽ càng tăng lên, do đó, tính dẫn điện của chất bán dẫn tăng dần theo nhiệt độ (hay điện trở suất giảm dần theo nhiệt độ). Một cách gần đúng, có thể viết sự phụ thuộc của điện trở chất bán dẫn vào nhiệt độ như sau:

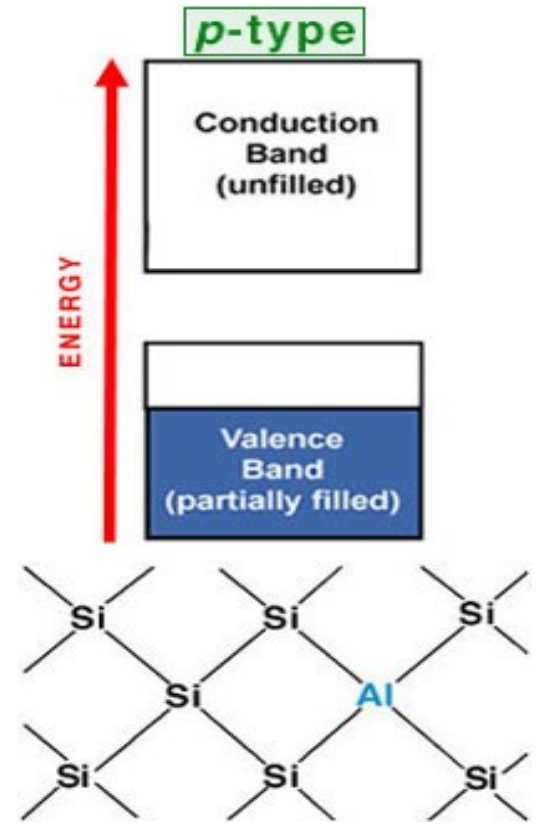
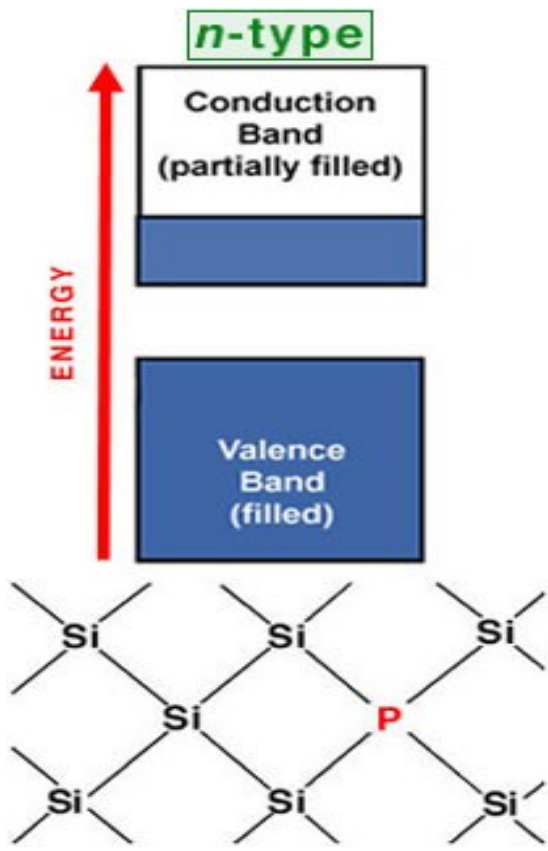
$$R = R_0 \exp\left(\frac{\Delta E_g}{2k_B T}\right)$$

- với: R_0 là hằng số, ΔE_g là độ rộng vùng cấm. Ngoài ra, tính dẫn của chất bán dẫn có thể thay đổi nhờ các kích thích năng lượng khác, ví dụ như ánh sáng. Khi chiếu sáng, các điện tử sẽ hấp thụ năng lượng từ photon, và có thể nhảy lên vùng dẫn nếu năng lượng đủ lớn. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi về tính chất của chất bán dẫn dưới tác dụng của ánh sáng (quang-bán dẫn).



