



## Inhaltsverzeichnis

Plasmaphysik. Von Professor Dr. E. FÜNFER und Dr. G. LEHNER, Garching b. München. Mit 103 Abbildungen . . . . .	1
Neuere Ergebnisse über Sekundärprozesse langsamer Ionen in Gasen. Von Professor Dr. M. PAHL, Göttingen. Mit 22 Abbildungen	182
Halbleiter-Sperrschichtzähler. Von Dr. W. CZULIUS, Dr. H. D. ENG- LER und H. KUCKUCK, Erlangen. Mit 44 Abbildungen . . . .	236
Inhalt der Bände XX—XXXIV	
I. Namenverzeichnis . . . . .	349
II. Sachverzeichnis . . . . .	352



# Plasmaphysik

Von

E. FÜNFER und G. LEHNER

Mit 103 Abbildungen

## Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung . . . . .	2
B. Theoretische Grundlagen . . . . .	3
1. Einleitung . . . . .	3
2. Das Teilchenmodell . . . . .	4
a) Einfache Spezialfälle der Bewegungsgleichung . . . . .	4
b) Die Driftgeschwindigkeit . . . . .	5
c) Das magnetische Moment . . . . .	8
d) Inhomogenes Magnetfeld und magnetischer Spiegel . . . . .	12
e) Magnetisches Pumpen . . . . .	14
3. Das Flüssigkeitsmodell . . . . .	16
a) Dreiflüssigkeitstheorie . . . . .	16
b) Zweiflüssigkeitstheorie (Magnetohydrodynamik) . . . . .	21
c) Anisotroper Druck . . . . .	24
d) Magnetohydrostatik . . . . .	25
4. Lineare Wellen im Plasma . . . . .	27
a) Allgemeines . . . . .	27
b) Elektromagnetische Wellen . . . . .	31
c) Raumladungswellen und Schallwellen . . . . .	33
5. Stoßwellen im Plasma . . . . .	36
a) Die verallgemeinerten Rankine-Hugoniot-Gleichungen . . . . .	36
b) Stoßwellen parallel zu einem Magnetfeld . . . . .	39
c) Stoßwellen senkrecht zu einem Magnetfeld . . . . .	42
d) Schiefer Stoß . . . . .	43
6. Instabilitäten . . . . .	44
a) Allgemeines . . . . .	44
b) Magnetohydrodynamische Instabilitäten (Makroinstabilitäten) . . . . .	45
c) Mikroinstabilitäten . . . . .	53
7. Relaxationszeiten . . . . .	59
8. Strahlung eines Plasmas . . . . .	65
9. Thermonucleare Fusion . . . . .	68
a) Kernphysikalische Grundlagen . . . . .	68
b) Energiebilanz . . . . .	73
C. Meßmethoden . . . . .	78
1. Messung elektrischer Größen . . . . .	78
a) Messungen außerhalb des Plasmas . . . . .	78
b) Messungen im Entladungsraum . . . . .	80
$\alpha$ ) Magnetfeldsonden . . . . .	80
$\beta$ ) Elektrische Sondenmessung . . . . .	82
$\gamma$ ) Drucksonden . . . . .	83
2. Kurzzeitphotographie . . . . .	84
a) Die Smarkamera . . . . .	85
b) Kurzzeitverschlüsse . . . . .	87

