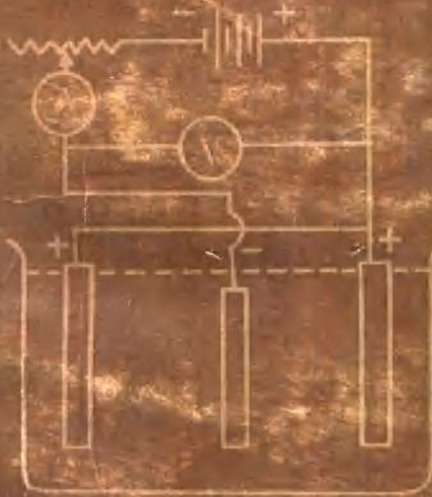


电镀技术

成都市科技交流站
表面处理研究会

DIAN DU JI SHU



四川人民出版社

再 版 序 言

电镀被广泛应用于工业生产的各部门，不论机械、仪器仪表、无线电、轻工、交通运输以及国防工业等都离不了它，特别是在提高产品质量和产品外观上都具有十分重要的地位。广大职工掌握了先进的电镀技术，提高了电镀质量，产品质量就可以得到保证，经济效益可以得到提高。

为了普及电镀基础知识，大力推广电镀新技术、新工艺，特别是推广无氰电镀技术，一九七三年，在成都市科委的领导下组成了成都地区电镀技术协作组（现改名成都表面处理研究会），开展了电镀技术的推广活动。一九七五年，为了加强电镀技术培训，成都地区部分工厂和大学的科技人员，工人和干部组成编写组，经过了一年多时间的搜集资料，调查研究，认真总结了自己的经验，编写了这本《电镀技术》。

由于这本书比较系统地概述了电化学基础知识、电镀车间设备、镀层检验；比较全面地总结和介绍了国内电镀的先进技术和工艺，又着重介绍了无氰电镀新工艺，还有比较详细实用的附录，因此出版七年来颇受读者欢迎。它既是电镀技术人员查阅资料的好书，又是培训电镀工人的好教材。为了适应四化建设中电镀技术人员和加强技术培训电镀工人的需要，出版社决定再版这本书确实很有必要。再版时，作者对有关章节作了修改、补充，

有的还进行了重写，使其更加切合实际。

这本书的再版，我很高兴。因为这本书的编写过程我是比较清楚的。作者们多是近十年来在成都推广电镀技术的活动中涌现出来的积极分子，特别是在推广无氰电镀新工艺、保护环境中做了大量有成效的工作，使得有的镀种在成都已经基本无氰化了。他们又在繁忙的工作中，挤出不少业余时间来写书，认真总结自己的实践经验，整理出自己在生产中成功的配方，写进书里，这种精神是值得学习的。

四川人民出版社的同志们，为这本书的出版和再版做了大量工作，特别是在一九七五年组织了二十二个单位四十七位科技人员、工人和干部所进行的会审定稿，保证了出书的质量，给我们印象极为深刻。

今天，这本书的再版，一定会为四化建设为电镀职工技术培训作出应有的贡献。

周孟璞

一九八二年七月二十日

本书常用符号表

中文名称	符号	度量名称	中文名称	符号	度量名称
米	m	长度	比重	d	
分米	dm	长度	卡	cal	热量
厘米	cm	长度	千卡(或大卡)	kcal	热量
毫米	mm	长度	欧姆	Ω	电阻
微米	μ	长度		ρ	电阻率
平方米(或米 ²)	m ²	面积	伏特	v	电压
平方分米(或分米 ²)	dm ²	面积	标准电极电位	φ^0, E^0	电势
平方厘米(或厘米 ²)	cm ²	面积	电极电位	φ, E	电势
立方米(或米 ³)	m ³	体积	安培	A	电流
升	l	体积	库伦	C	电量
毫升	ml	体积	法拉	F	电容
摄氏温度	℃	温度	瓦特	W	电功率
吨	T	重量	亨利	H	电感
公斤	kg	重量	焦耳	J	功能
克	g	重量	阴极电流密度	D_K	电流密度
克分子/升	M	浓度	阳极电流密度	D_A	电流密度
当量	N	浓度	阴极电流效率	η_K	电流效率
百分含量	%	浓度	阳极电流效率	η_A	电流效率
克/升	g/l	浓度	络合物不稳定常数	$K_{不稳}$	
毫克/升	mg/l	浓度	布氏硬度	H _B	硬度
毫升/升	ml/l	浓度	洛氏硬度	R _C	硬度
			维氏硬度	H _v	硬度

