

ABBILDUNG VON OBERFLÄCHEN

mit
Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen

HELLMUT SEILER

Privatdozent an der Universität Tübingen



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung.	11
2. Grundlagen.	14
2.1. Auflösungsgrenze.	14
2.1.1. Auflösungsgrenze für selbstleuchtende Objekte	14
2.1.2. Auflösungsgrenze für nicht selbstleuchtende Objekte	15
2.2. Erzeugung von Elektronen.	17
2.2.1. Thermische Elektronenemission.	18
2.2.2. Elektronenauslösung durch Fotoeffekt	19
2.2.3. Elektronenauslösung durch Einfall von Primärelektronen	20
2.2.4. Elektronenauslösung durch Einfall von Ionen, Atomen und Molekülen	23
2.2.5. Feldemission.	24
2.2.6. Energieverteilung der ausgelösten Elektronen	25
2.2.7. Elektronenstrahlerzeugungssystem.	27
2.3. Reichweite der Elektronen in Materie.	28
2.4. Erzeugung von Ionen.	29
2.4.1. Erzeugung von Ionen im Gasraum	29
2.4.2. Bildung von Ionen durch Beschuß von Metalloberflächen mit Primärionen	31
2.4.3. Bildung von Ionen an heißen Metalloberflächen	31
2.4.4. Kunsman-Anode.	31
2.5. Erzeugung von Röntgenstrahlen.	32
2.5.1. Röntgenbremsstrahlung	32
2.5.2. Charakteristische Röntgenstrahlung.	33
2.6. Absorption von Röntgenstrahlen.	34
2.7. Linsen für Röntgenstrahlen.	35
2.8. Linsen für Elektronen und Ionen.	35
2.8.1. Elektrostatische Linse.	35
2.8.2. Magnetische Linse.	37
2.8.3. Linsenfehler.	39
2.8.3.1. Öffnungsfehler	39
2.8.3.2. Farbfehler.	41
2.8.3.3. Axialer Astigmatismus.	41

2.9.	Aufbau einer Vakuumanlage	42
2.10.	Kontamination	43
2.11.	Festkörperzerstäubung durch Ionenbeschuß	45
3. <i>Abbildung von Oberflächen mit Hilfe des Durchstrahlungs-</i> <i>Elektronen-Mikroskops.</i>		47
3.1.	Prinzip der Bildentstehung	47
3.2.	Ultradünnschnittverfahren	49
3.3.	Abdruckverfahren	49
3.3.1.	Oxydabdruck	49
3.3.2.	Laekabdruck	49
3.3.3.	Aufdampfdruck	50
3.3.4.	Nachteile der Abdruckverfahren	52
4. <i>Elektronen-Emissions-Mikroskop.</i>		53
4.1.	Prinzip der Bildentstehung	53
4.2.	Allgemeiner Aufbau	54
4.2.1.	Kathodenlinse	54
4.3.	Auflösungsgrenze	56
4.3.1.	Auflösungsgrenze ohne Blende	56
4.3.2.	Auflösungsgrenze mit Blende	57
4.4.	Anwendung	57
4.4.1.	Thermisches Elektronen-Emissions-Mikroskop	57
4.4.2.	Emissions-Mikroskop mit durch Ionen-Einfall ausge- lösten Elektronen	58
4.4.3.	Emissions-Mikroskop mit durch Primärelektronen ausgelösten Sekundärelektronen	61
4.4.4.	Foto-Elektronen-Emissions-Mikroskop	62
4.4.5.	Elektronen aus der Feldemission im Elektronen- Emissions-Mikroskop	64
4.4.6.	Elektronen-Emissions-Mikroskop für metallurgische Untersuchungen	64
5. <i>Ionen-Emissions-Mikroskop.</i>		67
5.1.	Ionen-Emissions-Mikroskop mit negativen Ionen	67
5.2.	Ionen-Emissions-Mikroskop mit positiven Ionen	68
6. <i>Elektronen-Raster-Mikroskop.</i>		72
6.1.	Prinzip der Bildentstehung	72
6.2.	Allgemeiner Aufbau	73

6.2.1.	Elektronensonde.	73
6.2.2.	Elektronen-Kollektor.	74
6.2.3.	Bildröhren.	75
6.3.	Kontrastentstehung.	75
6.4.	Auflösungsgrenze.	77
6.5.	Anwendung.	79
7. Ionen-Raster-Mikroskop.		84
8. Röntgenmikroanalysator.		85
8.1.	Prinzip der Bildentstehung.	85
8.2.	Allgemeiner Aufbau.	86
8.2.1.	Elektronensonde.	86
8.2.2.	Spektrometer.	87
8.2.3.	Messung der Röntgenstrahlen.	89
8.2.4.	Messung der Sekundärelektronen und der reflektierten Elektronen.	91
8.3.	Anwendung.	92
8.4.	Quantitative Analyse.	94
8.5.	Grenzen der Elektronen-Mikroanalyse.	96
9. Elektronen-Spiegel-Mikroskop.		97
10. Elektronen-Spiegel-Raster-Mikroskop.		101
11. Elektronen-Reflexions-Mikroskop.		102
11.1.	Prinzip der Bildentstehung.	102
11.2.	Objekt Oberfläche senkrecht zur Objektivachse.	102
11.3.	Objekt Oberfläche nicht senkrecht zur Objektivachse.	103
12. Feld-Elektronen-Mikroskop.		106
12.1.	Prinzip der Bildentstehung und allgemeiner Aufbau.	106
12.2.	Auflösungsgrenze.	108
12.2.1.	Abschätzung der Auflösung ohne Berücksichtigung der Beugung.	108
12.2.2.	Abschätzung der Auflösung unter Berücksichtigung der Beugung.	109
12.3.	Anwendung und Betrieb des Feld-Elektronen-Mikroskops.	110

<i>13. Feld-Ionen-Mikroskop.</i>112
13.1. Prinzip der Bildentstehung und allgemeiner Aufbau	112
13.2. Abschätzung der Auflösungs-grenze.114
13.3. Entstehung des Bildes.115
13.4. Feldverdampfung.118
13.5. Bildverstärker.119
<i>14. Allgemeine Übersicht.</i>121
Nachweis der Abbildungen.124
Literaturverzeichnis.125
Register.129