

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Feldgleichungen und Bewegungsgleichungen für Elektronen in Vakuumsystemen	3
1.1 Feldgleichungen	3
1.2 Bewegungsgleichungen	11
2 Ermittlung von Feldern und Elektronenbahnen (bei vernachlässigbarer Raumladung)	14
2.1 Feldbestimmung	14
2.1.1 Berechnung von raumladungsfreien elektrischen Feldern	14
2.1.2 Numerische Feldbestimmung mit dem Digitalrechner	18
2.1.3 Numerische Feldbestimmung mittels Analogverfahren	21
2.1.4 Bestimmung von Magnetfeldern	22
2.2 Bahnbestimmung	22
2.2.1 Berechnung von Elektronenbahnen in einfachen (raumladungsfreien) Feldern	22
2.2.2 Numerische Bahnbestimmung mit dem Digitalrechner	39
2.2.3 Numerische Bahnbestimmung mittels Analogverfahren	40
2.3 Die allgemeine Energiegleichung für ein Elektron	41
3 Elektronenemissions- und -absorptionsvorgänge im Vakuum	44
3.1 Elektronenemissionsvorgänge	44
3.1.1 Thermische Elektronenemission	44
3.1.2 Photoemission	72
3.1.3 Sekundäremission	83
3.1.4 Feldemission	88
3.1.5 Radioaktive Emission	90
3.2 Elektronenabsorptionsvorgänge (und dadurch ausgelöste Effekte).	91

3.2.1	Absorptionsgesetz und Elektronenreichweite	91
3.2.2	Wärmestrahlungsemision	94
3.2.3	Lichtemission	95
3.2.4	Röntgenstrahlungsemision	102
4	Elektronenoptische Systeme	105
4.1	Elektronenlinsen	105
4.1.1	Elektronenoptische Abbildungsgesetze	105
4.1.2	Elektrische Elektronenlinsen	112
4.1.3	Magnetische Elektronenlinsen	120
4.1.4	Linsenwirkung eines homogenen elektrischen und magnetischen Feldes	127
4.1.5	Linsenfehler	128
4.1.6	Ähnlichkeitsgesetze für Elektronenlinsen	129
4.2	Elektronenoptische Ablenksysteme	130
4.2.1	Allgemeine Eigenschaften	130
4.2.2	Elektrische Ablenksysteme	131
4.2.3	Magnetische Ablenksysteme	133
4.2.4	Ablenksystem mit überlagertem elektrischem und magnetischem Feld	136
4.2.5	Ablenkfehler	136
4.2.6	Ähnlichkeitsgesetze für Ablenksysteme	137
4.2.7	Fokussierende (abbildende) Ablenksysteme für Energie- und Massenspektrographen	138
4.3	Elektronenstrahl-Erzeugungs- und -Fokussiersysteme	144
4.3.1	Elektronenstrahl-Erzeugungssysteme	144
4.3.2	Elektronenstrahlaufspreizung im feldfreien Raum	148
4.3.3	Elektronenstrahlfokussierung	154
4.4	Elektronenoptische Röhren und Geräte	158
4.4.1	Sekundärelektronen-Vervielfachersysteme (SEV-Systeme)	158
4.4.2	Elektronenstrahl-Wandlerröhren	165
4.4.3	Elektronenmikroskope	181
4.4.4	Elektronenstrahlgeräte zur chemischen Oberflächenanalyse von Festkörpern	187
4.4.5	Elektronenstrahlgeräte zur Materialbearbeitung und -umformung	192
5	Elektronenströme im Hochvakuum unter Raumladungseinfluß	201
5.1	Stromwirkung eines Einzelelektrons	201
5.2	Systeme mit zwei Elektroden (Diodensysteme)	203
5.2.1	Anlaufstrombereich	204
5.2.2	Raumladungsbereich	205
5.2.3	Sättigungsbereich	210

