

中等专业学校教学用书

电真空材料

M. A. 列别金斯基著



国防工业出版社

中等专业学校教学用书

电 真 空 材 料

M. A. 列别金斯基著

施容德、康文萃、顾林根译

国防工业出版社

1960

内 容 提 要

本书叙述电真空器件制造上所采用的各种主要电真空材料的性质及工艺特点。

本书在苏联是无綫电工业部工业学校的“电真空材料”教科书。书中所列述的材料也可供电真空企业工程技术人员实际工作时参考用。

苏联 М. А. Лебединский 著 ‘Электрoвакyумные материалы’ (Госэнергoиздат 1956 版)

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印张 8 $\frac{3}{8}$ 213 千字

1960 年 12 月第一版

1960 年 12 月北京第一次印刷

印数: 0,001—16,000 册 定价: (9-4)1.10 元

NO. 3129

目 录

前言	6
绪论	9
B-1 本课程的任务和意义	9
B-2 物质的构造原理	11
B-3 电真空器件和半导体器件的一般概念	17
B-4 电真空材料的分类和一般特性	21

第一篇 电真空金属与合金

第一章 主要性质与工艺特点	28
1-1 金属的导电性、发射和辐射	28
1-2 金属性能与其结构和加工的关系	31
1-3 金属内的扩散过程	34
1-4 电真空金属与合金的工艺特点	36
第二章 难熔金属与合金	40
2-1 难熔金属的一般性质	40
2-2 钨(W)	42
2-3 钼(Mo)	55
2-4 钽(Ta)和铌(Nb)	61
2-5 铼(Re)	65
2-6 钛(Ti)和锆(Zr)	67
2-7 难熔金属合金	72
2-8 难熔金属及合金的试验	74
第三章 非难熔金属与合金	75
3-1 镍(Ni)	77
3-2 铁(Fe)与碳素钢	85
3-3 铜(Cu)	89
3-4 铝(Al)	93
3-5 合金	96
第四章 特殊用途的金属与合金	102

4-1 碱金属	102
4-2 碱土金属和镁	104
4-3 汞 (Hg)	108
4-4 贵金属	110
4-5 焊料	112
4-6 磁性材料	118

第二篇 电介质材料和半导体材料

第五章 电介质的主要性能	125
5-1 电介质的结构特点和极化	125
5-2 介电常数	127
5-3 电介质的导电性	128
5-4 介质损耗	130
5-5 电介质的击穿	132
第六章 玻璃	134
6-1 玻璃状态和玻璃液的性质	134
6-2 电真空玻璃的分类及其化学成分	139
6-3 电真空玻璃的物理机械及化学性质	143
6-4 玻璃熔制工艺原理	150
6-5 玻璃制品的成型及退火	157
6-6 电真空玻璃的应用	167
第七章 真空陶瓷和云母	169
7-1 陶瓷的用途和主要要求	169
7-2 陶瓷的原材料	170
7-3 陶瓷的工艺原理	173
7-4 陶瓷的物理-化学性质	176
7-5 云母	178
第八章 塑料	181
8-1 用途和主要要求	181
8-2 原料	181
8-3 塑料制品的成形	185
第九章 半导体材料	187

- 9-1 半导体的结构和导电性 87
- 9-2 制备方法、性质和用途 190

第三篇 特殊电真空材料

第十章 与玻璃焊接的金属和合金	196
10-1 焊接结构及对金属与合金最主要的要求	196
10-2 与玻璃焊接的金属和合金的主要特性及应用	198
第十一章 发射材料和防热涂层材料	203
11-1 电真空器件的阴极	203
11-2 氧化物阴极的涂层材料	206
11-3 氧化物的物理-化学性质及应用	210
11-4 氧化钪阴极的制造和涂层材料	213
11-5 金属粉末	214
11-6 阴极涂层的成分	216
11-7 制造热丝的材料	220
11-8 光电发射材料	222
11-9 防热涂层材料	223
第十二章 消气剂	228
12-1 用途和主要要求	228
12-2 溅散消气剂	230
12-3 非溅散消气剂	234
第十三章 荧光质	237
13-1 基本特性和工艺特点	237
13-2 制造电子束荧光幕用的几种荧光质	240
第十四章 零件净化, 电镀, 油漆和打印用材料	243
14-1 零件净化材料	243
14-2 电镀材料	249
14-3 打印、油漆材料	251
第十五章 气体和气体燃料	252
15-1 充入器件和零件退火用的气体	252
15-2 气体燃料	260
附录	264