Sự dẫn điện của bán dẫn pha tạp

- Tạp chất làm thay đổi loại hạt tải điện cơ bản trong bán dẫn và nồng độ hạt tải điện cơ bản trong bán dẫn và nồng độ hạt tải điện. Do hiểu được cơ chế của hiện tượng này, nên trong kỹ thuật, người ta có thể chủ động pha các tạp chất thích hợp để thu được các bán dẫn có tính chất mong muốn.
- Khi tạp chất có mặt trong tinh thể, tính chất liên kết của nguyên tử hợp chất khác với liên kết của các nguyên tử bán dẫn chủ. Điều đó có thể dẫn đến sự tạo thành điện tử electron tự do hoặc lỗ trống tùy theo loại tạp chất. ta xét hai trường hợp điển hình và hay gặp nhất đó là bán dẫn Si pha với P với B. tạp chất làm hình thành các hạt tải chỉ thuộc một loại, mà không phải là cặp electron lỗ trống như trong bán dẫn tinh khiết.
- Cần chú ý rằng trong các trường hợp thông thường, khi ta xét ở nhiệt độ phòng, thì trong bán dẫn đã có electron tự do và lỗ trống được tạo thành, gây nên sự dẫn điện riêng của bán dẫn. Tuy nhiên, với bán dẫn Si thì ở nhiệt độ phòng, nồng độ electron rỗng và nồng độ do sự dẫn điện riêng là rất thấp. Chính vì vậy mà chỉ cần một lượng tạp chất rất nhỏ, thì số hạt tải một số nào đó tăng lên nhiều lần so với số hạt tải loại loại đó trong sự dẫn điện riêng. Kết quả là số hạt tải loại này lớn hơn rất nhiều so với loại hạt tải trái dấu với nó, và trở thành hạt tải điện đa số.





1.3 Các chất bán dẫn đặc trưng

- 1.3.1 Chất bán dẫn tinh khiết
- 1.3.2 Chất bán dẫn pha tạp

1.3.1 Chất bán dẫn tinh khiết: Si, Ge, C

Symbol: Si

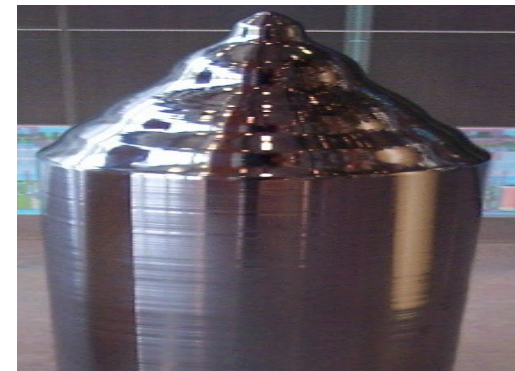
Element Classification: Semimetallic

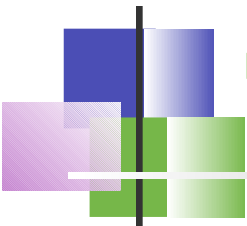
Discovered By: Jons Jacob Berzelius

Discovery Date: 1824 (Sweden)

Name Origin: Latin: silex, silicus, (flint).


Appearance: Amorphous form is brown powder; crystalline form has a gray

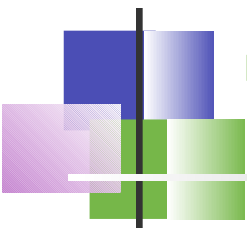




■ Các tính chất chung

General properties

Name, symbol, number	silicon, Si, 14
Pronunciation	<i>/'sɪlɪkən/ SIL-ə-kən or / 'sɪlɪkɒn/ SIL-ə-kon</i>
Element category	Metalloid
Group, period, block	14, 3, p
Standard atomic weight	28.0855(3) g·mol ⁻¹
Electron configuration	[Ne] 3s ² 3p ²
Electrons per shell	2, 8, 4
Spectral lines of Silicon	



