

高等学校教学用书

电真空材料及工艺

DIANZHENKONG CAILIAO JI GONGYI

上册

施 华 编

人民教育出版社

高等学校教学用书



电真空材料及工艺

DIANZHENKONG CAILIAO JI GONGYI

上册

施 华 编

人民教育出版社

电真空材料及工艺

上册

施 华 编

人民教育出版社出版

高等学校教学用书编辑部
北京宣武门内大街27号

北京市书刊出版业营业许可出字第2号

京 华 印 书 局 印 装

新华书店科技发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号 15010·1071 开本 850×1168^{1/32} 印张 9 10/16 插页 3

字数 242,000 印数 0001—3,800 定价 (7) ¥ 1.20

1961年9月第1版 1961年9月北京第1次印刷

目 录

第一章 緒論	1
§ 1.1 电子器件結構工艺的一般介紹	1
§ 1.2 电子器件生产的特点	5
§ 1.3 本課程內容、要求及其在电真空技术中的作用	8
第二章 气体及气体燃料	9
§ 2.1 电子器件生产中所用的气体	9
§ 2.2 氢气和氧气	9
§ 2.3 氮气及其他气体	17
§ 2.4 气体燃料	22
§ 2.5 气体的貯存和运送	36
§ 2.6 使用气体的安全注意事項	37
第三章 金属及合金	39
§ 3.1 金属及合金的基本概念	39
§ 3.2 金属的主要性质	43
§ 3.3 金属的制取及提純	57
§ 3.4 密致金属的制取——粉末冶金法	61
§ 3.5 金属材料的机械加工	68
§ 3.6 材料的分析与檢驗	72
§ 3.7 电真空用金属及合金的分类	84
§ 3.8 难熔金属	86
§ 3.9 非难熔金属	107
§ 3.10 代用材料	125
§ 3.11 貴金属	129
§ 3.12 具有吸气性能的金属	133
第四章 介质材料、加工及熔封	156
§ 4.1 玻璃的概念	156
§ 4.2 玻璃的主要性质	164
§ 4.3 玻璃的熔制及加工	188
§ 4.4 玻璃制品中的应力及其消除方法	205
§ 4.5 玻璃与金属封接的类型及結構	217
§ 4.6 玻璃与金属封接用的材料	225
§ 4.7 玻璃与金属的封接工艺	239

§ 4.8 陶瓷	264
§ 4.9 陶瓷与金属的封接	277
§ 4.10 陶瓷与玻璃的封接	289
§ 4.11 云母	289

附录

附录 I	元素周期表
附录 II	某些元素的蒸汽压
附录 III	吸气剂性能的比较表
附录 IV	吸气金属吸收气体的量
附录 V	电真空器件用的各种金属的蒸发速度(克/厘米·秒)
附录 VI	特种鎢
附录 VII	特种鉬
附录 VIII	牌号 ВЧ. ВК. ВА-3, ВА-5, ВМ. ВТ-10 鎢絲的机械性質 (按С. И. Ипатова)
附录 IX	牌号 МЧ 鉬絲的机械性質

第一章 緒論

§1.1 电子器件結構工艺的一般介紹

1.1.1 电子器件在国民經济中的作用

在我們的时代,电子器件得到了飞跃的发展。

1873年,俄国工程师洛得金发明了白熾灯,1881年发现了爱迪生效应,1904年正式出现了电子管——一只简单的二极管,1907年做成了三极管,并迅速用于无綫电技术中,且有力地促进了无綫电技术的发展。同时,在无綫电技术发展的要求下,在其他科学技术发展的推动下,短短几十年,电子器件有了迅速的发展,在日常生活和科学技术各部門中得到了广泛的应用。现在,可以这样說,在国民經济中,几乎没有一个部門可以不用到电子器件的。

解放以来,在党的领导下,我国的电真空工业得到了很大的发展,并正在以空前的速度繼續发展着。

1.1.2 电子器件的典型結構

电子器件的种类形式很多,一个束射四极管的典型結構表示在图1.1中。不論何种管型,它都是由許多結構元件——零件与部件所組成的。所謂零件,是指未經装配的結構元件,如玻壳,云母片,阳极等。而部件是指由二个以上的零件經過装配工序所組合起来的結構元件,如带排气管的玻壳,已装配之管芯,带铆釘的云母片等。所有能在管内独立完成某一作用的零件和部件都叫做結構元件,如阳极,栅极,阴极等。下面简单地說明一下結構元件的作用、类型及其特点。

