

电子废料回收与利用丛书

废电子元器件与材料的回收利用

周全法 摇尚通 明摇主编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

摇摇·北摇摇京·

本书
编写
人员

主摇摇编摇摇周全法摇摇尚通明
编写人员摇摇王摇摇琪摇摇陈太洪
宋摇摇伟摇摇薛摇摇勇

前摇摇摇言

大量生产、大量消费、大量废弃是当今社会经济活动的一大特点。为了保证社会生产和生活所需资源的永续和保护环境，再生资源的回收利用显得尤为重要。在 20 世纪出现并得到飞速发展的电子元器件工业正在各个方面改变我们生活的时代。现代社会里，从日常生活到社会生产和生活的各个角落，随处可以看到各类电子产品：电子手表、电子记事本、无线电话、电视、传真机、计算机、微波炉、电饭锅、空调机、银行联机在线系统、综合数字通信网、因特网、宇宙卫星及其控制系统等，这些产品都离不开电子元器件。电子元器件的发展历史实际上就是整个电子工业的发展历史，电子元器件也是种类和功能繁多的各类电器的基石。电子元器件的发展水平关系到整个电子和信息产业的发展水平。

从 20 世纪 80 年代开始，我国已经逐步成为电子元器件的生产大国和世界家电的制造业基地，但也要看到随着各类废弃电子元器件数量的增多，我国正在成为废弃电子元器件大国。如何正确处理好电子产品生产、消费、废弃三者之间的关系，使我国不仅成为世界级电子元器件和电器的制造业基地，同时也应成为世界级电子废弃物的无害化处置基地，已经成为我国进入 21 世纪后保持经济、社会和环境协调发展的重要目标和内容。发达国家由于难以解决人工费用等问题，通常把欠发达国家作为电子废弃物处置基地从而产生越来越多的环境问题。因此，深入开展对电

子废弃物的无害化处置方面的研究并及时将各类先进的无害化处置技术成果应用于电子废弃物处置实践中，这对于保护我国环境和资源，增强经济实力，是非常有益的。另外，电子废弃物无害化处置蕴涵着巨大的商机，会给相关企业带来可观的经济效益和社会效益。

本书主要从废旧电子元器件无害化处置的角度，对电子元器件中的贵金属、铜、铝等有色金属的资源化、资源化过程中的环境保护和经济效益等方面的问题进行探讨，期望通过本书为电子废弃物得到科学合理的利用积累必要的素材。但限于作者的专业和知识结构，许多问题有待进一步探讨。本书如果能起到抛砖引玉的作用，引起全社会对电子废弃物再生利用以及保护资源和环境的重视，我们将感到非常欣慰，这也是我们编著此书的初衷。

本书是周全法、尚通明、王琪、陈太洪、宋伟、薛勇等同志集体工作的结晶。全书由周全法和尚通明两位同志统稿。在本书编著过程中，得到江苏技术师范学院专著出版基金的资助，得到江苏高校高新技术产业发展面上项目（JH 03-024 号）的资助。南京大学博士后流动站、中国昆山留学人员创业园博士后工作站、昆山晶丰电子有限公司等单位为本课题的研究和专著的出版提供了各种支持。化学工业出版社领导和编辑为本书的顺利出版付出了辛勤劳动。在此，谨向各位关心支持本书出版和电子废弃物再生利用事业的各位同仁表示衷心感谢！

编者

周全法 尚通明 王琪 陈太洪 宋伟 薛勇
2004年 苑月

目 录

第 1 章 电子元器件的发展和分类	1
1.1 电子元器件的发展	1
1.2 电子元器件的分类	2
1.2.1 电阻器	2
1.2.2 电容器	3
1.2.3 电感元件	4
1.2.4 电接触件	5
1.2.5 半导体晶体管	6
1.2.6 集成电路	7
1.2.7 电子显示器件	8
1.2.8 压电器件	9
1.2.9 电声器件	10
1.2.10 片式元器件	11
第 2 章 电子元器件中的材料	12
2.1 电阻材料	12
2.1.1 电阻器用线绕电阻材料	12
2.1.2 电阻器用非线绕电阻材料	13
2.1.3 触点材料	14
2.1.4 电接触的分类	15
2.1.5 常见电触点材料	16
2.2 介电材料	17
2.2.1 电容器介电材料	17