Các tính chất lý hoá

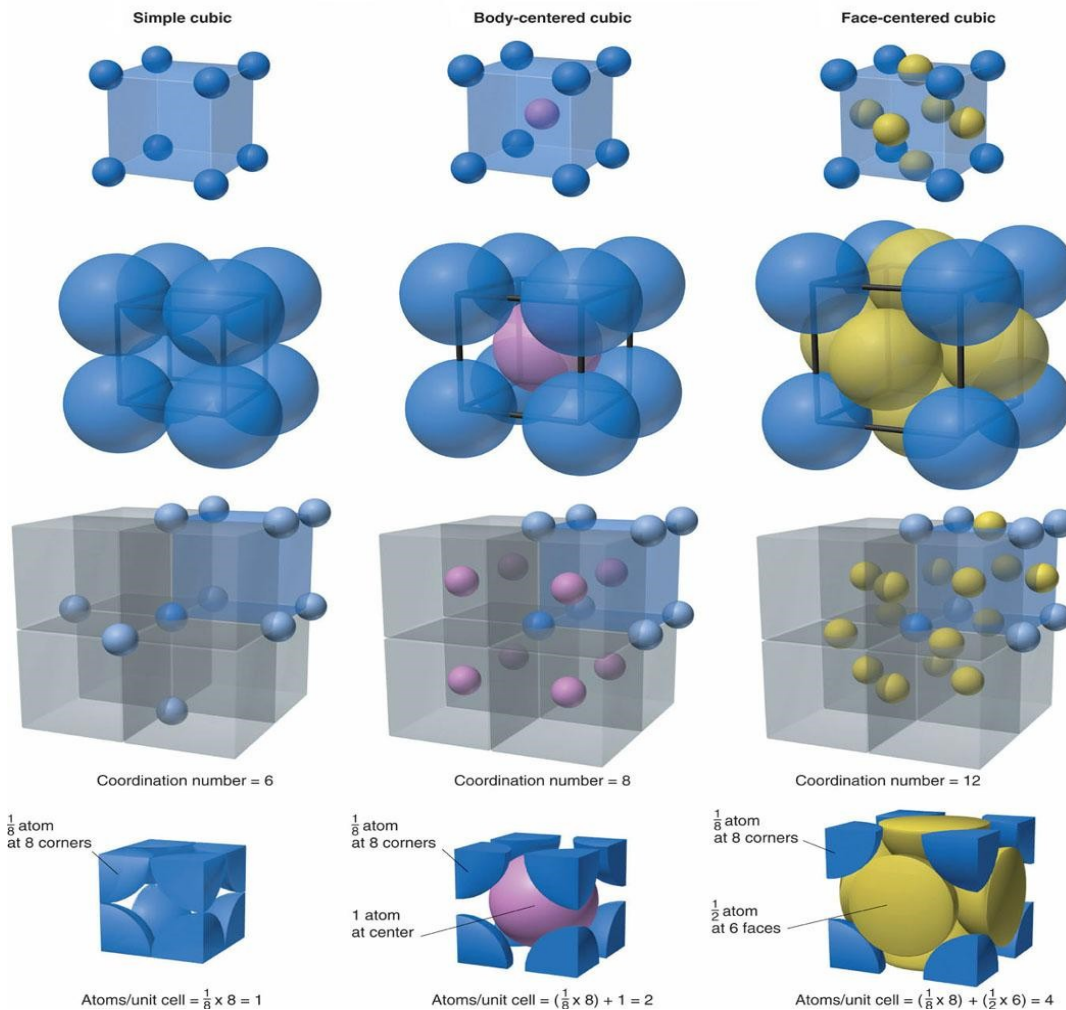
Physical properties

Phase	Solid
Density (near r.t.)	2.3290 g·cm ⁻³
Liquid density at m.p.	2.57 g·cm ⁻³
Melting point	1687 K, 1414 °C, 2577 °F
Boiling point	3538 K, 3265 °C, 5909 °F
Heat of fusion	50.21 kJ·mol ⁻¹
Heat of vaporization	359 kJ·mol ⁻¹
Specific heat capacity	(25 °C) 19.789 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Thermal conductivity	(300 K) 149 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Thermal expansion	(25 °C) 2.6 μm·m ⁻¹ ·K ⁻¹

