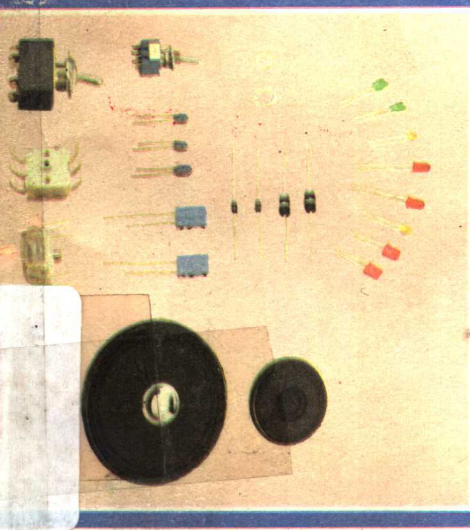


● 电子工业工人技术等级培训教材
● (电子元件专业)

电子元件材料

● 段维和 等编 王培伦 主审



电子工业出版社

电子元件材料

段维和等编 王培伦主审

电子工业出版社

(京)新登字055号

图书在版编目(CIP)数据

电子元件材料/段维和等编, -北京: 电子工业出版社, 1994

ISBN 7-5053-2544-2

I. 电...

II. 段...

III. 电子元件-电子材料

IV. TN604

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路173信箱(100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 8.0625 字数: 186千字

1994年9月第一版 1994年10月第一次印刷

印数: 4000册 定价: 8.30元

出版说明

为了适应电子科学技术飞速发展，提高电子工业技术工人素质，劳动部与电子工业部颁发了《电子工业工人技术等级标准》。根据新标准，电子工业部组织有关省市电子工业主管部门和企事业单位有关人员成立了“电子整机专业”，“家用电子产品维修专业”，“真空电子器件、接插件、继电器、绝缘介质专业”，“半导体器件及集成电路专业”，“计算机专业”，“磁性材料、电池专业”，“电子元件专业”共七个工人技术培训教材编审委员会。制定了19个专业、311个工种的教学计划、教学大纲。并根据计划大纲的要求，制定了1993~1995年培训教材编审出版规划。列入规划的教材78种和相应的教学录像带若干种。

这套教材的编写是按“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的要求，以文化课为专业课服务，专业课为提高工人实际操作和分析解决生产实际问题的能力服务为原则。教材既注重了电子工业技术工人要有一定专业理论知识的要求，又克服了以往工人培训教材片面强调理论的倾向；保证了必要的知识传授，又强调了技能培训和解决生产实际问题能力的培养。

这套教材在认真研究了311个工种的共性基础知识要求的基础上，编写了八种统编教材，供311个工种工人进行基础知识培训时选用；并以19个专业为基础，根据每个专业共性的专业知识、专业技能编写了70种教材供311个工种工人进行专业知识、专业技能培训时使用。

每种教材在反映初、中、高三级技术工人培训的不同要

求的基础上，注意了基础知识、专业知识、专业技能培训的系统性。因此，多数教材是初、中、高三级合在一起的，更好地体现由浅入深、由低及高的教学规律。

在教材编写上，针对工人培训的特点，突出教材的实用性、针对性，力求文字简练、通俗易懂、内容上紧密结合教学大纲要求，在讲授理论知识的同时还注意了对生产工艺和操作技能的要求，使教师易于施教，工人便于理解和操作。知识性强的教材，每章后配有练习题和思考题，以便巩固应掌握的知识。技能性强的教材，配有适当的技能训练课目，以便提高工人操作技能。在有关工艺和设备的教材中，主要介绍了通用性较强的内容和典型产品、设备，对于使用这类教材的工厂企业，由于各自的产品、设备不同可自编相应的补充讲义与教材结合起来进行培训。另外，为适应技术发展、工艺改革、设备更新的需要，这套教材在编写中还注意了新技术、新工艺、新设备及其发展趋势，以拓宽工人的知识面。

参加这套教材编审工作的有北京、天津、上海、江苏、陕西五省市电子工业主管部门和河北、河南、山东、山西、辽宁、江西、四川、广东、湖南、湖北等十个省市的有关单位的专家、技术人员、教师等。在此谨向为此付出艰辛劳动的全体编审人员和各地、各单位支持这项工作的领导表示衷心感谢。

由于电子工业的迅速发展，这套教材的涉及面广、实用性强，加之编写时间仓促，教材中肯定有不妥之处，恳请使用单位提出宝贵意见，以便进一步修订，使之更加完善。

电子工业部

1993年7月

内 容 简 介

本书较全面地介绍了电子元件材料的基本知识和技术指标，重点论述了物质结构、导电材料、半导体敏感电阻材料、绝缘材料、磁性材料及其它材料。其特点是既有基础理论又联系生产实际，实用性很强。