摇摇圆缘圆摇微波介电材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇半导体材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇光电显示材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇摄像材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇光导纤维材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇信息记录与存储材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇磁性记录与存储材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇铁电存储薄膜材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇光记录介质材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇集成电路与混合微电路用附属材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇厚膜电子浆料	缘圆
摇摇圆缘圆摇引线框架和引线材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇封装及封装材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇集成电路基片衬底材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇压电材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇敏感材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇力敏材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇热敏材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇光敏材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇压敏材料	缘圆
摇摇圆缘圆摇气敏材料	缘圆
第猿章摇电子元器件工业废料的分析	远
摇摇猿猿猿摇废电子元器件样品的预处理	远
摇摇猿猿猿摇分析方法的选择	远
摇摇猿猿猿摇分析样品的采集	远
摇摇猿猿猿摇金属分析的制样	远
摇摇猿猿猿摇金的分析	远

摇摇猿圆猿猿猿摇铅试金法	苑
摇摇猿圆猿猿猿摇还原重量法	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇碘量法	园
摇摇猿圆猿猿猿摇硫酸亚铁铵重铬酸钾滴定法	猿
摇摇猿圆猿猿猿摇银的分析	园
摇摇猿圆猿猿猿摇硫氰酸盐滴定法	猿
摇摇猿圆猿猿猿摇汞汞汞滴定法	猿
摇摇猿圆猿猿猿摇电位滴定法	猿
摇摇猿圆猿猿猿摇铂的分析	苑
摇摇猿圆猿猿猿摇甲酸还原重量法	苑
摇摇猿圆猿猿猿摇氯铂酸铵沉淀重量法	苑
摇摇猿圆猿猿猿摇杂说造吸光光度法	愿
摇摇猿圆猿猿猿摇钯的测定	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇丁二酮肟重量法	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇丁二肟沉淀分离汞汞汞返滴定法	园
摇摇猿圆猿猿猿摇铜的测定	愿
摇摇猿圆猿猿猿摇恒电流电解法	愿
摇摇猿圆猿猿猿摇碘量法	愿
摇摇猿圆猿猿猿摇汞汞汞络合滴定法	愿
摇摇猿圆猿猿猿摇锡的测定	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇络合滴定法	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇铁粉还原碘酸钾滴定法	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇次磷酸钠还原碘酸钾滴定法	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇铅的测定	怨
摇摇猿圆猿猿猿摇铬酸铅沉淀亚铁滴定法	员
摇摇猿圆猿猿猿摇汞汞汞容量法	员
摇摇猿圆猿猿猿摇铬的测定	员

摇摇猿园猿摇过硫酸铵氧化滴定法	猿园
摇摇猿园猿摇高氯酸氧化容量法	猿怨
摇摇猿园猿摇镉的测定	猿园
摇摇猿园猿摇硫氰酸钾容量法测定汞	猿圆
摇摇猿园猿摇镍的分析	猿缘
摇摇猿园猿摇丁二酮肟沉淀重量法	猿缘
摇摇猿园猿摇丁二酮肟沉淀分离与铈量滴定法	猿远
第 源章摇摇电子元器件工业废料中贵金属的回收利用	猿怨
摇摇源猿摇电子元器件中的贵金属	猿怨
摇摇源猿猿摇贵金属线绕电阻材料	猿园
摇摇源猿猿摇贵金属非线绕电阻材料	源
摇摇源猿猿摇贵金属触点材料	源
摇摇源猿猿摇贵金属浆料	猿
摇摇源猿猿摇敏感器件中的贵金属	猿
摇摇源猿猿摇多层陶瓷器件和组件中的贵金属	源
摇摇源猿摇电子元器件工业废料中金的回收	猿
摇摇源猿猿摇含金废液中金的回收	猿
摇摇源猿猿摇含金固体废料中金的回收	猿
摇摇源猿猿摇镀金废料中金的回收	猿
摇摇源猿猿摇电子元器件中金的火法回收	源
摇摇源猿猿摇电子元器件中金的湿法回收	源
摇摇源猿猿摇电子元器件工业废料中银的回收	猿
摇摇源猿猿摇含银废弃物中银的回收方法	猿
摇摇源猿猿摇电子元器件中银的火法回收	猿
摇摇源猿猿摇电子元器件中银的湿法回收	猿
摇摇源猿摇电子元器件工业废料中钯的回收	猿
摇摇源猿猿摇钯的回收方法	猿