Atomic properties

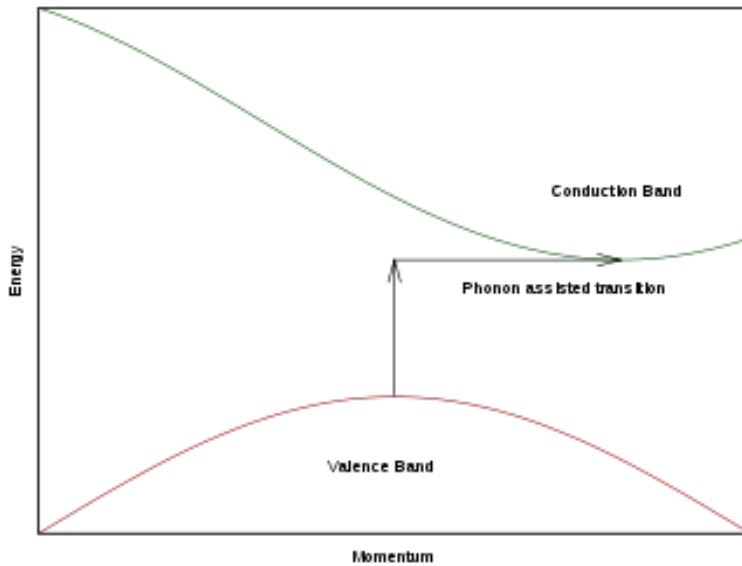
Oxidation states	4, 3, 2, 1 ^[1] , -1, -2, -3, -4 (amphoteric oxide)
Electronegativity	1.90 (Pauling scale)
Ionization energies (more)	1st: 786.5 kJ·mol ⁻¹ 2nd: 1577.1 kJ·mol ⁻¹ 3rd: 3231.6 kJ·mol ⁻¹
Atomic radius	111 pm
Covalent radius	111 pm
Van der Waals radius	210 pm

Cấu trúc mạng kim cương lập phương tâm mặt (fcc)



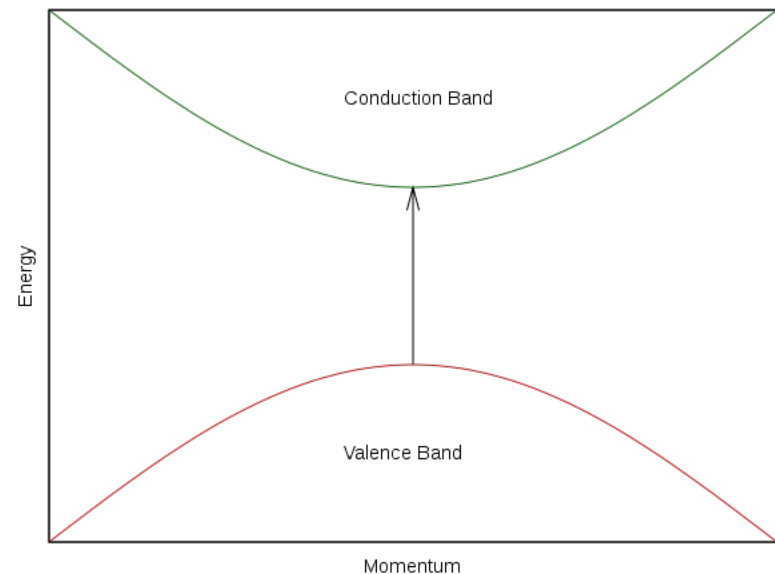
Khe năng lượng: không trực đối, $E_g=1,12\text{eV}$

Indirect Band Gap

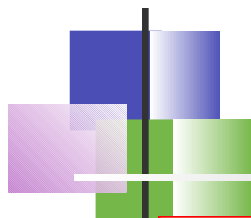


Điện tử không thể dịch chuyển từ mức năng lượng cao nhất trong vùng hoá trị lên mức năng lượng thấp nhất trong vùng dẫn mà không thay đổi động lượng. Năng lượng bắt nguồn từ photon, động lượng của phonon.

Direct Band Gap



Điện tử có thể dịch chuyển từ mức năng lượng cao nhất trong vùng hoá trị lên mức năng lượng thấp nhất trong vùng dẫn mà không cần thay đổi động lượng tinh thể. Năng lượng bắt nguồn từ photon, kích thích điện tử dịch chuyển từ vùng hoá trị lên vùng dẫn.



