

气体与真空中的 电现象

上册

Н. А. 卡普卓夫著

高等教育出版社

53.652
162
=1

气体与真空中的 电现象

上册

H. A. 卡普卓夫著

南京工学院无线电系工业电子学教研组译

1246/5/52

24/3/11

高等教育出版社



53.652
162
2:4

气体与真空中的 电现象

下 册

H. A. 卡普卓夫著
南京工学院无线电系工业电子学教研组译

53.652/321

23.6.11

高等 5952.11 版 社



本書系根据苏联国立技术理論書籍出版社(Государственное издательство технико-теоретической литературы) 1950年出版的 Н. А. 卡普卓夫(Капцов)著“气体与真空中的电現象”(Электрические явления в газах и вакууме)第二版譯出的,可供气体与真空中电現象有关的工业部門(特别是电真空器件工业)的工程技术工作者、科学研究工作者及高等学校相应专业的高年級学生参考之用,可作为学习电子学或气体中电現象这类課程的教学参考書。

本書論述气体中及高真空中的各种电子及离子現象,但以气体中所出現的为主。全書共分二十四章:首先簡單介紹气体放电的一般概念及真空技术(第一和第二章)。其次較詳細地討論各种电子發射的問題(第三章至第五章)。第六章起至第廿三章止均屬气体放电現象領域;先論述气体放电的基本过程(第六至第十章)、气体放电的輻射(第十一章)及气体放电的分类(第十二章),然后分章研究各类气体放电的現象、屬性及理論(第十三章至第二十一章),最后就放电中的化学反应、气体放电及电子学在工程技术上的应用作了簡述(第二十二和第二十三章)。第二十四章附录中,列举了研究及实际使用气体放电时所需用的公式和数据。

中譯本分上下两册出版。上册包括第一至第十一章,下册包括第十二至二十四章。

原書末附有参考書籍 2524 本,对于进一步鑽研本課程來說是很具有参考价值的。但考虑到需使用这些参考書籍的讀者还不够普遍,且原書在国内也不难找到,为了节约紙張和減輕讀者負担起見,決定在譯本中不將参考書籍刊出。

本書由南京工学院無線电系工业电子学教研組同人集体翻譯:第一章系陈星弼、刘盛綱合譯,第二章系刘树杞、刘盛綱合譯,第三章系陈星弼譯,第四章、第五章、第十章、第十二章及第十八章系王子儀譯,第六章、第七章、第八章、第九章及第二十章系魏先任譯,第十三章及第二十三章系郭乃健譯,第十四章、第十五章、第十六章及第二十一章系閔詠川譯,第十七章系徐淦卿譯,第十一章、第十九章、第二十二章、第二十四章及序系馬鳳祥譯;并由魏先任、閔詠川、馬鳳祥担任总校訂。

气体与真空中的电現象

上 册

Н. А. 卡普卓夫著

南京工学院無線电系工业电子学教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第064号)

上海大东集成联合印刷厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·698 开本 850×1168 1/32 印張 12 3/16 插頁 1
字數 296,000 印數 1—1,800 定价(10) ¥ 1.80

1958年9月第1版 1958年9月上海第1次印刷

序

在“气体和真空中的电现象”一书第二版的准备中,对“高频放电”这一章的修改最多,因为近年来这一领域在实验方面和理论方面都获得了显著的进展。在新版中,这一章放在火花放电和电量放电等章的后面,因为只有学习了其他放电类型,才能对高频放电得到准确的概念。在其余各章中,也尽可能根据最新的资料作了补充。属于这方面的有:氧化物阴极,高压下放电的辐射(连续光谱),借冷阴极在高真空中的放电,流光击穿理论以及一些其他较小的补充和修正。对俄国和苏联学者著作的参考和引证也有所添增。文献目录补充了最新作品的一些索引,当然,也同前一版那样,远没有包括全部文献。气体和高真空中的放电在工程上的应用已非常广泛,以致对其中每一门类比较完整的叙述,都需要单独一本书,而对某些门类,则需要和本书同样篇幅的一本书。这样的书在某些场合中是有的。因此作者认为必须把第二十三章大大地简缩,并且在工程应用方面只限于简略地指出主要问题和引证为数不多的文献。