摇摇圆摇废板卡中钯的回收	缘
摇摇圆摇电容器中钯的回收	怨
摇摇圆摇电子元器件工业废料中铂的回收	员
摇摇圆摇铂的回收方法	员
摇摇圆摇火法回收电子元器件中的铂	远
摇摇圆摇湿法回收电子元器件中的铂	远
摇摇圆摇贵金属的精炼	怨
摇摇圆摇金的精炼	怨
摇摇圆摇银的精炼	猿
摇摇圆摇铂的精炼	苑
第 缘章摇电子元器件工业废料中贱金属的回收和处置	猿
摇摇圆摇铜的回收	猿
摇摇圆摇废杂铜的回收利用方法	远
摇摇圆摇电子元器件中铜的回收	苑
摇摇圆摇铅的回收	员
摇摇圆摇火法工艺回收铅	员
摇摇圆摇湿法工艺回收铅	圆
摇摇圆摇锡的回收	缘
摇摇圆摇镍的回收	远
摇摇圆摇硫酸浸出碳酸镍转化法	远
摇摇圆摇硫酸浸出氢氧化镍转化法	苑
摇摇圆摇化学沉淀电解回收法	愿
摇摇圆摇氨水络合精制法	怨
摇摇圆摇多级沉淀回收法	园
摇摇圆摇萃取除杂回收法	员
摇摇圆摇铝的回收	猿
摇摇圆摇熔铸装备	猿

立式半连续铸造机与均热炉	圆缘
烟气处理系统	圆缘
工艺参数与质量控制系统	圆远
废电子元器件回收中的重金属废水治理	圆远
化学技术治理	圆苑
物理化学技术治理	圆猿
生物化学技术治理	圆苑
第 远章 电子元器件工业废料再生利用中的环境保护	圆怨
电子元器件工业废料中有机高分子材料的处置	圆怨
有机废水的治理	圆怨
有机废气治理	圆猿
有机废渣的治理	圆源
电子废弃物回收利用过程的除尘	圆缘
酸性废气治理	圆远
金属铸锭过程中的废气治理	圆远
除尘技术	圆苑
废气的净化	圆苑
的净化	圆怨
无机废水的治理	圆员
酸碱废水的治理	圆员
重金属废水的治理	圆猿
氰化废水的治理	圆苑
参考文献	圆园

第 1 章 电子元件的发展和分类

相对于种类和功能繁多的电器而言，电子元件是其基石。电子元件的发展水平是整个电子和信息产业发展水平的标志，在电子元件及其所用材料上的变革直接影响到整个电子工业的发展。现代社会里，从日常生活到社会生产和生活的各个角落，随处可以看到各类电子器件：手表、电子记事本、无线电话、电视、传真机、计算机、微波炉、电饭锅、空调机、银行联机在线系统、综合数字通信网、因特网、宇宙卫星及其控制系统等都离不开电子元件。为了更好地对电子元件中的有价值材料进行再生利用，同时在再生利用过程中保护好生态环境，本章和第 2 章将简要介绍电子元件的发展和分类、电子元件中所用材料的种类及其用途。

1.1 电子元件的发展

在 20 世纪出现并得到飞速发展的电子元件工业使整个世界和人们的工作、生活习惯发生了翻天覆地的变化。电子元件的发展历史实际上就是电子工业的发展历史。

1906 年，李·德福雷斯特发明了真空三极管，用来放大电话的声音电流。此后，人们强烈地期待着能够诞生一种固体器件，用来作为质量轻、价廉和寿命长的放大器和电子开关。1947 年，点接触型锗晶体管诞生，在电子器件的发展史上翻开了新的一页。但是，这种点接触型晶体管在构造上存在着接

触点不稳定的致命弱点。在点接触型晶体管开发成功的同时，结型晶体管理论就已经提出，但是直至人们能够制备超高纯度的单晶以及能够任意控制晶体的导电类型以后，结型晶体管才真正得以出现。1954年，具有实用价值的最早的锗合金型晶体管诞生。1955年，结型硅晶体管诞生。此后，人们提出了场效应晶体管的构想。随着无缺陷结晶和缺陷控制等材料技术、晶体外延生长技术和扩散掺杂技术、耐压氧化膜的制备技术、腐蚀和光刻技术的出现和发展，各种性能优良的电子器件相继出现，电子元器件逐步从真空管时代进入晶体管时代和大规模、超大规模集成电路时代，逐步形成作为高技术产业代表的半导体工业。

