

内 容 简 介

本书重点讲述了与电镀有关的化学和电化学原理，并应用这些原理系统叙述了电镀溶液的组成、配制及电镀工艺过程。在叙述电镀工艺时，着重于电镀溶液的维护，故障判断和排除方法等。

本书内容丰富，实用性强，讲解由浅入深，很适 合 我国目前电 镀 工人的水平。可供一般电镀工人阅读，也可供电镀技术人员参考，还可作为电 镀 技术培训教材。

电镀基本原理与实践

曾华樑 吴仲达 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $13^{3/8}$ ·字数293千字

1986年10月北京第一版·1986年10月北京第一次印刷

印数 0,001—7,050·定价2.80元

*

统一书号：15033.6405

目 录

第一章 物质的基本概念	1
一、物理变化和化学变化	1
二、纯物质和混合物	1
三、分子和原子	2
四、原子结构	3
五、元素、元素符号和分子式	4
六、化学键与分子的形成	5
七、化合价	6
八、原子量和分子量	6
九、摩尔、摩尔质量	7
十、化学反应方程式	7
十一、氧化-还原反应	8
第二章 金属的性质与镀层的选择	9
一、金属的物理性质	9
二、金属的化学性质	13
三、合金	17
四、镀层与基体的配合	18
第三章 溶液	22
一、溶液的概念和溶解过程	22
二、饱和溶液、溶解度	23
三、溶液的浓度表示法	25
四、溶液浓度的相互换算	29
五、溶液中进行的反应量的计算	32
六、分散系与胶体溶液	33
第四章 电解质溶液和碱、酸、盐	36
一、电解质和非电解质	36

V

二、强电解质和弱电解质	37
三、碱、酸、盐	39
第五章 弱电解质的电离平衡	51
一、平衡的概念和平衡常数	51
二、电离平衡常数	53
三、水的电离和溶液的pH值	56
四、同离子效应与缓冲溶液	58
第六章 沉淀——溶解平衡	62
一、难溶电解质的沉淀——溶解平衡与溶度积	62
二、溶度积与溶解度的关系	64
三、影响沉淀——溶解平衡的因素	66
四、沉淀的溶解	67
五、沉淀反应的某些应用	69
第七章 水解平衡	72
一、各类盐的水解	72
二、影响水解的因素	78
第八章 络合平衡	80
一、络合物的基本概念	80
二、络合物的离解平衡	85
三、络合物在电镀中的作用	91
第九章 电镀过程中的电化学	94
一、电镀过程的简单分析	94
二、电镀溶液的导电性能	99
三、电极电位	106
四、电极极化和过电位	115
第十章 除油原理	127
一、油污的种类	127
二、除油基本原理	128
三、除油剂与基体的相互作用	134

四、物理因素在除油中的作用	136
第十一章 酸洗原理	139
一、黑色金属酸洗的原理	139
二、铜和铜合金零件酸洗的原理	144
三、其它金属使用酸浸蚀的原理	146
第十二章 电镀溶液的基本构成	148
一、非络合型镀液的基本构成	148
二、络合型镀液的基本构成	150
三、镀液中各种基本成分的作用	152
四、添加剂	154
第十三章 溶液的配制和调整	157
一、溶液中各成分含量的计算	157
二、溶液的配制	160
三、溶液的调整	168
第十四章 电镀过程及其一般原理	171
一、电流通过电镀溶液时引起的变化	171
二、电流在阴极上的分布	183
三、金属在阴极上的分布	190
四、金属的阴极沉积过程	190
五、阳极过程	197
六、析氢对电镀过程的影响	201
第十五章 去除杂质时依据的化学物理原理	202
一、金属杂质的去除	202
二、非金属无机杂质的去除	207
三、有机杂质的去除	209
第十六章 镀前准备	212
一、除油	212
二、酸浸蚀	217
三、镀前处理工艺流程	220

VI

第十七章 镀铜	222
一、氰化物镀铜	223
二、硫酸盐镀铜	228
三、焦磷酸盐镀铜	237
四、钢铁件无氰镀铜前的预处理	242
第十八章 镀镍	244
一、硫酸盐-氯化物镀镍	245
二、氨基磺酸盐镀镍	261
三、柠檬酸盐镀镍	262
四、复合镍	263
五、黑镍	264
第十九章 镀铬	266
一、镀铬溶液的类型和镀铬工艺规范	267
二、镀铬的简单原理	270
三、镀铬溶液的配制	273
四、镀铬溶液的日常维护	273
五、防护-装饰性镀铬	278
六、自动调节镀铬	281
七、镀硬铬	282
八、滚镀铬	284
九、松孔镀铬	285
十、镀黑铬	286
第二十章 镀锌	288
一、锌酸盐镀锌	288
二、铵盐镀锌	293
三、氯化物镀锌	298
四、氰化镀锌	300
五、硫酸盐镀锌	302
六、钝化	303