作者借此机会,向 Г. С. 桑采夫 (Солнцев) 和 А. С. 阿尼开耶夫 (Аникеев) 对本书的付印和校审中所给予的帮助致以深深的感谢。

Н. 卡普卓夫

1950年7月

第一版序

本書原来是计划作为“真空和稀薄气体中的物理现象”一書的第三版的。然而在修改和增訂后，它的面貌已变得使先前的書名不能准确地反映該書的內容了，因而不得不改变書名。同先前的相比較，講述电子学和放电的各章节已大大加以扩充，其中不但講到稀薄气体中的放电，而且还講到高压强下和超高压强下的放电。同时，所有其中叙述真空技术的章节，都已大大縮簡，在新書中只組成第二章的一部分，用以講述电子学和气体放电範圍內的实验方法。以前包括气体分子运动論簡述的第二章，業已完全略去；仅仅把必要的公式列举在附录(第二十四章)中。

作者認為这样做是合理的，因为現在在真空技术方面已有了相当多的書籍[如 1946 年初問世的 A. A. 伊凡諾夫 (Иванов) 著的“电真空工艺学”很完备地包括这方面的內容]。至于气体分子运动論的基础，几乎在所有的物理学課程中都可以遇到。

書中各章次序已有变更。对于各种基本过程都分別予以詳述。至于在安排論述气体放电各章的順序时，則是根据各种放电类型按照其中發生的基本过程的分类和最近精煉过的放電理論的。書中所包括的一些放电现象已加以扩大。叙述火花放电的現代理論时，加进了閃电过程的簡短描述和解釋。关于高压强下和超高压强下的放电、关于大气中的电现象和关于气体放电中的化学反应等都包括在各章中。在第二十三章中总論了电子学和气体放电在工程上应用。在第二十四章的附录中收集了一些在气体放电領域內的研究工作中和实际工作中有用的数据。文献目录已大

为扩充,但是还說不上很完备。

对于作者教研組的同事們和这一版著述时在科学交流及討論中有力地帮助作者的一切人們,以及在評論本書手稿中提出許多宝贵意見的 В. Л. 格拉諾夫斯基(Грановский),作者都致以深切的感謝。作者以沉痛的心情怀念陣亡在衛国战争前綫上的自己最亲近的同事 С. К. 莫拉辽夫(Моралёв)副教授,他收集了本書第八章的材料,并且写下了这一章的最初扩充方案。

Н. 卡普卓夫

1945 年 11 月于 МОЛТУ 物理科学研究所

上册目录

序

第一版序

第一章 緒論	1
§ 1. 电流的通过气体	1
§ 2. 簡史概述	18
第二章 研究气体放电与高真空中电子及离子現象的實驗方法。研究 气体放电的基本方法	19
§ 1. 抽气及器具的除气	19
§ 2. 气体压强的測定	35
§ 3. 放电管的老煉与硬化	48
§ 4. 放电管的充气	49
§ 5. 研究气体放电現象的基本方法	53
第三章 热电子發射和自动电子發射(冷發射)	65
§ 1. 热电子發射	65
§ 2. 里查孙第一公式	69
§ 3. 里查孙-道舒曼公式	72
§ 4. 根据費密速度分布与波动力学的热电子發射公式的推导	74
§ 5. 發射公式的實驗驗證与逸出功 ϕ 及常数 A 的測定	82
§ 6. 两种金屬間的接触电位差与它們的逸出功的关系	85
§ 7. 蕭脱基理論。逸出功与外电場的关系	88
§ 8. 冷發射(自动电子發射)	92
§ 9. 热电子發射时金屬外部电子流的速度分布	95
§ 10. 單分子層的發射。含鈦陰極、碳化陰極和含銀陰極	96
§ 11. 氧化物陰極	102
§ 12. 正离子發射	109
§ 13. 散粒效应	110

