

无綫电材料

Г. И. 拉勃欽斯卡婭著



國防工業出版社

这本“無線电材料”以导体、半导体、电介質及磁性現象的物理概念为基础，闡述了無線电材料的物理机械性能、化学性能、电及磁的性能；介紹了有关材料生产的工艺和应用范围的知識；敘述了測量無線电材料性能的方法及这些性能与温度、湿度和压强的关系。

本書經苏联無線电工業部学校管理局审定为無線电工業部中等技术学校教科書。在我国，适宜做高等專業学校及中等技术学校的教科書和教学參考書。

苏联 Г. И. 拉勃欽斯卡娅 著 'РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ' 一書 (ГОСЭНЕРГОИЗДАТ • 1956 年二版)

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
北京市印刷一厂印刷 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{32}$ 11 $\frac{1}{2}$ 印張 219 千字

1959 年 4 月第一版

1959 年 4 月第一次印刷

印数：00,001—12,100册 定价：(11) 1.75 元

№ 2.94 統一書号：15034.328

目 录

序	7
本書所用的符号	8
第 一 章 緒 論	9
§ 1-1 原子的結構	9
§ 1-2 由原子組成分子	13
§ 1-3 由分子組成物質	16
§ 1-4 物質的狀態	18
§ 1-5 物質的分類	19

第一編 电工絕緣材料

第 二 章 电工絕緣材料的性能	20
§ 2-1 电介質的重量	20
§ 2-2 电介質的吸湿性	21
§ 2-3 电介質的热性能	24
§ 2-4 电介質的粘度和化学性能	29
§ 2-5 电介質的机械性能	31
§ 2-6 極化現象和电容率	36
§ 2-7 电介質的电导率和电阻率	38
§ 2-8 电介質中的能量損耗	40
§ 2-9 电介質的击穿	44
§ 2-10 气候的試驗	45
第 三 章 气态与液态电介質	47
§ 3-1 气态电介質的物理概念	47
§ 3-2 气态电介質	51
§ 3-3 液态电介質的物理概念	53
§ 3-4 液态电介質	55
第 四 章 固态电介質	59
§ 4-1 固态电介質的物理概念	59

§ 4-2	蠟狀物質	63
§ 4-3	高分子化合物	67
§ 4-4	低頻高分子電介質	70
§ 4-5	高頻高分子電介質	80
§ 4-6	漆	84
§ 4-7	軸和复合膠	90
§ 4-8	電工用絕緣糊膠和油灰	92
§ 4-9	柔韌的皮膜	96
§ 4-10	纖維材料	97
§ 4-11	玻璃	102
§ 4-12	陶瓷的生產過程	107
§ 4-13	裝置用陶瓷	117
§ 4-14	電容器用陶瓷	123
§ 4-15	礦物與岩石	128
§ 4-16	塑料	132
§ 4-17	低頻塑料	141
§ 4-18	高頻塑料	145
第 五 章	壓電體及賽格涅特電體	148
§ 5-1	壓電體	148
§ 5-2	賽格涅特電體	152

第二編 半 導 體

第 六 章	半導體的性能	155
§ 6-1	半導體的物理概念	155
§ 6-2	半導體化學元素	160
§ 6-3	單向導電現象	162
第 七 章	半導體的應用	164
§ 7-1	半導體整流器	164
§ 7-2	半導體二極管	167
§ 7-3	半導體三極管	169
§ 7-4	半導體熱性能的应用	171
§ 7-5	非線性電阻及吸能材料	174

§ 7-6 光电体	175
§ 7-7 发光体	178
§ 7-8 电工用碳制品	180

第三編 导 体

第八章 金屬	182
§ 8-1 金屬的物理概念	182
§ 8-2 具有高电导率的金属	189
§ 8-3 变阻器及电阻用合金	198
§ 8-4 电热器用金属和合金	200
§ 8-5 鋅料	202
§ 8-6 触头材料	204
第九章 电纜制品	207
§ 9-1 电纜制品概述	207
§ 9-2 裸导綫	209
§ 9-3 繞組用导綫	209
§ 9-4 裝置用导綫和电綫	212
§ 9-5 低頻电纜	214
§ 9-6 高頻电纜	217