第二十一章 镀锡	310
一、碱性镀锡	310
二、硫酸盐镀锡	314
三、其它镀锡溶液	318
四、有关镀锡的其它问题	319
第二十二章 镀金	321
一、亚硫酸盐镀金	321
二、柠檬酸盐镀金	324
三、氰化物镀金	326
四、彩色金	327
五、脉冲镀金	328
第二十三章 镀银	329
一、氰化物镀银	329
二、无氰镀银工艺简介	332
三、镀前和镀后处理	332
第二十四章 合金电镀	338
一、概述	338
二、镀铜锡合金(青铜)	339
三、镀铜锌合金(黄铜)	343
四、镀铅锡合金	348
五、镀锌镍铁三元合金	352
六、镀镍铁合金	355
第二十五章 化学镀	359
一、化学镀镍	360
二、化学镀铜	365
第二十六章 塑料电镀	369
一、电镀对塑料件的要求	369
二、ABS塑料的电镀	373
三、聚丙烯的电镀	384

第一章 物质的基本概念

一、物理变化和化学变化

在日常生活和电镀生产中，我们碰到大量的形形色色的物质，这些物质是在不断地运动和不断变化的。物质发生的一切变化都可分为物理变化和化学变化两大类。所谓物理变化是指物质仅仅发生外形和状态等的变化而没有某些物质的消失，也没有另一些新物质的产生。如把水加热到 100°C ，它就沸腾并转变为蒸汽。蒸发就是物理变化。所谓化学变化是指变化过程中有旧物质消失和新物质产生的变化。如铁氧化后生成的物质完全失去了铁的性质，而生成了一种新的物质，所以这一变化就是化学变化。

物质的某些性质要在化学反应时才表现出来，这类性质叫做化学性质。例如酒精能燃烧，铁能生锈，铜能和硝酸作用等都是这些物质的化学性质。物质的另一类性质，例如状态、颜色、气味、味道、密度、沸点、溶解性、导电性等是不需要使一种物质变为另一种物质就能知道的，这类性质叫做物理性质。

二、纯物质和混合物

物质是多种多样的。我们应该从极其繁多的物质中，区分纯物质和混合物这两种不同类型的物质。纯物质是指具有一定组成，用物理方法处理它或用机械方法分割它都不能转变成不同物质的一类物质。例如纯净的水是一种纯物质，无论将它加热，蒸发成水气，或将它冷却结成冰，它组成仍然

不变。混合物没有一定的组成，它是由两种或两种以上的纯物质混合而成的。例如浓盐水和稀盐水都是水和食盐的混合物。

自然界里的物质彼此间有广泛接触机会，因此可以说，自然界里不存在什么纯物质，所谓纯物质是相对讲的，即使是电解精炼出来的各种金属板，其中也含有极少量的其它杂质。

三、分子和原子

自然界的物质几乎都是混合物，而混合物是由纯物质构成的。那么纯物质又是由什么组成的呢？原来物质是由很小的微粒构成的。分子就是构成物质的一种微粒。水由水分子构成，糖由糖分子构成。同一种分子具有完全相同的物理性质和化学性质，而不同的分子性质就不相同。所谓纯物质就是由同一种分子组成的。因此，不论纯物质的数量多少，其性质总是固定不变的。混合物则不同，由于其中含有不同种类的分子，譬如空气中含有氮分子、氧分子和其它气体分子，这些不同种类的分子彼此间的比例会有变化，所以混合物的物理性质不是固定不变的，它随着不同分子相互间的比例而改变。

既然纯物质是由同一种分子构成的，那么分子又是由什么构成的呢？分子是由更小的微粒构成的。原子就是构成分子的一种微粒。水是由一个氧原子和两个氢原子组成的，二氧化碳是由一个碳原子和两个氧原子组成的。