目 录

第一章 化学和电化学基础	(1)
第一节 化学知识	(1)
第二节 电化学知识	(22)
第三节 电镀知识	(50)
第二章 电镀设备	(83)
第一节 镀槽的构造	(83)
第二节 电器设备	(93)
第三节 镀槽的通风装置	(105)
第四节 电镀溶液的搅拌和过滤	(106)
第五节 电镀用挂具	(115)
第六节 电镀自动化及其它	(122)
第三章 镀前处理	(127)
第一节 机械处理	(127)
第二节 除 油	(139)
第三节 强腐蚀	(147)
第四节 电解腐蚀与电抛光	(161)
第五节 弱腐蚀与中和	(169)
第六节 铝及铝合金电镀前的处理	(170)
第四章 镀 锌	(173)

第一节	无氰镀锌	(173)
第二节	氰化镀锌	(190)
第三节	镀后处理	(194)
第四节	常见故障及其处理	(203)
第五章	镀 镉	(208)
第一节	无氰镀镉	(209)
第二节	氰化镀镉	(218)
第三节	镀后处理	(222)
第四节	不合格镀层的退除	(223)
第六章	镀 铜	(224)
第一节	焦磷酸盐镀铜	(225)
第二节	HEDP镀铜	(243)
第三节	氰化镀铜	(249)
第四节	酸性镀铜	(250)
第五节	柠檬酸盐镀铜	(256)
第七章	镀 镍	(259)
第一节	镀镍时的电极过程	(259)
第二节	镀镍液中各种成份的作用	(264)
第三节	常用镀镍液的成份和工艺条件	(268)
第四节	镀镍的工艺过程	(271)
第五节	工艺条件的影响	(272)
第六节	杂质对镀镍层的影响及消除方法	(274)
第七节	常见故障及其排除办法、不合格镀层的退除	(280)

第八节	其他镀镍	(283)
第九节	化学镀镍	(287)
第八章	镀铬	(293)
第一节	镀铬简单原理	(294)
第二节	标准镀铬液	(297)
第三节	复合镀铬	(313)
第四节	快速镀铬	(315)
第五节	四铬酸镀铬	(317)
第六节	自调镀铬液	(323)
第七节	其它镀铬	(325)
第八节	几个实践问题	(327)
第九章	镀锌和镀铅	(336)
第一节	镀锌	(336)
第二节	镀铅	(340)
第十章	镀锡	(343)
第一节	碱性镀锡电解液	(344)
第二节	镀锡的工艺流程	(348)
第三节	镀层缺陷分析及不合格镀层的退除	(350)
第四节	几种镀锡电镀液简介	(352)
第十一章	镀银	(356)
第一节	黄血盐镀银	(356)
第二节	硫代硫酸盐镀银	(359)
第三节	其它无氰镀银	(363)
第四节	氰化镀银	(366)

第五节	镀银工艺过程	(368)
第六节	不合格镀层的退除及废液中银的回收	(372)
第十二章	镀稀贵金属	(373)
第一节	镀 金	(373)
第二节	铂族元素电镀	(381)
第三节	其它稀有金属电镀	(385)
第十三章	合金电镀	(388)
第一节	合金沉积的基本条件	(389)
第二节	镀铜锡合金	(391)
第三节	镀黄铜	(406)
第四节	镀铅锡合金	(411)
第五节	镀镍铁合金	(417)
第十四章	非金属电镀	(419)
第一节	镀前处理	(420)
第二节	预镀处理	(429)
第三节	非金属电镀的注意事项	(436)
第四节	工艺流程及故障的消除方法	(437)
第十五章	电 铸	(439)
第十六章	铝及铝合金氧化	(447)
第一节	铝及铝合金氧化前处理	(449)
第二节	阳极氧化夹具	(452)
第三节	阳极氧化膜的性质	(453)
第四节	硫酸阳极氧化法	(455)
第五节	铬酸阳极氧化法	(461)
第六节	草酸阳极氧化法	(465)