前 言

在苏維埃政权年代里建立起来的苏联无綫电工业，已經发展成为一個巨大的重要的工业部門，保證了国家在无綫电广播、电视、雷达、生产过程的远距离控制和自动化，以及科学研究等方面仪表和設備的需要。

在发展工业的同时，还建立了培訓中級工程技术人員的无綫电与电真空技术学校网。

在苏共二十次代表大会关于1956~1960年第六个发展苏联国民經济的五年計劃的決議中，規定要全力发展无綫电工业和仪表制造工业，使电真空器件的产量比1955年增加1.6倍。根据代表大会的決定，无綫电工业的发展，必須建筑在大力改良技术装备，提高精密度和改进所产器件质量的基础上。

为了完成苏共二十次代表大会所提出的任务，必須有大批通曉現代无綫电和电真空专业知識的干部。

但是，由于缺乏某些专业课程，其中包括《电真空材料》的教材，在培养干部上經常遇到困难。

关于現代电真空材料的知識常分散在許多学生不容易得到的文献、部定标准和厂定标准，以及科学研究机关等的报告中。

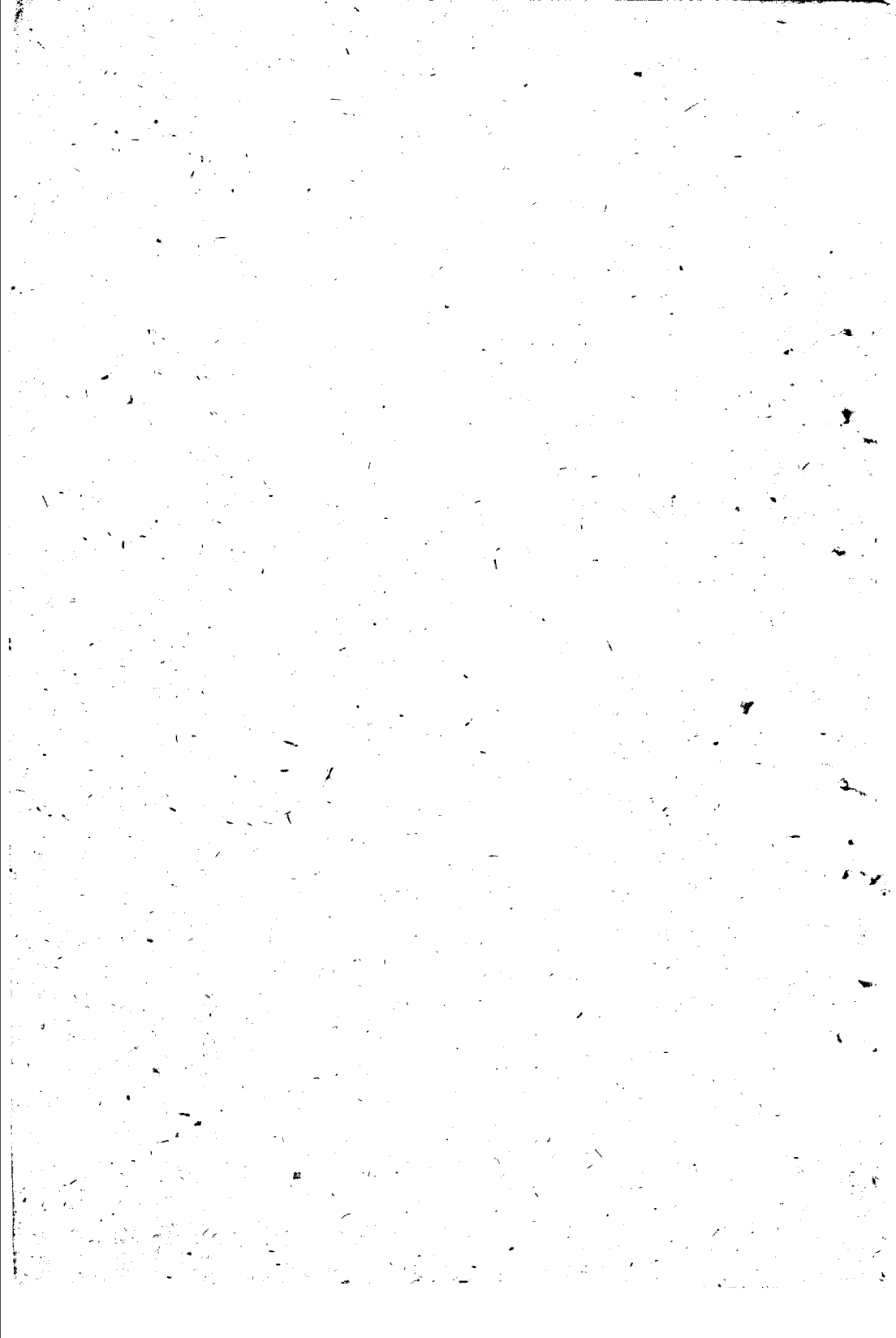
作者編写本书的目的是企图根据苏联无綫电工业部教育局审定的《电真空材料》教学大綱，将現代关于电真空材料方面的基本知識加以綜合。

