

Gerd Janzen

# Plasmatechnik

Grundlagen • Anwendungen • Diagnostik

Hüthig Buch Verlag Heidelberg

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	11
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen des Plasmas</b> .....	13
<b>2.1</b>	<b>Grundbegriffe und Kenngrößen</b> .....	13
2.1.1	Plasma und Teilchendichten .....	13
2.1.2	Ionisierung .....	14
2.1.3	Ionisierungsgrad .....	15
2.1.4	Elektrische Ladung .....	16
2.1.5	Quasineutralität .....	16
2.1.6	Teilchenmassen .....	17
2.1.7	Rekombination .....	17
2.1.8	Anregung, Abregung .....	24
2.1.9	Thermodynamisches Gleichgewicht .....	24
2.1.10	Energien .....	25
2.1.11	Plancksches Strahlungsgesetz .....	27
2.1.12	Massenwirkungsgesetz .....	29
2.1.13	Saha-Eggert-Gleichung .....	29
2.1.14	Maxwell-Verteilungsfunktion der Geschwindigkeiten .....	32
2.1.15	Temperatur .....	37
2.1.16	Geschwindigkeiten von Elektronen und Ionen .....	39
2.1.17	Debye-Hückel-Abschirmlänge .....	40
2.1.18	Plasmafrequenz .....	44
2.1.19	Stöße zwischen Plasmateilchen .....	46
2.1.20	Mittlere freie Weglänge und Stoßwahrscheinlichkeit .....	50
2.1.21	Elektronen-Neutralteilchen-Stoßfrequenz .....	58
2.1.22	Beweglichkeit von Ionen und Elektronen .....	61
2.1.23	Elektrische Leitfähigkeit .....	66
2.1.24	Diffusionskoeffizienten .....	72
2.1.25	Ambipolare Diffusion .....	73
2.1.26	Plasma mit Magnetfeld; Grundlagen .....	74
<b>2.2</b>	<b>Plasmastrahlung</b> .....	78
2.2.1	Linienstrahlung .....	80
2.2.2	Kontinuumstrahlung .....	81
<b>2.3</b>	<b>Plasma mit Magnetfeld</b> .....	82
2.3.1	Driftbewegungen in einem Plasma mit Magnetfeld .....	83
2.3.2	Teilchenbeweglichkeit mit Magnetfeld .....	83
2.3.3	Ambipolare Diffusion mit Magnetfeld .....	87
2.3.4	Plasmadynamik, Magnetohydrodynamik .....	88

<b>2.4</b>	<b>Wellen in temperierten, unmagnetisierten Plasmen</b>	89
2.4.1	Hochfrequenzleitfähigkeit	89
2.4.2	Dielektrizitätszahl	92
2.4.3	Plasmakenngrößen und Wellenkenngrößen	93
2.4.4	Kritische Dichte oder Cutoff-Dichte	94
2.4.5	Wellenausbreitung in einem unmagnetisierten Plasma	96
2.4.6	Eindringtiefe und komplexer Plasmawellenwiderstand	100
2.4.7	Zusammenfassung: Wellenausbreitung in unmagnetisierten Plasmen	104
<b>2.5</b>	<b>Wellen in kalten, magnetisierten Plasmen</b>	106
2.5.1	Dielektrischer Tensor	107
2.5.2	Dispersionsgleichung	112
2.5.3	Brechungsindex, Grundlagen	113
2.5.4	Vier Grundwellentypen	114
2.5.5	Cutoffs	115
2.5.6	Resonanzen	117
2.5.7	Brechungsindex, Diagramme	122
2.5.8	Polarisation	129
2.5.9	CMA-Diagramm	131
2.5.10	Einfluß von Stößen	136
2.5.11	Brechungsindex-Gebirge	137
2.5.12	Problem der "Accessibility"	150
2.5.13	Phasengeschwindigkeitsdarstellung in Polarform	151
2.5.14	Plasma mit mehreren Ionensorten	154
2.5.15	Weitere Wellentypen in Plasmen	155
<b>3</b>	<b>Erzeugung eines Plasmas</b>	157
<b>3.1</b>	<b>Elektrisch erzeugte Plasmen</b>	158
3.1.1	Dunkelentladungen	159
3.1.2	Glimmentladungen	161
3.1.3	Bogenentladungen	166
3.1.4	Entladungen mit fremdgeheizten Kathoden	167
3.1.5	Hohlkathoden-Entladungen	169
3.1.6	Korona-Entladungen	170
3.1.7	Funkenentladungen	172
<b>3.2</b>	<b>Hochfrequenzplasmen</b>	172
3.2.1	Zündung bei Hochfrequenz	173
3.2.2	Hochfrequenz-Plasma ohne Magnetfeld	173
3.2.3	Hochfrequenz-Plasma mit Magnetfeld	178
3.2.4	Hochfrequenzeinkopplung in ein Plasma	183
3.2.5	Mikrowelleneinkopplung in ein Plasma	189