第四編 磁性材料

第十章 磁性材料的性能	223
§ 10-1 在恒定电流下磁性材料的性能	223
§ 10-2 在交变电流下磁性材料的性能	225
§ 10-3 磁性的物理概念	228
第十一章 鉄磁材料	231
§ 11-1 永久磁鉄用硬磁材料	231
§ 11-2 具有高磁导率的低頻軟磁材料	238
§ 11-3 具有高磁感应的低頻軟磁材料	243
§ 11-4 高頻軟磁材料	250
§ 11-5 具有特殊磁性能的材料	255
第十二章 实验	257

§ 12-1 实验 1	257
§ 12-2 实验 2	259
§ 12-3 实验 3	260
§ 12-4 实验 4	262
§ 12-5 实验 5	264
§ 12-6 实验 6	268
§ 12-7 实验 7	272
§ 12-8 实验 8	275

序

电气技术和無線电技术、自动裝置和遙控技术、仪器制造、通訊設備等的飞速發展，在旧有的电气材料及無線电材料的改善方面和新的电气及無線电材料的加工方面，已經給材料学提出了和正在提出一系列嶄新的任务。

在無線电設備制造中所采用的材料，称为無線电材料。对無線电設備的制造來說，無線电材料的意义是非常巨大的，因为，可以計算和設計出一种非常完善的無線电設備，然而，沒有合适的材料，新的設計則不可能付諸实现。

苏联專家們在电气材料及無線电材料方面的劳动，使得能够在較短的时期內保証祖国电气工業空前地增長，和为提前完成偉大的列宁的国家电气化計劃創造了条件，以及以最完善的通訊設備和自动裝置仪器、远距离控制仪器等来武裝我們的国民經济。

这本無線电材料課本分成四个主要部分：电介質、半导体、导体和磁性材料。在本書的最后，作了关于实验的敘述。所引用的全部实验，是以工業中广泛地生产的設備为基础的。

Е.Ф.克馬尔柯夫教授校閱了本書的手稿，作者在此謹向他表示謝意。

作者

本書所用的符号

α ——温差电势系数;	H ——磁場强度;
γ ——电导率;	h ——厚度;
λ ——热导率;	I ——电流强度;
δ ——损耗角;	l ——长度;
ϵ ——电容率;	m ——質量;
η ——粘度系数;	P ——功率;
$\bar{L}$ ——相对伸长;	p ——压强;
μ_a ——起始导磁率;	Q ——电容器的电荷;
μ ——圆極矩; 导磁率;	R ——电阻;
μ_m ——最大导磁率;	R_t ——热阻;
ρ ——电阻率;	r ——半径;
ρ_v ——体积电阻率;	S ——面积;
ρ_s ——表面电阻率;	T ——硬度;
ρ_t ——热阻率;	t ——按照百度温标的温度;
σ_c ——抗压强度;	t_n ——熔化温度;
σ_p ——抗拉强度;	t_o ——閃燃温度;
σ_u ——抗弯强度;	t_p ——耐热性;
τ ——时间;	t_M ——耐寒性;
φ ——空气的相对湿度;	U ——电位差;
Δ ——功;	V ——体积;
B ——磁感应, 吸水率;	w ——吸湿性;
C ——电容量;	TK ——温度系数;
D ——密度;	TK_l ——线胀温度系数;
d ——直径;	TK_v ——容胀温度系数;
E ——电场强度;	TK_ϵ ——电容率的温度系数;
F ——力;	TK_μ ——导磁率的温度系数;
f ——电流的频率;	TK_ρ ——电阻率的温度系数。
G ——重量;	

週期	列	元 素 的					
		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 28.09	15 P 磷 30.975	16 S 硫 32.066
4	IV	K 19 鉀 39.100	Ca 20 鈣 40.08	Sc 21 釷 44.96	Ti 22 鈦 47.90	V 23 釩 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 銣 87.63	Y 39 釷 88.92	Zr 40 鋯 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 銦 114.76	50 Sn 錫 118.70	51 Sb 銻 121.76	52 Te 碲 127.61
6	VIII	Cs 55 銫 132.91	Ba 56 鋇 137.36	La 57* 釷 138.92	Hf 72 鈦 178.6	Ta 73 鉭 180.95	W 74 鎢 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 鈽 [223]	Ra 88 鐳 226.05	Ac 89** 釷 227	(Th)	(Pa)	(U)