Periodic Table of the Elements

1	IA																O	
1	H	IIA																2
2	3	4											5	6	7	8	9	10
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	11	12											13	14	15	16	17	18
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VII			IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113					
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					

* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



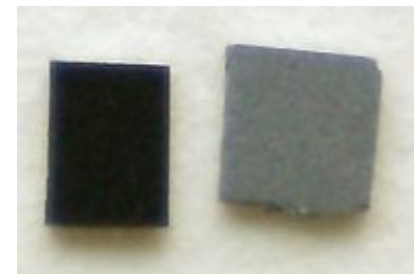
1.3.2 Chất bán dẫn pha tạp

- Hợp chất nhóm III-V: **GaAs**, GaP, GaSb, AlAs, AlP, AlSb, InAs, InP, InSb

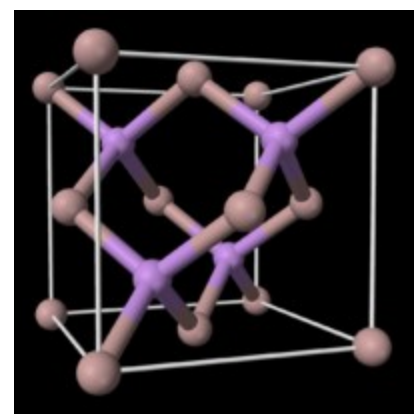
x $1-x$ $1-x$ x x $1-x$ y $1-y$

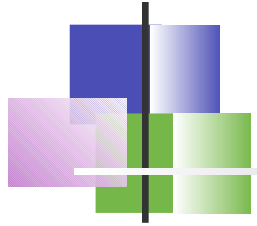
Tính chất của hợp chất GaAs

Properties	
Molecular formula	GaAs
Molar mass	144.645 g/mol
Appearance	Gray cubic crystals
Density	5.316 g/cm ³ [1]
Melting point	1238 °C (1511 K)
Solubility in water	< 0.1 g/100 mL (20 °C)
Band gap	1.424 eV (300 K)
Electron mobility	8500 cm ² /(V·s) (300 K)
Thermal conductivity	0.55 W/(cm·K) (300 K)
Refractive index (n_D)	3.0 - 5.0 ^[2]



Structure	
Crystal structure	Zinc blende (ZnS)
Space group	$T_d^2-F-43m$
Coordination geometry	Tetrahedral
Molecular shape	Linear





- Hợp chất tồn tại ở dạng rắn tại điều kiện nhiệt độ và áp suất thường, kết tinh ở nhiệt độ cao, sôi tại 1238°C
- Thể đánh thủng cao hơn Si
- Khe năng lượng trực đối, thích hợp làm LEDs và lase rắn, pin mặt trời
- Độ linh động hạt tải cao



1.4 Ứng dụng

- Dò và phát xạ bức xạ điện tử
- Thiết bị quang tử hồng ngoại
- Linh kiện phát quang LED
- Pin Mặt trời
- Bộ vi xử lý

Thiết bị hai cực

- DIAC
- Diode (rectifier diode)
- Gunn diode
- IMPATT diode
- Laser diode
- Light-emitting diode (LED)
- Photocell
- PIN diode
- Schottky diode
- Solar cell
- Tunnel diode
- VCSEL
- VECSEL
- Zener diode



Rectifier Diode



Gunn Diode



Laser Diode



LED



Solar cell



VCSEL



Schottky diode



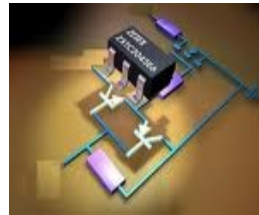
Tunnel diode



Zener diode 36

Thiết bị ba cực

- Bipolar junction transistor
- Darlington transistor
- Field effect transistor (FET)
- GTO (Gate Turn-Off)
- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
- SCR (Silicon Controlled Rectifier)
- SGCT (Switched Gate Commuted Thyristor)
- Thyristor
- TRIAC
- Unijunction transistor



BJT



FET



GTO



SCR



Thyristor



TRIAC



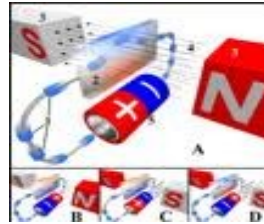
Unijunction transistor



IGBT

Các thiết bị khác

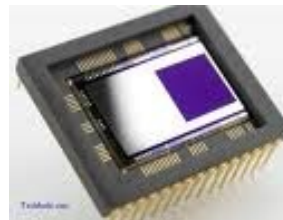
- Hall effect sensor (magnetic field sensor)
- Multi-terminal devices:
- Integrated Circuit (ICs)
- Charge-coupled device (CCD)
- Microprocessor
- Random Access Memory (RAM)
- Read-only memory (ROM)