第四章 外光电效应	117
§ 1. 定义和历史概述	117
§ 2. 光电效应定律。光谱特性和伏安特性。光电效应的時間过程	119
§ 3. 测定光电子速度分布和光电效应閾的方法	122
§ 4. 金属表面的外来物质薄膜对光电效应的影响	130
§ 5. 选择性光电效应	132
§ 6. 温度对光电效应的影响。用否勒和麦勃立希法决定光电效应閾 ν_0	135
§ 7. 光电效应的理論	142
§ 8. 复合陰極的光电效应	152
§ 9. 銻銻陰極	161
第五章 二次电子發射	164
§ 1. 二次电子	164
§ 2. 电子作用下的二次电子發射	164
§ 3. 二次电子發射的理論	170
§ 4. 复合陰極的二次电子發射。馬耳脫效应	173
§ 5. 在正离子、受激原子和中性原子作用下陰極的二次电子發射	177
第六章 第一类及第二类非彈性碰撞时气体粒子的电离和激發	183
§ 1. 电子和气体粒子發生第一类非彈性碰撞时的电离和激發	183
§ 2. 激發几率(激發函数)。电离几率(电离函数)	193
§ 3. 原子在激發状态中的滯留時間。逐級电离和激發。諧振輻射的扩散。亞稳状态	197
§ 4. 第二类非彈性碰撞	202
§ 5. 正离子与气体粒子碰撞时的电离	207
第七章 气体粒子吸收輻射量子时的电离和激發。热电离和热激發。 气体中其他电离和激發过程	211
§ 1. 气体的容积光电离	211
§ 2. 热电离和热激發	219
§ 3. X射綫的电离作用	223
§ 4. 放射性輻射的电离作用	225
§ 5. 剩余电离。宇宙射綫的作用	228
第八章 負离子的形成和破坏。放电时帶电粒子的复合	231
§ 1. 負离子的結構及其稳定性	231
§ 2. 形成負离子的方式	234

§ 3. 研究电子与分子結合的实验方法	236
§ 4. 負离子的破坏	239
§ 5. 帶电粒子的复合	240
第九章 电子和离子在气体中的运动	248
§ 1. 帶电粒子在气体中的热骚动。扩散	248
§ 2. 存在外电場时,气体中帶电粒子运动的特性。电子和离子的迁移率	250
§ 3. 决定离子及电子迁移率的实验方法	252
§ 4. 离子迁移率及电子迁移率的理論	259
§ 5. 电子在气体中运动时所表现的波动性質:电子的不均匀散射,电子速度对其自由程关系的效应	268
第十章 气体放电中的空間电荷及其作用。探極法	274
§ 1. 电流通过高真空时的伏安特性	274
§ 2. 空間电荷在气体放电中的作用	285
§ 3. 表面电荷在放电中的作用	287
§ 4. 探極特性的方法	288
第十一章 气体放电的辐射	301
§ 1. 黑体辐射定律	301
§ 2. 固体的辐射	305
§ 3. 發光体的各种形式	307
§ 4. 光譜学的基础。光譜綫系和光譜項。并合原則	311
§ 5. 根据原子矢模型的受激状态和光譜項的命名法。譜項和譜綫的多重性	322
§ 6. 任何原子的譜項和譜綫的圖像。HgI 的光譜	329
§ 7. 气体放电的基本过程和辐射之間的联系。气体压力对正柱区中諧振与非諧振譜綫辐射的影响	334
§ 8. 气体放电辐射的定量理論。研究放电的內在参量和基本过程的光学方法基础	339
§ 9. 二次过程对气体放电辐射的影响	344
§ 10. Na I、He I 和 He II 的光譜	355
§ 11. 氛和氬的光譜	360
§ 12. 分子的譜項和光譜	364
§ 13. 在超高压下的气体辐射光譜	376
§ 14. 在放电中的气体的余輝	381