* 釷 系

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

** 釷 系

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

表 1-1 中方括弧 [] 內之數字表示最安定的同位素之質量。——譯者

近原子中心的壳層，則其电子与核联系得愈牢固。

受到外界作用的影响，例如其他原子、电子或离子的碰撞，任何一層的电子都能够从一層过渡到其他層^①。如果受到这类碰撞的作用，电子从較接近核的一層过渡到离核較远的一層，則通常所謂原子“受激發”。然而，电子力求回复起始的稳定結構，通常能够返回它原来所离开的軌道；这时在受激时所获得的过剩之能量，將以一定頻率的电磁振盪，被称为光子之形式从原子中放出。当光子的波長和可見光譜的波長相当时，則这些振盪可使人感觉到如光的振盪。

§ 1-2 由原子組成分子

圍繞着我們的世界，除原子以外还包含着由原子結合所組成的更复杂的質点，这样的質点被称为分子。

能保持物質全部性能的該物質最微小質点称为分子。

分子可以是單原子的，即是由某种化学元素(H, O, Cl 等等)的一个原子所組成的，也可以是多原子的，即由不止一个原子組成的。例如：水—— H_2O ——是多原子分子，它由兩個氢原子和一个氧原子所組成，而甲烷—— CH_4 ——气体的分子則含有一个炭原子和四个氢原子。也有多原子分子是含有几千个或几十万个原子的。它們称为巨形分子。

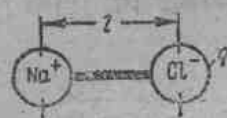


圖 1-2 NaCl 的分子。

由于出現所謂离子鍵和共价鍵的結果，原子乃組成了分子。

离子鍵也称为異極鍵、極性鍵和电价鍵，它是以分子本身的異号电荷間之吸引力为基础的。为了闡明离子鍵，我們將金屬鈉

^① 事实上当原子受激时其电子只可能从离核較近的一層，过渡到离核較远的一層，与此情况相反的运动只有当受激电子还原时才会出現，否則电子不可能从离核較远的一層过渡到离核較近的一層，因为那里没有可以容納它的軌道，故原書此处是不够严密的。——譯者

和氯接触。鈉是門捷列夫週期表中的第一类元素，因此在原子的外層只有一个电子，是很易失掉电子的原子。氯屬於週期表中的第七类，故具有七个价电子。当鈉原子和氯接触的瞬間，鈉原子的价电子为强有力的氯原子所吸去。失掉电子的鈉原子便变成了正离子 (Na^+)，而获得过剩电子的氯原子則变成了負离子 (Cl^-)。由于異号电荷間的引力，鈉离子將和氯离子相吸引。乃組成了新的食鹽分子 Na^+Cl^- ，如圖 1-2 所示，圖中黑綫表示異号离子間之吸引力，小圓圈則表示离子。离子是組成这种分子的基础，由于異号电荷間之吸引力乃产生了分子。因此这种鍵叫做离子鍵或極性鍵，而分子本身則称为离子性分子。

每一个离子性分子本身就是一个偶極子，也就是由正負两种極性所組成的。它决定于偶極矩 $\mu = ql$ ，式中 q ——分子中离子的电荷， l ——該分子中相吸引着的正負电荷的中心之間的距离 (圖 1-2)。离子的电荷是 CGSE 單位 10^{-10} 数量級，分子内离子間的距离是 10^{-8} 厘米数量級，因此分子偶極矩約为 CGSE 單位 10^{-18} 数量級。

共价鍵也称为类極性鍵和同价鍵，这是各个原子的价电子之联合，組成了共有的电子壳層。由共价鍵組成的分子可以举氫分子为例，因为当两个原子接触时由于这两原子的价电子受到兩核

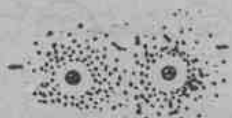


圖 1-3 由于共价鍵的結果所組成的 H_2 分子。符号+表示原子核，符号-表示电子。

同样的引力而使它們联合起来，組成了双原子分子 H_2 ，示于圖 1-3 中。在这个分子中价电子圍繞着两个核組成了共有的电子壳層，因此这样的鍵被叫做共价鍵。

圖 1-4 中示出具有共价鍵的这类分子，圖中用簡單的綫条簡化了电子的联结。圖 1-3 和 1-4 可以看出，像 H_2 、 CH_4 类

型的对称分子，正負电荷的作用中心相重合；因此，它們的偶極矩 $\mu = ql = 0$ (因为 $l = 0$)。这些分子称为中性分子，因为它們的固有電場等于零；对外界空間它們显示得正如不帶电荷的質点。

