

CHƯƠNG 1. KHÁI NIỆM CHẤT BÁN DẪN

Definition of Semiconductor

Giảng viên: Nguyễn Đức Cường

Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

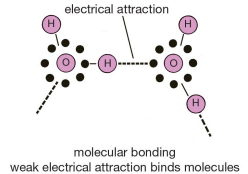
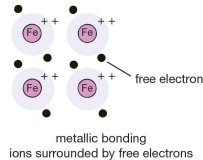
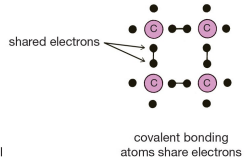
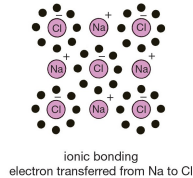
Email: cuongnd@vnu.edu.vn

Ngày 8 tháng 9 năm 2021

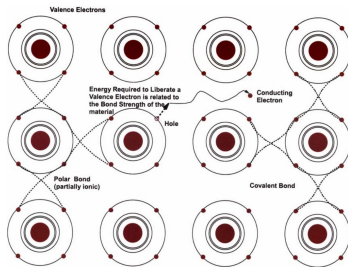
1 CHƯƠNG 1. KHÁI NIỆM CHẤT BÁN DẪN

Các loại liên kết trong vật liệu

- Liên kết ion: liên kết giữa nguyên tử có xu hướng cho đi điện tử (ví dụ Na) và nguyên tử có xu hướng nhận thêm điện tử (ví dụ Cl) để thu được trạng thái điện đầy của lớp vỏ nguyên tử.
- Liên kết cộng hóa trị: điện tử hóa trị được chia sẻ giữa các nguyên tử tham gia liên kết.
- Liên kết kim loại: các nguyên tử kim loại bị ion hóa hoàn toàn và các điện tử tự do đóng vai trò như "chất keo dính" liên kết các ion kim loại mang điện tích dương.
- Liên kết phân tử: có bản chất là tương tác tĩnh điện yếu giữa các phân tử (gọi là lực van der Waals).



Phân loại vật liệu điện tử

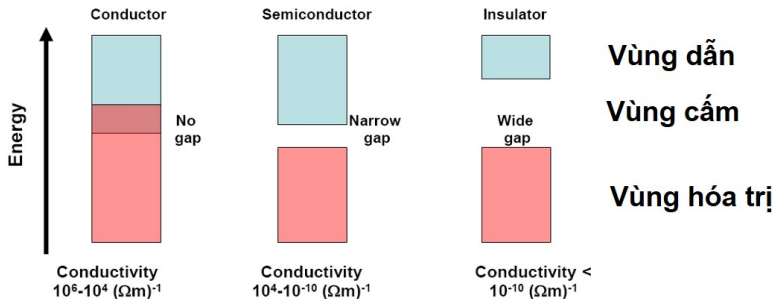


- Đối với kim loại, các điện tử có thể nhảy từ quỹ đạo hóa trị sang vị trí bất kì trong tinh thể (nghĩa là tự do dịch chuyển trong tinh thể) mà không cần cung cấp thêm năng lượng cho chúng.
- Đối với chất cách điện, rất khó để điện tử có thể nhảy ra khỏi quỹ đạo hóa trị và cần một năng lượng lớn để giải phóng điện tử khỏi lõi nguyên tử.
- Đối với chất bán dẫn, các điện tử có thể nhảy từ quỹ đạo hóa trị, nhưng cần một năng lượng nhỏ để giải phóng điện tử khỏi lõi nguyên tử.

Khái niệm chất bán dẫn

Chất bán dẫn (Semiconductor)

Chất bán dẫn là vật liệu trung gian giữa chất dẫn điện và chất cách điện. Chất bán dẫn hoạt động như một chất cách điện ở nhiệt độ thấp và có tính dẫn điện ở nhiệt độ phòng. Gọi là "bán dẫn" (chữ "bán" theo nghĩa Hán Việt có nghĩa là một nửa), có nghĩa là có thể dẫn điện ở một điều kiện nào đó, hoặc ở một điều kiện khác sẽ không dẫn điện.