第七节	阳极氧化后的封闭和染色	(467)
第八节	硬质阳极氧化法	(472)
第九节	不合格氧化膜的退除和返修	(476)
第十节	铝及铝合金的化学氧化法	(477)
第十七章	镁及镁合金的氧化	(482)
第一节	氧化前的表面处理	(482)
第二节	镁合金的化学氧化	(484)
第三节	镁合金的电化学氧化和磷化的配方及工艺 条件	(489)
第十八章	铜及铜合金的钝化与氧化	(490)
第一节	铜及铜合金的钝化处理	(490)
第二节	铜及铜合金的氧化	(493)
第十九章	钢铁零件的氧化和磷化	(498)
第一节	钢铁零件氧化	(498)
第二节	钢铁零件磷化	(509)
第二十章	镀层质量检验	(522)
第一节	镀层厚度检验	(522)
第二节	镀层结合力的测量法	(541)
第三节	镀层腐蚀试验法	(544)
第四节	镀层孔隙率的检验	(549)
第五节	镀层脆性的测定	(552)
第六节	镀层内应力的简单测试	(556)
附 录		
附录一	数学资料	(564)
附录二	计算镀件面积的公式	(570)

附录三	物理数据	(571)
附录四	化学元素原子量表	(572)
附录五	主要的酸溶液在15℃的百分浓度、比重等 关系	(574)
附录六	苛性碱和氨溶液比重、百分浓度关系	(576)
附录七	常用酸碱的近似当量	(577)
附录八	不同浓度溶液的配制计算	(578)
附录九	一些难溶物质的溶解度和溶度积	(579)
附录十	常用金属电化当量表	(582)
附录十一	标准电极电位	(583)
附录十二	常用络合物不稳定常数	(587)
附录十三	电镀常用材料的性质和用途	(591)
附录十四	化合物中金属含量(%)	(610)
附录十五	不良镀层的退除方法	(616)
附录十六	当效率100%时各种金属电镀厚度10微米时所需时间(分)表	(618)

第一章 化学和电化学基础

第一节 化学知识

一、物质的变化

自然界是由物质构成的。我们经常碰到的许多东西，如水、空气、食盐、钢铁零件等等都是物质。一切物质都处在不同的运动状态。运动是物质存在的形式。

物质的许多性质都是通过运动而体现出来的。如水在 100°C 就沸腾而变成水蒸汽，冷到 0°C 便结冰。水、水蒸汽、冰都是同一种物质，只是它们的形态发生了变化。又如铸锻件加工成各种零件，尽管物体发生了变化，但仍保存原物质的本质。金属铝可以拉丝做电线，也可以制成各种用具。铝线和铝制品形状虽不同，但仍然是同一物质。这类仅仅改变物质的外表形态而没有改变其本性的变化叫做物理变化。

还有一类变化，不仅外表形态变了，物质本性也变了，即变成了别的物质。如铁在潮湿的空气中生锈，碳燃烧生成二氧化碳，镁在空气中燃烧（与氧生成氧化镁并发出白炽的光亮），电镀零件的酸洗去锈，镀锌件的钝化处理等等，不仅外表形态发生了变化，更主要的是生成了新的物质，这样的变化叫化学变化

(也称化学反应)。

物质发生不同的变化，是由物质本身的性质决定的。对于每一种物质来说，都有它自己的性质，这表现在许多方面，如颜色、味道、气味、可燃性、溶解等等。因此，我们可以根据物质的性质来识别它们。如铜和铁的颜色不同，根据颜色可以把铜和铁区别开来；糖和盐味道不同，可根据味把糖和盐区别开来……。

物质的性质，有的要在物质发生化学变化时才表现出来，如生锈、燃烧等，这类性质叫做化学性质。但是，物质的另外一些性质，例如状态、颜色、气味、比重、沸点、熔点、金属的导电性能等等，并不需要使物质本性改变就能认识。物质的这类性质，叫做物理性质。

在一般情况下，我们所遇到的物质变化，即包括物理变化和化学变化两类；物质所表现出来的性质，也包括物理性质和化学性质两类。

二、原子、分子和元素符号

(一) 原子和分子

通过长期的生产斗争和科学实践，总结出了原子分子学说，它的基本内容如下：

1. 物质都是由分子组成，分子是维持物质的化学性质的最小微粒。

2. 物质分子间有作用力（吸引力、排斥力）。各物质分子间的作用力不相同，以固体为最大，液体次之，气体最小。

3. 物质分子间具有空隙，分子间的空隙决定着物质的体积。

4. 分子由原子组成，原子是物质在化学反应中不能再分的最

小微粒。

5. 物质的分子和原子都处于不停的运动中。

(二) 元素符号

表现出相同化学性质的同一种类的原子称为化学元素。目前已发现的元素有一百零五种。不同元素的原子，其重量、体积、性质都不相同。为了表示不同的元素，常用一定的符号表示各种元素，这就是化学符号。例如：铁用“Fe”，磷用“P”，锌用“Zn”，铜用“Cu”……。