由于这种工作在近年来尚系初次嘗試，故本书在術語、所引数据、定义等方面很可能有不正确之处，許多种电真空材料的知識也很可能遺漏或者不全面。作者非常感謝讀者們能指出这些缺点，并将自己的意見徑寄：莫斯科沿河大街10号，国家动力出版社（Москва, Шлюзовая набережная, дом № 10, Госэнергоиздат）。

作者对于原稿编写时提出宝贵意见的下列同志表示谢意：編輯E. Ф. 柯馬尔科夫教授，評論員Г. А. 先敏諾夫，E. Ф. 沙比罗，X. Г. 欣金娜，Л. Я. 斯莫克基，Т. И. 捷敏娜，O. Ф. 阿普霍夫斯卡娅，Л. И. 拉宾娜，Л. М. 雅斯奈，Т. С. 契尔年科夫，А. И. 米立尼科夫以及技术科学碩士П. И. 薩尔尼科夫，技术科学碩士A. B. 莫洛佐夫，技术科学碩士Л. А. 基馬申，工程師A. П. 伊叶夫列夫，工程師Г. М. 洛巴謝娃，工程師B. H. 巴迪金，工程師З. В. 薩維諾娃，工程師И. П. 馬克西姆娃，工程師H. Ф. 舒馬捷娃，P. M. 別尔思什欽。

作者对协助原稿出版并給予合作的下列同志同样表示谢意：歇尔科夫斯基电真空技术学校校长A. B. 图馬諾夫及教員O. M. 契哈切夫和B. A. 約文科。

M. 列別金斯基



緒 論

B-1 本課程的任務和意義

為了完成蘇共第二十次代表大會對蘇聯無線電工業和儀表製造工業所提出的任務，必須有大量能夠耐各種電、熱、機械及其他負載的材料。

代表大會指示中規定要大量增產高純度的有色金屬和稀有金屬，以保證電子學，無線電技術的進一步發展，以及耐熱合金的生產。

必須擴大對電真空器件製造具有重大意義的鈦和稀有金屬鎢、鎢、鈮、鉍等的生產。

我們對材料具有各種不同的要求，為了能夠正確地進行選擇和鑑定，必定要相當全面地研究材料的性能和技术規格。電真空企業的技术人員如果熟悉材料，就能更順利地解決生產過程中發生的各種工藝和結構問題。

因此，在電真空器件製造專業和電真空企業設備專業的技术人員培訓大綱內，就應該設立《電真空材料》這門獨立的課程。

電真空材料与电工材料不同，它們不但能够在一般的空气介质中，而且能够在溫度很高的真空或稀薄气体內耐電場和磁場的作用。

這些材料在解決以下一些重要的國民經濟問題時，是必不可缺的，如：全國無線電化，電視的發展，雷達生產過程的遠距離控制和自動化以及科學研究工作等。

在蘇維埃政權的年代里，我們一方面建立了巨大的電真空企業，同時又發展了必需的电真空材料的强大工業生產基地，因而在蘇聯無線電化的事業上，取得了眾所周知的成績。

由于苏联和国外的学者进行了巨大的工作和研究，电真空工业才得到了迅速的成长和发展。

这些工作的结果，不仅改善了已知的材料和扩展了它们的应用范围，而且使生产上掌握了许多性能优良的新材料。在我国电真空材料工业的发展史上，А. Ф. 約飞，С. А. 維克辛斯基院士，Б. М. 察列夫，И. И. 基达依高洛斯基，Н. П. 鮑高洛齐茨基，А. С. 柴依莫夫斯基教授等工作有着决定性的意义。

