

电子束器件

M. Я. 暮夏洛夫 著

陈 仁 怀 等译

国防工业出版社

目 录

前 言	3
第 一 章 引 論	9
1-1 电子束器件發展簡史	9
1-2 电子束器件的分类	13
第 二 章 几 何 电 子 光 学 基 础	17
2-1 光学和力学的相似性	17
2-2 电子光学中的折射介質	17
2-3 拉格朗日—格姆霍尔茨条件	19
2-4 光綫光学和电子光学的差異	20
2-5 电子在靜电場中的运动	21
2-6 靜电場的數字計算法	22
2-7 用电解槽量測电位	24
2-8 傍軸电子的軌跡方程	27
2-9 傍軸軌跡的計算	30
2-10 电子軌跡的圖解法	31
2-11 利用橡皮膜模型求电子軌跡	34
2-12 靜电电子透鏡	35
2-13 膜孔透鏡	36
2-14 單透鏡	36
2-15 浸沒透鏡	39
2-16 浸沒物鏡(陰極透鏡)	39
2-17 柱透鏡	41
2-18 电子鏡	41
2-19 电子在磁場中的运动。电子在均匀磁場中的运动	42
2-20 电子在非均匀磁場中的运动。短磁透鏡	44
2-21 电子在軸对称复合場中的运动	
电磁透鏡	47

2-22	磁場分佈的量測	47
2-23	軸對稱磁場中電子軌跡的近似計算法	49
2-24	電子光學系統的像差	51
第 三 章	電子槍	57
3-1	電子槍的光學系統	57
3-2	電子熱初速限制	59
3-3	空間電荷限制	63
3-4	電子槍的第一透鏡	66
3-5	陰極電流	67
3-6	截流電壓	70
3-7	電子束角	70
3-8	靜電聚焦的電子槍	71
3-9	磁聚焦的電子槍	74
3-10	電子槍的聚焦線圈。安匝數的計算	75
3-11	亮點尺寸	77
3-12	電子槍的調制特性	80
3-13	強流電子槍	81
第 四 章	電子束器件的偏轉系統	83
4-1	平行板靜電偏轉系統	83
4-2	斜板靜電偏轉系統	85
4-3	曲折板靜電偏轉系統	88
4-4	彎曲板靜電偏轉系統	91
4-5	磁偏轉	96
4-6	偏轉線圈	98
4-7	產生均勻場的繞組的線匝分佈	100
4-8	靜電偏轉畸變的誤差	102
4-9	電子在偏轉板間的有限渡越時間所引起的誤差	104
4-10	磁偏轉的誤差	105
第 五 章	螢光幕	108
5-1	電子束器件中應用的螢光質	108
5-2	發光亮度	110

5-3	光輸出	113
5-4	發光的燃亮与衰落	115
5-5	螢光質的二次發射特性	116
5-6	螢光幕的疲劳与灼伤	117
第六章 电子束管		120
电子束管的結構		122
6-1	管壳	122
6-2	电子光学系統	124
6-3	螢光幕	128
示波管		131
6-4	低压永久真空示波管	132
6-5	双束示波管	134
6-6	極坐标示波管	135
6-7	记录速度	138
6-8	后加速示波管	139
6-9	超高频示波管。行波示波管	142
6-10	动态真空高压示波器	145
第七章 电子束管(續).....		148
电视接收管——显像管		148
7-1	远距离傳送圖像的基本原理	148
7-2	对显像管的要求	150
7-3	用于接收圖像的电子束管的特点	151
7-4	圖像的襯度及提高襯度的方法	154
7-5	特殊結構的显像管。方屏幕显像管	157
7-6	彩色圖像的重現	158
7-7	傳色管	160
7-8	显色管	161
7-9	“行”式彩色显像管	162
7-10	“点”式彩色显像管	162
用于雷达中的电子束管		164
7-11	显示器的基本类型	164

7-12	用于雷达显示器中的电子束管的特点	167
	將圖像投射到大屏幕上	168
7-13	投射式电子束管	168
7-14	黑跡管	171
第八章	变像管	175
8-1	变像管的工作原理	175
8-2	最简单的变像管	177
8-3	静电聚焦的变像管	178
8-4	圖像亮度的增强	181
8-5	应用內光电效应的变像管	182
8-6	变像管的应用	186
第九章	电视發送管	189
9-1	析像器	189
9-2	电荷积累原理。光电像管	190
9-3	吉莫菲耶夫—什馬珂夫管	196
9-4	正析像管	198
9-5	超正析像管(勃勞傑管)	201
9-6	分流管	205
9-7	光阻管(視像管)	209
9-8	單像管	211
第十章	电子束換接器	212
10-1	最简单的电子束換接器	212
10-2	具有二次發射的电子束換接器	213
10-3	脉冲調制用电子束換接器(析路道管和析路風管)	215
10-4	磁場聚焦輻向电子束的电子束換接器	216
10-5	静电聚焦輻向电子束換接器	218
10-6	編碼脉冲調制用电子束管	222
第十一章	其他电子束器件	226
	記憶管(电位管)	226
11-1	最简单的电位管	226
11-2	存圖管	227