本书适用于中级线绕电阻电位器、有机实芯电阻电位器、合金粉、薄膜电阻器、热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器、合成碳膜电位器制造工与技工学校的教材。还可供领导干部、管理干部、工程技术人员及中等专业学校参考。

前 言

该书系按《电子行业工人技术等级标准》和电阻器电位器专业中级工《电子元件材料教学大纲》编写的教材，由电子行业元件专业教材编委会、电阻器电位器专业编审组征稿并推荐出版。编委会副主任委员、编审组组长为陈耀祖，副组长、责任编委为裴秀琴。

本课程的参考学时数为50学时，其主要内容为：物质结构及材料的物理、化学、机械性能；导电材料有金属材料、合金粉、电子浆料、炭黑及其导电合成物；半导体敏感元件材料有热敏、压敏、光敏电阻材料等；绝缘材料包括树脂、绝缘漆、塑料、橡胶、电子陶瓷和玻璃；磁性材料有强磁性薄膜材料及常见磁性材料；其它材料有焊料、焊剂、润滑剂和化学试剂。使用本教材时应注意的是，在讲解各大类材料的基本知识的基础上，根据各工种的工作范围，重点讲授本专业使用的材料，不一定各章节全讲，但是，一定要讲清基本概念及了解电子元件材料包括的种类，便于今后查阅和掌握新材料，并与本专业的《电阻器与电位器》、《电子元件测量与仪表》等系列教材配套使用。该教材具有较高的实用性，也适用于同专业的技工学校和职业学校，亦可作为企业管理人员和工程技术人员的参考书。

本教材由国营四三一〇厂段维和负责编写，王培伦担任主审。七一八厂关银贵同志提供了关于合金粉的初稿。参加本教材审阅工作的还有卜寿彭、关银贵、晁继良、和德林、

周琰、李德兴、黄汝念、陆希明同志，他们都为本书提出许多宝贵意见，在编写过程中还得到了四三一〇厂、七一八厂、八九三厂、七一五厂等单位的大力支持，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编者

一九九三年十二月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 物质结构	(1)
一、元素	(1)
二、原子	(1)
三、分子	(4)
四、物质	(5)
第二节 材料的物理、化学、机械性能	(9)
一、材料的物理性能	(9)
二、材料的化学性能	(11)
三、材料的机械性能	(11)
第二章 导电材料	(20)
第一节 黑色金属	(20)
一、碳素钢	(20)
二、合金钢	(22)
第二节 有色金属	(23)
一、铜及铜合金	(23)
二、铝及铝合金	(28)
第三节 精密合金和贵金属	(32)
一、弹性合金	(32)
二、膨胀合金	(33)
三、精密电阻合金	(34)
四、贵金属电接触材料	(37)
五、贵金属电阻材料	(40)

第四节 引出线 电线电缆	(41)
一、裸线	(41)
二、漆包线	(45)
三、通用绝缘电线和电缆	(49)
第五节 金属膜及氧化膜电阻材料	(53)
一、镍铬系金属膜电阻材料	(53)
二、铬硅系为主的合金粉	(55)
三、磁控溅射用镍铬硅系合金靶材	(62)
四、化学沉积镍基合金薄膜材料	(63)
五、二氧化锡系氧化膜电阻材料	(65)
第六节 金属玻璃釉电子浆料	(66)
一、导体浆料	(67)
二、电阻浆料	(73)
三、电位器浆料	(80)
四、高压高阻浆料	(82)
第七节 炭黑及其导电合成物	(84)
一、石墨	(84)
二、炭黑	(86)
三、真空热分解碳膜材料	(93)
四、合成碳膜浆料	(95)
五、实芯电阻电位器导电粉料	(98)
第三章 半导体敏感元件材料	(103)
第一节 基本概念	(103)
一、本征半导体的导电性能	(103)
二、杂质半导体的导电性能	(105)
三、半导体的表面和界面的物理性质	(107)
四、对半导体敏感元件材料的要求	(108)
第二节 热敏电阻材料	(109)
一、负温度系数(NTC)热敏电阻材料	(111)