化学元素的符号及原子量见附录。

三、原子量、分子式、分子量、 克原子、克分子

原子的重量很小，一个碳原子重 1.994×10^{-23} 克，这样小的重量使用起来很不方便。为了使用上的方便，用专用单位表示原子的重量。现在国际上采用碳单位来表示原子量。一个碳单位等于碳原子重量的十二分之一。用碳单位表示一个原子的重量叫做原子量。例如：氢的原子量为1.0079，氧的原子量为15.9994。

用元素符号来表示物质分子组成的式子叫分子式。如氧分子是由两个氧原子组成，用“O₂”表示；二氧化碳由一个碳原子和二个氧原子组成。用“CO₂”表示。分子式有以下几种含意：

1. 代表物质的一个分子；
2. 表示组成物质的各种元素；
3. 表示物质分子中各元素的原子个数；
4. 表示组成物质的各种元素的重量比；
5. 表示物质的分子量。

电镀中常用化工材料的分子式见附录。

当物质的分子由同种元素的原子组成时，这种物质叫做单质，如氧气(O_2)、氢气(H_2)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)……。

当物质的分子由两种或两种以上元素的原子组成时，这种物质叫做化合物，如水(H_2O)是由氢和氧两元素组成，硫酸(H_2SO_4)是由氢、氧和硫三种元素组成。

分子量是用碳单位来表示的一个分子的重量，它等于分子中各原子量的总和。如水(H_2O)的分子量是：

$$1 \times 2 + 16 = 18 \quad \text{碳单位}$$

若某元素的原子量以克作单位表示，就称为克原子。即一克原子在数值上等于该元素的原子量，单位为克，如氧的原子量为16(碳单位常略去)，那么一克原子氧就等于16克；又如锌的原子量为65.38，则一克原子锌就等于65.38克。

若某物质的分子量以克作单位来表示，就称为克分子量。即一克分子在数值上等于该物质的分子量而单位是克。如水的分子量是18.016(碳单位常略去)，那么一克分子水就等于18.016克。又如硫酸的分子量为98，一克分子的硫酸就等于98克。

四、化合价与原子结构

在化学反应中，每一种原子只能与一定数量的其他元素的原子相结合，这种性质叫做元素原子的化合价，又称原子价。采用氢原子的化合价作单位，规定它的化合价为1价，其他元素的原子与若干个氢原子化合就是若干价；不与氢原子化合的元素的原子价，由其他已知的元素来确定。如二个氢原子与一个氧原子化合生成水(H_2O)，氧的原子价为二价，一个锌原子与一个氧原

子化合生成氧化锌（ ZnO ），锌的化合价为二价。

原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子所组成，由于正负电荷相等，所以整个原子不显电性。电子在原子核周围一定范围内高速旋转。原子核外的电子是分层排布的，每一层所能容纳的电子数目是一定的。第一层最多只能有两个电子，第二层最多有八个电子，第三层最多有十八个电子。原子的结构常用（图 1-1）的图形来示意。中心表示原子核，以正号表示正电荷，以数字表示电荷数，各同心圆表示电子层。