11-3	阻擋柵电位管	228
11-4	長忆留時間电位管	230
	橫向控制电子束管	233
11-5	橫向場控制的基本原理	234
11-6	橫向控制混頻管	236
11-7	功率放大橫向控制电子管	237
	参考文献	240

电子束器件

M. Я. 暮夏洛夫 著

陈 仁 怀 等译

国防工业出版社

內容簡介

本書闡述大多數現代電子束器件的工作原理和結構。首先研究了几何電子光學基礎及其在設計和計算電子束器件的聚焦和偏轉系統方面的應用，然後敘述各種器件。本書也研究了在這些器件中所採用的螢光質及螢光幕的特性。

本書取材于已發表的文獻材料而加以綜述。

本書可作為高等學校電真空器件、無線電工程、電工、物理等專業的高年級學生的教學參考書，也可供在實際工作或科學研究中要接觸到電子束器件的工程技術人員、科學研究人員及中等技術學校師生閱讀。

參加本書翻譯及校對工作的有清華大學無線電電子學系教師陳仁懷、孫伯堯、應根裕、范崇治、徐瑞芝、徐明星。1959年畢業班部分同學也參加校對工作。

成都電訊工程學院沈慶垓先生為本書“前言”及第一章作了校對。

蘇聯 М. Я. Муляров 著 Электронно-лучевые приборы
(Госэнергоиздат 1954 年第一版)

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 號

國防工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行 各地新華書店經售

787×1092¹/₂₇ 印張 9⁷/₂₇ 193 千字

1959 年 4 月第一版

1961 年 7 月第二次印刷

印數：6,801—9,800 冊 定價：(11-8)1.45 元

№ 2781

目 录

前 言	3
第 一 章 引 論	9
1-1 电子束器件發展簡史	9
1-2 电子束器件的分类	13
第 二 章 几 何 电 子 光 学 基 础	17
2-1 光学和力学的相似性	17
2-2 电子光学中的折射介質	17
2-3 拉格朗日—格姆霍尔茨条件	19
2-4 光綫光学和电子光学的差異	20
2-5 电子在靜电場中的运动	21
2-6 靜电場的數字計算法	22
2-7 用电解槽量測电位	24
2-8 傍軸电子的軌跡方程	27
2-9 傍軸軌跡的計算	30
2-10 电子軌跡的圖解法	31
2-11 利用橡皮膜模型求电子軌跡	34
2-12 靜电电子透鏡	35
2-13 膜孔透鏡	36
2-14 單透鏡	36
2-15 浸沒透鏡	39
2-16 浸沒物鏡(陰極透鏡)	39
2-17 柱透鏡	41
2-18 电子鏡	41
2-19 电子在磁場中的运动。电子在均匀磁場中的运动	42
2-20 电子在非均匀磁場中的运动。短磁透鏡	44
2-21 电子在軸对称复合場中的运动	
电磁透鏡	47

2-22	磁場分佈的量測	47
2-23	軸對稱磁場中電子軌跡的近似計算法	49
2-24	電子光學系統的像差	51
第 三 章	電子槍	57
3-1	電子槍的光學系統	57
3-2	電子熱初速限制	59
3-3	空間電荷限制	63
3-4	電子槍的第一透鏡	66
3-5	陰極電流	67
3-6	截流電壓	70
3-7	電子束角	70
3-8	靜電聚焦的電子槍	71
3-9	磁聚焦的電子槍	74
3-10	電子槍的聚焦線圈。安匝數的計算	75
3-11	亮點尺寸	77
3-12	電子槍的調制特性	80
3-13	強流電子槍	81
第 四 章	電子束器件的偏轉系統	83
4-1	平行板靜電偏轉系統	83
4-2	斜板靜電偏轉系統	85
4-3	曲折板靜電偏轉系統	88
4-4	彎曲板靜電偏轉系統	91
4-5	磁偏轉	96
4-6	偏轉線圈	98
4-7	產生均勻場的繞組的線匝分佈	100
4-8	靜電偏轉畸變的誤差	102
4-9	電子在偏轉板間的有限渡越時間所引起的誤差	104
4-10	磁偏轉的誤差	105
第 五 章	螢光幕	108
5-1	電子束器件中應用的螢光質	108
5-2	發光亮度	110