Hall effect sensor



Integrated Circuit



Charge-coupled device



Microprocessor



RAM



ROM



Bài 2: Công nghệ chế tạo Si sạch

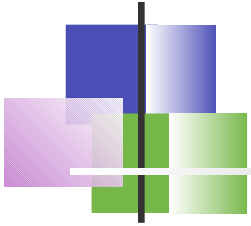
- Sản xuất vật liệu sạch đa tinh thể
- Công nghệ nuôi đơn tinh thể
 - Công nghệ Czochralski
 - Công nghệ float-zone
 - Công nghệ Bridgman
- Gia công cơ và định hình sản phẩm
- Phương pháp xử lý hoá học

2.1 Sản xuất vật liệu sạch đa tinh thể

2.1.1 Sản xuất Si sạch đa tinh thể



Nguyên liệu: SiO_2 Quartzite sand (silica) – Cát thạch anh



Cát thạch anh được khai thác tại Việt Nam



Cát thạch anh trên bãi biển ở Vancouver

Huyện Phong Điền (Thừa Thiên- Huế) có vùng cát trắng với tổng diện tích khoảng 17.500 ha, trải dài trên địa bàn các xã Phong Hoà, Phong Bình, Phong Chương, Phong Thu và thị trấn Phong Hiền.

Vùng cát có chứa cát thạch anh có diện tích vào khoảng 42 km², với trữ lượng ước tính hơn 41 triệu m³, được chia làm 8 thân cát (Ia, Ib, Ic, Id, IIa, IIb, IIIa, IIIb).

cung cấp cho nhiều ngành công nghiệp khác nhau như: sản xuất thủy tinh, gốm sứ...mở ra cơ hội và triển vọng cho phát triển sản xuất công nghiệp hàng tiêu dùng trên địa bàn.



Vật liệu thô và cách tinh chế

❖ $\text{SiO}_2 \rightarrow$ Metallurgical Grade Si

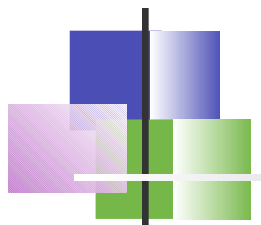
Cát thạch anh SiO_2 độ sạch tương đối cao được đưa vào lò nung với nhiệt độ 1800°C với cacbon (than đá, than cốc, than củi)



MGS is ~98% pure

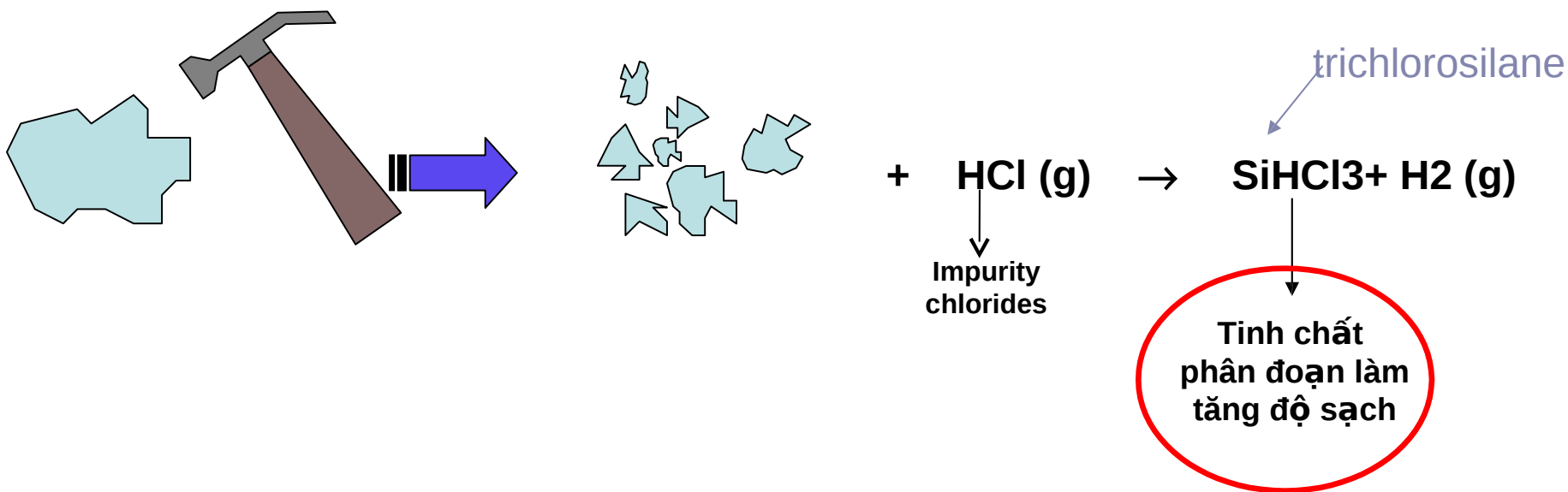
MGS = metallurgical grade silicon. (Silic đã được tinh chế nhưng không nguyên chất như khi sử dụng làm chất bán dẫn, chủ yếu để sử dụng khi cần thêm silic vào như là một thành phần hợp kim.)