Khái niệm chất bán dẫn

- Vật liệu bán dẫn là một lớp vật liệu được phân biệt bởi sự tồn tại của một dải các mức năng lượng không cho phép (cấm) giữa các mức năng lượng của các điện tử hóa trị (ở quỹ đạo ngoài cùng) và các mức năng lượng của các điện tử tự do.
- Sự khác biệt về năng lượng (**độ rộng vùng cấm, bandgap**) giữa các trạng thái mà tại đó các điện tử liên kết với nguyên tử và khi nó dịch chuyển tự do trong toàn bộ vật liệu có liên quan chặt chẽ đến độ bền liên kết của vật liệu, mật độ của nó, mức độ phân cực của liên kết, và bản chất hóa học liên quan đến hóa trị của liên kết.
- Các vật liệu có độ bền liên kết lớn (kim cương, SiC, AlN, GaN, v..v) thì có độ rộng vùng cấm lớn.
- Các vật liệu có độ bền liên kết nhỏ (Si, Ge, v..v) thì có độ rộng vùng cấm nhỏ.

Khái niệm chất bán dẫn

- Sự xuất hiện của vùng cấm được suy ra từ nguyên lý loại trừ Pauli, trong đó quy định 2 điện tử nằm cùng một vị trí trong không gian không thể có cùng năng lượng. Như vậy khi các nguyên tử tiến lại gần nhau để hình thành liên kết, các mức năng lượng phải được tách nhỏ thành các dải mức năng lượng rời rạc nhưng liên tục.
- Các vật liệu có năng lượng liên kết lớn thì có khoảng cách giữa các nguyên tử nhỏ. Như vậy, vật liệu có năng lượng liên kết lớn thì có độ rộng vùng cấm lớn và ngược lại.

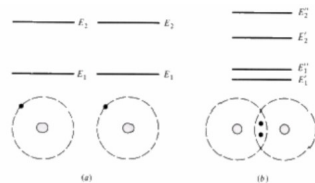
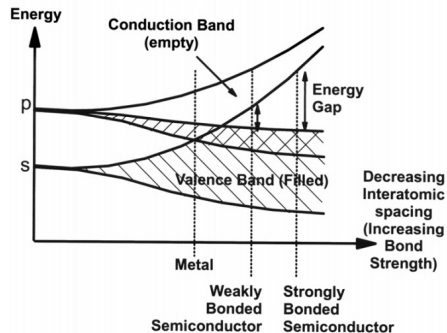


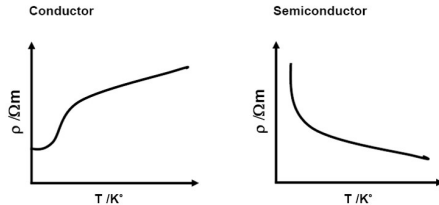
FIGURE 1-9 Two hydrogen atoms: (a) non-interacting and (b) interacting. Splitting of energy levels is illustrated for (b).



Khái niệm chất bán dẫn

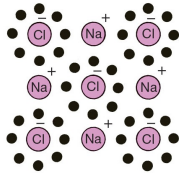
- **Vùng dẫn (Conduction band):** Vùng có mức năng lượng cao nhất, là vùng mà điện tử sẽ linh động (như các điện tử tự do) và điện tử ở vùng này sẽ là điện tử dẫn, có nghĩa là chất sẽ có khả năng dẫn điện khi có điện tử tồn tại trên vùng dẫn. Tính dẫn điện tăng khi mật độ điện tử trên vùng dẫn tăng
- **Vùng 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 cấm (Band gap):** 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). Khoảng cách giữa đáy vùng dẫn và đỉnh vùng hóa trị gọi là độ rộng vùng cấm, hay năng lượng vùng cấm (Band gap). Tùy theo độ rộng vùng cấm lớn hay nhỏ mà chất có thể là dẫn điện hoặc không dẫn điện.

