

讲义

334511

688859

7772

T. 1

自然科学著作

空心阴极放电 及其应用

上册

周开亿 主编



真空科学与技术杂志社

Edition in Chief Zhou Kai-Yi

*Central Iron and steel Research Institute, The Ministry of
Metallurgical Industry, Beijing*

Hollow-Cathode Discharge and Its Application

Volume one

Vacuum Science and Technology
Publishing House

P. O. Box 5105, Beijing, China

2.00.

710908

讲义

334511

7772 自然科学著作

T. 2

空心阴极放电 及其应用

下 册

周开亿 主编



成都科技大学图书馆

基本藏书

真空科学与技术杂志社

Edition in Chief Zhou Kai-Yi
*Central Iron and steel Research Institute, The Ministry of
Metallurgical Industry, Beijing*

Hollow-Cathode Discharge and Its Application

Volume two

Vacuum Science and Technology
Publishing House

P. O. Box 5105, Beijing, China

自然科学著作

空心阴极放电 及其应用

上册

周开亿 主编

真空科学与技术杂志社

自然科学著作

3345

7772

下2

7772

r. 2

空心阴极放电及其应用

下 册

周开亿 主编

空

1983

北 京

内 容 提 要

本书介绍了空心阴极放电、辉光放电的基本原理及其在原子发射光谱、高分辨率光谱、同位素分析、原子吸收光谱、荧光光谱、计量技术、质谱、金属材料化学热处理、等离子体熔炼、真空离子镀膜以及气体激光技术等广泛领域中的应用，是一本基础性自然科学著作。

本书可供冶金、机械、地质、电气、环保、化工、原子能、食品、农业、医药卫生、仪器仪表、以及科学研究等部门从事物理、化学分析检验、计量标准、电气光源、等离子体熔炼、真空离子镀膜、金属材料化学热处理和气体激光工作的技术人员、工程师、管理人员、研究人员、设计人员、工人以及高等、中等院校有关专业的教师、学生以及实验人员参考。

空心阴极放电及其应用(上册)

(学习班专用讲义)

周开亿 主编

出版者 真空科学与技术杂志社

(北京5105信箱)

发行者 冶金工业部钢铁研究总院

(北京学院南路24号)

印刷者 北京西城区丰盛印刷厂

(北京西四前泥洼北丰1号)

开本787×1092 1/32 字数(上册)260000

1982年9月第1版 工本费(上、下册)5.00元

内 容 提 要

本书介绍了空心阴极放电、辉光放电的基本原理及其在原子发射光谱、高分辨率光谱、同位素分析、原子吸收光谱、荧光光谱、计量技术、质谱、金属材料化学热处理、等离子体熔炼、真空离子镀膜以及气体激光技术等广泛领域中的应用，是一本基础性自然科学著作。

本书可供冶金、机械、地质、电气、环保、化工、原子能、食品、农业、医药卫生、仪器仪表，以及科学研究等部门从事物理、化学分析检验、计量标准、电气光源、等离子体熔炼、真空离子镀膜、金属材料化学热处理和气体激光工作的技术人员、工程师、管理人员、研究人员、设计人员、工人以及高等、中等院校有关专业的教师、学生以及实验人员参考。

空心阴极放电及其应用（下册）

（学习班专用讲义）

周开亿 主编

出版者 真空科学与技术杂志社

（北京5105信箱）

发行者 冶金工业部钢铁研究总院

（北京学院南路24号）

印刷者 北京西城区丰盛印刷厂

（北京西四前泥洼北丰1号）

开本787×1092 1/32 字数(下册)330000

1983年9月第1版 工本费(上、下册)5.00元

下册: 2.50元

一种不可缺少的技术

戴礼智

(一九八二年十月四日)

空心阴极放电和辉光放电是原子光谱分析研究的重要课题，但是这种放电现象的应用并不局限于光谱分析。用于冶炼，则构成等离子体电子束炉；用于热处理，则诞生辉光放电热处理设备；用于真空镀膜，则出现空心阴极离子镀膜装置；用于激光，则发明一种新的激光器……。它在近代工业生产和科学研究的广泛领域逐见成效，已成为一种不可缺少的技术。

周开亿等同志从物理学的基本原理出发，根据国内外的历史和现状以及本人多年的研究结果，写成《空心阴极放电及其应用》一书，反映了这项技术在各个领域应用发展的水平，是近年来很少见到的、有创造性的基础著作。本书不仅对光谱分析工作者，而且对从事激光、质谱、金属化学热处理、离子镀膜以及等离子体熔炼等工作的科学技术人员都有参考价值。