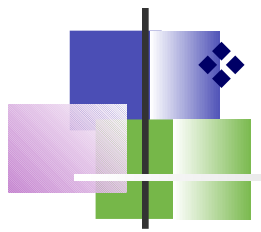
Mặc dù sử dụng phương pháp MGS có độ sạch tương đối cao (98%)*, nó vẫn chứa một số tạp chất như Fe hoặc Al



- Đầu tiên Si sau quá trình MGS được cho phản ứng với **HCl** để hình thành **SiHCl₃**, (trichlorosilane) có dạng chất lỏng có nhiệt độ sôi 32°C

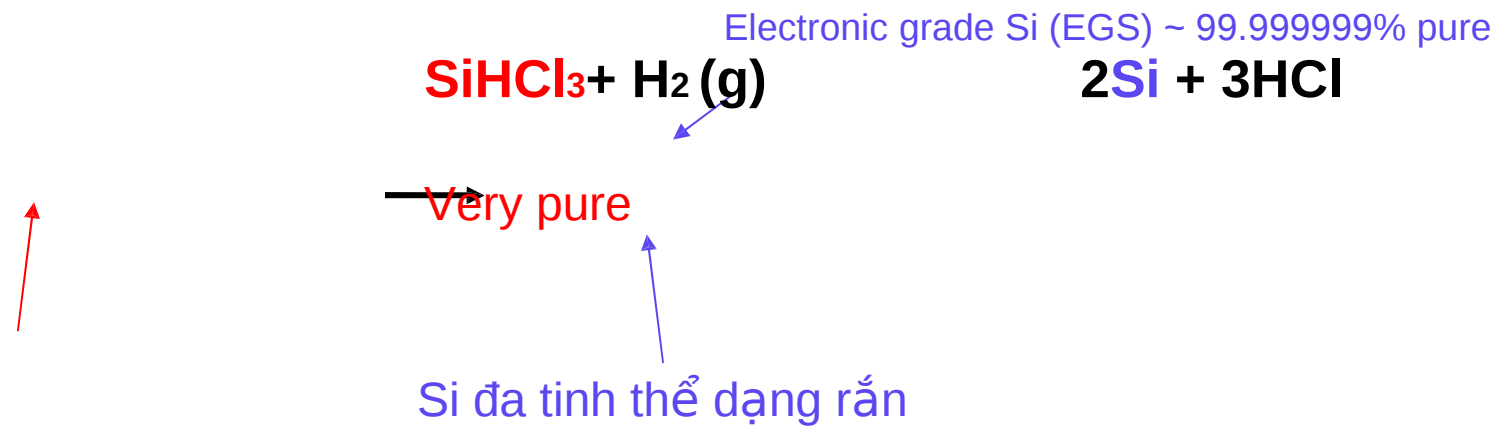
- Quá trình tinh chế phân đoạn được dùng để tách **SiHCl₃** từ các tạp chất như FeCl₃





Metallurgical Grade Si → Electronic Grade Si

Qui trình CVD (Chemical Vapor Deposition) được sử dụng (trong môi trường khí H₂) (Phương pháp hoàn nguyên bởi H₂)