目 录

第十二章 按照放电中發生的基本过程对气体放电的各种类型和各別区域的分类。气体放电理論概述	335
§ 1. 气体放电的理論	335
§ 2. 按照放电中發生的基本过程对气体放电的各种类型和各別区域的分类	391
§ 3. 气体放电稳定性的外部条件	395
第十三章 湯生放电和从非自持放电到自持放电的轉变	403
§ 1. 湯生的理論	403
§ 2. 湯生的系数 α 和 β 。放电相似定律	417
§ 3. 湯生非自持放电。斯托列托夫效应及常数	425
§ 4. 放电的着火滯后和放电形成時間	426
§ 5. 罗高符斯基的放电理論	429
§ 6. 不同条件对放电着火电压的关系	434
§ 7. 在外界催离素作用下的放电着火电压的降低	442
§ 8. 从湯生放电到輝光放电的过波形式	445
§ 9. 高真空的击穿	446
第十四章 輝光放电	450
§ 1. 輝光放电的特征及組成部分	450
§ 2. 伏安特性。輝光放电中的电位分布	458
§ 3. 阿斯頓暗区。第一阴极电輝。阴极暗区	454
§ 4. 正常与反常的阴极位降。正常阴极位降守恒定律	457
§ 5. 阴极附近的电場分布。輝光放电的阴极部份的輻射。阴极上的机械力	460
§ 6. 阴极的溅射	462
§ 7. 輝光放电阴极部份中的基本过程 [1454~1457, 1532]	463
§ 8. 極隧射綫	472
§ 9. 輝光及法拉第暗区	473
§ 10. 放电的阳极部份	474
§ 11. 輝光放电的主干及正柱	477
§ 12. 層状正柱	481

第十五章 气体放电的等离子区	487
§1. 等离子区	437
§2. 等离子区的發生。等溫的及不等溫的等离子区	488
§3. 蕭脫基的正柱理論	490
§4. 頓克斯及耶繆尔的等离子区理論	494
§5. 等离子区中的电振蕩	502
§6. 等离子区中的弛張時間和弛張長度	505
§7. 低电压电弧	506
第十六章 弧光放电的各种类型	512
§1. B. B. 彼得罗夫發現电弧。弧光放电的特征及类型	512
§2. 冷阴极热电子电弧中阴极上的特殊現象	514
§3. 电弧的形成	517
§4. 阴极斑点。弧光放电的外形及各部份	520
§5. 电弧放电中的电位分布	523
§6. 弧光放电的伏安特性	525
§7. 电弧的反电动势	529
§8. 弧光放电各部分的溫度及輻射	530
§9. 借助于电弧發生持續振蕩	532
第十七章 高压强和超高压强下弧光放电的正柱	535
§1. 收細放电的基本过程	535
§2. 均衡等离子区的微分方程。收細放电相似定律	536
§3. 高压强和超高压强汞汽中弧光放电情况的近似解法	540
§4. 超高压强下惰性气体的弧光放电	544
第十八章 火花放电和电閃	547
§1. 火花放电的一般景象和个别类型	547
§2. 火花放电的着火电压	551
§3. 湯生-罗高符斯基理論解釋火花放电时的缺陷。流光	552
§4. 流光理論	557
§5. 長放电間隔場合下火花放电的机构	565
§6. 非均匀場中的火花放电	567
§7. 火花击穿理論的进一步修正	570
§8. 火花放电的后续阶段	576
§9. 电閃的研究方法和特点	579
§10. 斯乔伦特、米克和辽勃的电閃过程机构学說	589
§11. 球状电閃	592
第十九章 地面大气中的电气現象	595

§ 1. 大气的电离。大气中的电场和电流	595
§ 2. 雷雨理论	599
§ 3. 极光	602
第二十章 电量放电	604
§ 1. 电量放电发生的条件及一般景象	604
§ 2. 电量放电的起始电压和起始电场强度	608
§ 3. 起晕层中的电场分布	610
§ 4. 电量放电外圍区域中的电场分布。伏安特性	618
§ 5. 关于圆柱形导体和同它平行的任何截面形状的电極間电量放电的伏安特性問題的解答	626
§ 6. 两起晕电極之間的放电	629
§ 7. 电量放电中的間歇現象	633
§ 8. 电量放电到火花放电或弧光放电的轉变	643
§ 9. 交流电量	651
第二十一章 高频放电	653
§ 1. 低气压下低频及高频交变电流中的放电	653
§ 2. 具有外电極或內电極的高频放电	654
§ 3. 无極环形放电	655
§ 4. 高气压下的高频放电	659
§ 5. 高频放电的理论	668
第二十二章 气体放电中的化学反应	687
§ 1. 气体放电中的基本过程和原子及分子的化学相互作用	687
§ 2. 气体放电中化学反应的机理	688
§ 3. 促进气体放电中化学反应进行的条件	690
§ 4. 气体放电中的某些化学反应	694
第二十三章 气体放电和电子学在工程技术上的应用	698
§ 1. 高真空中和气体中的电子和离子現象的技术应用领域	698
§ 2. 电子管	699
§ 3. 充气二極管和閘流管	700
§ 4. 水銀整流器	705
§ 5. 弱电流气体放电器件	706
§ 6. 电子倍增器	708
§ 7. 电子束管	710
§ 8. 电弧熔接	712
§ 9. 气体放电的光源	714
§ 10. 电滤波器	724
§ 11. 物質在电量放电中的电分离	728