由于社会发展的需要，电子装置变得越来越复杂，这就要求电子装置必须具有可靠性好、速度快、消耗功率小以及质量轻、小型化、成本低等特点。自20世纪50年代提出集成电路的设想后，由于材料技术、器件技术和电路设计等综合技术的进步，在20世纪70年代研制成功了第一代集成电路。在半导体发展史上，集成电路的出现具有划时代的意义：它的诞生和发展推动了通信技术和计算机的进步，使科学研究的各个领域以及工业社会的结构发生了历史性变革。凭借卓越的科学技术所发明的集成电路使研究者有了更先进的工具，进而产生了许多更为先进的技术。这些先进的技术又进一步促使更高性能、更廉价的集成电路的出现。对电子器件来说，体积越小，集成度越高；响应时间越短，计算处理的速度就越快；输送频率越高，传送的信息量就越大。半导体工业和半导体技术被称为现代工业的基础，同时也已经发展成为一个相对独立的高科技产业。

1.2 电子元件的分类

电子元器件种类极多，而且随着科技的进步和社会的发展，具有更优异性能的各种新品种电子元器件层出不穷。下面简要介绍在常用电器上所用的常见电子元器件。

1.2.1 电阻器

电阻的英文名称为 **resistor**，用符号 R 表示。它与导体的尺寸、材料、温度有关，是最常用、最基本的电子元件之一。利用电阻对电能的吸收作用可在电路中分配电能，稳定和调节电路中的电流和电压。常见的电阻器有固定电阻器、电位器、半可调电阻器、敏感电阻器和熔断电阻器等类型。

(1) 固定电阻器 固定电阻器是指阻值固定不变的电阻器，主要用于阻值固定而不需要调节变动的电路中。图 1.2.1(a) 是我国国标电阻器符号。图 1.2.1(b) 是国外常用电阻器的符号。图 1.2.1(c) 是标有该电阻器额定功率的电阻器符号。在电路中，大部分电阻器的功率较小，除个别额定功率要求较高以外，电路图中一般不标出电阻器的额定功率。

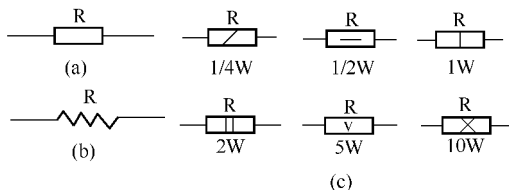


图 1.2.1 固定电阻器的电路符号

常用的固定电阻器有以下几种。

① 碳膜电阻器 (碳膜) 碳膜电阻器是在陶瓷棒或陶瓷管上按一定工艺要求先涂一层碳质电阻膜，并在电阻膜上刻螺旋纹

槽以调整电阻值，然后两端装上帽盖，焊上引线并在表面加涂保护漆，最后在漆膜表面印上标号。碳膜电阻器稳定性好，电压的改变对阻值影响小，阻值范围大，可以制成几欧姆的低值电阻，也可以制成几十兆欧姆的高值电阻。由于碳膜电阻器制作成本低，价格便宜，它是目前使用最多的一种电阻器，在精度要求不高的收音机、录音机中得到广泛使用。

② 金属膜电阻器 (硃Ω) 摇金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似，只是电阻膜是在陶瓷棒或陶瓷管表面用蒸镀法或烧渗法制成金属膜，其种类主要有镍铬合金膜和金铂合金膜两种。金属膜电阻器除具有碳膜电阻器的特征外，比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，噪声更低，耐热性能比碳膜电阻器好得多且体积更小，主要用于高档的家用电器，如音响设备、录像机、摄像机等。

③ 氧化膜电阻器 (硃再) 摇氧化膜电阻器是在绝缘瓷棒上沉积一层金属氧化膜而制成，它的外形与性能均与金属膜电阻器相似，但其制造工艺简单，成本低，耐热、耐压性能更好，在精度要求不太高时可以替代金属膜电阻器使用。

④ 线绕电阻器 (硃线) 摇线绕电阻器是用电阻系数较大的锰铜或镍铬合金电阻丝绕制在陶瓷管等骨架上制成，它的外层涂有耐热的绝缘层，两端有引线或装有金属引脚。线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大，一般可承受猿~五瓦的额定功率而且耐高温，可以在 员缘益高温下正常工作。但由于它体积大，阻值不高 (员欧以下)，因此适用于大功率电路中。此外，精密的线绕电阻器也用于电阻箱、测量仪器 (如万用表) 等电器和小型电讯仪器、仪表中。由于线绕电阻器的固有电感较大，因而不能在高频电路中使用。有一种