由（图 1-1）中可以看出，钠原子是由原子核和围绕该原子核的十一个电子组成，共分三层：第一层两个电子；第二层八个电子；第三层一个电子。

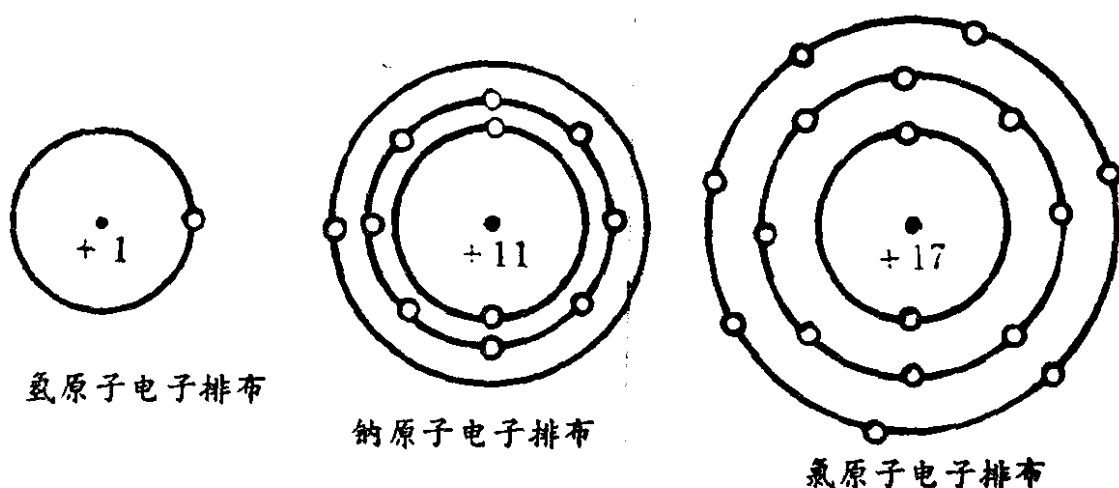


图 1-1 原子结构图

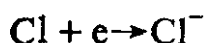
电子被原子核吸引围绕原子核旋转。原子核对电子的吸引力是不一样的，距离核心最远的外层电子被吸引的力最小，因此它们容易跑出轨道而自由活动。一般来说，原子都有使自己外层电子达到八个（若只有一层，外层则为二个电子）而成为稳定状态的趋势。原子外层（第二层开始）电子在四个以下的易失去电子；电子在四个以上的易得到电子。氦（ He ）、氖（ Ne ）、氩

(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)、氡(Rn)等原子的最外层只有二个或八个电子，它们都很稳定，一般情况下不参加化学反应，故称为惰性气体。

原子失去电子有过剩的正电荷，原子得到电子则有过剩的负电荷。这种带电荷的原子叫做离子。离子的标记符号是用元素符号加上表明电性的“+”、“-”号表示。如氢原子失去一个电子变成氢离子时可写成 H^+ 。即：

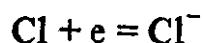


氯原子得到电子时变成氯离子，可写成：

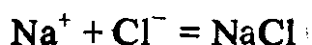


现在，从原子结构的观点来看化合价。原子相互化合时，外层电子的得失或共用，与各元素原子外层电子数目有关。由于要达到稳定状态所需的电子数目不同，故显示出来的化合价就不同。例如氢原子外层只有一个电子(见图1-1)，它要达到稳定的电子状态，就只需得到或失去一个电子，因此氢的化合价为1。又如钠原子第三层电子数是1，第二层电子数是8，只需要失去一个电子，就可达到稳定状态，故钠的化合价为1价。

在化合时，有电子得失形成的化合物叫离子化合物。失去电子的原子的化合价为正价，得到电子的原子的化合价为负价。例如，钠与氯反应时，钠原子失去一个电子变成钠离子，氯原子得到一个电子变成氯离子，即：



Na^+ 离子和 Cl^- 反应生成离子化合物氯化钠，即：



在氯化钠中钠离子为正一价，氯离子为负一价。

氯原子与氢原子反应时，情况则有所不同，它们之间无

电子得失，而是氯原子与

氢原子共用一对电子（如

图1—2），生成共价

化合物氯化氢。在氯化氢分子中，氢显正电性，为正一

价；氯显负电性，为负一

价。

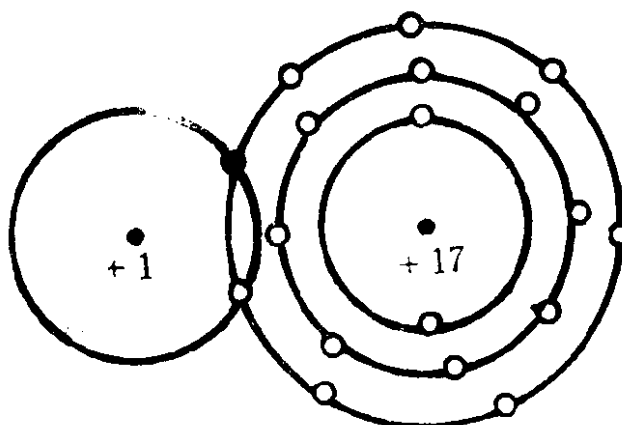


图 1—2 氯化氢分子的电子排布

表1—1

一些常见元素的化合价

名称	符号	化合价	名称	符号	化合价
氢	H	+1	铝	Al	+3
氧	O	-2	锰	Mn	+2 +3 +4 +6 +7
氮	N	+1 +2 +3 +4 +5 -3	锌	Zn	+2
碳	C	+4 +2	铁	Fe	+2 +3
硫	S	-2 +4 +6	锡	Sn	+2 +4
硅	Si	+4 -4	铅	Pb	+2 +4
钾	K	+1	铜	Cu	+1 +2
钠	Na	+1	汞	Hg	+1 +2
镁	Mg	+2	银	Ag	+1
氯	Cl	-1 +1 +3 +5 +7	金	Au	+1 +3
氟	F	-1			
磷	P	-3 +3 +5			