第二十四章 附录	730
§ 1. 气体分子运动論的一些公式	730
§ 2. 气体沿柱形导管流动的定律	732
§ 3. 温度对某些物質的饱和蒸汽压力的关系	734
§ 4. 某些致冷物質和混合剂的温度	740
§ 5. 双原子气体在不同温度下的热离解度	742
§ 6. 大地表面除去水蒸汽的空氣的正常成分(体积百分比)	743
§ 7. 某些气体或蒸汽的諧振綫激发电位 $U_{\text{рез}}$ 、亞穩态激发电位 $U_{\text{мет}}$ 和 电离电位 U_i	743
§ 8. 温度对于蒸汽和气体的热电离度 α 的关系	744
§ 9. 当 $t=0^\circ\text{C}$ 和 $p=1$ 毫米汞柱时,在場强 $E=0.2$ 伏/厘米和 $E=1$ 伏/厘米之下某些純淨气体中的电子迁移率 K 。	745
§ 10. 对于同軸圓柱形电極的“二分之三次方定律”中的函数值 β^3	745
§ 11. 解決帶电粒子初速影响到真空中兩平極(其中之一發射帶电粒子)之 間的电位分布和伏安特性这一問題的耶羅尔的 $\xi=f(\eta)$ 的表	747
§ 12. 空气容积电离系数的实验值 α	748
§ 13. 空气表面电离系数的实验值 γ	749
§ 14. 气体分子平均自由程 λ_g 和按气体分子运动論 ($\lambda_0=4\times\sqrt{\frac{2}{\pi}}\lambda_g$) 算 出的同一气体的电子平均自由程 λ_e	749
§ 15. 某些原子和分子的有效横截面 $Q_{\text{эф}}$ 对电子速度的依从关系	750
§ 16. 按否勒法决定光电效应閾 λ_0 和逸出功 φ 时用以作“理論”曲綫的否 勒函数 $F(x)$ 的值	752
§ 17. 当电子速度按麦克斯韋分布时的电子平均能量(以电子伏計)和电子 气“温度” T_e 之間的关系	753
§ 18. 某些單原子气体和蒸汽的电子質量 m_e 对离子質量 m_i 的比值	753
§ 19. Д. И. 門捷列夫的元素周期系統	754
§ 20. 某些物理常数值	756
§ 21. 量測气体压力所用各种單位的比較表	757
§ 22. 旧时的长度、重量和压力單位	757

第一章 緒論

§ 1. 电流的通过气体

通过气体的电流伴同着一些特殊的現象,这些現象將通过气体的电流同通过固态导体或液态电解質的电荷显著地区別开来。像放电中各种各样类型的气体發光(从微弱的勉强能看得見的光亮到电弧的閃耀夺目的亮光和閃电的刺目的閃光)和發声效应(打雷的轟隆声、火花的噼啪声、电暈的嗡嗡声),最后还有通常条件下所不發生的化学反应(空气中直接形成氮的氧化物和氰、單原子气体中形成分子等等),都是这些現象的实例。在短時間內有大量的电荷通过气体时,这些伴随的現象就以很广大的和很剧烈的形式显现出来。

电流通过气体同电流通过固体和液体的区别,不仅在于这些效应上,而且本身的規律也并不相同。我們知道,当电流通过固态导体时,那怕电流和电压非常大,仍然符合于欧姆定律:在其他条件相同时,电流强度与加到給定导电体上的电位差成正比。換句話說,如果固体的温度和化学成分不变,則其电导率和电阻率为常数。在气体的情况下就不是这样了。欧姆定律仅适用于少数特殊場合;气体的电导率不是常数;并且在某些場合下,和外界对气体的影响有关,在另一些場合下,又同通过气体的电流强度有关,而在不稳定現象的情形下,还和先导过程有关(例如同前一瞬時内通过气体的电流强度有关)。在气体的情况中,电流和电压之間的关系,不仅不是簡單的成比例,而且还不是單值的,并且往往表现为