二、临界温度热敏电阻(CTR)材料	(119)
三、正温度系数(PTC)热敏电阻材料	(122)
四、其它热敏电阻材料	(127)
第三节 压敏电阻材料	(127)
一、ZnO半导瓷的导电特性	(128)
二、ZnO结构及掺杂	(130)
三、ZnO压敏半导瓷的制备工艺	(133)
第四节 光敏电阻材料	(135)
一、光电导效应和主要特性参数	(135)
二、硫化镉光敏电阻材料	(137)
三、硒化镉光敏电阻材料	(140)
四、光敏电阻制造工艺	(141)
五、红外光敏电阻材料	(143)
第五节 其它敏感电阻材料	(144)
一、气敏电阻材料	(144)
二、湿敏电阻材料	(145)
第四章 绝缘材料	(149)
第一节 有机绝缘材料	(149)
一、基本概念	(149)
二、涂料和绝缘胶	(154)
三、塑料	(159)
四、橡胶材料	(177)
第二节 无机绝缘材料	(185)
一、电子陶瓷基础知识	(185)
二、电阻电位器用陶瓷	(195)
三、玻璃	(199)
第五章 磁性材料	(205)
第一节 磁性材料的基础知识	(205)
一、磁性材料的分类和特点	(205)

二、磁性材料的基本磁性能	(207)
第二节 磁敏电阻用强磁性薄膜材料	(214)
一、镍钴合金薄膜	(214)
二、镍铁合金薄膜	(216)
三、磁敏电阻基片材料	(217)
四、磁敏电阻材料的发展	(217)
第三节 常见磁性材料	(217)
一、软磁材料	(217)
二、硬磁材料	(221)
三、特种磁性材料	(222)
第六章 其它材料	(223)
第一节 焊料与焊剂	(223)
一、焊料	(223)
二、焊剂	(226)
第二节 润滑油和润滑脂	(231)
一、润滑剂的主要参数	(231)
二、润滑油	(233)
三、润滑脂	(234)
四、电接触润滑剂	(237)
第三节 化学试剂	(239)
一、化学试剂的规格	(239)
二、溶液浓度	(240)
三、化学试剂的危险性及安全存放	(242)
结束语 电子元件材料的研究与开发	(246)

第一章 概 述

第一节 物质结构

一、元素

(一) 元素的存在形态

具有相同的核电荷数(即质子数)的同一类原子总称为元素,如碳元素就是所有碳原子的总称。根据元素周期表现在已知的元素有 107 种,构成了世界上几百万种以上的物质。

自然界里存在着的元素,有两种存在形态,即游离态和化合态。以单质形态存在的叫做元素的游离态,以化合物形态存在的叫做元素的化合态。例如氧气里的氧元素是游离态,四氧化三铁里的氧元素就是化合态。

(二) 元素符号

在化学上,采用不同的符号表示各种元素,国际上,统一采用该元素的拉丁文名称的第一个大写字母来表示,如果几种元素符号的第一个字母相同时,可再附加一个小写字母来区别。例如“Cu”代表铜元素,“Ca”代表钙元素,应该注意,表示每种元素的名称都有一个专用的汉字。元素符号表示一种元素,还表示该元素的一个原子。

二、原子

(一) 原子核与核外电子

原子是化学变化中的最小微粒,它的直径约为 10^{-10} 米。原子由带正电的原子核及核外带负电的电子构成。因为原子

核所带电量与核外电子的电量相等，电性相反，所以原子不显电性。原子核由质子和中子构成，质子的多少决定着元素的种类，每一个质子带一个单位正电荷，中子呈中性，不带电。核电荷由质子数决定。

(二) 核外电子的运动状态

1. 电子层

在含有多个电子的原子中，各个电子的能量并不相同，能量低的，通常在离原子核近的区域中运动；能量高的，通常在离核远的区域运动。根据电子的能量差异、运动的区域和离原子核的远近，将核外电子分成不同的电子层。能量最低、离核最近的叫第一层，依次为第二层、第三层直至第七层，并且依次用符号K、L、M、N、O、P、Q来表示。

2. 电子亚层

在同一电子层中，电子的能量还稍有差别，电子云形状也不同，又可以分成一个或几个电子亚层，分别用s、p、d、f等符号表示。在同一个电子层里，各亚层电子的能量是按s、p、d、f的次序递增的。K层只包含一个s亚层，称为1s；L层包含s和p两个亚层，称为2s和2p；M层包含s、p、d三个亚层，称为3s、3p、3d；N层包含s、p、d、f四个亚层，称为4s、4p、4d、4f。

3. 电子云及其伸展方向

电子是质量很小的带负电的微粒，它在原子核外作高速运动。人们不能测出某一时刻电子所在的具体位置，也不能描绘出它的运动轨迹，只能指出它在核外空间某处出现机会的多少。电子在核外空间一定范围内出现，好象带负电荷的云雾，笼罩在原子核周围，所以称它为“电子云”。

电子云不仅有确定的形状，而且有一定的伸展方向，不

同亚层的电子云形状是不同的。s亚层的电子云是以原子核为中心的球形，在空间各个方向伸展的程度相同。p亚层的电子云，在空间有三种互相垂直的伸展方向。d亚层的电子云有五种伸展方向，f亚层的电子云有七种伸展方向。如果把在一定的电子层上、具有一定的形状和伸展方向的电子云所占据的空间称为一个轨道，那么s、p、d、f四个亚层就分别有1、3、5、7个轨道。每个轨道最多只能容纳2个电子。