5-3	光輸出	113
5-4	發光的燃亮与衰落	115
5-5	螢光質的二次發射特性	116
5-6	螢光幕的疲劳与灼伤	117
第六章 电子束管		120
电子束管的結構		122
6-1	管壳	122
6-2	电子光学系統	124
6-3	螢光幕	128
示波管		131
6-4	低压永久真空示波管	132
6-5	双束示波管	134
6-6	極坐标示波管	135
6-7	记录速度	138
6-8	后加速示波管	139
6-9	超高频示波管。行波示波管	142
6-10	动态真空高压示波器	145
第七章 电子束管(續).....		148
电视接收管——显像管		148
7-1	远距离傳送圖像的基本原理	148
7-2	对显像管的要求	150
7-3	用于接收圖像的电子束管的特点	151
7-4	圖像的襯度及提高襯度的方法	154
7-5	特殊結構的显像管。方屏幕显像管	157
7-6	彩色圖像的重現	158
7-7	傳色管	160
7-8	显色管	161
7-9	“行”式彩色显像管	162
7-10	“点”式彩色显像管	162
用于雷达中的电子束管		164
7-11	显示器的基本类型	164

7-12 用于雷达显示器中的电子束管的特点	167
將圖像投射到大屏幕上	168
7-13 投射式电子束管	168
7-14 黑跡管	171
第八章 变像管	175
8-1 变像管的工作原理	175
8-2 最简单的变像管	177
8-3 静电聚焦的变像管	178
8-4 图像亮度的增强	181
8-5 应用内光电效应的变像管	182
8-6 变像管的应用	186
第九章 电视发送管	189
9-1 析像器	189
9-2 电荷积累原理。光电像管	190
9-3 吉莫菲耶夫—什馬珂夫管	196
9-4 正析像管	198
9-5 超正析像管(勃勞傑管)	201
9-6 分流管	205
9-7 光阻管(視像管)	209
9-8 單像管	211
第十章 电子束换接器	212
10-1 最简单的电子束换接器	212
10-2 具有二次發射的电子束换接器	213
10-3 脉冲調制用电子束换接器(析路道管和析路風管)	215
10-4 磁場聚焦輻向电子束的电子束换接器	216
10-5 静电聚焦輻向电子束换接器	218
10-6 編碼脉冲調制用电子束管	222
第十一章 其他电子束器件	226
記憶管(电位管)	226
11-1 最简单的电位管	226
11-2 存圖管	227

11-3	阻擋柵电位管	228
11-4	長忆留時間电位管	230
	橫向控制电子束管	233
11-5	橫向場控制的基本原理	234
11-6	橫向控制混頻管	236
11-7	功率放大橫向控制电子管	237
	参考文献	240

第一章 引 論

1-1 电子束器件發展簡史 凡是必須产生定向电子束的电子器件称为电子束器件。这类器件在十九世紀中叶已开始發展。

1859年發現了从放电管陰極上發出的一种射綫。这种射綫是看不見的，只有当它打到玻璃或各种礦物質上而發出螢光时才能覺察到。因为这种射綫是从陰極發出的，所以后来便称为陰極射綫。將一个金屬十字架放在陰極射綫的通路中，根据这样所产生的影子人們断定陰極射綫是沿直綫傳播的。对于陰極射綫的研究判明，它实际上是一种荷負电的快速質点流，这种質点称为电子。从电子射綫在电场和磁场中偏轉的實驗，我們能够确定电子的荷質比。

电子射綫首先应用在示波管中，示波管是用来观察电压和电流随時間变化曲綫形狀的仪器。第一架示波器是在1897年制造出来的。它是一根玻璃管，管内封入一个冷陰極，一个陽極和一个膜片，膜片上有一直径为2毫米的小孔。管内正对陰極的一端放着螢光幕。通过膜片的細电子束引起螢光幕發光。电子束通过膜片后，再受到偏轉綫圈磁場的作用。这种管子的正常工作电压約为50—100仟伏。

从上所述，可見第一只示波管的構造是非常簡陋的。單靠膜片来得到小亮点的方法不能認為滿意。在这个原始的电子束管的进一步改进方面，俄国学者Д. А. 羅蒙斯基作了重大的工作(1911年)。