3. Spektroskopische Methoden . . . . .	90
4. Mikrowellen . . . . .	91
a) Dispersionsbeziehungen . . . . .	92
b) Geometrische Voraussetzungen . . . . .	93
c) Meßtechnik . . . . .	94
d) Experimente . . . . .	95
$\alpha$ ) Untersuchung der Wellenausbreitung im Plasma . . . . .	95
$\beta$ ) Untersuchung vom Plasma ausgesandter Strahlung . . . . .	96
5. Energiereiche Strahlung aus Plasmen . . . . .	97
a) Neutronen . . . . .	97
b) Harte Röntgenstrahlen . . . . .	100
c) Elektronen . . . . .	101
d) Ionen und Reaktionsprotonen . . . . .	102
e) Neutralteilchen . . . . .	103
D. Experimente . . . . .	103
1. Einleitung . . . . .	103
2. Pincheffekte . . . . .	104
a) Longitudinale Pincheffekte . . . . .	105
$\alpha$ ) Der lineare Pinch . . . . .	105
$\beta$ ) Der toroidale Pinch . . . . .	115
$\gamma$ ) Der Hohlpinch . . . . .	117
b) Azimutale (Theta-) Pincheffekte . . . . .	121
$\alpha$ ) Linearer Theta-Pinch . . . . .	121
$\beta$ ) Toroidaler Theta-Pinch . . . . .	132
3. Stellaratoren . . . . .	133
a) Prinzip . . . . .	133
b) Experimente . . . . .	138
4. Spiegelmaschinen . . . . .	145
a) Einfang von Teilchen oder Plasmen . . . . .	146
b) Verlustprozesse . . . . .	148
$\alpha$ ) Spiegelverluste . . . . .	149
$\beta$ ) Verluste durch Umladungen . . . . .	150
c) Experimentelle Ergebnisse . . . . .	151
$\alpha$ ) Untersuchungen an Spiegelmaschinen in Livermore . . . . .	151
$\beta$ ) DCX und Ogra-Experimente . . . . .	154
5. Rotierende Plasmen . . . . .	156
a) Prinzip . . . . .	156
b) Experimentelle Anordnungen . . . . .	158
$\alpha$ ) Homöopolarmaschinen . . . . .	158
$\beta$ ) Ixion . . . . .	159
$\gamma$ ) Hydromagnetische Torsionswellen . . . . .	160
6. Astron . . . . .	161
Literatur . . . . .	164



# Neuere Ergebnisse über Sekundärprozesse langsamer Ionen in Gasen

Von

**M. PAHL**

Mit 22 Abbildungen

## Inhaltsverzeichnis

I. Allgemeiner Überblick . . . . .	182
1. Einleitung . . . . .	182
2. Historische Entwicklung . . . . .	183
3. Die einzelnen Typen von Sekundärreaktionen . . . . .	185
II. Experimentelle Methoden . . . . .	186
1. Mikrowellenmethode am absterbenden Plasma . . . . .	186
2. Elektronenstoßkammer und Massenspektrometer . . . . .	191
3. Massenspektrometrie am Niederdruckplasma . . . . .	197
4. Feldemissions-Ionenquelle . . . . .	202
5. Tandem-Massenspektrometer . . . . .	204
III. Theorie einfacher Ionen-Molekül-Reaktionen . . . . .	205
IV. Ergebnisse . . . . .	209
1. Exotherme Ionen-Molekül-Reaktionen . . . . .	209
a) Einfache IMR . . . . .	212
b) Komplexe IMR . . . . .	215
c) Die Reaktion $H_2^+ + He \rightarrow HeH^+ + H$ . . . . .	217
d) IMR zwischen angeregten Ionen und Neutralen . . . . .	219
e) IMR negativer Ionen . . . . .	220
2. Molekülionenbildung aus neutralen Reaktanten . . . . .	220
3. Dreierstoßprozesse . . . . .	221
4. Umladungsprozesse . . . . .	225
V. Bedeutung der Sekundärprozesse für andere Gebiete . . . . .	227
VI. Schlußbemerkung . . . . .	228
Literatur . . . . .	229