CH_3Cl 分子 (圖 1-4) 是不对称的，因为沒有被統一的氯的价电

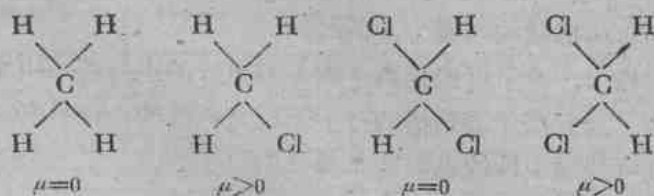


圖 1-4 由共价鍵所組成的分子。

子在分子的一部分組成过多的負电荷。这种分子中正負电荷的作用中心不相重合，因此 CH_3Cl 分子將組成 $\mu>0$ 的偶極矩。由于存在偶極性，这种分子具有固有電場，以及对外界空間显得它好像是由正負电荷所組成的，因此具有使其它电荷吸附于其本身的能力。

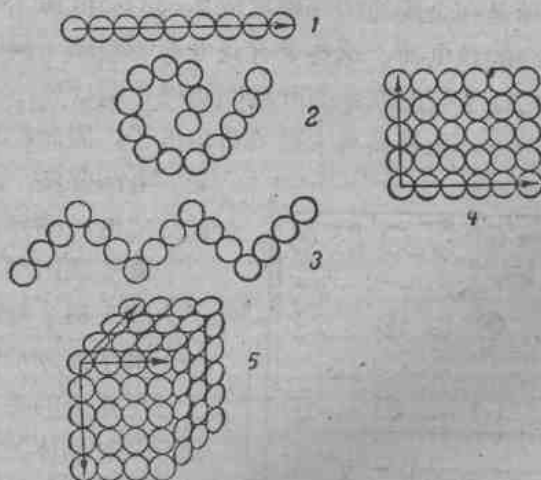


圖 1-5 各种形式的巨型分子：

1—綫形分子；2—螺旋綫形分子；3—鋸齒形分子；4—二維的分子；5—三維的分子。

由几百个，有时甚至几十万个原子組成的巨形分子，在分子之中佔有独特的地位。巨形分子具有最多种多样的形式。它們可能是單維的——根据鏈所具有的形式，可以是綫形的（圖 1-5 的 1），卷成螺旋形的（圖 1-5 的 2），或鋸齒形的（圖 1-5 之 3）；可能是二維的——片狀的（圖 1-5 的 4）；可能是三維的——各

式各样的立体形状的(圖 1-5 的 5)。

必須指出, 分子可能是由于离子鍵組成的也可能是由于共价鍵組成的。具有离子鍵結構的分子永远是極性的, 而具有共价鍵的分子則可能是中性的也可能是極性的。

§ 1-3 由分子組成物質

由于分子的異号电荷間所發生的極性鍵的作用, 乃产生了物質的分子之聯結。这鍵可能是金屬鍵、共价鍵、离子鍵或剩余鍵。

金屬鍵是金屬的結構基础。金屬体是原子組成的, 这些原子的价电子^①彼此互相联系着。在这种結構中每一个价电子^②是属于好几个原子的, 因此和原子核是联系得不好的。当对金屬加上电位差时, 即是在金屬塊的一端組成多余的正电荷, 而于相反的一端組成多余的負电荷, 这些帶有負电荷的与原子核联系弱的电子, 失掉了与原子核的联系而开始向正电荷端迁移, 于是便引起了电流(圖 1-6)。金屬具有大量的自由电子, 因此在其中出現很大的电流强度。这样的物質被称为电流的导体。

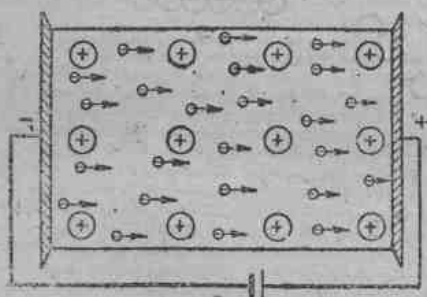


圖 1-6 金屬的結構。

这样的物質被称为电流的导体。

离子鍵出現于离子性分子之間。离子鍵的本性就存在于离子性分子本身。由离子鍵所組成的物質可以举食盐 Na^+Cl^- 晶体为例。在 §1-2 中曾經指出, Na^+Cl^- 分子是由正的 Na^+ 离子和負的