1. 阴极 又称发射极,是发射电子的电极。可分为直热式与間热式(图1.2)。前者电子从加热灯絲上直接发射出来,而后者則从套管

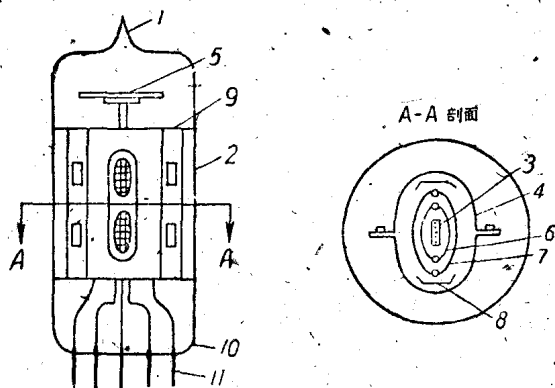


图 1.1 电子管的典型结构:

1—排气管封离端; 2—玻壳; 3—阴极; 4—阳极; 5—吸气剂; 6—第一栅极; 7—第二栅极; 8—束射屏; 9—云母片; 10—芯柱; 11—管脚(引出线)。

1. 的涂层内发射出来,并由套管内的热子来加热。不论何者,都要用电加热到一定温度才能有电子发射,属于所谓热阴极。此外,还有不用加热而依靠光电发射、二次电子发射等方式做成的所谓冷阴极。

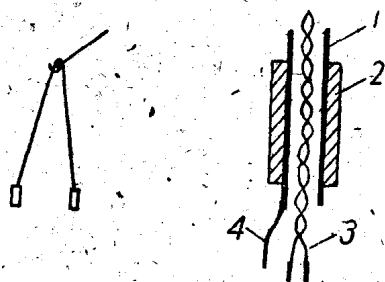


图 1.2 阴极:

a) 直热式阴极; b) 间热式阴极。

1—镍管; 2—涂层; 3—热子; 4—尾丝。

2. 阳极 又称接收电极、板极或屏极, 最普通的形状如图 1.3 所示。它用来接收从阴极发射出来的电子, 电子从电场中取得的能量在打到阳极时, 变为热能, 使阳极温度升高, 这些热量依靠阳极本身的热辐射或人工强迫冷却方式传出去, 使阳极工作温度不致太高。

在大功率管中, 板耗问题需要特别注意。

3. 栅极 一般做成栅栏状或网状 (图 1.4)。用来控制从阴极到

阳极运动的电子流,又使电子能自由通过。由于栅极距阴极很近,阴极活性物质可能蒸发上去,同时由于受到阴极的热辐射或受电子的轰击

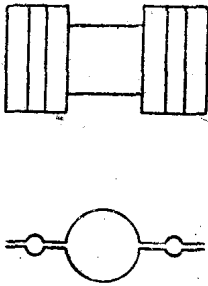


图 1.3 电子管的阳极。

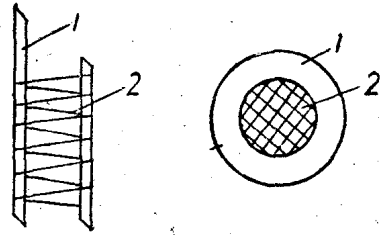


图 1.4 电子管的栅极:

a)螺旋形栅极; b)网状栅极。

1. 边杆或框架 2. 栅丝

而使栅极发热,因而可能引起栅极的热电子发射,这是应该避免的。在大功率管中特别严重,须设法解决。

最简单的电子管为二极管,如果在阳阴极之间加入一个栅极作控制用,则构成三极管,依此有四极管、五极管等。所加入之栅极分别完成不同的作用。除了管内只有一组电极组成一独立部分的管子外,有时将二组电极放于一个管壳中,即组成所谓复合管。有的两组电极完全相同的,如双二极管(如 5Π4C),双三极管(如 6H1Π),双四极管(如 ГY-32)等。有的两组电极不同,如二极三极管(6SQ7)、二极七极管(6H1Π)等。