前 言

空心阴极放电，是低压气体放电的一种特殊形式，由德国实验物理学家帕邢 (Paschen) 在1916年首先报道和使用。这种放电具有良好的稳定性，较高的激发能量（能激发多次电离的谱线）和狭窄的谱线宽度，因而在高分辨率光谱分析（测定核矩和同位素）和研究元素的离子光谱中，首先获得了广泛应用。本世纪中叶，人们发现原子在空心阴极中集居时间长，激发效率高，因而在作痕量元素的光谱分析时，具有较低的检出限。于是，空心阴极光源又在发射光谱分析中找到了应用，并在难激发元素、难熔金属，难熔合金，以及难熔金属氧化物的痕量元素的分析上，特别是超纯物质分析上，取得了成功。1955年，澳大利亚物理学家沃尔什 (Walsh) 在理论上预见，并用实验证明，在原子吸收测量中，若采用一种能发射锐（宽度窄）线光谱的光源照射原子蒸汽的吸收层，那么就可以用简单的峰值吸收测量，代替复杂的积分吸收测量，而且可以建立吸收系数与原子浓度成正比的关系。于是近百年来，未在分析化学中得到广泛应用的原子吸收分光光度分析，终于别开生面。在沃尔什的倡议下，几乎被人遗忘的帕邢首创的封闭式空心阴极灯，又重新获得重视，找到了广泛应用的领域。1968年德国物理学家格里姆 (Grimm) 设计出一种特殊结构的辉光放电灯，成功地利用辉光放电的高度稳定性，解决了一系列金属、合金和矿物的主成份的分析、表面分析、逐层分析以及非金属元素分

析等历来较为困难的问题。近年来，应用空心阴极、辉光放电的新技术更是层出不穷，例如简易、价廉、稳定的空心阴极离子源四极质谱计；直接分析固体试样的空心阴极、辉光离子溅射原子化池；检出限低、价廉的空心阴极、辉光放电共振检测器；准直性好、镀膜附着力强的空心阴极离子镀膜机；工作稳定、操作简便的空心阴极等离子体电子束炉；产品质量高、工艺稳定的辉光放电化学热处理炉；增益高、噪音低的空心阴极激光器以及工作稳定、自动化程度高的ZKG—I型空心阴极光源等，就是一些典型事例。空心阴极、辉光放电的理论和实践，已成为世界各国科学家、工程技术人员研究的重要课题。本书就是主编二十年来对这项技术的调查结果、研究结果和实验结果的概括与总结。

本书力求深入浅出，通俗易懂，着重阐述基本理论、实验数据和最新成果，使初学者和有一定基础的工作人员都能阅读，并有所裨益。

在本书编著过程中，作者邀请了机械工业部材料保护研究所邹明志，冶金部钢铁研究总院刁伟涛，分别编写了第七、八章和第十章，最后由主编统一修改定稿。

最后，谨向对本书提供了技术指导、帮助和各方面支持的戴礼智、钱振彭教授，江君照、姚元恺、姚影澄、毛希敬、孙永定、范椿祺、隋玉俭、王世章高级工程师，谭世源、景桂兰、孟宪发、辛培文、张振武、李晶茹、王玉兴工程师，李英杰、张树田等同志，以及牡丹江电工仪器厂表示衷心感谢！

周开亿

一九八二年四月二十九日于北京

愿出版成功

钱振彭

(一九八二年八月十八日)

随着光谱学的发展，光谱分析的应用范围逐步扩大。其间历史，已有百年。及至近年，在工业生产上的应用，已占分析量的百分之六、七十。在我国虽尚未达到同样的普及，但考诸劳动生产率之提高，光谱分析工作也需大力发展，应毋庸置疑，这也是分析工作者应规划的要务。

低气压放电之应用随着光谱分析的发展而日趋广泛。它已成为一个重要课题，须由光谱分析工作者所掌握。

周开亿同志之来钢铁研究总院工作，已在我调离之后，由孙永定同志介绍，得相认识。得知他原先致力于高分辨率光谱工作，后来则从事空心阴极光源光谱分析，殆已近二十载矣。发射光谱分析用的空心阴极光源是低气压下放电之一种。由于这种光源能够提供较电弧或火花为好的检出限，更适用于作痕量分析。样品可以不经化学处理，迳即激发分析，较诸化学光谱法，有避免污染、空白值低等优点。周开亿等同志对此种光源，苦心钻研，制成 ZKG—I 型自动空心阴极光源装置，定型生产，推广应用，并已经被国家评定为优秀创造发明。据此可以认为，凡欲工作有所成就，必须持之以恒，十年不长，逐步深入，方可见效与。

为了使光谱分析工作者掌握空心阴极放电的基础理论及

实际应用，周开亿同志又主持编写有关书籍三种，书名《空心阴极放电及其应用》，《动态平衡式空心阴极光源》，《空心阴（阳）极光源在我国的应用》。此事得到钢铁研究总院领导的支持，予以印行。阅读书中内容，不局限于发射光谱分析用的空心阴极光源，并涉及空心阴极放电的其它方面，尤其对放电的机理作详细的讨论，必将有助于有关工作者学术水平的提高。愿预期出版之成功。

目 录 (上册)

