

## Gliederung

1. Einleitung und Zielsetzung .....	1
1.1. Bedeutung der Messung von Materialeigenschaften .....	1
1.2. Prinzip und Entwicklung der Elektronenstrahlmikroanalyse .....	2
1.3. Zielsetzung und Ansatz .....	5
2. Theoretischer Teil .....	8
2.1. Charakteristische Röntgenstrahlung inhomogener Proben .....	8
2.1.1. Mikroskopische Beschreibung der Röntgenemission .....	8
2.1.2. Elektronenflußdichte und simulierte Elektronenbahnen .....	9
2.1.3. Ionisationsquerschnitte .....	11
2.1.4. Fluoreszenzausbeute und relative Linienstärke .....	12
2.1.5. Röntgenabsorption in inhomogenen Proben .....	13
2.1.6. k-Werte und relative Intensitäten .....	14
2.1.7. Numerische Darstellung der Röntgenintensitäten .....	16
2.2. Mathematische Darstellung der Elementtiefenverteilungen .....	18
2.2.1. Mehrschichtsysteme .....	18
2.2.2. Implantierte Elementverteilungen .....	19
2.2.3. Implantierte Dotierstoffverteilungen nach Ausheilung .....	21
2.3. Monte-Carlo-Simulation der Elektronenflußdichten .....	23
2.3.1. Prinzip der MC-Simulation von Elektronenbahnen .....	23
2.3.2. MC-Simulation in der Elektronenstrahlmikroanalyse .....	24
2.3.3. Struktur des verwendeten Simulationsprogramms .....	25
2.4. Quantitative Auswertung der Röntgenintensitäten .....	28
2.4.1. Auswerteprogramme und Simulationsdatenbank .....	28
2.4.2. Prinzip der Optimierungsrechnungen .....	30
3. Entwicklung und Automatisierung des Meßvorgangs .....	33
3.1. ESMA-Messungen mit variablen Anregungsbedingungen .....	33
3.2. Besonderheiten der verwendeten Mikrosonde .....	33
3.3. Probleme der durchgeführten Messungen .....	36
3.3.1. Probenpräparation .....	36
3.3.2. Kalibrierung der Elektronenenergie .....	37
3.3.3. Linearität von Strahlstrom und Zählraten .....	38
3.3.4. Probenpositionierung durch Intensitätsmaximierung .....	39
3.3.5. Strahleinfalls- und Röntgenaustrittswinkel .....	40
3.3.6. Messung des Untergrundes .....	42
3.4. Automatisierung des Meßablaufes .....	43
3.5. Statistische Datenauswertung .....	46

4. Möglichkeiten und Grenzen der Methode .....	48
4.1. Experimentelle Methoden .....	48
4.1.1. k-Wert-Profil-Methode .....	48
4.1.2. Intensitätsverhältnis-Methode .....	49
4.1.3. Sputter-Methoden .....	51
4.2. Statistische Genauigkeit und Nachweisgrenzen .....	54
4.2.1. Allgemeine Betrachtungen .....	54
4.2.2. Statistische Unsicherheiten .....	54
4.2.3. Definition der Nachweisgrenzen .....	56
4.2.4. Nachweisgrenzen für implantierte Ionen .....	57
5. Verifikation: Gallium- und Arsenprofile in Silizium .....	61
5.1. Ziel der Untersuchung .....	61
5.2. Einzelheiten zu den Messungen .....	61
5.3. Ergebnisse .....	62
5.3.1. Ergebnisse der ESMA-Messungen .....	62
5.3.2. Statistische Unsicherheiten .....	66
5.3.3. Absolute Genauigkeit der Ergebnisse .....	66
6. Anwendung: Gallium-Diffusion in ZnSe/GaAs-Schichten .....	69
6.1. Vorgeschichte und Ziel der Untersuchung .....	69
6.2. Experimenteller Teil .....	70
6.2.1. Herstellung der Schichten .....	70
6.2.2. Profilmessungen mittels ESMA und SIMS .....	70
6.2.3. Kalibrierung der SIMS-Tiefenprofile .....	70
6.3. Ergebnisse .....	71
6.3.1. Veränderung der implantierten Profile .....	71
6.3.2. Löslichkeit und ZnSe/GaAs-Interdiffusion .....	74
6.3.3. Diffusion bei niedrigen Konzentrationen .....	76
6.4. Diskussion und Schlußfolgerungen .....	79
6.4.1. Grenzen der entwickelten ESMA-Methode .....	79
6.4.2. Ausheilprozesse von ZnSe/GaAs-Schichten .....	79
6.4.3. Physikalische Interpretation .....	81
7. Zusammenfassung .....	83
8. Literaturverzeichnis .....	87