

Gerd Janzen

Plasmatechnik

Grundlagen • Anwendungen • Diagnostik

Hüthig Buch Verlag Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|--|----|
| 1 | Einleitung | 11 |
| 2 | Physikalische Grundlagen des Plasmas | 13 |
| 2.1 | Grundbegriffe und Kenngrößen | 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 |
| 2.2 | Plasmastrahlung | 78 |
| 2.2.1 | Linienstrahlung | 80 |
| 2.2.2 | Kontinuumstrahlung | 81 |
| 2.3 | Plasma mit Magnetfeld | 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 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 2.4 | Wellen in temperierten, unmagnetisierten Plasmen | 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 |
| 2.5 | Wellen in kalten, magnetisierten Plasmen | 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 |
| 3 | Erzeugung eines Plasmas | 157 |
| 3.1 | Elektrisch erzeugte Plasmen | 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 |
| 3.2 | Hochfrequenzplasmen | 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 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 4 | Plasmen in der Technik | 195 |
| 4.1 | Hochleistungsschalter | 196 |
| 4.2 | Plasmalichtquellen | 200 |
| 4.2.1 | Leuchtstofflampen | 202 |
| 4.2.2 | Natriumdampf-Niederdrucklampen | 205 |
| 4.2.3 | Hochdrucklichtquellen | 205 |
| 4.2.4 | Laser | 206 |
| 4.3 | Plasmen als Arbeitsmittel | 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 |
| 4.4 | Plasmen als Arbeitsmittel und Stoffwandler | 228 |
| 4.5 | Plasmen als Stoffwandler | 233 |
| 4.5.1 | Thermische Plasmachemie | 233 |
| 4.5.2 | Nichtthermische Plasmachemie | 234 |
| 4.6 | Fusionsforschung | 241 |
| 4.6.1 | Kernphysikalische Grundlagen | 241 |
| 4.6.2 | Energiereserven aus der DT-Reaktion | 244 |
| 4.6.3 | Experimente zur kontrollierten Kernfusion | 244 |
| 5 | Diagnostik | 253 |
| 5.1 | Wertebereiche von Plasmaparame-tern | 253 |
| 5.2 | Zusammenstellung einiger Diagnostikverfahren | 255 |
| 5.3 | Sondenmeßverfahren | 257 |
| 5.3.1 | Langmuirsonde | 259 |
| 5.3.2 | Doppelsonde | 269 |
| 5.3.3 | Allgemeine Anmerkungen zu Sondenmessungen | 273 |
| 5.4 | Mikrowellen-Meßverfahren | 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 |
| 6 | Anhang | 297 |
| 6.1 | Liste auftretender Begriffe und Abkürzungen | 297 |
| 6.2 | Tabellen | 299 |
| 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 |
| 7 | Übungsaufgaben mit Kurzlösungen | 303 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 319 |
| 9 | Stichwortverzeichnis | 325 |