Cl^- 离子所組成的, 它是具有偶極矩的, 亦即对外界空間显示得自己正如由正負兩种电荷所組成的質点。由于这种質点是極性的, 故將能使其其他帶有相反極性的質点吸向自己。如果在某一体积中存在很多数目的 Na^+Cl^- 分子, 則 Na^+ 离子將吸引其它分子的 Cl^-

① 原書此處將价电子泛指为电子。——譯者

② 參看註①。——譯者

离子以組成 Na^+Cl^- 分子，于是便組成了晶体。在圖 1-7 中示出，一个分子（圖 1-7 的 1）联結上第二个分子（圖 1-7 之 2），然后再結上两个（圖 1-7 之 3）类推下去，直至組成了整个空間形的晶粒（圖 1-7 的 4），然后直至組成了立方形的整个晶体。

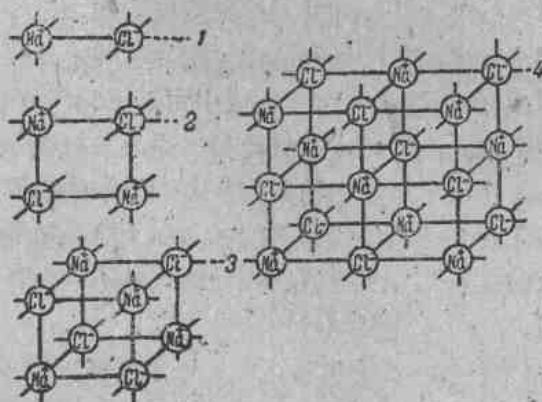


圖 1-7 由离子鍵組成了 NaCl 晶体。

由离子性分子組成的物質以及其分子之間具有离子鍵的物質被称为离子性物質。

离子性物質是以無機物質、通常是地面上的非生物界物質居多。这是氧化物、酸、鹼、氮化物和炭化物等等。

离子性物質沒有自由电荷，因为它们們的电荷以离子鍵的方式彼此牢固地联結着。而它們的价电子則紧密地被保持于原子的电子壳層中。因此在固态的离子性物質上加以外電場时，不能产生电流，它們乃是电流的非导体，我們称之为电介質。具有离子鍵的物質之特点是机械强度大，熔点和沸点高。

剩餘鍵是具有对称电荷分佈的中性分子的結構基础；这类分子在电的状态上是中性的，因此它們之間不應該有联系。实际上所有中性分子之間的联系是存在的。这个可解釋如下：中性分子之电荷不是严格稳定的，而是不断地振动着。因此在分子的一部分造成了暂时性的某种电荷的偏多。这样的分子有些像振动着的偶極子，因而彼此吸引着，然而这种分子的联結力是非常弱的。

的範圍內作振動式的運動。因此固體具有固定的外形，這種情況在液體中是沒有的，因為液體的分子沒有在一定的位置被固定着。

根據分子有規律地分佈的特點和程度，固體物質可分為晶態或無定形態。

在晶態中分子規律地對稱地分佈着，組成了有方向的體系（圖1-7）。晶體的性態（機械強度，折光係數等等）是按照各個方向而不同的——它們是各向異性的。

在無定形態中，分子毫無秩序地分佈着，在整個物體中組成了均一形式的結構，因此無定形體的性態在所有方向都是一樣的——它們是各向同性的。

§ 1-5 物質的分類

所有的物質根據其導電程度可以區分為電流的非導體、半導體、導體和超導體。

具有為數不多的、未被分子束縛的自由電荷之物質，稱為非導體或電介質，它們具有自 10^{10} 至 10^{20} 歐姆厘米的電阻率。隨着溫度的上升它們的電阻會下降。在電介質中出現的電場可以長期地存在。