陶瓷绝缘功率性线绕电阻器俗称水泥电阻器，它是将线绕电阻体装在陶瓷绝缘壳中，其型号标示为 RX 载，广泛应用于计算机、电视机、仪器、仪表中。水泥电阻器的电阻丝同焊脚引线之间采用压接方式，在负载短路的情况下，可迅速在压接处熔断以保护电路。由于水泥电阻器采用工业高频电子陶瓷外壳，所以具有优良的阻燃、防爆特性和绝缘性能（绝缘电阻达 $10^9 \Omega$ ）；同时它散热好，功率大。水泥电阻具有多种外形和安装方式，可直接安装在印制电路板上，也可利用金属支架独立安装焊接，其外形如图 5-10 所示。

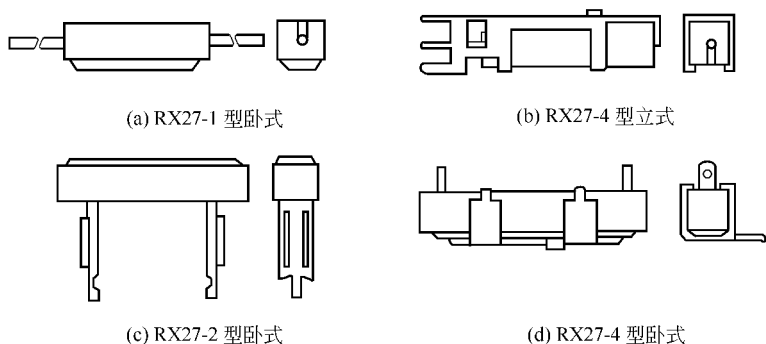


图 5-10 摇水泥电阻的外形

⑤ 有机实心电阻器（ RX 摇）有机实心电阻器由石墨或炭黑等导电材料及不良导电材料混合并加入黏结剂后压制而成，它的内部没有绝缘瓷棒和引线帽，而是实心的，引线从内部引出。实心电阻器成本低，价格便宜，过负载能力强，有很高的可靠性；但固有噪声高，分布电容及分布电感影响大，电压和温度稳定性差，在家用电器中较少采用。

（圆）电位器摇电位器也称为可变电阻器，它是在一定的范围内阻值连续可变的一种电阻器，主要用于阻值需要经常变

动的电路中。图 5-1-10(a) 是电位器的一般电路符号，在电路中用字母 RP 表示。图 5-1-10(b) 是带开关电位器的电路符号，S₁ 是附在 RP 上的开关，S₁ 受转柄控制。图 5-1-10(c) ~ 图 5-1-10(e) 是电位器在三种应用电路中的表示方法。其中，图 5-1-10(c) 是将电位器的猿根引脚分成源个端点，组成双口网络。图 5-1-10(d) 是电位器的另一种应用方式，其作用相当于圆个可变电阻器。图 5-1-10(e) 是采用可变电阻器时的表示方式。

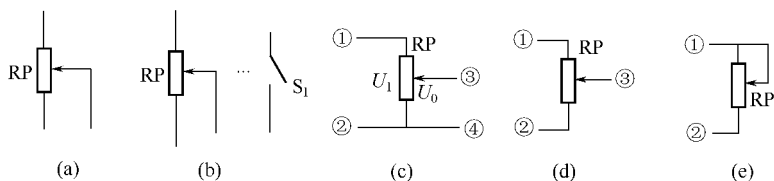


图 5-1-10 电位器的电路符号

可以按照不同的标准对电位器进行分类。

按调节方式分为旋转式（或称转柄式）和直滑式电位器。图 5-1-11(a) 和图 5-1-11(b) 所示是旋转式电位器，可顺时针、逆时针旋转电位器的转轴来调节阻值。图 5-1-11(c) 所示是十字花式电位器，通过滑柄做直线滑动来改变阻值。

按联数分为单联式和双联式电位器。单联式电位器就是一只操纵柄只能控制一个电位器的阻值变化，如图 5-1-12(a) 和图 5-1-12(b) 所示。双联式电位器可用一只操纵柄同步控制圆个电位器的阻值变化，如图 5-1-12(c) 所示。

电位器按有无开关可分为无开关和有开关两种。有开关的电位器常用于音量控制，其附设的开关则可作为电源开关。

电位器按输出函数特性分为线性电位器（载型）、对数电位器（阅型）和指数电位器（在型）三种。