<b>4</b>	<b>Plasmen in der Technik</b> .....	195
<b>4.1</b>	<b>Hochleistungsschalter</b> .....	196
<b>4.2</b>	<b>Plasmalichtquellen</b> .....	200
4.2.1	Leuchtstofflampen .....	202
4.2.2	Natriumdampf-Niederdrucklampen .....	205
4.2.3	Hochdrucklichtquellen .....	205
4.2.4	Laser .....	206
<b>4.3</b>	<b>Plasmen als Arbeitsmittel</b> .....	207
4.3.1	Plasmaschmelzen .....	207
4.3.2	Plasmaspritzen .....	213
4.3.3	Plasmabeschichtung .....	213
4.3.4	Oberflächenveränderung durch ein Plasma .....	217
4.3.5	Elektrofilter .....	227
<b>4.4</b>	<b>Plasmen als Arbeitsmittel und Stoffwandler</b> .....	228
<b>4.5</b>	<b>Plasmen als Stoffwandler</b> .....	233
4.5.1	Thermische Plasmachemie .....	233
4.5.2	Nichtthermische Plasmachemie .....	234
<b>4.6</b>	<b>Fusionsforschung</b> .....	241
4.6.1	Kernphysikalische Grundlagen .....	241
4.6.2	Energiereserven aus der DT-Reaktion .....	244
4.6.3	Experimente zur kontrollierten Kernfusion .....	244
<b>5</b>	<b>Diagnostik</b> .....	253
<b>5.1</b>	<b>Wertebereiche von Plasmaparame-tern</b> .....	253
<b>5.2</b>	<b>Zusammenstellung einiger Diagnostikverfahren</b> .....	255
<b>5.3</b>	<b>Sondenmeßverfahren</b> .....	257
5.3.1	Langmuirsonde .....	259
5.3.2	Doppelsonde .....	269
5.3.3	Allgemeine Anmerkungen zu Sondenmessungen .....	273
<b>5.4</b>	<b>Mikrowellen-Meßverfahren</b> .....	276
5.4.1	Transmissions- und Reflexionsmessungen .....	277
5.4.2	Mikrowellen-Interferometer .....	279
5.4.3	Faraday-Effekt .....	283
5.4.4	Mikrowellen-Hohlraumresonator .....	284

---

5.4.5	Mikrowellen-Radiometer .....	292
5.4.6	Anmerkungen zu den Mikrowellendiagnostikverfahren und Ausblick auf die optische Diagnostik .....	294
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>297</b>
<b>6.1</b>	<b>Liste auftretender Begriffe und Abkürzungen</b> .....	<b>297</b>
<b>6.2</b>	<b>Tabellen</b> .....	<b>299</b>
6.2.1	Konstanten .....	299
6.2.2	Energiegrößen .....	299
6.2.3	Atomare Kennwerte einiger Elemente .....	300
6.2.4	Ionisierungs- und Dissoziationspotentiale einiger Moleküle .....	301
<b>7</b>	<b>Übungsaufgaben mit Kurzlösungen</b> .....	<b>303</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>319</b>
<b>9</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>325</b>