外国学者台斯曼和李查逊，爱斯貝和克諾尔，爱尔开和斯莱克，盖尔曼和維盖聶尔等人的工作为我国創造和改进許多新、旧电真空材料的生产，并奠定了基础。

考虑到材料在全国国民經济中的巨大意义，苏联政府不但关心相应生产单位的发展，而且还預防工业、农业、交通运输和邮电业将規格不符合現代要求的材料供应国民經济的这些部門。为此，苏联部长會議标准化管理局制定了国民經济中使用的各种材料的主要規格。这些規格具体表现在全苏国家标准 (ГОСТ) 中。在选择材料和鉴定其质量时，国家标准是最主要的，而且必須使用的文件。ГОСТ 中确定的材料規格是苏联各企业和組織必須遵守的。現在工业上使用的絕大多数材料，包括电真空材料在內，都有相应的 ГОСТ 加以保証。

对于某些具有較高特殊要求的材料，訂有部定标准。在这类文件中，規定了生产和使用这些材料的单位所必須遵守的材料規格。例如：通信器材工业部部定标准所規定的电真空玻璃的規格，就只适用于生产和使用这类玻璃的电真空工业企业。不过也有一些金屬和合金的部定标准，虽然由黑色和有色冶金企业生产，但却在其他有关部門的企业內使用。

企业內实行的技术条件是考虑到企业工作特点而制定的。它所規定的材料規格只适用于企业本身。

B-2 物质的构造原理

原子-分子理論 原子-分子理論是現代对于物质构造的認識的基础。根据这一理論，我們周圍的物质世界应看成是最简单的化学元素和其化合物的綜合体。現在这类元素总共有 101 个（見表B-1）。

著名的俄国科学家Д. И. 門捷列夫曾將化学元素按一定次序排列起来。他发现了元素性质的周期性，創造了奠定現代化学基础的元素周期表。

每种元素都是由最小的，质量和性质均相同的原子所构成。同类元素的原子质量和性质相同，异类元素的原子质量和性质不同。

由一种或几种元素的原子所組成的最小物质单位称之为分子。分子能够单独存在，而且保持該种物质之全部性质。不同物质的分子在所含原子类型、数量和其相互排列上均互不相同。在一定的溫度下，每种物质分子內的原子类型、数量，以及相互排列是完全一致的。

原子的构造 虽然原子是化学元素的最小单位，但是它仍然是一个复杂的系統，由带正电的原子核和繞核按一定軌道轉动的負电子所組成。电子电荷等于 1.602×10^{-19} 庫倫，其质量为氫原子质量的1837分之一。

按軌道圍繞带正电的原子核旋轉的电子数目等于Д. И. 門捷列夫周期表中元素的序号。

因为原子是中性的，所以原子核的正电荷数也等于周期表中元素的序号。

电子在繞核旋轉时，在原子結構內形成了許多电子壳层，各层与带正电的原子核間的距离是不相等的。

元素的大部分化学和物理性质皆与原子外层內的电子有关。这些电子的数目决定了元素化合成任何化合物的能力。外层內的电子数不能大于八个。

表 B-1

周 期	列	元 素					
		I-	II	III	IV	V	VI
1	I	H 1 氫 1.0080					
2	II	Li 3 鋰 6.940	Be 4 鈹 9.013	5 B 硼 10.82	6 C 碳 12.011	7 N 氮 14.008	8 O 氧 16.000
3	III	Na 11 鈉 22.991	Mg 12 鎂 24.32	13 Al 鋁 26.98	14 Si 矽 28.08	15 P 磷 30.975	16 S 硫 32.066
4	IV	K 19 鉀 39.100	Ca 20 鈣 40.08	Sc 21 鈦 44.96	Ti 22 鈦 47.90	V 23 鈦 50.95	Cr 24 鉻 52.01
	V	29 Cu 銅 63.54	30 Zn 鋅 65.38	31 Ga 鎵 69.72	32 Ge 鍺 72.60	33 As 砷 74.91	34 Se 硒 78.96
5	VI	Rb 37 鉀 85.48	Sr 38 銻 87.63	Y 39 鈾 88.92	Zr 40 鈦 91.22	Nb 41 鈮 92.91	Mo 42 鉬 95.95
	VII	47 Ag 銀 107.880	48 Cd 鎘 112.41	49 In 銻 114.76	50 Sn 錫 118.70	51 Sb 銻 121.76	52 Te 碲 127.61
6	VIII	Cs 55 銻 132.91	Ba 56 鋇 137.36	La 57* 釷 138.92	Hf 72 鈦 173.6	Ta 73 鉭 180.95	W 74 鈳 183.92
	IX	79 Au 金 197.0	80 Hg 汞 200.61	81 Tl 鉍 204.39	82 Pb 鉛 207.21	83 Bi 鉍 209.00	84 Po 鉷 210
7	X	Fr 87 鈷 [223]	Ra 88 鐳 226.05	Ac 89** 錒 227	(Th) 釷 鈷	(Pa) 釷 鈷	(U) 鈷 鈷