4. 电子的自旋

电子不仅在核外空间不停地运动，而且还作自旋运动。电子自旋运动有两种状态，相当于顺时针和逆时针两种方向。

(三) 核外电子的排布

1. 能量最低原理 核外电子总是先占有能量最低的轨道，只有当能量最低的轨道占满后，电子才依次进入能量较高的轨道。各电子层最多容纳的电子数是 $2n^2$ 个，n为电子层，K层 $n=1$ ，L层 $n=2$ ，M层 $n=3$ 等。最外层电子数不超过8个(K层不超过2个)。

2. 泡利不相容原理 在同一个原子中，不可能有运动状态完全相同的两个电子存在。

3. 洪特规则 在同一亚层的各个轨道上，电子的排布将尽可能分占不同的轨道，而且自旋方向相同。

(四) 原子的电子能级

为了表示原子中各电子层和亚层电子能量的差异，把原子中不同电子层和亚层的电子按能量高低排成顺序，象台级一样，叫做能级。例如 $1s$ 能级、 $2s$ 能级、 $2p$ 能级等。 $2s$ 能级高于 $1s$ 能级， $2p$ 能级高于 $2s$ 能级。对于核外电子数较多的元素，由于存在原子核对电子的吸引力及电子间的排斥力，互

相影响，从而使多电子原子的电子所处的能级产生了交错现象。从第三电子层起就有能级交错现象。3d电子的能量应该低于4s，而实际上高于4s。电子进入核外电子层时，先排完4s才排3d，然后是4p、5s、4d、5p、6s、4f、5d、6p等。

既然各个电子层、电子亚层都有能级，那么在电子层和电子亚层间就都存在着能量禁区，电子不能在禁区停留，只能跳越；从低能级向高能级跳越时，外界必须给它施加热、光等能量(激发)，这就叫电子的跃迁；从高能级向低能级跳越时，电子就会放出能量。

三、分子

(一) 分子的形成

在分子内，相邻的两个或多个原子之间存在强烈的相互作用(与分子间作用比较)，通常叫做化学键。根据原子的性质和结合情况的不同，化学键的主要类型有离子键、共价键、金属键等。

1. 离子键 原子失去或取得电子后，所形成的带有电荷的质点叫做离子，如 Na^+ 、 Al^{3+} 等。阴阳离子间通过静电作用所形成的化学键叫做离子键。由离子键结合的化合物是离子化合物，如 Na^+Cl^- 。

2. 共价键 原子间通过共用电子对(即电子云重叠)所形成的化学键。同种非金属原子或电负性相差不大的原子间，不容易发生电子转移，而形成共用电子对。共价键有饱和性和方向性。它可分为极性键和非极性键。

极性键：不同种原子形成分子时，共用电子对偏向吸引电子能力强的原子一方；这种共价键叫做极性键，如 HCl 。不同原子或原子团形成分子时，电子对由一个原子单方面提供，而跟另一个原子或原子团共用的特殊共价键，称为配位

键。

非极性键：同种原子形成分子时，共用电子对不偏向任何一个原子，这种共价键叫做非极性键，如 O_2 。

3. 金属键 自由电子在金属原子和离子之间的相互作用，从而使它们结合成整体形成的化学键。

(二) 分子的类型

1. 非极性分子 由非极性键组成的分子，或虽然由极性键组成，但由于原子的空间结构关系，内部极性相互抵消的分子，都是非极性分子。非极性键组成的分子，共用电子对不偏向任何一个原子，整个分子的电子云分布是均匀的。由极性键组成的非极性分子，如 CO_2 、 CH_4 等，由于原子间的排列对称、键的极性相互抵消，因而整个分子没有极性。

2. 极性分子 以极性键结合的双原子分子，共用电子对偏向某一方，使其带部分负电荷，而使另一方带部分正电荷，整个分子的电子云分布不均匀，这样的分子叫做极性分子，如 HCl 。

四、物质

(一) 物质的组成

物质的组成是很复杂的，又是有规律性的。从宏观角度看，物质是由一种单质或若干种化合物元素组成的；从微观角度看，物质直接由分子、原子、离子等微粒组成的；物质是无限可分的，如原子可分裂为质子、中子和电子等微粒。

(二) 物质的分类

物质的分类情况如下所示。物质分为纯净物与混合物。

纯净物：由同种分子构成的物质，如精盐、酒精、金属等。所谓的纯净物都不是绝对的纯净，而是相对的纯净，凡是杂质的含量不至于在生产或科研过程中产生有害影响时，