5.2.4	Energieprofile emittierter Elektronen zwischen Kathode und Anode	212
5.2.5	Elektronenlaufzeiten in ebenen Diodensystemen unter Raumladungseinfluß	215
5.3	Systeme mit einem Steuergitter (Triodensysteme)	216
5.3.1	Ersatzschaltbild	216
5.3.2	Kennliniengleichungen	218
5.3.3	Strom-, Spannungs- und Leistungsverstärkung	220
5.3.4	Ersatzschaltbilder eines Vakuumröhren-Verstärkers	222
5.4	Systeme mit zwei Gittern (Tetrodensysteme)	224
5.4.1	Steuerspannung und Kennliniengleichungen	224
5.4.2	Stromverteilung und Sekundärelektronenaustausch	225
5.5	Systeme mit drei Gittern	228
5.6	Raumladungsströmung bei hohen Frequenzen	228
5.6.1	Reaktanzeffekte	228
5.6.2	Erhöhung der Verluste	229
5.6.3	Laufzeiteffekte.	230
5.7	Bauformen moderner dichtegesteuerter Hochvakuumröhren	232
6	Wechselwirkung von Elektronenstrahlen mit elektromagnetischen Wellen (Mikrowellenröhren)	237
6.1	Prinzip	237
6.2	Theorie der Raumladungswellen	238
6.3	Triftröhren	244
6.3.1	Das Klystron	244
6.3.2	Das Reflexklystron	258
6.4	Lauffeldröhren	263
6.4.1	Lauffeldröhren ohne magnetisches Querfeld (O-Typ-Röhren)	263
6.4.2	Lauffeldröhren mit magnetischem Querfeld (M-Typ-Röhren)	275
6.5	Vergleich zwischen Mikrowellenröhren und Mikrowellen-Halbleiterbauelementen	286
7	Teilchenbeschleuniger	287
7.1	Linearbeschleuniger	287
7.1.1	Gleichspannungs-Linearbeschleuniger	287
7.1.2	Hochfrequenz-Linearbeschleuniger	288
7.2	Das Zyklotron	292
7.3	Das Betatron	295
7.4	Synchrotrons	299
7.4.1	Das Elektronen-Synchrotron	300
7.4.2	Das Synchrozyklotron	304
7.4.3	Protonen-Synchrotrons	304
7.5	Hauptdaten der Cern-Beschleuniger	306

8	Gasentladungsröhren	309
8.1	Eigenschaften von Gasen und Dämpfen	309
8.1.1	Konzentration und mittlerer Abstand von Gasmolekülen	309
8.1.2	Flächenbezogene Stoßrate von Gasmolekülen	310
8.1.3	Grundgleichung der Kinetischen Gastheorie	311
8.1.4	Zustandsgleichung für ideale Gase	313
8.1.5	Mittlere freie Weglänge	315
8.2	Erzeugung von Ladungsträgern in Gasen	320
8.2.1	Entstehungsprozesse von Ladungsträgern	320
8.2.2	Ionisierung durch Elektronenstöße	320
8.2.3	Ionisierung durch Elektronen- und Ionenstöße	326
8.2.4	Trägererzeugung durch Elektronenstöße und Ionenaufprall auf die Kathode	327
8.2.5	Trägererzeugung durch weitere Sekundäreffekte	329
8.2.6	Zündbedingung und Paschensches Gesetz	329
8.2.7	Allgemeine Gasentladungs-Charakteristik	331
8.3	Bauformen von Gasentladungsröhren	335
8.3.1	Röhren mit Vorstromentladung	335
8.3.2	Röhren mit Glimmentladung	339
8.3.3	Röhren und Geräte mit Bogenentladung	348
8.3.4	Röhren mit Niedervolt-Bogenentladung	350
8.4	Gasentladungssysteme für die Festkörpertechnologie	353
8.4.1	Kathodenerstäubung	353
8.4.2	Ionenätzen	356
8.4.3	Ionenimplantation	359
8.4.4	Ionenquellen	361
8.5	Gaslaser und -maser	362
8.5.1	Laserprinzip	362
8.5.2	He-Ne-Laser	365
8.5.3	He-Cd-Laser	366
8.5.4	Ar-Laser	366
8.5.5	CO ₂ -Laser	367
8.5.6	NH ₃ -Maser	369
9	Vakuumtechnologie	370
9.1	Erzeugung eines Vakuums	370
9.1.1	Pumpvorgang bei vernachlässigbarem Strömungswiderstand der Vakuumleitung	371
9.1.2	Pumpvorgang bei Berücksichtigung des Strömungswiderstands der Vakuumleitung	373
9.1.3	Strömungsarten und Strömungsleitwerte von Vakuumleitungen	374
9.1.4	Aufbau und Eigenschaften von Vakuumpumpen	377
9.2	Überwachung eines Vakuums	383

9.2.1	Aufbau und Eigenschaften von Vakuummetern	384
9.2.2	Massenspektrographen zur Partialdruckmessung	389
9.2.3	Meßbereiche der verschiedenen Vakuummeter	392
9.3.	Aufrechterhaltung eines Vakuums	392
9.3.1	Gasquellen und Gassenken einer Vakuumanlage	392
9.3.2	Wechselwirkungen zwischen Festkörperoberflächen und Gasen (Sorption und Desorption)	393
9.3.3	Prüfung eines Vakiumsystems auf Undichtheit (Lecksuche)	394
9.4	Werkstoffe und Bauteile der Vakuumtechnik	396
9.4.1	Werkstoffe	396
9.4.2	Vakuumbauteile und deren Verbindungen	399
10	Ergänzende und weiterführende Literatur	404
10.1	Bücher	404
10.1.1	Zusammenfassende Darstellungen über Elektrotechnik und Elektronik	404
10.1.2	Elektronenoptik	404
10.1.3	Mikrowellenröhren	404
10.1.4	Gasentladungsröhren einschließlich Laser	405
10.1.5	Teilchenbeschleuniger	405
10.1.6	Vakuumtechnologie	405
10.2	Zeitschriften	405
Sachverzeichnis	406