* 釷系

Ce 58 鈷 140.13	Pr 59 鈷 140.92	Nd 60 鈷 144.27	Pm 61 鈷 [145]	Sm 62 鈷 150.43	Eu 63 鈷 152.0	Gd 64 釷 156.9	Tb 65 鈷 158.93
----------------------	----------------------	----------------------	---------------------	----------------------	---------------------	---------------------	----------------------

** 錒系

Th 90 鈷 232.05	Pa 91 釷 231	U 92 鈷 238.07	Np 93 鈷 [237]	Pu 94 鈷 [242]	Am 95 鈷 [243]	Cm 96 鈷 [245]	Bk 97 鈷 [249]
----------------------	-------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

族				
VII	VIII			0
(H)				He 2 氦 4.003
9 F 氟 19.00				Ne 10 氖 20.183
17 Cl 氯 35.457				Ar 18 氩 39.944
Mn 25 錳 54.94	Fe 26 鐵 55.85	Co 27 鈷 58.94	Ni 28 鎳 58.69	
35 Br 溴 79.916				Kr 36 氪 83.80
Tc 43 錳 [99]	Ru 44 鈦 101.1	Rh 45 銻 102.91	Pd 46 鈷 106.7	
53 J 碘 126.91				Xe 54 氙 131.3
Re 75 銻 186.31	Os 76 銻 190.2	Ir 77 銻 192.2	Pt 78 鉑 195.23	
85 At 砒 [210]				Rn 86 氡 222

58-71

Dy 66 鐳 162.46	Ho 67 釷 164.94	Er 68 鉍 167.2	Tu 69 鈦 168.94	Yb 70 釷 173.04	Lu 71 鐳 174.99
----------------------	----------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------

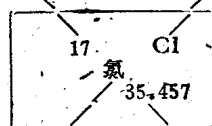
Cf 98 鐳 [249]	En 99 鐳 [253]	Fm 100 鐳 [255]	Mv 101 鐳 [256]
---------------------	---------------------	----------------------	----------------------

零族元素原子內各层电子
分布: 离开原子核的层次

1	2	3	4	5	6	7
2						
2	8					
2	8	8				
2	8	18	8			
2	8	18	18	8		
2	8	18	32	18	8	

原子序

符号



名称

原子量

周期表第一族内的元素，其原子的外层电子只有一个（H, Li, Na, K, Rb, Cs）。

这些元素所形成的化合物在物理和化学性质上均相似。

周期表第二族内的元素，其原子的外层电子有二个；第三族——三个；第四族——四个等等。上述各族元素在其所生成的化合物中分别为二价，三价等等。

随着周期表一族一族地不断往下，最外电子层逐渐填满，直到原子核和电子所构成的系统到达稳定状态，即最外层有八个电子时为止。

周期表零族元素——惰性气体是最稳定的，其原子外层的电子数恰巧是八个。

如按照原子的核电荷数将元素依次排列，电子层数目也将依次断增长，而价电子数就周期性地重复。这就是化学元素性质周期性的原因。

在外界作用（如加热和电压）的影响下，电子可以从较小半径的轨道向较大半径的轨道过渡，或者甚至飞出原子以外。在后一种情况下，原子失去了一个负电荷，而成为带正电荷的粒子，称之为正离子。

在一定的条件下，中性原子可以得到一个或几个电子，而成为带负电荷的粒子。带负电的原子称之为负离子。

分子的构造 根据分子内原子的数目，可分为单原子分子和多原子分子。单原子分子只由一个原子组成，例如惰性气体的分子。在多原子分子内，有着二个或二个以上的同类元素或异类元素的原子。由几个同类元素的原子所组成的分子就如氢 H_2 ，氮 N_2 ，氧 O_2 ，臭氧 O_3 等。多原子分子内还包括许多化合物的分子，如盐，酸，碱，有机化合物的分子等等。