Sự vào phụ thuộc nhiệt độ của điện trở suất

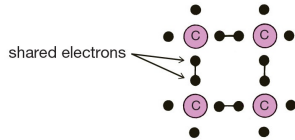


- **Chất bán dẫn** gồm các vật liệu có độ rộng vùng cấm từ 0.5 đến 3 eV. Chúng có độ dẫn thấp trong bóng tối do chỉ có một lượng nhỏ điện tử hóa trị có đủ động năng ở nhiệt độ phòng để có thể được kích thích vượt qua vùng cấm lên vùng dẫn. Độ dẫn thuần này giảm khi độ rộng vùng cấm tăng.
- **Chất cách điện (insulator)** là các vật liệu có độ rộng vùng cấm lớn hơn và có độ dẫn không đáng kể ở nhiệt độ phòng.
- Những vật liệu có độ rộng vùng cấm < 0.5 eV có độ dẫn tương đối lớn và thường được gọi là **bán kim loại (semimetal)**.

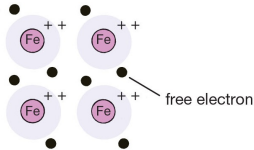
Các loại liên kết trong vật liệu



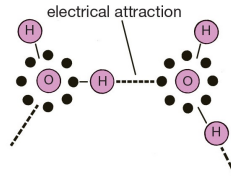
ionic bonding
electron transferred from Na to Cl



covalent bonding
atoms share electrons



metallic bonding
ions surrounded by free electrons



molecular bonding
weak electrical attraction binds molecules

Chiều giảm của năng lượng liên kết: ion \rightarrow cộng hóa trị \rightarrow kim loại \rightarrow Van der Waals.

Bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hóa học

Periodic Table of Elements

1A																	2						
1	H																	He					
2	3	4													10								
	Li	Be													Ne								
3	11	12	13	14	15	16	17	18									Ar						
	Na	Mg	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					
	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					
	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					
	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													
	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110													

* 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

Legend - click to find out more...

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
Non-Metals	Transition Metals	Rare Earth Metals	Halogens
Alkali Metals	Alkali Earth Metals	Other Metals	Inert Elements

Tính chất của các nguyên tố hóa học có thể xem **ở đây**.

Ví dụ các nguyên tố nhóm IV

Element	Atomic Radius/Lattice Constant	Bandgap
(How closely spaced are the atoms?)		
C	0.91/3.56 Angstroms	5.47 eV
Si	1.46/5.43 Angstroms	1.12 eV
Ge	1.52/5.65 Angstroms	0.66 eV
α -Sn	1.72/6.49 Angstroms	~ 0.08 eV*
Pb	1.81/** Angstroms	Metal



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
55	Cs	56	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb

Bán kính nguyên tử và hằng số mạng càng nhỏ thì năng lượng liên kết (độ rộng vùng cấm) càng lớn.

Ví dụ chất bán dẫn (nhóm IV)

Type	Elements	Bandgap (E_g) /eV
IV	C	5.3
IV	Si	1.1
IV	Ge	0.7
IV	SiC	2.8

							0
							2
							He
		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
		5	6	7	8	9	10
		B	C	N	O	F	Ne
		13	14	15	16	17	18
		Al	Si	P	S	Cl	Ar
B	IB						
9	30	31	32	33	34	35	36
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	48	49	50	51	52	53	54
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	80	81	82	83	84	85	86
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Ví dụ chất bán dẫn (nhóm III-V)

Type	Elements	Bandgap (E_g) /eV
III-V	GaAs	1.4
III-V	GaP	2.3
III-V	InAs	0.4

			IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
			5	6	7	8	9	2
			B	C	N	O	F	He
			13	14	15	16	17	10
			Al	Si	P	S	Cl	Ne
B	IB							
9	30	31	32	33	34	35	36	
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
48	49	50	51	52	53	54		
Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
80	81	82	83	84	85	86		
Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		

Ví dụ chất bán dẫn (nhóm III-V)

Type	Elements	Bandgap (E_g) /eV
III-V	InN	0.7
III-V	GaN	3.4
III-V	AlN	6.3
	BN	5.2

										0
										2 He
		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA				
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
B	IB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
9 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn			

Ví dụ chất bán dẫn (nhóm II-VI)

Type	Elements	Bandgap (E_g) /eV
II-VI	CdS	2.6
II-VI	CdSe	1.7
II-VI	CdTe	1.5
II-VI	ZnS	3.6
II-VI	ZnSe	2.7

									0
									2 He
		IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA			
		5 B	6 C	7 N	8 O	9 F		10 Ne	
		13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl		18 Ar	
B	IB								
9 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br		36 Kr	
Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I		54 Xe	
Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At		86 Rn	

The End