4. 芯柱 作为外壳的一部分,各零件、电极装于其上与封入其中的引出线相连,依其结构形式可分为:碟形芯柱和梳形芯柱(图 1.5)二类,碟形芯柱的引线短、体积小、适于高频器件应用。

5. 外壳 它是器件内部保持高度真空所必需的,可以是玻璃的、金属的或陶瓷的。其形状视器件种类而异(图 1.6)。

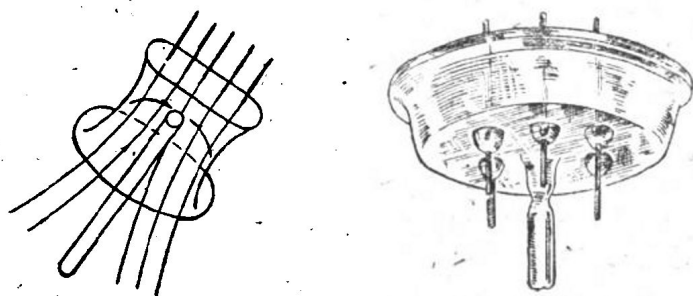


图 1.5 电子管的芯柱:
a) 碟形芯柱 b) 梳形芯柱

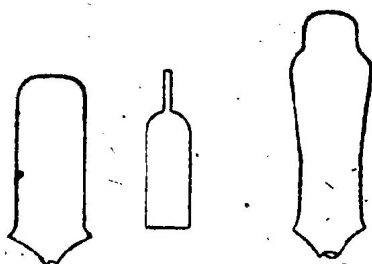


图 1.6 电子管的玻璃外壳。

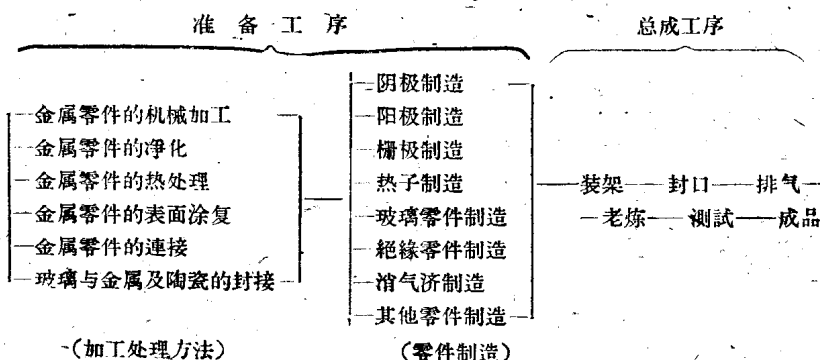
除了上述主要结构元件之外，还有云母片、陶瓷片等绝缘支撑物、连接带、弹簧钩等金属零件，以及吸气剂、隔离片等，这都属于辅助零件，在充气管中还要充入气体或蒸汽，如汞、惰性气体等。

1.1.3 生产的工艺过程及组织

整个器件的生产分成许多独立的工序。根据设计结构的要求选用

材料,做成零件,再将零件装成部件,进而制成整个器件。由于电真空器件种类很多,它们的制造工艺亦有所区别,但基本生产程序还是相似的。在表 1.1 中给出了电子器件生产的主要工艺路线图,各零件本身的制造,称为电子管生产的准备工序其中包括在制造各元件时可能用到的各种加工方法。而从装架开始,一直到成品出厂的所有加工过程称为电子器件的总成工序。

表 1.1 电子器件生产的典型工艺过程



§ 1.2 电子器件生产的特点

1.2.1 所用材料的广泛性

因为器件种类多,作用各不相同,所涉及的材料面也很广;在自然界所有元素中,几乎有 70% 以上的元素被采用。而且不仅是有关元素和合金,还广泛应用了各种介质及化合物等。习惯上按照材料的具体用途及其物理化学性质,大致分为下列几类:

1. 气体及气体燃料。
2. 用以制造电子器件结构元件的金属及合金。
3. 介质材料,如玻璃、陶瓷、云母、塑料等。
4. 特殊材料:

(1) 与玻璃熔封的金属和合金。

- (2) 发射材料。
- (3) 发光材料。
- (4) 零件淨化 电鍍、打印、粘結用材料。

生产上材料用得很多，同一材料有性能、規格、牌号的不同（如純度、品种等），为了保証生产的順利进行及产品的质量，必須建立一套标准。在苏联，有全苏标准委员会，規定国民經济部門应用材料的主要性质，記載在苏联国家标准（即 ГОСТ）內，按照这一标准来生产及选用材料，例如做栅极用的一种鎳錳絲可写成：