Qui trình này được xảy ra trong lò phản ứng chứa thanh Si đa tinh thể mỏng được đốt nóng, đóng vai trò một lõi để các nguyên tử Si bám vào tạo thành thanh Si đa tinh thể sạch

→ Tạo ra Si có độ sạch rất cao, độ sạch EGS là 5x10¹³cm⁻³

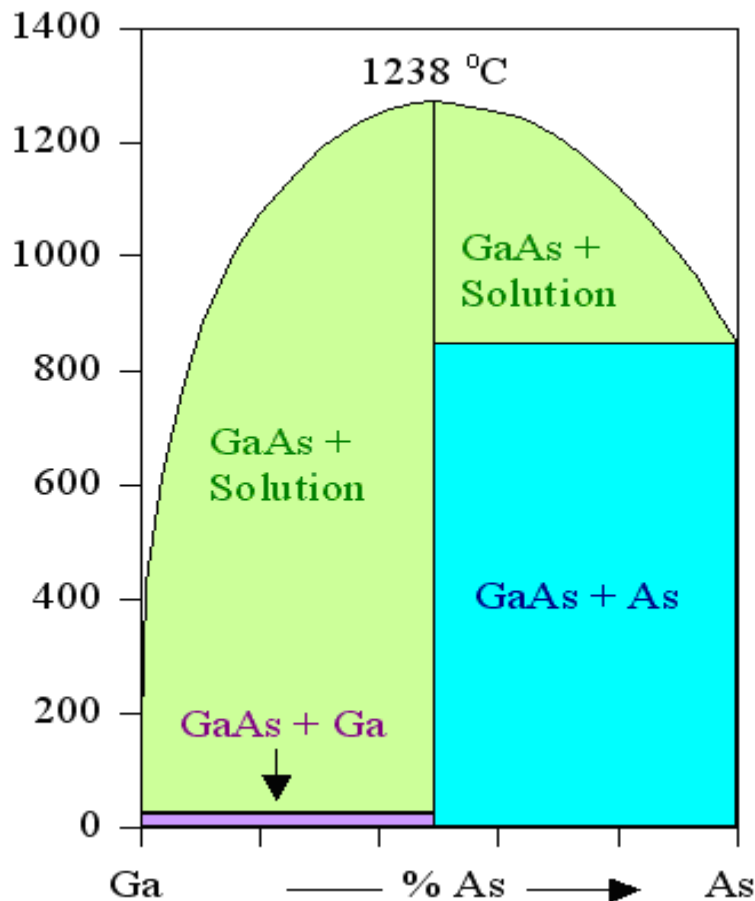


Chemical processing equipment
at a P.S.T. poly-silicon plant



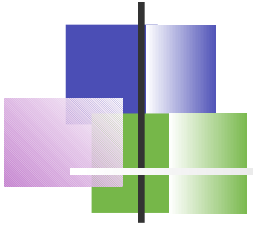
A polycrystalline silicon rod
made by the **Siemens process**

2.1.1 Sản xuất hợp chất GaAs sạch đa tinh thể



Ga và As có áp suất hơi khác nhau và khá cao. Điểm sôi của GaAs là 1238°C
Trong hợp kim lỏng GaAs giàu As, áp suất hơi của của As cao hơn nên khi ở nhiệt độ cao các nguyên tử bốc hơi và tạo thành khí As_2 và As_4

Trong hợp kim lỏng GaAs giàu Ga, áp suất hơi của của Ga cao hơn nên khi đến nhiệt độ nóng chảy các nguyên tử Ga khó bốc hơi so với As



Tổng hợp GaAs: Thực hiện trong ống thạch anh kín hút chân không và đặt trong lò có hai vùng nhiệt độ khác nhau

As có độ sạch cao được đặt trong thuyền graphit và nung đến nhiệt độ 610-620°C

Ga có độ sạch cao được đặt trong thuyền graphit khác và nung đến nhiệt độ nóng chảy của hợp chất GaAs(1240-1260°C).

Như vậy As trở nên quá áp và đẩy khí As đến với Ga lỏng, tạo thành hợp chất GaAs và ngăn cản sự tái bốc hơi của GaAs đã được tạo thành trong lò nung. Khi làm nguội hợp kim lỏng ta nhận được vật liệu thô GaAs đa tinh thể có độ sạch cao