# Halbleiter-Sperrschichtzähler\*

Von

W. CZULIUS, H. D. ENGLER und H. KUCKUCK

Mit 44 Abbildungen

## Inhaltsverzeichnis

Liste der verwendeten Symbole . . . . .	237
1. Einführung . . . . .	238
2. Geschichtliche Entwicklung . . . . .	240
3. Qualitative Beschreibung . . . . .	241
3.1 Der $p$ - $n$ -Übergang ohne äußere Spannung . . . . .	241
3.2 Der $p$ - $n$ -Übergang mit äußerer Spannung . . . . .	242
3.3 Ionisation in der Feldzone . . . . .	243
3.4 Ionisation außerhalb der Feldzone . . . . .	244
4. Quantitative Beschreibung . . . . .	244
4.1 Der unsymmetrische $p$ - $n$ -Übergang . . . . .	244
4.2 Beispiel einer Silicium-Zähldiode . . . . .	248
4.3 Genaue Berechnung der Verteilung von Potential und Trägerdichte im unsymmetrischen $p$ - $n$ -Übergang . . . . .	250
4.4 Oberflächen-Sperrschicht . . . . .	251
4.5 Sperrstrom . . . . .	256
5. Schnelle ionisierende Teilchen im Halbleiterkristall . . . . .	258
5.1 Reichweite in Silicium und Germanium . . . . .	258
5.2 Laufzeit eines ionisierenden Teilchens im Festkörper . . . . .	261
5.3 Energie pro Elektron-Loch-Paar . . . . .	261
6. Zählereigenschaften . . . . .	262
6.1 Impulsanstieg . . . . .	262
6.2 Impulsabfall . . . . .	267
6.3 Koinzidenzauflösung . . . . .	268
6.4 Impulsgröße und Sammelausbeute . . . . .	269
6.5 Energieauflösungsvermögen . . . . .	274
6.6 Diodenrauschen . . . . .	277
6.7 Lawinenverstärkung . . . . .	285
6.8 Zähltransistor . . . . .	286
6.9 Ansprechen auf die verschiedenen ionisierenden Teilchen . . . . .	289
6.10 Neutronenzähler . . . . .	292
6.11 Nachweis von Röntgen- und Gammastrahlung . . . . .	297
6.12 Lichtempfindlichkeit . . . . .	299
6.13 Lebensdauer von Sperrschichtzählern gegenüber Bestrahlung . . . . .	300
6.14 Einfluß von Magnetfeldern . . . . .	303

\* Aus dem Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG Erlangen.

7. Messung von Zählereigenschaften . . . . .	303
7.1 Energie pro Elektron-Loch-Paar . . . . .	303
7.2 Feldzonendicke und effektive Sammeltiefe . . . . .	304
7.3 Störstellenkonzentration und Diffusionsspannung . . . . .	305
7.4 Lage des $p$ - $n$ -Überganges und Dicke der Totschicht . . . . .	306
8. Verstärkung der Impulse . . . . .	308
8.1 Polarität des Signals . . . . .	308
8.2 Rückstellzeit der Dioden und Größe des Arbeitswiderstandes . . . . .	308
8.3 Ankopplung an den Verstärker . . . . .	309
8.4 Lineare Breitbandverstärker und optimale Zeitkonstanten . . . . .	310
8.5 Ladungsempfindlicher Verstärker . . . . .	311
8.6 Einfach- und Doppel-, „Clipping“ mittels Laufzeitgliedern . . . . .	311
8.7 Transistorverstärker . . . . .	312
8.8 Laufzeitkettenverstärker . . . . .	312
9. Herstellung von Sperrschichtzählern . . . . .	312
9.1 Zur Verfügung stehende Materialien . . . . .	312
9.2 Herstellungsmethoden . . . . .	314
9.3 Vorbereitung des Grundmaterials . . . . .	314
9.4 Diffusionsverfahren . . . . .	315
9.5 Legierungsverfahren . . . . .	322
9.6 Herstellung von Oberflächensperrschichten . . . . .	327
9.7 Kontaktierung . . . . .	331
9.8 Abdeckung, Einbettung und Kapselung . . . . .	334
10. Anwendungen . . . . .	336
11. III-V-Verbindungen als Zählermaterial . . . . .	339
Schlußbemerkung . . . . .	340
Literatur . . . . .	340