HMII-5, ГОСТ 4092-52, Φ 1ГОСТ 1049-41。

前者为材料之成分，說明它是含錳 5% 的鎳錳絲，后者表示品种，是直径为 1 毫米的絲狀材料，而 ГОСТ 4092-52 表示苏联国家标准，在 1952 年发表的 4092 号。

我国自 1958 年起也頒发了国家标准（符号是 GB）。

1.2.2 对材料要求的特殊性

电真空生产中所用的材料，除了应考虑其机械强度，加工难易程度，国家資源情况等因素外，必須首先考虑到材料的真空性能，即放气吸气性能，在真空中的蒸发程度，耐热性能和电子发射能力等，这与材料要做成的零件和它的工作条件有关。

在器件中，按其受热情况，零件可以分为加热体，热零件，冷零件及外部零件等四类，各对材料提出了不同的要求，如用作加热体的材料要求熔点高，蒸发率小，高溫强度好，逸出功小等。作为热零件的材料要求有大的輻射系数，真空性能好，逸出功大等，外部零件則要求有良好的机械性能，抗蝕能力等。而且同为一种电极，在不同管型中要求也各异，如大功率管水冷阳极要求导热性好，而小型管的阳极要求輻射系数高。各种管型也有它特殊的要求，如充汞的离子管中要求电极材料是不与汞起作用的，大功率管的铜阳极因与玻璃熔封，应采用无氧銅。

最后必须指出，除了材料的品种外，对材料的质量要求也极为苛刻，尤其是在含杂质质量和纯度方面的要求特别严格，可以说这是电子器件生产中的又一很大特点。如充汞管中所用的汞，其纯度要达 99.999% 以上，阴极基金属材料的纯度要在 99.99% 以上。

1.2.3 生产技术的复杂性

电子器件的生产不仅本身工艺复杂，而且还涉及到下列各专门技术：

1. 真空技术 高真空的获得（包括各种抽气、去气方法）和测量、真空系统的装置、检漏，使用和维持等。
2. 玻璃技术 玻璃的熔化，玻璃零件的制造、玻璃和玻璃的封接，玻璃和金属的封接，以及玻璃和陶瓷、金属与陶瓷的封接问题等。
3. 机械技术 工具、模具和夹具的设计和制造，各种零件的机械加工。
4. 化学技术 零件的清洁处理，表面涂复以及各种分析、检验和制取等。
5. 无线电技术 电子管在无线电装置中的运用，根据运用要求设计改进电子管结构、电子器件的测试及测试设备的装置，特别在超高频器件中，器件与线路更是不可分割的。
6. 冶炼技术 金属及合金的冶炼、提纯、制造及其分析等。

1.2.4 严格要求的真空卫生

高度的清洁卫生、对电子器件的生产来说是保证质量的重要条件，特别是对秽物敏感的阴极车间和装配车间、因此在厂址环境的选择，厂房的设计布置与建造时，均需充分考虑这些要求。为了保证车间内有合适的气候条件，有时采用人工通风及调节空气的温度及湿度，并将送入车间内的空气，经过过滤去除尘土。

§ 1.3 本課程內容、要求及其 在電真空技術中的作用

電真空材料及工藝一課的內容，包括電子器件生產中所用各種主要材料的性能、加工製造方法、電子器件的生產製造工藝、有關的工藝機理的探討以及有關的分析檢驗等。它的任務是使學生通過本課程的學習，能夠根據設計要求選擇材料及工藝規範，以最少的材料，最佳的工藝、最經濟的方法製備出高質量的器件來，為獨立分析並解決生產實踐中出現的具體問題打下良好的基礎。與專業中的其他課程一起，互相配合，服務於電子器件專業的培養目標。

本課程在整個專業中是作為一門重要的專業課來講授的，但它又具有專業基礎課的一些性質，在內容方面，它以接收放大管、大、中、小功率振蕩管為主要討論對象，並適當涉及其他各類管型的製造工藝，因此，它與電子管課有密切的關係，並為學習特種管中有关材料工藝打下基礎。