所謂下降的伏安特性,由于通过气体的电流强度增長,气体間隔間所需的电位差反而减小。

当加于气体間隔間的电位差从很小的数值逐渐增加到很大的数值时,还發生非常有特征性的現象。起初气体中仅有很微弱的电流通过,这电流同外界对气体的影响和对处于气体中的電極的影响有明显的关系。X射綫、放射性射綫或宇宙射綫的透过气体,或者像使陰極表面电子發射增强的陰極的加热,或者用紫外綫輻射照射陰極等都会影响电流通过气体的过程。所有这些从外界影响气体并使其导电的过程,都称为外界催离素。气体同外界的影响隔絕得愈好,它的导电性也就愈差,我們完全有理由作这样的結論:气体如果完全和外界隔离,那么在低温之下將同高真空一样,是理想的絕緣体^①。随着所加电位差增加的程度,因外界催离素作用而引起的电流起先按欧姆定律而增長,然后过渡到饱和,其后又重新开始逐漸增長。最后,在一定的电位差之下,全部現象突然具有一种新的性質:当外电路电阻很小时,电流迅速增加到很大的数值,这电流值仅受此电阻或电源功率的限制。这时气体开始發出亮光。气体間隔的電極变为熾热。在大气中放电时,出現發声效应。这一在性質上是新現象的轉变,称为气体放电的着火或气体間隔的击穿。着火所必需的电位差,称为着火电压或击穿电压。現在即使停止外界催离素的作用,也已經不能使放电停止。放电已成为自持性的了。在比着火电压低的电压之下,放电随着外界催离素作用的停止而停止,这时的放电称为非自持放电。因此上述放电的着火也称为“从非自持放电到自持放电的轉变”。

① 通常称充滿稀薄气体的空間为真空。高真空的特征是气体粒子的平均自由程(即从某一次碰撞到下一次碰撞的路程)大于給定容器或容积的最小直徑。关于平均自由程,請參看第二十四章的§1, §14和第九章。

如果外电路的电阻不是很小, 气体压强也不大, 那么自持放电着火时得到的放电形式称为辉光放电。辉光放电的特征是: 有着特殊的放电间隔形式、其中交替地排列着发光区和暗区、电流密度较小以及阴极附近存在着几百伏的大电位降的窄狭区域。辉光放电时电极的温度并不高。如果在辉光放电时减少外电路电阻, 使电流强度逐渐增大, 那么气体的发光强度和阴极温度也将逐渐增加。此时伏安特性先略为下降, 然后上升。最后通过气体的电流发生新的变化: 电流重新以跳跃式增加, 放电空间所需的电压急剧减低, 放电的发光部分改变了位置, 阴极强烈炽热, 于是我们得到具有下降伏安特性的弧光放电。如果再继续减小外电路电阻, 那么放电将剧烈发展。在放电空间内和电极上释出的热量非常多, 可使电极熔化, 放电管损坏。在另外某些条件下(很好地保护因放电而迅速热起来的电极使免受损耗, 外电路电阻很小), 当电极间电压增高时, 将迅速地经过辉光放电的阶段; 在这种场合中, 气体间隔击穿时实际上直接发生强力的弧光放电, 而整个现象都具有电路短接的特征。

当气体压强为大气压级、电极间距离较大并且电源是高压而功率不大的时候, 击穿时发生断续的火花放电。火花放电的特征是电流沿曲折分歧狭窄而发光的通路通过气体。如果在大气压级的压强下, 同时一个电极或者两个电极的曲率半径远小于极间距离的话, 那么气体间隔的击穿就不是立刻完成而是以两种方式来完成的。

放电过渡到自持性时发生所谓电量放电, 它的电流强度很小, 并且仅在曲率半径很小的电极上有着发光部分。只有当电极间电位差极大时才发生火花击穿(跳火), 或者当电源功率足够强大时发生电量放电到弧光放电的转变。

气体放电中所形成的这种从很微弱的电流到强大的电流的显