第一章 空心阴极放电的电光学特性	1
§ 1.1 辉光放电.....	1
§ 1.2 空心阴极效应.....	7
1.2.1 空心阴极效应的一般特性.....	9
1.2.1 空心阴极效应的理论——“电子摆动论”.....	11
§ 1.3 空心阴极灯中的放电现象和特性.....	12
1.3.1 放电现象和一般特性.....	12
1.3.2 放电的区域分布.....	15
1.3.3 负辉的光学和光谱特性.....	18
§ 1.4 空心阴极放电向电弧放电的转化.....	19
第二章 蒸发、激发机理	23
§ 2.1 蒸发机理.....	23
§ 2.2 空心阴极放电的阴极温度.....	30
§ 2.3 激发机理.....	36
§ 2.4 载气、气压、放电电流和阴极尺寸对原子激发和 电离的影响.....	46
§ 2.5 载气的选择.....	56
第三章 用于高分辨率光谱分析的空心阴极灯	60
§ 3.1 热空心阴极灯.....	68
§ 3.2 有纵向切口的空心阴极灯.....	73
§ 3.3 休勒的冷空心阴极灯.....	75
§ 3.4 阴极长度可变的空心阴极灯.....	82

§ 3.5 双阳极空心阴极灯	85
§ 3.6 用来研究微量试样的空心阴极灯	87
§ 3.7 液氮冷却的空心阴极灯	89
§ 3.8 用来研究蔡曼效应的空心阴极灯	92
§ 3.9 孔口半闭式空心阴极灯	94
第四章 用于发射光谱分析的空心阴极光源	97
§ 4.1 水平式空心阴极灯	112
4.1.1 一般结构和特性	112
4.1.2 阴极的屏蔽	122
4.1.3 微型空心阴极	125
4.1.4 三孔空心阴极	133
4.1.5 冷空心阴极	133
4.1.5.1 测定易挥发基体中的难挥发 杂质	134
4.1.5.2 元素蒸发过程的时间分解	135
4.1.5.3 粉末试样的分析	136
4.1.5.4 表面分析	138
§ 4.2 直立式空心阴极灯	138
§ 4.3 多阴极空心阴极灯	142
§ 4.4 蒸发过程和激发过程分开的空心阴极灯	147
§ 4.5 外加磁场的空心阴极灯	153
§ 4.6 脉冲电流供电的空心阴极灯	159
§ 4.7 脉冲电流和直流组合供电的空心阴极灯	163
§ 4.8 程序控制的空心阴极光源	170
4.8.1 ZKG—I型自动空心阴极光源	170
4.8.2 直读式程序控制的空心阴极光源	174
4.8.3 双光束直读光谱分析装置	177

第五章 用于原子吸收测量的空心阴极灯	181
§ 5.1 空心阴极灯的结构和制造	186
5.1.1 作灯的一般考虑	189
5.1.2 阴极的屏蔽	196
5.1.3 空心阴极灯的电源和调制	197
§ 5.2 空心阴极灯在直流供电时的光谱特性	198
5.2.1 灯的寿命	198
5.2.2 灯的共振辐射强度与气体种类、及其 压强的关系	200
5.2.3 灯的辐射强度与电流的关系	206
5.2.4 共振线的宽度与电流、充气种类的关系	207
5.2.5 辐射强度与阴极尺寸的关系	213
5.2.6 信号与背景强度的比	217
5.2.7 辐射强度的稳定性	219
5.2.8 一些典型空心阴极灯的特点和应用	226
5.2.8.1 砷空心阴极灯	226
5.2.8.2 钙空心阴极灯	227
5.2.8.3 铬空心阴极灯	228
5.2.8.4 钴空心阴极灯	228
5.2.8.5 铅空心阴极灯	229
5.2.8.6 锂空心阴极灯	230
5.2.8.7 铂空心阴极灯	231
5.2.8.8 钾空心阴极灯	231
5.2.8.9 铷空心阴极灯	231
5.2.8.10 硒空心阴极灯	233
5.2.8.11 钠空心阴极灯	234
5.2.8.12 碲空心阴极灯	234

5.2.8.13 锡空心阴极灯	235
5.2.8.14 锌空心阴极灯	235
§ 5.3 蒸发过程和激发过程分开的空心阴极灯	
高强度空心阴极灯	237
§ 5.4 用高频电流供电的空心阴极灯	241
5.4.1 高频空心阴极灯	242
5.4.2 高频增强的高强度空心阴极灯	247
§ 5.5 用脉冲电流供电的空心阴极灯	253
5.5.1 脉冲空心阴极灯的一般特性	254
5.5.2 脉冲空心阴极灯与原子吸收测量的 噪音	260
§ 5.6 多元素空心阴极灯	266
§ 5.7 能选择调制的空心阴极灯	271
§ 5.8 脉冲空心阴极灯发射光谱的时间分解	277
5.8.1 脉冲空心阴极灯的时间分解测光法	278
5.8.2 信号-噪音比的改善率	280
5.8.3 脉冲空心阴极灯的瞬态发射特性	283
5.8.3.1 分析线的时间分解轮廓	283
5.8.3.2 分析线和非吸收线的瞬态发 射特性的比较	284
5.8.4 在背景自动扣除中的应用	286
5.8.5 灵敏度和工作曲线的线性	289
第六章 空心阴极灯发射的原子共振线宽度	
§ 6.1 谱线宽度对超精细结构和同位素光谱分析 的影响	294
§ 6.2 共振线宽度对原子吸收测量的影响	298
§ 6.3 空心阴极灯发射的原子共振线的宽度	305