每一种特定的分子，其中所含原子的种类，各种原子的数目以及原子之间的结合方式都是特定的。如果所含原子的种类变了，或者原子的数目变了，或者原子之间的结合方式

变了，其结果都是形成另外一种不同的分子，也就是另一种物质。化学变化的实质就是原子的重新组合。所以说原子是物质进行化学变化的基本微粒。而分子是保持物质化学性质的最小微粒。任何物理变化都不能使分子的组成发生变化。

四、原子结构

原子不是最小的微粒，它是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。因为核内所带的正电量和核外的负电量相等，所以整个原子是电中性的。

原子质量大部分集中在核内。电子的质量只是最轻的原子核——氢核质量的 $\frac{1}{1836}$ 。虽然原子核很重，但它和整个

原子的大小比较起来是很小的。原子核直径的数量级为 10^{-15}m ，约为原子直径 10^{-10}m 的十万分之一。

原子核也具有复杂的内部结构，它是由质子和中子组成的。质子和中子的质量几乎相等，但它们的电性不同，中子不带电，质子带一单位正电。

若按原子核内质子数的多少将原子依次排列起来，其顺序称为原子序数。显然

$$\text{核内质子数} = \text{原子序数} = \text{核外电子数}$$

由于核外电子是围绕着原子核作高速运动的，能量较高的电子常出现在离核较远的空间，能量较低电子常出现在离核较近的空间，因而形成离核远近不同的电子层。原子的化学性质是由核外电子排布情况，特别是最外层电子和次外层电子排布情况决定的。质子和中子对原子的化学行为影响很小。

五、元素、元素符号和分子式

具有相同原子序数的一类原子称为元素。一种元素的所有原子都有相同的质子数，但它们的中子数可能不同。具有相同质子数和不同中子数的同一元素的原子互称为该种元素的同位素。例如氢元素就有三种同位素：

氕 ${}^1_1\text{H}^\ominus$ 原子核内只有一个质子，没有中子。

氘 ${}^2_1\text{H}$ 原子核由 1 个质子和一个中子构成。

氚 ${}^3_1\text{H}$ 原子核由 1 个质子和 2 个中子构成。

自然界里大部分元素有同位素。

每一种元素都有它本身的名称并用符号表示。电镀中常用元素的名称和符号如：氢 (H)，硼 (B)，碳 (C)，氮 (N)，氧 (O)，氟 (F)，钠 (Na)，镁 (Mg)，铝 (Al)，硅 (Si)，磷 (P)，硫 (S)，氯 (Cl)，钾 (K)，钙 (Ca)，钛 (Ti)，铬 (Cr)，铁 (Fe)，铜 (Cu)，锌 (Zn)，溴 (Br)，铑 (Rh)，钯 (Pd)，银 (Ag)，镉 (Cd)，铟 (In)，锡 (Sn)，锑 (Sb)，钡 (Ba)，钨 (W)，铂 (Pt)，金 (Au)，汞 (Hg)，铅 (Pb) 等。

由元素构成的纯物质分两类：只有一种元素构成的纯物质叫做单质。由两种或两种以上元素化合成的纯物质叫做化合物。

元素符号也可用来表示物质分子的组成。用元素符号来表明物质分子组成的式子叫做分子式。如 H_2O ，表示水的分子，由两个氢原子和一个氧原子化合成的化合物。又如 H_2SO_4 ，表示硫酸，由二个氢原子，一个硫原子和四个氧原子构成的化合物。这些物质的分子式是通过实验方法知道了

⊖ 元素符号左上方的数字表示原子量，左下方的数字表示质子数。

物质的组成以后得出来的。

六、化学键与分子的形成

原子结合成分子时，相邻的两个或多个原子之间强烈的相互作用叫做化学键。因为各种原子的电子层结构不同，所以各原子相互结合形成的化学键也各不相同。

1. 离子键和离子化合物

活泼金属元素原子和活泼非金属元素原子结合时，往往有一个电子或更多的电子从金属原子转移到非金属原子上去，并由于电子转移产生带电微粒——离子。靠阴、阳离子之间的静电作用力而形成的化学键叫做离子键。由离子键结合而成的化合物叫做离子化合物。电镀中常见的离子化合物有 NaCl 、 CaCl_2 、 MgO 、 Na_2S 、 ZnS 、 NaF 等。