在研究各种物质的性质时，多原子分子内原子间化合键的产生性质具有重要的意义。

周期表内有一些元素，它们原子外层内的电子数目接近于八

个(第七族的F, Cl, Br, I, 第六族的O, S, Se等)。这些原子具有吸取附加电子, 形成稳定的八个电子的外层之特性。另一方面, 外层内电子数接近于一或等于一的元素(第一族的Na, K; 第二族的Ca, Mg; 第三族的Al等), 它们的原子就比较容易交出电子, 变成带正电的离子, 因为在这些元素的原子内, 外层电子与原子核的结合比较薄弱。

当容易吸附加电子的原子和容易交出电子的原子起化学作用时, 就形成了二种电性相反的离子。按照静电学原理, 这些离子将相互吸引而生成分子。分子中这样的原子化合键称之为离子键或电价键。

氯化钠分子内氯原子和钠原子的化合键就是离子键。这时, 最外层有七个电子的氯离子将吸取钠原子的一个电子, 而成为有稳定的八电子外层的负氯离子。

外层内有一个电子的钠原子非常容易失去这个电子, 而成为带正电的钠离子。这时, 具有八个电子的次层就成了最外电子层。

在带正电的钠离子和带负电的氯离子的静电作用下, 形成了氯化钠分子。

对于由几个同类元素的原子或者吸引价电子的力量相近的异类元素的原子所组成之分子, 其原子间化合键的产生是不能用电子从一个原子过渡到另一个原子, 以及电性不同的离子之静电作用来解释的。在这种情况下, 形成分子的原因如下: 电子并不完全从一个原子过渡到另一个原子, 而是为各个原子所共有, 即同时填满各原子的外层, 直到此层具有八个电子为止。从这种观点来看, 由二个原子所组成的氧分子的结构可用图B-1所示图形表示。

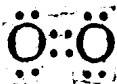


图 B-1

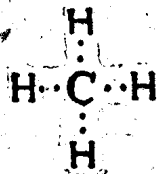


图 B-2

图内黑点代表电子。从图中可以看出, 氧分子内的二个原子

是由二对为二个原子所共有的电子来連結的。这二对电子填满了每个原子的外电子层，从而形成稳定的八个电子的系统。原子間的这种化合鍵称之为共价鍵或合价鍵。

在某些化合物內，如甲烷，原子間也是共价鍵，其分子結構如图 B-2 所示。

在甲烷分子里，碳的四个电子的外层被四个氢原子的电子所填满，形成了四对电子。每对电子都是碳原子和氢原子所共有的。

在上面所举的共价鍵例子中，电子对均匀地分属于二个原子，对称分布在原子之間，符号相反的电荷的重心是重合的。这类共价鍵的分子称之为中性分子。但是还存在着另一些共价鍵化合物，其內电子对从属于某原子的程度强于另一原子。在这些分子中，电子对是不对称地分布在原子之間，正负电荷的重心也不相重合，相互間有着一定的距离。因而分子的一端带有过剩的正电，另一端——负电。这类共价鍵的分子称之为极性分子或偶极子。这些分子的极性大小取决于偶极矩，后者乃是电荷数值与正负电荷重心間距离的乘积。水，酒精和其他許多化合物的分子都是偶极分子。

在金屬的原子里，价电子与原子結合很弱，非常容易从一个原子轉到另一个原子，这就是金屬的某些特性，如导电性和导热性的原因。因此，金屬可看成是該金屬的离子和在离子間运动的自由电子所組成的系統。这类化合鍵称之为金屬鍵。

第四种化合鍵即所謂剩余鍵或范德华耳鍵，这种鍵比金屬鍵更弱。下列物质，如低溫时的固态惰性气体，熔点低而机械强度小的許多有机化合物：石蜡，萘等都是剩余鍵。

在創立現代物质結構理論方面，許多俄国学者的工作有着重要的意义。M. B. 罗蒙諾索夫第一个在科学中引进了分子——由原子組成的最小物质微粒——的概念。早在証实原子复杂性和原子結構的文献发表之前，Д. И. 門捷列夫就发现了周期律，創造了系統的元素周期表。A. M. 布特列洛夫是化学結構理論的創始者。根据布特列洛夫的理論，一种物质的分子应看成是按一定相