在生產中要做到多、快、好、省，就必須注意安全生產，不發生設備或人身事故，所以在有關工藝操作中，講解安全技術與措施，也是十分必要的。

電真空材料及工藝課是一門與生產實際有密切聯繫的課程。因此學習中，要和具體材料、零件、成品多接觸，注意生產中的實際問題，增加感性知識，例如可解剖實物，觀察其結構及材料，思索體會其工藝過程，以使與生產實際更好地連系起來。當然，這絲毫也不能貶低必要的理論基礎和理論教學的作用。此外，在學習中，還應與其他有關課程，生產勞動和生產實習緊密結合，相輔相成，以提高教學質量。

第二章 气体及气体燃料

§ 2.1 电子器件生产中所用的气体

在电子器件生产中,采用了多种气体,归纳起来可分为下列几种:

1. 氩气。
2. 氧气。
3. 氮气。
4. 压缩空气。
5. 气体燃料(煤气)。
6. 二氧化碳气。
7. 稀有气体。
8. 水蒸汽。

它们为着各种不同的目的而被应用着,如可以是作为离子器件的工作气体,金属的还原剂与热处理的保护介质,或作为高温加工零件用的燃料,以及其他特殊用途。这些气体有的只为一种目的而应用,有的则有多种用途,这决定于气体本身的性质和生产中的需要。

上述气体,大多数并不反映到产品中去,但却为生产所必需,是一种辅助材料。下面将生产上需要的主要气体作一介绍,重点在制取和净化方面。

§ 2.2 氢气和氧气

2.2.1 氢气和氧气的性质及应用

在化学中已经知道氢气是无色、无味、无臭的气体。它很轻,只为空气重量的 $\frac{1}{14.5}$ 。因此它的扩散速度大,热传导性好。此外,氢气能被许多金属所吸收,吸收量主要决定于金属的表面积。钯吸收氢的量最

大,它不但可以吸收氢气,并且可将其溶解进去。由于氢的可溶性,使其具有透过熾热的鉄和鉑的能力,透过鉑則更容易。所以,要在离子器件中充进純淨的氢气时,可以利用鉑管得到。氢气的透过能力虽强,但却不能透过玻璃。

氢气很容易和非金属相結合,最容易的是与氟,这种結合由于化学反应的剧烈,常伴随有爆炸。它与氧气也很容易結合,能够从金属氧化物中夺取气并将金属还原,而本身与之結合为水。所以,它是一种强的氧化剂。在与氧气以一定比例結合时,形成爆炸性气体,在火焰、火花或高温作用下,会引起爆炸,所以氢气又是一种危险性气体,它的爆炸范围見下列表 2.1。

表 2.1 氢气的爆炸极限

	爆炸下限(氢气体积%)	爆炸上限(氢气体积%)
氢-氧混合气体	5%	94.3%
氢-空气混合气体	5%	73.5%

氢气可以自燃,而不能助燃。燃燒时放出大量的热,所以是气体燃料(煤气)中的一个主要成分。

氢气在电真空生产中主要用来作为金属零件热处理及退火时的保护性气体,作为还原剂还原金属氧化物,也可以用作氢原子焊的材料,作为玻璃与金属封接时的保护性气体,以及作为充气管的工作气体。此外还可用于真空檢漏等。

氢气的性质,在化学中已有詳細的叙述。它的特点为具有良好的助燃性能,能与各种金属起化学作用,生成电真空生产中所不希望有的氧化物,在生产中主要用来提高火焰的温度,在某些器件生产中,如銀氧鉑光电面制造中也有应用。

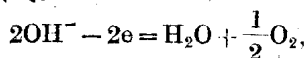
2.2.2 氢气和氧气的制取——水的电解

在工业上制取氢气有两种方法：一为循环法，以铁屑在高温下和水蒸汽作用，使水分解放出氢气，但成分不纯，难以满足电真空工业生产中的需要。

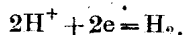
其次为水的电解，可得到大量的氢气和氧气，其反应为：

水电解：
$$\text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{OH}^-$$

在阳极上放出氧气：



在阴极上放出氢气：



纯水本身的电导很差，电导率为 $(1-2) \times 10^{-6}$ 欧 $^{-1}$ ·厘米 $^{-1}$ 。以纯水电解，生产率低，所以常用碱溶液代替纯水作为电解液，如氢氧化钠或氢氧化钾的水溶液。浓度为30%左右，温度近80°C，因为此时电导性最好，而对电解槽的浸蚀作用不大。