2. 共价键和共价键分子

同种非金属元素的原子或非金属性较强的不同元素的原子结合成分子时，原子和原子是通过共用电子对结合起来的。靠共用电子对而形成的化学键叫做共价键。若共用电子对不偏向任何一个原子，这样的共价键叫做非极性键。若共用电子对偏向吸引电子能力强的原子一方，这样的共价键叫做极性键。电镀中常见的非极性键分子如 H_2 、 O_2 、 CO_2 等。极性键分子如 H_2O 、 HCl 、 NH_3 等。

3. 配位共价键

两个原子结合时，若原子间的共用电子对不是由两个原子双方提供，而是由其中一个原子单方提供，这样形成的共价键叫做配位共价键。如铵盐镀锌中使用的氯化铵，其中的铵离子(NH_4^+)是由三个极性共价键和一个配位共价键结合而成的。

4. 金属键（见第二章）

七、化 合 价

元素的化合价是元素的原子和一定数目的其它元素的原子相化合的性质。离子化合物里，元素的化合价就是这种元素的一个原子得失电子的数目。失去电子的原子显正价；得到电子的原子显负价。共价化合物里，元素的化合价就是这种元素的一个原子和其它元素的原子形成共用电子对的数目。化合价正负由电子对偏移情况而定。吸引电子对能力强的元素显负价，吸引电子对能力弱的元素显正价。某些元素的原子随着反应条件不同，还可显示变价。

由于元素的化合价是元素的原子在形成化合物时表现出来的性质，因此，在单质分子里，元素的化合价为零。

八、原子量和分子量

原子的质量极小，不宜用常用质量单位表示。国际上用碳的一种同位素 ^{12}C 的质量的 $\frac{1}{12}$ 作为标准，其它原子的质量和它相比较所得的数值，就是该种元素的原子量。因为原子量是比值，它是没有单位的。

由于电子质量极小，因此原子量基本上是原子核的质量，中子和质子的质量都约等于 ^{12}C 的 $\frac{1}{12}$ ，所以一种原子的原子量 $\approx$ 质子数 + 中子数。

由于许多元素含有几种同位素，所以实际测得的自然界元素的原子量是组成它们的同位素的平均原子量。由于自然界各种元素的各种同位素所占百分比一般是固定的，所以原子

量的值也是固定的。

一个分子中各原子的原子量的总和就是分子量。例如 CO_2 的分子量 $= 12 + 16 \times 2 = 44$ 。

九、摩尔、摩尔质量

自然界各种微粒一般都是大量地集体存在和参加化学反应的。因此科学上采用一个表示微粒集体的量的单位——摩尔（简称摩，单位符号mol）。

某种物质所含微粒数如果与 $^{12}\text{C}12\text{g}$ 所含的原子数相等，这种物质的量就是1摩尔。 $^{12}\text{C}12\text{g}$ 所含原子数约等于 6.02×10^{23} 个，称为阿佛加德罗常数。所以1 mol某物质中含有阿佛加德罗常数个微粒。