电子束管^①的研究导致电子光学的發展，这是研究帶电質点在电场和磁场中运动路徑的一門科学。电子束管中使用的第一批电子光学元件是聚焦綫圈和聚焦圓筒。實驗証明，由陰極，圓筒

^① 起初人們称电子束管为陰極管。

(包圍着陰極，電位低於陰極)及加速電極(即陽極)所組成的系統具有使電子束聚焦的能力。稍後，提出了另一種結構的管子，電子從陰極出來後，通過一系列的膜片，逐漸被削細。適當選擇各膜片的電位，就可使電子束聚焦。這裡第一次應用了靜電電子光學原理。

電子束管進一步的發展是用實驗方法來選擇陰極，膜片及陽極的最佳形狀。管子的設計問題歸根到底在於如何在螢光幕上得到高亮度的小亮點。為得到這樣的亮點，要經過二個步驟：首先利用狹窄的光柵，將電子束切細，然後再把被電子所“照射”的光柵投映到螢光幕上去。

1905年間氧化物陰極的發明大大推動了熱陰極低壓電子束管的發展。在第一批低壓電子束管中應用了氣體聚焦(1922年)。預先經過聚焦的電子束通過充滿低壓氣體(壓強為 10^{-2} 毫米汞柱)的空間，引起了氣體的電離。行動緩慢的正離子分佈在管子的軸附近，將電子吸向軸心，於是使電子束聚焦。但是利用氣體聚焦的電子束管具有重大的缺點。這些缺點是：由於離子的轟擊，陰極壽命很短；在頻率高時偏轉有惰性；而主要的缺點則是，由於氣體的電離不均勻而引起電場畸變，使得偏轉變成非線性。由於上述缺點，現在這種管子已完全被高真空管所代替了。第一個高真空低電壓電子束管(磁聚焦)是1924年在尼斯城無線電實驗室中由B. A. 奧斯特羅莫夫研究出來的。

在現代的電子束管中，電子束的聚焦是基於軸對稱靜電場和磁場對電子具有如同玻璃透鏡對光線一樣的作用。按照與光學中類似的稱呼，這種場可稱之為“電子透鏡”。靜電聚焦電子透鏡由軸對稱電極系統所構成，並在其各極上加有適當的電位。在磁透鏡中則是用通電流的圓形綫圈^①或軸對稱的永久磁鐵。包括陰極(電子源)，加速極(陽極)和電子透鏡(用來形成電子束)的整個系統稱為電子投射器或電子槍。

① 通常這些綫圈的軸向長度都很短，整個綫圈裝在具有狹縫的鐵殼中。

电子束管的应用并不限于量测。例如，早在1907年俄国学者B. П. 罗兴格就首次建議应用电子束管来再现光学-机械系統（帶有尼普可夫圓盤）所傳送的電視圖像。广泛地应用电子束管来再现電視圖像，只是在本世紀卅年代，当这些管子的結構有了根本的改进之后才成为可能。

电子束管在战前年代，尤其是在二次世界大战时期，在雷达中佔有極其重要的地位，雷达对电子束管所提出的特殊要求促成了特殊雷达管的誕生。

在發展我国^①現代电子束管的工作中，苏联工程师M. B. 捷翰諾維奇，B. A. 米列尔和П. H. 亞德里安諾娃等人曾作出巨大的貢獻。他們的工作获得了1949年的斯大林獎金。在談到我国电子束管的發展时，还不能不指出B. A. 亞斯特林及其同事們的巨大劳动，他們除了制造出一系列的管子外，还制出了各种電視發送管。

30年代之初出現了用于發送電視圖像的电子束管。在第一批电子束發送器件——光电像管中(1931年)，圖像投射到一幅特殊的嵌鑲幕上，用聚焦得很好的电子束在幕上扫描。使得光学圖像便变成一連串电的訊号。在電視設備的接收部份，这些訊号用来控制电子束管(显像管)的电子束强度，这样，在显像管的螢光幕上便重新显现出所傳送的圖像。几乎和光电像管同时，出現了另一形式的電視發送管——析像器(1934年)，这种管子由于灵敏度很低，基本上只用在發送影片的電視中。1939年研究出了另一种電視發送管——正析像管。与光电像管所不同的是，它利用慢电子束来扫描圖像。

在电子光学成就的基础上，产生了新的电子光学器件，这些器件能够产生电子像。屬於这类器件的有电子显微鏡和变像管。

竭力提高光学显微鏡分辨本領的企圖导致电子显微鏡的誕生。电子显微鏡是利用电子束来得到放大圖像的一种显微鏡。第一架电子显微鏡是在冷陰極高压示波管的基础上制造出来的。其

^① 指苏联，下同——譯者註。