电解是在电解槽中进行的，最简单的一种电解槽结构见图2.1。生铁的电解槽壁作为电极片，其上有槽，以增大表面积，使产气量增加。橡皮衬垫2则将电极片与其他部分绝缘起来。为了使电解时所产生的氢气和氧气，不致互相混合，电极中间放有多孔金属板或石棉隔片3。它很紧密而又多孔，使气体不能透过，而溶液及离子则可以流通。所得气体由上部的出气孔分别引出到贮存处去。由于生产上对氢气需要量大，故通常采用数十个电极片一边作为正极，另一边与相邻电极比较，则又是负极，故称为双极性的电极

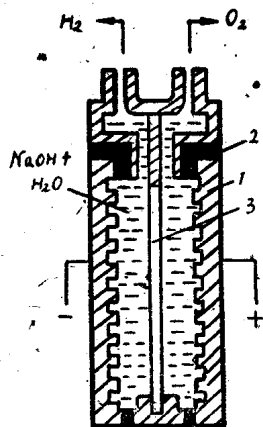


图 2.1 制备氢气用的电解槽：

1—生铁的电解槽壁；2—橡皮衬垫；3—隔膜片；

片。下面我们介绍一种新式的工业用的压滤机式双极性电解槽，其外形如图 2.2 a 所示。如取其中一部分来看(图 2.2 b)由 A 到 B 为电解

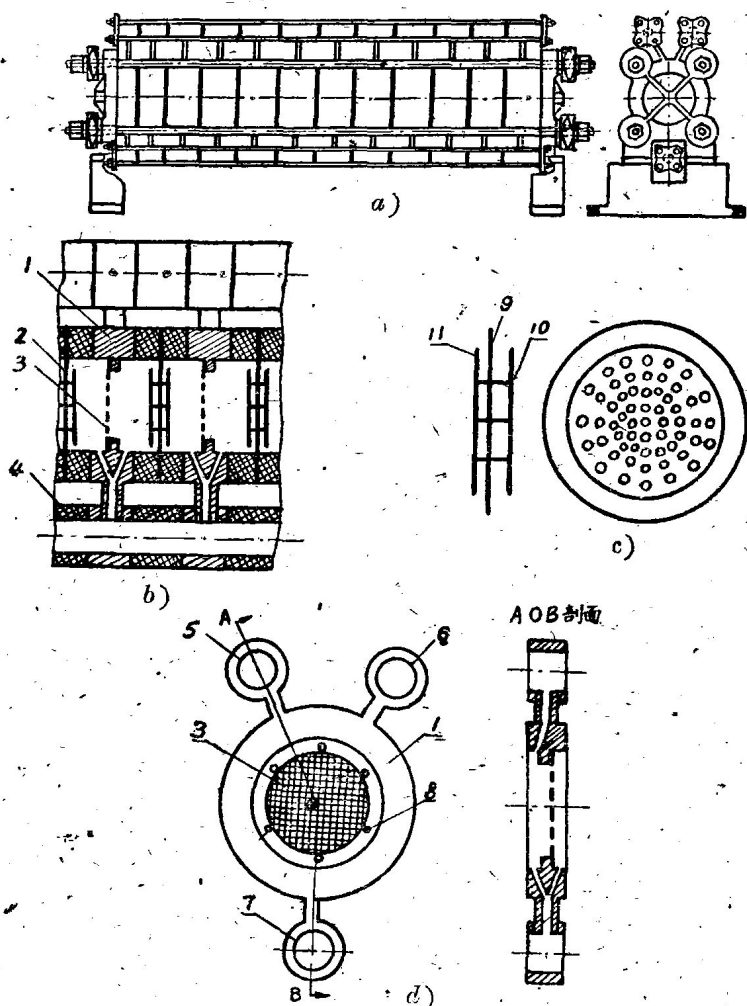


图 2.2 电解槽外形及其结构

- a) 外形示意图; b) 纵向剖面原理图; c) 电极片; d) 石棉框架。
 1—框架; 2—电极片; 3—石棉隔膜; 4—橡皮垫圈; 5—集氢管; 6—集
 氧管; 7—碱液管; 8—铆钉; 9—母片; 10—阴离子片; 11—阳离子片。