摩尔可以表示原子、分子、离子、电子等等微粒的量，表示时，应把微粒类型明确指出来。

1 mol某物质的质量称为摩尔质量。如物质的基本单元为原子，则原子的摩尔质量数值等于其原子量。如物质的基本单元为分子，则分子的摩尔质量数值等于其分子量。

十、化学反应方程式

用分子式表示化学反应的式子叫做化学反应方程式。写化学反应方程式应注意两条原则：

（1）必须以客观存在的化学反应为基础，不能随便臆造不存在的化学反应，也不能任意在化学方程式中，加入或减去反应物或生成物。

（2）反应前后原子种类和总数要相等。

化学反应方程式中，一般应注明发生反应的条件，生成物的状态（如沉淀、气体等）

十一、氧化-还原反应

化学反应过程中，有电子转移（包括电子对的偏移）的反应叫做氧化-还原反应。不发生电子转移的反应叫做非氧化-还原反应。

物质失去电子的反应叫氧化反应。氧化反应过程中，夺取电子的物质叫氧化剂；物质得到电子的反应叫还原反应，在还原反应过程中供给电子的物质叫还原剂。

有一种物质失去电子，总有一种物质得到电子。因此氧化反应和还原反应总是同时发生的，氧化剂和还原剂总是同时存在的。

原子或离子失去电子，化合价升高；得到电子，化合价降低。所以氧化-还原反应过程中，必然有元素的化合价发生变化，这是判断一种反应是否氧化-还原反应的重要根据。

第二章 金属的性质与镀层的选择

现在已经发现的元素有107种，其中十几种是人造元素。金属元素约占总元素的80%。在这些金属元素中，有三十多种金属能从水溶液中电沉积出来，但能作为镀层在工业上应用的只有铜、锌、锡、铅、镍、钴、铁、镉、铬、铈、金、银、铟、铋、钼等十几种。合金镀层的数量虽在不断扩大，但目前已实际应用的也不很多：如铜-锌、铜-锡、铅-锡、锡-镍、镍-钴、镍-钨、镉-锌、锡-锌、镉-钛、钨-钴、锌-铁、锌-镍-铁、铜-锡-镍等。这些镀层之所以被采用是由于它们各自具有某些特性，如抗蚀性、反光性、耐磨性、润滑性、焊接性、导电性、磁性、抗高温氧化性等。而这些性质又是和金属的性质紧密相联的。

一、金属的物理性质

金属的物理性质通常指它的颜色、密度、熔点、硬度、导电性、传热性、延性、展性、磁性等。这些性质既决定于金属晶体结构的通性，又决定于每种金属结构的特性。

在金属晶体里，原子是按一定顺序排列的。而且各自以固定的位置为中心作不规则的振动。金属原子容易失去外层电子，在晶态或液态下，常因失去一部分外层电子变为阳离子。这些电子在金属内部自由运动，所以称为自由电子。按照近代理论的观点，自由电子不是为某原子与某原子所共有，而是在许多原子间不断地移动。金属原子靠共有这

种自由电子而相互结合，形成一种特殊的键称为金属键。

金属的许多性质都是由金属键所决定的。如导电性：因为金属晶体内有自由电子，当金属受到微小电位差影响时，这些自由电子就会沿一定方向流动形成电流，这就是金属容易导电的原因。当金属因受热温度升高时，它的内部本来处于振动状态的阳离子，因获得能量而增大振动频率和幅度，使它们与自由电子碰撞的机会相应增多，并不断进行能量交换。所以借助于自由电子的运动就能迅速地将热能传到整个金属晶体，直到整块金属具有相同的温度，这就是金属传热的原因。如果金属在通电情况下受热，则由于金属阳离子振动的加剧，阻碍自由电子的定向流动，所以金属的导电能力随温度升高而降低。

金属的延展性也可用金属内部的结构来解释。当金属晶体受外力作用时，金属内部的阳离子在晶格上产生相对滑动而变形，但自由电子在晶体内部的移动并不受影响，它们仍保持与金属阳离子的相互作用，这样金属一般都能经受一定程度的形变而不破坏，有的金属还能拉成丝或打成薄片，这就是金属具有延展性的原因。

金属具有的独特光泽，则是由于光照到金属上，与金属表面的自由电子相碰撞几乎完全被反射的缘故。由于反射光在可见光的波长范围内，因此除铜、金以外，金属都呈银白色。

以上说的是金属的共性。但金属中除了自由电子以外，还有中性原子和阳离子。不同金属的晶体里，中性原子和阳离子都不相同，晶体的形状、大小也不完全一样。这些因素使金属除具有一般通性外，还有各自的特性。如金属的密

度、熔点、硬度等主要决定于各种金属原子各自的性质——它们的质量；核电荷的多少；晶体内原子排列的方式等。

一些金属的导电性和传热性依下列顺序减弱：

Ag、Cu、Au、Al、Zn、Fe、Pb、Hg

导电性强的金属其导热性也强。反之，导电性弱的金属，导热性也弱。

一些金属的延性和展性按下列顺序变小：

延性：Pt、Au、Ag、Al、Cu、Fe、Ni、Zn、Sn、Pb

展性：Au、Ag、Al、Cu、Sn、Pt、Pb、Zn、Fe、Ni

一些金属的密度、熔点、硬度分别列于表2-1、表2-2、表2-3。

表 2-1 金属的比重

金 属	Os	Pt	Au	Hg	Pb	Ag	Cu	Ni
密 度	22.5	21.45	19.3	13.6	11.34	10.5	8.92	8.9

金 属	Fe	Sn	Zn	Al	Mg	Ca	Na	K	Li
密 度	7.86	7.3	7.14	2.70	1.74	1.55	0.97	0.86	0.53

表 2-2 金属的熔点

金 属	W	Pt	Fe	Ni	Cu	Au	Ag	Ca
熔 点 (℃)	3370	1774	1535	1455	1083	1063	961	848

金 属	Al	Mg	Zn	Pb	Sn	Na	K	Hg
熔 点 (℃)	660	651	419	328	232	98	62.3	-39