具有堅固的離子鍵或共價鍵的所有純淨的（不含雜質的）固態物質，都是電介質。液態電介質只可能是具有共價鍵的物質。

半導體居於導體和電介質的中間。具有電阻率為 10^{-3} — 10^{10} 歐姆厘米數量級的物質屬於半導體。這些物質具有較弱的共價鍵或離子鍵。因此受到熱、光和與此類似的能使分子運動加速的作用時，在其中，部分電荷解放了，於是發生電導的提高。含有為數很多的導電雜質之電介質，也是屬於半導體。

導體——這是擁有很多自由電荷的物質，具有電阻率約為 10^{-6} — 10^{-3} 歐姆厘米。發生於導體中的電場一瞬間就會消失掉；導體的電阻隨着溫度的升高而增加。液態和固態的金屬、液態的離子性物質和離子的溶液，以及強電離的氣體，這些都是導體。

超導體——這是具有小到不可量度的、接近於零的電阻之物質。超電導性只可能出現於溫度接近於絕對零度時。在許多金屬、合金和化合物中都發現有超電導性。

第一編 电工絕緣材料

第二章 电工絕緣材料的性能

§ 2-1 电介質的重量

从重量和所佔据的体积这个角度评价材料时，可按照密度、体积密度和比重三种性能来进行。

密度 D_t ——没有空孔的实体材料单位体积中的質量，測量时的溫度是 t ，可用下列公式計算：

$$D_t = \frac{m}{V} \text{ (克/厘米}^3\text{)}, \quad (2-1)$$

式中 m ——称得的材料样品（没有空孔）的質量；

V ——該样品的体积。

体积密度，或叫散粒重量——多孔性物質单位体积的質量。体积密度用类似测密度的方法来測量。体积密度是評定紙、紙板、粉末狀材料等用的。

比重 $d_{t_1}^{t_2}$ ——是一个無名数，等于物質的質量与該材料所排开的水的質量之比值，也就是：

$$d_{t_1}^{t_2} = \frac{m_1}{m_2}, \quad (2-2)$$

式中 m_1 ——当溫度为 t_2 时在分析天平上所称得的物質之質量；

m_2 ——当溫度为 t_1 时，被物質所排开的水的質量。

比重用一無因次的單位表示。在 4°C 时 1 厘米³ 水的重量为 1 克，因此当 $t_1 = 4^\circ\text{C}$ ，比重的数值將等于密度。

气体电介質的比重約为 0.0010 克/厘米³，液体約为 0.9—1.5 克/厘米³，固体約在 5 克/厘米³ 以內。

§ 2-2 电介質的吸湿性

我們周圍的所有物質都或多或少地吸收水分。吸湿性是由于物質的極性結構的分子，对水分的吸引而引起的吸收水分能力。水具有極性分子，因此它为極性物質的分子所吸引。这种吸引的例子如在玻璃表面上的水滴，玻璃是离子性电介質；又如浸在水中的具有極性分子的棉織物之吸收水分。唯有具有中性分子結構的物質才不吸收水分。因此在中性物質中，例如石蜡，經過水分作用以后，仍然不存在潮气。

材料吸收水分的数量和其多孔性有关，对致密的極性材料，水分只能在其表面組成一層薄膜，如果是多孔性的極性材料則除了表面复盖一層水分以外，水分还会滲入孔中。

材料中存在水分时，將改变其性能。例如多孔的極性电介質受潮时会变成半导体，粘液纖維在水中的机械强度比干燥时减小一半。因此，求出某种材料中吸收了多少数量的水分是非常重要的。从吸水量的观点来評判材料，便出現了下面几种性能：如吸水性、吸湿性和湿度。

吸水性 B 是当干燥的材料放置于水中时，單位重量中所吸收水份的百分值。为了測得吸水性，將重 5—10 克的材料試样干燥到完全驅除水分（直到重量不改变），称得其重量，然后浸沒于蒸餾水中 24 小时；揩干后重新称得其重量以后，再用下列公式計算吸水性 B ：

$$B = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100 [\%], \quad (2-3)$$

式中 G_1 ——吸水試样的重量（克）；

G_2 ——干燥試样的重量（克）。

中性电介質的吸水性約为 0—0.05%，而極性电介質則和它的多孔性有关，有些極性物質如紙，它的吸水性可达到 60%。

吸湿性 Γ 是当干燥的材料置放于相对湿度为 97—100% 的环境中，也就是飽和水蒸汽的空間中，單位重量所吸收水份的百